长江经济带生态效率评价及收敛性分析

孙 欣，赵 鑫，宋马林

（安徽财经大学 统计与应用数学学院，安徽 蚌埠 233000）

摘 要： 构建衡量生态效率的投入产出指标体系，采用基于 Malmquist-Luenberger 指数法的超效率 DEA 模型，对长江经济带及上中下游 2003—2013 年生态效率进行评价，并测算了生态效率差异性及收敛性。实证研究结果显示：长江经济带各省市生态效率总体平均水平较高，下游生态效率高于平均水平，中游和上游低于平均水平；生态效率区域差异性显著，省际间差异均明显高于上中下游间差异，但差异性趋势减缓；长江经济带层面生态效率 σ 收敛大体上呈现出“总体收敛，局部发散”的特点，上中下游区域呈现出生态效率 σ 收敛和绝对 β 收敛，这表明长江经济带存在生态协调发展的有利环境。经济“新常态”下，应该更加注重长江经济带一体化发展进程，让下游区域高新技术向中、上游区域转移，各省市应结合自身生态效率发展状况特点推进生态文明建设，缩小区域间生态效率差异，促进生态协调发展。

关键词： 长江经济带；生态效率；超效率 DEA；收敛性

中图分类号： F424.1 **文献标识码：** A **文章编号：**1672－0202(2016)05－0001－10

中国在经历三十余年快速发展之后，经济发展进入“新常态”，能否实现新常态下经济增长与资源环境协调发展，改变当前“高能耗、高污染、低效率、不协调”的粗放型生产方式是亟待解决的重大问题。2014 年 9 月，国务院印发《关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》，决定将长江经济带建设成为我国生态文明建设的先行示范带。2016 年 1 月召开的中央财经领导小组第十二次会议以及在重庆召开推动长江经济带发展座谈会上，习近平强调，推动长江经济带发展，理念要先进，坚持生态优先、绿色发展，要增强系统思维，统筹各地改革发展、各项区际政策、各领域建设、各种资源要素，使沿江各省市协同作用更明显，促进长江经济带实现上中下游协同发展、东中西部互动合作，把长江经济带建设成为我国生态文明建设的先行示范带、创新驱动带、协调发展带。长江经济带横跨我国东、中、西部三大区域，覆盖上海、江苏、安徽、云南等 11 个省市，占地面积约为我国领土的 21%，人口与生产总值均占全国 40% 以上，提高长江经济带生态效率是推进长江经济带生态文明建设的有效途径，也是实现经济、资源、环境三者健康协调发展的客观要求和必然选择。

生态效率是经济与资源环境发展协调程度的测度指标，长江经济带的生态效率应如何定量评价？其表现状况如何？上中下游生态效率差异性是否显著？能否实现均衡化趋同发展？这些都是促进长江经济带生态文明建设与协调发展中特别要关注的问题。目前对长江经济带生态文明的研究逐渐得到学界关注，汪克亮等[1]对长江经济带工业生态效率进行测度评价，王旭阳等[2]对

收稿日期：2016－06－17 **DOI：**10.7671/j.issn.1672－0202.2016.05.001

基金项目：国家自然科学基金项目(71471001；71503001)；国家社会科学基金项目(14CGL065)；安徽省高等学校自然科学项目(KJ2006A004)；安徽财经大学研究生科研创新基金项目(ACYC2015093)

作者简介：孙 欣(1973—)，男，安徽庐江人，安徽财经大学统计与应用数学学院副教授，主要研究方向为资源环境统计。E-mail：xinsun_2@163.com

长江经济带城市生态环境健康进行评价,取得很好的效果。但是目前尚无文献研究长江经济带各省市生态效率系统评价、上中下游区域生态效率比较及整个经济带生态协调发展状况。鉴于此,本文将评价长江经济带生态效率,进而比较研究其上中下游生态效率差异性,再进一步分析其生态效率收敛性,最后针对生态协调发展提出建议。

一、生态效率的概念及其测度

生态效率的概念,最先由德国学者 Schaltegger 等提出,其把经济效率与环境效益相结合[3],为后来这一概念的推广奠定了基础。1992 年,世界可持续发展理事会(WBCSD)明确提出生态效率的概念:"通过创造有价格竞争优势的产品和服务来满足人类的需求并提高生活质量,同时将其环境影响和资源利用强度控制在地球的承载力水平之内。"[4]随后几年,经济发展合作组织(OECD)对生态效率作出更为简明广泛的定义:"生态效率是投入与产出的比值,简单说来是以更少的资源投入实现更大的价值产出。"[5]其中,"投入"指经济体提供的产品和服务的价值,"产出"指经济体最终对环境造成的影响。给出表达式如下:

$$\text{生态效率} = \frac{\text{产品的经济价值}}{\text{产品所形成的资源消耗和环境影响}} \tag{1}$$

总的说来,生态效率追求资源利用、工业投资和科技发展等的最大化,能源消耗、污染排放的最小化[6]。

目前对生态效率评价的方法主要分为三类:单一比值法、指标体系法和模型法。其中,单一比值法的缺点在于该方法不能有效地区分不同环境对生态效率的影响,因此单一比值法适合于单个非连续对象,特别是对单个项目和技术的探讨[7]。指标体系法较单一比值法在对较为复杂的研究对象进行分析时具有更大的优势,它能够综合反映社会、经济、自然各子系统的发展水平和协调程度。但是由于在衡量环境与经济效益时需要用权重表达,难以克服人为主观因素的影响,故该方法也存在一定的缺陷。在模型法中,最为常用的是数据包络分析(DEA)模型,该方法是一种以相对效率概念为基础,用于对具有相同类型的多投入、多产出的决策单元是否技术有效进行评价的非参数统计方法[8]。由于其是系统性的评价方法,并且避免了人为赋权产生的主观偏差,因此被现代学者所广泛采用。

利用 DEA 对生态效率评价的研究有很多,大体上可以分为四种类型:第一类是基于超效率 DEA 模型的生态效率研究,如王恩旭等[9]运用超效率 DEA 模型测度了中国 30 个省市的生态效率;付丽娜等[10]运用基于 Malmquist 指数的超效率 DEA 对长株潭"3 +5"城市群 6 年的生态效率进行动态对比分析;陈浩等[11]运用超效率 DEA 对中国 32 个资源型城市近 9 年的生态效率进行测算,并利用 Malmquist 指数对比分析。第二类是基于三阶段 DEA 模型的生态效率评价,如邓波等[12]运用三阶段 DEA 模型对我国 31 个省市 2008 年区域生态效率进行研究;焦源[13]利用三阶段 DEA 模型测度了 2011 年山东省 17 地市农业生产综合效率、纯技术效率和规模效率。第三类是基于网络 DEA 的生态效率评价,如张煊等[14]构建基于矩阵型结构的网络 DEA 模型对我国省际间生态经济效率进行测算并检验其敛散性;查建平等[15]构建基于方向性环境距离函数的网络 DEA,在有环境约束下对四川省成都市 26 家景区的旅游生态效率进行测算。第四类是基于 PCA-DEA 组合模型的生态效率评价,如程晓娟等[16]将主成分分析法与 DEA 相结合,对中国煤炭产业 2001—2010 年的生态效率进行评价;王敏等[17]利用 BCC-DEA 模型结合主成分分析法对中国 30 个省市区近 9 年的生态效率进行综合评价。

传统的 DEA 模型在评价生产决策单元(DMU)是否处在生产前沿有效时,可能产生多个 DMU

效率值为 1 而无法进一步区分的情况，采取超效率 DEA 能够有效解决这一问题。另外，评价生态效率的关键在于对环境污染物的处理，现有文献对于此类非期望产出究竟转化成投入指标还是作为产出指标一直存在争议[18]。本文认为评价生态效率的目的在于找出改善生态效率的有效途径，即增加期望产出的同时减少非期望产出，因此选用考虑非期望产出方向距离函数的 Malmquist-Luenberger指数，将其与超效率 DEA 相结合，对长江经济带生态效率进行评价。

二、模型、指标体系与数据选取

（一）ML 指数的超效率 DEA 模型

超效率 DEA 模型是由 Andersen P. 等人于 1993 年提出的能够对有效 DMU 的有效程度做出进一步区分的方法，其核心是将被评价 DMU 从参考集中剔除[19]，也就是说，被评价 DMU 的效率是参考其他 DMU 构成的前沿得出的，有效 DMU 的超效率值一般会大于 1。超效率模型数学表达式如下：

$$\min\left[\theta-\varepsilon\left(\sum_{i=1}^{m}s_i^-+\sum_{r=1}^{i}s_i^+\right)\right]$$

$$s.t.\begin{cases}\sum\limits_{j=1,j\neq k}^{n}X_{ij}\lambda_j+s_i^-\leqslant\theta X_0\\ \sum\limits_{j=1,j\neq k}^{n}Y_j\lambda_j-s_r^+=Y_0\\ \lambda_j\geqslant 0,j=1,2,\cdots,n,s_r^+\geqslant 0,s_r^-\geqslant 0\end{cases}\tag{2}$$

生产过程的模型化需要引入方向性距离函数（DDF）。与常用的 Shephard 距离函数定义的方向向量 $g=(g_y,g_u)$ 不同，DDF 的方向向量定义为 $g=(g_y,-g_u)$，这保证其能够进行双向优化调整，既能够增加期望产出，同时也能减少非期望产出。定义方向性距离函数为：

$$\vec{D}_0(x,y,u;g_y,-g_u)=\sup\{\beta:(y+\beta g_y,u-\beta g_u)\in P(x)\}\tag{3}$$

其中，$\beta\geqslant 0$，表示产出组合 (y,u) 按照向量 g 能够同时扩大和缩小的最大比例。

Malmquist-Luenberger 生产率指数（简称 ML 指数）以环境技术可行性集合和方向性距离函数理论为基础，构造 ML 指数可以进行线性规划方程组的求解：

$$\vec{D}_0^t(x_k^t,y_k^t,u_k^t;y_k^t,-u_k^t)=\max\beta$$

$$s.t.\begin{cases}\sum\limits_{k=1}^{K}z_k^t y_{km}^t\geqslant(1+\beta)y_{km}^t,m=1,\cdots,M\\ \sum\limits_{k=1}^{K}z_k^t u_{ki}^t=(1-\beta)u_{ki}^t,i=1,\cdots,I\\ \sum\limits_{k=1}^{K}z_k^t x_{kn}^t\leqslant x_{kn}^t,n=1,\cdots,N;z_k^t\geqslant 0,k=1,\cdots,K\end{cases}\tag{4}$$

其中，y_k^t 为期望产出；u_k^t 为非期望产出；z_k^t 为密度变量，即每个横截面观测值的权重，其反映生产技术的规模报酬情况。

在上述方向性距离函数的基础上，定义环境约束下从 t 期到 $t+1$ 期的全要素生产率指数为：

$$\mathrm{ML}_0^{t,t+1}=\sqrt{\frac{1+\vec{D}_0^t(x^t,y^t,u^t;y^t,-u^t)}{1+\vec{D}_0^t(x^{t+1},y^{t+1},u^{t+1};y^{t+1},-u^{t+1})}\cdot\frac{1+\vec{D}_0^{t+1}(x^t,y^t,u^t;y^t,-u^t)}{1+\vec{D}_0^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1},u^{t+1};y^{t+1},-u^{t+1})}}\tag{5}$$

ML 指数可以进一步分解为技术进步指数(TC)和效率变动指数(EC)两部分[20],表达如下:

$$ML_0^{t,t+1} = TC_0^{t,t+1} \cdot EC_0^{t,t+1}$$

$$TC_0^{t,t+1} = \sqrt{\frac{1+\vec{D_0^{t+1}}(x^t,y^t,u^t;y^t,-u^t)}{1+\vec{D_0^t}(x^t,y^t,u^t;y^t,-u^t)} \cdot \frac{1+\vec{D_0^{t+1}}(x^{t+1},y^{t+1},u^{t+1};y^{t+1},-u^{t+1})}{1+\vec{D_0^t}(x^{t+1},y^{t+1},u^{t+1};y^{t+1},-u^{t+1})}}$$

$$EC_0^{t,t+1} = \frac{1+\vec{D_0^t}(x^t,y^t,u^t;y^t,-u^t)}{1+\vec{D_0^{t+1}}(x^{t+1},y^{t+1},u^{t+1};y^{t+1},-u^{t+1})} \tag{6}$$

其中,$TC_0^{t,t+1}$ 指数衡量相邻两时期环境生产前沿面的位移,$EC_0^{t,t+1}$ 指数测算技术落后区域在 t 时期到 $t+1$ 时期之间追赶技术先进区域的生产可能性前沿的水平。如果 $ML_0^{t,t+1}$、$TC_0^{t,t+1}$、$EC_0^{t,t+1}$ 三者数值大于 1,则分别表示全要素生产率提高、技术进步和技术效率改善;反之,如果 3 个指标数值小于 1,则说明全要素生产率下降、技术退步和技术效率恶化。

(二)生态效率 σ 收敛和绝对 β 收敛

生态效率 σ 收敛反映各区域生态效率的离散程度。σ 收敛可以由下式表示:

$$\sigma_i = \left\{N^{-1}\sum_{i=1}^{N}\left[I_i(t) - \left(N^{-1}\sum_{i=1}^{N} I_i(t)\right)\right]^2\right\}^{\frac{1}{2}} \tag{7}$$

其中,$I_i(t)$ 为第 i 个评价区域在第 t 年的生态效率评价值,N 为评价区域的数目。

生态效率绝对 β 收敛是指随着时间的推移,生态效率水平较低的区域对生态效率水平较高区域存在"追赶"的趋势,最终各区域的生态效率趋同,达到一个相同的稳定值。根据 Xavier Sala-I-Martin[21]的研究,绝对 β 收敛可以用下式表示:

$$\ln\left(\frac{I_{i,t+T}}{I_{i,t}}\right)/T = a + b\ln(I_{i,t}) + \mu_{i,t} \tag{8}$$

其中,$I_{i,t}$ 和 $I_{i,t+T}$ 分别表示第 i 个区域第 t 期即基期和 $t+T$ 期的生态效率评价值;$\ln(I_{i,i+T}/I_{i,t})/T$ 表示第 i 个区域从第 t 期到第 $t+T$ 期的年均生态效率增长率;a 为常数项;b 为基期生态效率的系数;$\mu_{i,t}$ 为随机误差项。若 b 为负,则存在绝对 β 收敛;反之,则不存在。为了最大效用地利用样本数据,并且使得计量回归的时间序列表现出连续性,本文令 $T=1$。

(三)生态效率评价指标体系的构建及数据来源

在构建生态效率指标体系的研究中,最具代表性的是德国环境经济账户[22],国内学者邱寿丰、黄和平等在此基础上也构建了生态效率指标[23-24],如表 1 所示。

表 1 国内外生态效率评价指标体系

评价对象	产出指标	生态指标投入	
		资源投入	环境投入
德国	GDP	土地、能源、水、原材料、劳动力、资本	温室气体、酸性气体
中国	GDP	土地、能源、水、原材料、劳动力	废气排放、废水排放、废固排放
江西省	GDP	能源、用水、建设用地	COD 排放、二氧化硫排放、工业固体排放

在参考借鉴上述生态效率评价指标,并依照 OECD 对生态效率的定义式(1)的前提下,本文基于协调发展的角度,从经济、资源和环境 3 个方面构建生态效率评价指标体系。根据长江经济带 11 个省市相关数据的可获得性和全面性,以 2003—2013 年为研究期间,将数据分为投入指标和产出指标(见表 2)。

（1）投入指标。生态效率是经济、资源和环境 3 方面的综合反映。资源可以分为自然资源和社会资源，依据生态效率的概念，本文仅考虑自然资源，包括与人类经济活动密切相关的能源、水和土地。具体指标有：以八大能源消费折算出的标准煤来衡量能源投入；以用水总量表征水资源投入；在表征土地资源投入时，国内外学者多选取建设用地作为土地投入的代理变量，本文认为农用地相比建设用地更加贴合生态效率的内涵，故选用农用地（包含耕地、园地、林地和牧草地）衡量土地资源的投入。

（2）产出指标。产出指标分为期望产出和非期望产出两种类型，期望产出一般用各省市地区生产总值，即地区 GDP 表示，为消除价格因素影响，本文以 2003 年为基年做了缩胀处理；通常使用全社会“三废”排放量来衡量环境污染指标，鉴于全社会固体废物数据部分缺失，加之生活固废排放较工业固废排放其对环境的污染可以忽略不计，本文选用工业固体废物排放量代替全社会固体废物排放总量；用全社会烟粉尘排放总量作为代理变量对全社会废气排放总量进行衡量；废水排放用全社会废水排放总量表征。

数据均来源于长江经济带 11 个省市相应年份的《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国能源统计年鉴》和《中国国土资源统计年鉴》。

表 2　长江经济带生态效率评价指标体系

指标类型	指标类别	指标名称	指标代码	指标单位
投入指标	自然资源类指标	能源消费总量	R_1	万吨标准煤
		用水总量	R_2	亿立平方米
		农用地面积	R_3	万公顷
产出指标	环境污染类指标	烟粉尘排放总量	E_1	吨
		工业固体废物排放量	E_2	万吨
		废水排放总量	E_3	万吨
	经济类指标	地区 GDP	G	亿元

三、长江经济带生态效率评价及收敛性分析

（一）生态效率评价

根据上述理论和方法，本文使用 MaxDEA6.0 测算长江经济带生态效率，结果如表 3、图 1 所示。从各省市生态效率均值能够看出，长江经济带生态效率的地区差异显著，上、中、下游流域分布不均衡。长江经济带整体生态效率平均水平 1.120，下游生态效率最高，平均值为 1.251，高于整体平均水平，并且遥遥领先于中、上游区域。长江流域下游区域 4 个省市生态效率水平增长主要在于技术进步对生态效率的贡献作用，下游各省市地理位置优越，经济较发达，拥有相对先进的技术和较为丰富的管理经验，能够吸引外来投资和引进更多人才，对生态效率的提高具有推动作用。其中，上海市生态效率在长江经济带 11 个省市中居于首位，均值为 1.535，年均增长率超过 50%，主要得益于技术进步的贡献，其技术进步指数为 1.543。江苏省和安徽省生态效率位列二、三名，技术进步率分别达到 30.1% 和 15.8%。研究发现，上游和中游生态效率增加程度较小，仅分别提高 4.7% 和 4.1%，均低于整体生态效率增长的平均水平。这可能是由于所处的地理位置较为封闭，经济发展水平相对落后，因此难以在技术进步上得到有力的资金支持，容易出现“能耗大、效益差、污染高”的状况。值得关注的是，云南地处上游区域，但是生态效率水平较高，排在第四位，生态效率年均增长率达到 13.8%，这可能是由于其得天独厚的地理位置使其具有较高的自然资源禀

赋,但其效率变动指数增幅仅为1.0%,这可能与其市场化程度和对外开放程度较低,产业升级缓慢以及政府投入资金有限等有关。对此,应该高度关注中、上游区域的技术进步,改善技术进步的政策环境,加快技术创新的脚步。

表3 2003—2013年长江经济带生态效率ML指数

地区	2003—2004	2004—2005	2005—2006	2006—2007	2007—2008	2008—2009	2009—2010	2010—2011	2011—2012	2012—2013	均值	排名
贵州省	0.786	0.906	0.769	0.876	1.396	0.907	0.908	0.950	0.983	1.004	0.949	10
四川省	1.004	1.003	1.019	1.001	1.002	1.000	1.000	0.982	0.976	0.977	0.996	9
云南省	0.889	1.547	1.046	1.024	1.050	0.938	0.784	1.310	1.764	1.031	1.138	4
重庆市	0.851	1.090	1.012	1.014	1.328	1.311	1.091	1.253	0.931	1.184	1.107	5
上游平均	0.883	1.137	0.962	0.979	1.194	1.039	0.946	1.124	1.164	1.049	1.047	2
江西省	0.906	0.706	1.114	1.174	1.178	1.332	1.404	1.359	0.785	1.077	1.104	6
湖北省	1.038	1.023	1.030	1.035	1.038	1.033	1.025	1.012	0.985	0.985	1.020	7
湖南省	0.813	1.035	1.047	1.043	1.038	1.013	1.001	1.009	0.981	1.001	0.998	8
中游平均	0.919	0.921	1.064	1.084	1.085	1.126	1.143	1.127	0.917	1.021	1.041	3
江苏省	1.142	1.130	1.127	1.167	1.913	1.082	1.564	1.486	1.075	1.247	1.293	2
浙江省	0.855	0.919	0.820	0.907	0.946	0.897	0.909	1.065	0.931	0.961	0.921	11
上海市	1.120	1.257	2.348	1.124	1.166	1.356	2.205	1.778	1.814	1.186	1.535	1
安徽省	0.656	1.148	1.062	1.643	1.910	1.236	1.180	1.406	1.207	1.104	1.255	3
下游平均	0.943	1.114	1.339	1.210	1.484	1.143	1.465	1.434	1.257	1.125	1.251	1
区域平均	0.915	1.069	1.121	1.092	1.270	1.100	1.185	1.228	1.130	1.069	1.120	

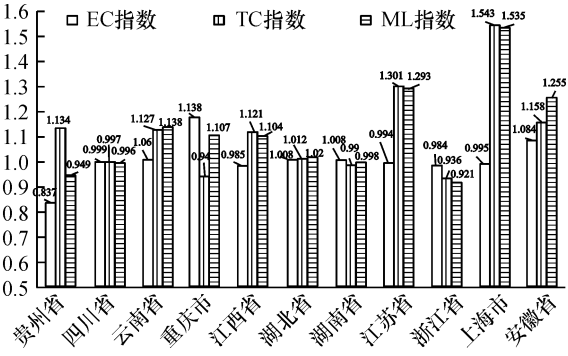


图1 长江经济带11个省市ML指数及其分解

(二)长江经济带生态效率差异的收敛性分析

根据长江经济带生态效率状况的不同,本文将11个省市分成生态效率先进和落后两种地区,其中,上海、江苏、安徽、云南、重庆、江西和湖北属于生态效率先进的地区,其他省市则属于生态效率落后的地区。对地区间差异性做出合理有效的测度,有利于对长江经济带经济和资源环境协调发展做出更加全面的把握。本文通过计算生态效率变异系数(c)来衡量长江经济带生态效率地区间差异性,并分别从σ收敛和绝对β收敛两个角度对生态效率差异变动趋势进行深入分析。

表4分别从省际间和流域间测算生态效率的变异系数。从结果能够看出,省际间生态效率c均值为0.255,而上中下游生态效率c均值为0.111,说明各省之间生态效率的差异性较上中下游之间的生态效率差异性更为明显。如图2所示,从2003—2013年生态效率差异变动的趋势来看,

长江经济带省际之间和上中下游之间生态效率差异性呈现波动状态，从 2010 年起开始表现出逐步趋同的趋势。

表 4　长江经济带 2003—2013 年生态效率变异系数

年份	省际生态效率 c 值	上中下游生态效率 c 值
2003—2004	0.560	0.226
2004—2005	0.192	0.091
2005—2006	0.154	0.027
2006—2007	0.179	0.086
2007—2008	0.259	0.133
2008—2009	0.152	0.041
2009—2010	0.429	0.255
2010—2011	0.246	0.086
2011—2012	0.288	0.127
2012—2013	0.088	0.041
均值	0.255	0.111

注：根据变异系数计算公式计算得到：$c = S_t/\bar{\mu}_t$。其中，$\bar{\mu}_t$ 表示第 t 年长江经济带 11 个省市生态效率均值，S_t 表示相应的标准差。

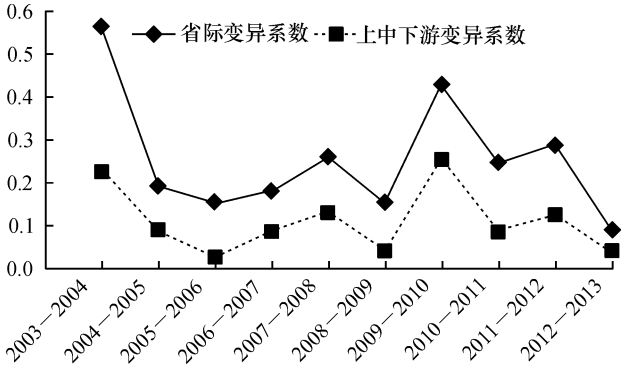


图 2　长江经济带生态效率差异的变动趋势图

表 5 显示长江经济带生态效率 σ 收敛统计值。可以看出，长江经济带生态效率大体上表现出“总体收敛，局部发散”的特点，长江经济带整体生态效率 σ 收敛值从 2003 年的 0.1412 减少至 2013 年的 0.0941，说明长江经济带生态效率的绝对差异在逐步缩小，总体表现出 σ 收敛趋势，但是各年之间生态效率绝对差异表现为较为剧烈的波动状态，上中下游地区生态效率的绝对差异也表现为波动变化的趋势，各区域最终呈现出 σ 收敛的趋势。

表 6 给出生态效率绝对 β 收敛的回归结果。从长江经济带层面看，系数 b 的估计值为 −1.9442且十分显著，说明初始时期生态效率水平与其增长率成反比，长江经济带生态效率整体上呈现出绝对 β 收敛，各区域生态效率趋于一个稳定水平，这与长江经济带生态效率 σ 收敛得到的结果一致。从长江经济带各流域的角度观察，上中下游的生态效率也呈现出显著的绝对 β 收敛，表明上中下游生态效率水平较低的省市对生态效率水平较高的省市有“追赶”效应。这反映出长江经济带生态效率呈现出协调发展特征。

表5 长江经济带及其上中下游生态效率 σ 收敛统计值

年份	长江经济带	上游	中游	下游
2003—2004	0.1412	0.0892	0.0923	0.2007
2004—2005	0.2051	0.2458	0.1523	0.1224
2005—2006	0.6820	0.1119	0.0363	0.5218
2006—2007	0.1960	0.0599	0.0637	0.2686
2007—2008	0.3295	0.1706	0.0660	0.4348
2008—2009	0.1677	0.1606	0.1459	0.1719
2009—2010	0.5484	0.1136	0.1846	0.6886
2010—2011	0.2595	0.1594	0.1643	0.3409
2011—2012	0.3255	0.3473	0.0934	0.3362
2012—2013	0.0941	0.0802	0.0401	0.1072

数据来源:根据公式(7)由生态效率值计算得到。

表6 长江经济带及其上中下游绝对 β 收敛的回归结果

项目	长江经济带	上游	中游	下游
常数项 a	0.0399***	0.0193	0.015	0.0846**
	(3.4072)	(1.5106)	(1.3018)	(2.963)
系数 b	−1.9442***	−0.8767***	−0.7152***	−1.0684***
	(−9.7208)	(−5.4443)	(−4.0174)	(−6.530)
R^2	0.8889	0.4658	0.8606	0.8356
F	94.4931***	29.64***	32.659***	42.6405***

注:*、**、*** 分别表示10%、5%、1%的显著性水平;括号内为 t 统计量值。

四、长江经济带生态效率的改善与协调发展

本文基于协调发展的视角,测度长江经济带各省市的生态效率,对差异性做比较,并进行收敛性分析。研究结果表明长江经济带整体呈现出较高的生态效率水平。其中,下游区域生态效率表现最好,上游和中游生态效率不及平均水平分居二、三位;上海生态效率水平在11个省市中居于首位;云南在上游和中游地区各省市中具有最高的生态效率水平。省际间和各流域间差异性显著,但这种差异呈现出缓慢下降的态势,表明长江经济带生态效率存在协调发展的有利条件。

根据上述结论,本文认为改善和发展长江经济带生态效率可以从如下两个方面进行:

(1)加快长江经济带生态一体化发展。经历了三十多年的高速增长,中国经济进入"新常态",各方面的资源环境面临紧缺,国内国际市场需求量下降,长江流域生态效率总体水平有待提高,区域差异显著,应该加强各区域间人才、技术和资金流动,促使先进的流域管理和流域生态等理念从下游区域向中、上游区域转移,推进"自上而下"式长江流域生态经济发展规划,消除各流域省市间的同质竞争,通过下游区域的高生态效率带动中、上游区域的生态效率的提高。长江经济带实现一体化能够为经济和资源环境协调发展提供良好的政策环境,能够促进生态环境方面形成联防、联控、联治机制,有利于生态效率的改善。

(2)各省市应结合自身实际发展状况推进生态文明建设。应该遵循"分区推进、适度开发、协调发展"的原则,从各省市的生态特点出发,对于经济发达且拥有较高生态效率的省市,它们拥有相对有力的财政支持和较为先进的技术支撑,重点关注其经济—资源—环境协调发展的可持续

性；对于欠发达地区，不应该片面追求生态效率的提升，优化资源配置、改善生产力空间布局、推进资源环境可承载的特色产业发展是首要任务，同时积极引进先进的技术，推进技术进步，有效提高生态效率。

参考文献：

[1]汪克亮，孟祥瑞，杨宝臣，等. 基于环境压力的长江经济带工业生态效率研究[J]. 资源科学，2015，37(7)：1491－1501.

[2]王旭熙，彭立，苏春江，等. 城镇化视角下长江经济带城市生态环境健康评价[J]. 湖南大学学报(自然科学版)，2015，(12)：132－140.

[3]SCHALTEGGER S，STURM A. Ökologische rationalität：Ansatzpunkte zur ausgestaltung von ökologieorientierten managementinstrumenten[J]. Die Unternehmung，1990，44(4)：273－290.

[4]WBCSD. Eco-efficient leadership for improved economic and environmental performance[R]. Geneva：WBCSD，1996：3－16.

[5]OECD. Eco-efficiency[R]. Paris：Organization for Economic Cooperation and Development，1998.

[6]SCHMIDHEINY S，ZORRAQUÍN F J. Financing change：The financial community，eco-efficiency and sustainable development[J]. Kentucky Banker Magazine，1997，7(451)：1972.

[7]尹科，王如松，周传斌，等. 国内外生态效率核算方法及其应用研究述评[J]. 生态学报，2012，32(11)：3595－3605.

[8]李美娟，陈国宏. 数据包络分析法(DEA)的研究与应用[J]. 中国工程科学，2003，5(6)：88－94.

[9]王恩旭，武春友. 基于超效率 DEA 模型的中国省际生态效率时空差异研究[J]. 管理学报，2011，8(3)：443－450.

[10]付丽娜，陈晓红，冷智花. 基于超效率 DEA 模型的城市群生态效率研究——以长株潭“3＋5”城市群为例[J]. 中国人口·资源与环境，2013，23(4)：169－175.

[11]陈浩，陈平，罗艳. 基于超效率 DEA 模型的中国资源型城市生态效率评价[J]. 大连理工大学学报(社会科学版)，2015，(2)：34－40.

[12]邓波，张学军，郭军华. 基于三阶段 DEA 模型的区域生态效率研究[J]. 中国软科学，2011，(1)：92－99.

[13]焦源. 山东省农业生产效率评价研究[J]. 中国人口·资源与环境，2013，23(12)：105－110.

[14]张煊，王国顺，王一苇. 生态经济效率评价及时空差异研究[J]. 经济地理，2014，34(12)：153－160.

[15]查建平，王挺之. 环境约束条件下景区旅游效率与旅游生产率评估[J]. 中国人口·资源与环境，2015，(5)：92－99.

[16]程晓娟，韩庆兰，全春光. 基于 PCA-DEA 组合模型的中国煤炭产业生态效率研究[J]. 资源科学，2013，35(6)：1292－1299.

[17]王敏，张晓平. 基于 PCA-DEA 模型的中国省际生态效率研究[J]. 中国科学院大学学报，2015，32(4)：520－527.

[18]潘兴侠. 我国区域生态效率评价、影响因素及收敛性研究[D]. 南昌：南昌大学理学院，2014.

[19]FAERE R，PASURKA C. Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable：A nonparametric approach[J]. Review of economics & statistics，1989，71(1)：90－98.

[20]杨汝梁，王菁，孙元欣. 长三角地区服务业全要素生产率的测算(2003 年－2011 年)——基于 Malmquist 指数法[J]. 现代管理科学，2014，(2)：9－11.

[21]XAVIER SALA-I-MARTIN. The classical approach to convergence analysis[J]. Economic Journal，1996，106(437)：1019－36.

[22]HÖH H，SCHOER K，SEIBEL S. Eco-efficiency indicators in German environmental economic accounting[J]. Statistical Journal of the United Nations Economic Commission for Europe，2002，19：41－52.

[23]邱寿丰, 诸大建. 我国生态效率指标设计及其应用[J]. 科学管理研究, 2007, 25(1):20-24.
[24]黄和平, 伍世安, 智颖飙,等. 基于生态效率的资源环境绩效动态评估——以江西省为例[J]. 资源科学, 2010, 32(5):924-931.

Evaluation of Ecological Efficiency and Convergence of the Yangtze River Economic Belt from the Perspective of Coordinated Development

SUN Xin, ZHAO Xin, SONG Ma-lin
(*School of Statistics and Applied Mathematics*, *Anhui University of Finance and Economics*, *Bengbu* 233030, *China*)

Abstract: This paper establishes an input-output index system to measure ecological efficiency, using the super efficiency DEA model based on Malmquist-Luenberger index and evaluating ecological efficiency of Yangtze River Economic Belt and upstream, midstream and downstream from years 2003 to 2012, and calculates the differences and convergence of the ecological efficiency. The results show that, the overall average ecological efficiency of 11 provinces in Yangtze River Economic Belt is relatively high; the ecological efficiency of downstream is higher than that of the average; midstream and upstream is lower than that of the average. The regional difference of ecological efficiency is significant and differences among provinces are higher than upstream, midstream and downstream and the difference tendency has slowed down. The convergence of ecological efficiency generally exhibits overall convergence, local divergence; the upstream, midstream and downstream showing ecological efficiency convergence and absolute convergence. This shows that the Yangtze River economic belt has a favorable environment for the harmonious development of the ecological environment. Under the New Normal, we should pay more attention to the integration of the Yangtze River economic belt development process, make the high technology transfer from downstream to midstream and upstream, combine the development of ecological efficiency with the construction of ecological civilization and narrow the gap between different regions and promote the coordinated development of ecology.

Key Words: Yangtze River economic belt; ecological efficiency; super efficiency DEA; coordinated development; convergence