

基于生态足迹的湖南省洞庭湖生态经济区

全要素生态效率研究¹

李姣¹, 周翠烟¹, 张灿明², 刘富国¹, 汪杰¹

(1. 湖南师范大学商学院, 中国湖南长沙 410081; 2. 亚欧水资源研究和利用中心,
中国湖南长沙 410013)

【摘要】:以 2005—2015 年湖南省洞庭湖生态经济区 3 市 25 个县(市、区)为研究对象,运用“省公顷”模型计算生态足迹,作为生态投入要素,与资本、劳动力共同纳入全要素生态效率框架,运用包含非期望产出的超效率 SBM 模型,测算区域全要素生态效率;结合 Malmquist 指数及投入产出松弛率,探析效率变化成因及改进方向。研究结果表明:①区域全要素生态效率为弱有效水平,且空间差异显著;经历先恶化后改善、最后趋稳的过程,市级特征趋同,县级差异较大,仅 8 个保持稳定或较高水平。②2012—2015 年全区的效率提升速度加快,技术效率变化、技术进步变化交错推动效率提升,2014—2015 年实现同步推动作用。③劳动力投入和生态投入冗余明显,资本投入冗余不显著,期望产出不足和非期望产出过量的情况不显著。因此,政策上建议加强区域资源整合和环境规制,调整产业及能源结构。

【关键词】:湖南洞庭湖生态经济区;全要素生态效率;生态足迹;超效率 SBM 模型;绿色发展;环境协同治理

【中图分类号】:F124.5 **【文献标志码】:**A **【文章编号】:**1000 - 8462(2019)02 - 0199 - 08

DOI :10.15957/j.cnki.jjdl.2019.02.024

2014 年 4 月,洞庭湖生态经济区规划获国务院 批复,规划中明确指出,“以推进生态文明建设为主题,……,加快推动发展方式转变,努力把洞庭湖生态经济区建设成为更加秀美富饶的大湖经济区”。进入新时代,要抓住长江经济带、“一带一路”的机遇,坚持生态优先原则,守护一湖碧水,推动绿色发展。在生态保护与经济协调发展的背景下,有效测度区域全要素生态效率及空间分布,能为规划实施提供科学支持。湖南省境内的洞庭湖生态经济区约 4.64 万 km²,包括岳阳、常德、益阳三市及长沙市望城区的共 25 个县(市、区)。

研究思路,本文测算的全要素生态效率,与绿色全要素生产率、环境全要素生产率等概念有一致的内涵^[1-3],都体现了资源环境对经济增长的约束。不同的是,前者运用生态经济学领域的生态足迹表示生态投入,后两者主要采用能源或其他单一指标衡量对自然资源 and 环境的依赖。生态足迹作为表征生态投入的综合性指标,计算的是特定生活方式下,资源消耗及吸纳这一

¹收稿时间:2018 - 09 - 09;修回时间:2018 -12-25

基金项目:洞庭湖生态村镇与环保农业关键技术及应用示范国际合作专项(2015DFA90450);2016 年湖南省博士后日常经费资助;湖南师范大学生态文明研究院开放基金

作者简介:李姣(1974—),女,山东荣成人,博士,副教授。主要研究方向为资源环境政策与管理。E-mail:br00kljia0@163.com。

过程中废物所需的生物生产性土地面积,其有多种改进模型供选择^[4-6]。此外,由于期望产出(通常为GDP)常伴随非期望产出(如环境污染),测度效率时考虑非期望产出对效率水平的负向作用^[7-9],可以使结果更接近现实。因此,本文在理论上,将表征自然资本的生态足迹引入全要素生产率模型,正视完整的生态投入对经济增长的贡献,拓展了模型应用。同时,本文在研究尺度的选择上,考虑到目前研究多集中于国家、城市群或流域等宏观尺度,选择县级城市为评价单元的较少,在此一级微观尺度上测算和观察全要素生态效率及其变化,能够为地方政策提供更为具体的建议。

研究方法上,全要素生态效率和其他类似概念的分析,均基于全要素生产率分析框架,表现为投入与产出的比值,测度方法具有数学形式上的一致性,常用数据包络分析法(DEA)。针对传统DEA模型松弛改进的问题,Tone Kaoru先后提出非径向SBM模型和包含非期望产出的SBM模型^[10];但仍存在SBM模型中效率为1的有效决策单元无法进一步比较的问题,多数学者采用结合了超效率(SE)模型的SBM模型进行改进的效率测度^[11-13]。同时,为探讨全要素生产率的变化率及其成因,还会运用Malmquist指数(MI)进一步分解生产率^[14-15]。

基于已有研究,本文研究分两部分:一是计算洞庭湖生态经济区25个县(市、区)的生态足迹,对作为权重系数的均衡因子进行改进,采用“省公顷”模型计算出湖南省的均衡因子,据此测算出区域生态足迹。二是将生态足迹测算值作为生态投入的表征指标,与传统生产投入要素——资本、劳动力——共同纳入全要素生产率分析框架;运用包含非期望产出的超效率SBM模型,测算出区域全要素生态效率;在此基础上,结合Malmquist指数及投入产出松弛率,探析效率变化成因及政策改善方向。

1 研究方法 with 指标体系构建

1.1 研究方法

1.1.1 生态足迹模型

本文采用的生态足迹模型为成熟的传统模型:

$$EF = \sum q_i \sum P_{ij} / Y_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (1)$$

式中: q_i 为湖南省的均衡因子(不同类型土地所占权重)。考虑到县级层面的土地生产力和全球平均水平有很大差异,本文采用基于“省公顷”模型计算的湖南省均衡因子,代替全球均衡因子^[16]。计算公式为:

$$q_i = \frac{\bar{P}_i}{\bar{P}} = \frac{Q_i}{S_i} \bigg/ \frac{\sum Q_i}{\sum S_i} = \frac{\sum_k p_{ij} \cdot \alpha_{ij}}{S_i} \bigg/ \frac{\sum_i \sum_j p_{ij} \cdot \alpha_{ij}}{\sum S_i} \quad (2)$$

式中: q_i 指省域第*i*类土地的均衡因子; $\bar{P}_i$ 指第*i*类土地的平均生产力; $\bar{P}$ 指湖南省内全部土地的平均生产力; Q_i 指第*i*类土地的总生物产量; S_i 指第*i*类土地的生物生产面积; p_{ij} 指第*i*类土地的第*j*种生物产品产量; α_{ij} 指第*i*类土地第*j*种生物产品的单位热值。

1.1.2 超效率SBM模型

本文采用超效率 SBM 模型对全要素生态效率进行测算，假设有 N 个决策单元 (DMU)，其投入、期望产出和非期望产出向量分别为 $x \in R_n$, $y \in R_{q1}$, $z \in R_{q2}$ ，模型如下：

$$\begin{aligned}
 \min \rho = & \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{ik}}{1 - \frac{1}{q_1 + q_2} \left(\sum_{r=1}^{q_1} s_r^+ / y_{rk} + \sum_{t=1}^{q_2} s_t^{z-} / z_{tk} \right)} \\
 \text{s.t. } & X\lambda \leq x_k - s^- \\
 & Y\lambda \leq y_k + s^+ \\
 & Z\lambda \leq z_k - s^{z-} \\
 & 1 - \frac{1}{q_1 + q_2} \left(\sum_{r=1}^{q_1} s_r^+ / y_{rk} + \sum_{t=1}^{q_2} s_t^{z-} / z_{tk} \right) > 0 \\
 & s^+, s^-, \lambda \geq 0 \\
 & i = 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, q_1; \\
 & t = 1, 2, \dots, q_2; j = 1, 2, \dots, n (j \neq k)
 \end{aligned} \tag{3}$$

式中： ρ 表示目标函数值，即被评价单元的效率值；当投入产出有效时， $\rho = 1$ ，反之， $\rho \in [0, 1)$ ；变量 s^- 、 s^+ 、 s^{z-} 分别表示投入松弛变量、期望产出松弛变量和非期望产出的松弛变量； λ 为通过数据本身获得的反映各项投入与产出之间相对重要程度的权重系数； $X\lambda$ 、 $Y\lambda$ 、 $Z\lambda$ 分别表示被评价 DMU 的投影值（目标值）。超效率模型的核心是把被评价的 DMU 从参考集中剔除 ($j \neq k$)，也就是说，被评价的 DMU 是参考其他 DMU 构成的前沿得出的，从而实现对有效决策单元的进一步比较。

1.1.3 Malmquist 指数

Malmquist 指数最早由 Malmquist 提出，应用于评价效率的变化率，属动态评价^[17-18]。Malmquist 指数公式如下：

$$\begin{aligned}
 M &= \sqrt{\frac{Z_t(x_{t+1}, y_{t+1})}{Z_t(x_t, y_t)} \frac{Z_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{Z_{t+1}(x_t, y_t)}} \\
 &= \frac{Z_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{Z_t(x_t, y_t)} \times \\
 &\quad \sqrt{\frac{Z_t(x_t, y_t)}{Z_{t+1}(x_t, y_t)} \frac{Z_t(x_{t+1}, y_{t+1})}{Z_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}} \\
 &= EC \times TC
 \end{aligned} \tag{4}$$

式中:M 表示决策单元 DMU 从 t 到 t+1 期全要素生态效率的变化程度。M>1 时,表示全要素生态效率提高;M<1 时,表示全要素生态效率降低。其中, $Z_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})/Z_t(x_t, y_t)$ 表示技术效率变化, $\sqrt{\frac{Z_t(x_t, y_t)}{Z_{t+1}(x_t, y_t)} \frac{Z_t(x_{t+1}, y_{t+1})}{Z_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}}$ 表示技术进步变化。

1.2 指标体系构建

1.2.1 生态足迹六大账户

本文采用的六类生态足迹账户包括:耕地、林地、草地、水域、化石能源用地(吸收 CO₂)和建设用地。依据湖南省统计年鉴中的各项生物账户年产量,这六类生态足迹账户的构成见表 1。

表1湖南省各类土地的生物生产性账户构成						
土地类型	耕地	林地	草地	水域	化石能源用地	建设用地
账户项目	稻谷、小麦、玉米、大豆、薯类、棉花、油料、黄红麻、苎麻、烤烟、茶叶、柑橘、猪肉	油茶籽、油桐籽、松脂、板栗、棕片、木材、竹材	牛肉 羊肉	鱼类、虾蟹类、其他	原煤、焦炭、原油、汽油、柴油、煤油、燃料油、液化石油气、炼厂干气、其他石油制品	用电量

表2全要素生态效率评价指标体系		
类别	指标名称	指标表征
投入指标	资本投入	固定资本存量
	劳动力投入	年末从业人员
	生态投入	生态足迹
产出指标	期望产出	区域生产总值(GDP)
	非期望产出	规模以上工业CO ₂ 排放量

1.2.2 全要素生态效率指标体系与数据说明

具体说明如下:①资本投入用固定资本存量表征,借鉴了柯善咨提出的估算地级市固定资本存量的方法,以实现全社会固定资产投资额向固定资本存量的转换^[19];②劳动力投入用年末从业人口数表征;③生态投入用基于“省公顷”模型的生态足迹模型计算出的生态足迹值表征,涵盖了六类土地类型账户,较全面地反映了人类对资源的需求以及对吸纳生产活动中产生的污染物的环境需求;④关于期望产出指标,为消除价格变动影响,本文使用 GDP 平减指数,将历年现价 GDP 转化为 2005 年的不变价格;⑤非期望产出指标用 CO₂ 排放量表征。选取此指标的依据主要是:一方面,“三废”虽能更全面地反映伴随生产活动而来的环境污染,但县级行政区的数据多不可得;另一方面,由于研究范围为湖南洞庭湖生态经济区(4.64 万 km²),其水域面积(约 0.4 万 km²,包括湖泊湿地 0.2625 万 km²与河流湿地 0.13 万 km²)占生态经济区总面积的 8.6%。因此,除废水污染,CO₂ 的大量排放也是湖区突出的环境问题。CO₂ 排放量的计算根据 IPCC (2006) 的碳排放系数模型,原始排放系数也来源于此(CO₂ 排放量=CO₂ 排放系数•能源消耗量)。其他未说明的数据,除望城区的来源于 2005—2015 年《湖南省统计年鉴》,其他均来自各县(市、区)2005—2015 年的统计年鉴。

2 结果分析

2.1 洞庭湖生态经济区的生态足迹

2.1.1 湖南省均衡因子测算结果

湖南省 2005—2015 年的均衡因子计算结果见表 3。

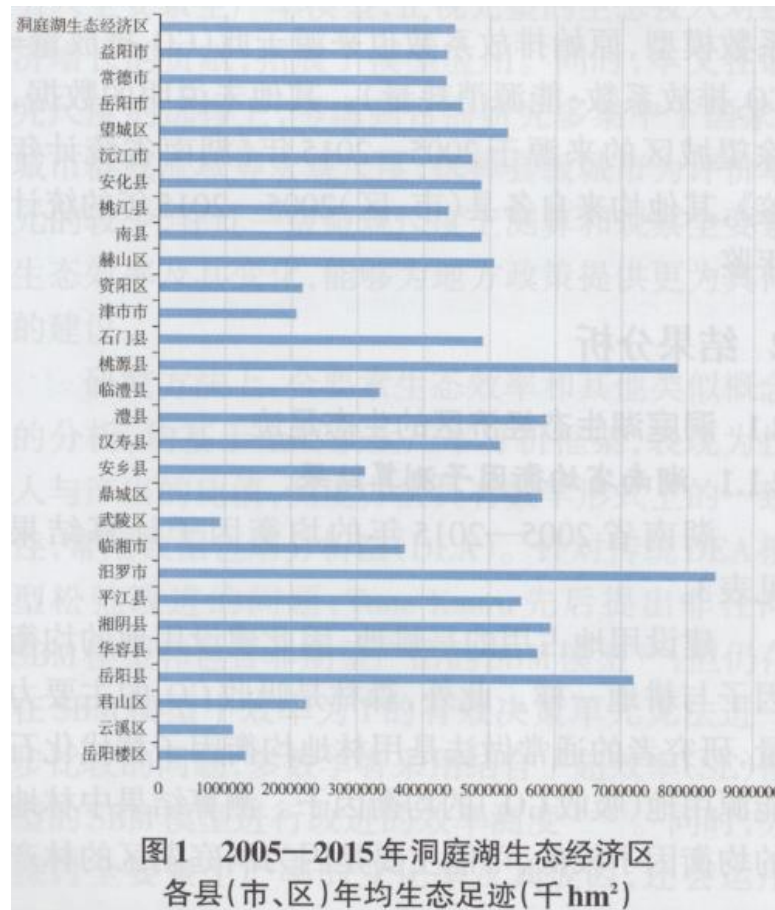
表3 2005—2015年湖南省均衡因子

年份	耕地	林地	牧草地	水域
2005	4.36	0.13	3.50	0.30
2006	4.46	0.11	3.55	0.30
2007	4.33	0.15	3.32	0.28
2008	4.35	0.16	2.56	0.22
2009	4.15	0.11	1.95	0.16
2010	4.14	0.11	1.96	0.16
2011	4.09	0.12	1.83	0.15
2012	4.11	0.10	1.71	0.14
2013	4.01	0.12	1.91	0.16
2014	4.03	0.11	1.73	0.16
2015	4.10	0.09	1.56	0.17

建设用地占用的是耕地，因此建设用地的均衡因子与耕地一样。此外，森林是吸收 CO₂ 的主要力量，研究者的通常做法是用林地均衡因子替代化石能源用地(吸收 CO₂)的均衡因子。测算结果中林地的均衡因子较低，可能主要是因为洞庭湖区的林产品种类多，难以统计，统计年鉴中反映为林产品类目不全。

2.1.2 生态足迹测算结果

由图 1 可知，洞庭湖生态经济区整体与岳阳、常德、益阳三市的年均生态足迹接近。25 个县(市、区)差异较大，生态足迹年均最低的是武陵区，其次是云溪区和岳阳楼区。生态足迹年均最高的是汨罗市，其次为桃源县和岳阳县。值得注意的是，武陵区的生态足迹不到常德的 1/4，汨罗市的生态足迹几乎达到常德年均水平的 2 倍。



2.2 洞庭湖生态经济区的全要素生态效率

样本数量符合 MAXDEA Ultra 7.0 软件对被评价单元数量的要求,即决策单元的数量不少于投入和产出指标数量的乘积,同时不少于投入和产出指标数量的 3 倍。各县(市、区)的全要素生态效率测算值见表 4。

表 4 2005—2015 年各县(市、区)全要素生态效率均值及其排名

区县	SE-SBM 全要素生态效率											均值	排名
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		
岳阳楼区	1.00	0.44	0.37	0.53	0.60	0.46	0.54	1.23	2.30	2.49	2.63	1.14	5
云溪区	1.32	1.30	1.42	1.21	1.42	1.21	1.20	1.30	1.30	1.40	1.43	1.32	3
君山区	1.04	1.25	1.18	1.13	1.13	1.11	1.08	1.15	1.03	1.04	1.09	1.11	7
岳阳县	0.80	0.79	0.71	0.48	0.45	0.42	0.38	0.39	0.35	0.33	0.32	0.49	22
华容县	1.09	1.10	1.08		0.53	0.51	0.47	0.47	0.42	0.36	0.37	0.67	12
湘阴县	0.85	0.81	0.73	0.49	0.50	0.46	0.43	0.44	0.36	0.33	0.32	0.52	20
平江县	1.02	0.79	1.00	0.63	0.53	0.49	0.45	0.45	0.41	0.40	0.40	0.60	14
汨罗市	0.67	0.66	0.60	0.47	0.45	0.42	0.39	0.40	0.37	0.33	0.33	0.46	24
临湘市	0.65	0.64	0.58	0.53	0.52	0.55	0.55	0.57	0.51	0.50	0.55	0.56	16
武陵区	1.81	2.28	2.91	4.10	2.02	3.93	4.14	2.12	1.35	1.32	1.24	2.47	1
鼎城区	1.02	1.03	1.03		0.65	0.62	0.60	0.48	0.49	0.47	0.46	0.71	11
安乡县	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.07	1.08	1.05	1.12	1.11	1.12	1.08	8

汉寿县	1.01	0.84	0.87	0.83	0.67	1.00	0.63	1.00	1.00	1.00	0.72	0.87	9
澧县	0.85	0.71	0.65	0.51	0.47	0.43	0.41	0.88	0.49	0.44	0.46	0.57	15
临澧县	1.00	0.82	0.76	0.70	0.68	0.65	0.62	0.66	0.64	0.63	0.70	0.71	10
桃源县	0.41	0.44	0.45	0.42	0.39	0.39	0.39	1.03	0.64	0.52	0.56	0.51	21
石门县	0.38	0.39	0.40	0.42	0.42	0.42	0.43	0.80	0.55	0.51	0.54	0.48	23
津市市	1.03	1.10	1.15	1.22	1.41	1.18	1.31	1.23	1.21	1.19	1.13	1.20	4
资阳区	1.88	2.40	1.77	1.74	2.11	1.90	1.92	2.46	1.98	2.00	1.64	1.98	2
赫山区	0.37	0.39	0.37	0.32	0.29	0.31	0.32	0.59	0.49	0.45	1.00	0.45	25
南县	1.06	1.07	1.07	1.06	1.06	1.03	1.09	1.08	1.23	1.33	1.32	1.13	6
桃江县	0.60	0.65	0.65	0.56	0.53	0.49	0.46	0.48	0.45	0.45	0.42	0.52	19
安化县	0.71	0.67	0.64	0.60	0.59	0.56	0.57	0.72	0.61	0.70	0.54	0.63	13
沅江市	0.71	0.72	0.58	0.52	0.49	0.47	0.44	0.50	0.46	0.45	0.46	0.53	18
望城区	0.75	0.48	0.41	0.41	0.40	0.40	0.36	1.31	0.50	0.48	0.47	0.54	17
岳阳市	0.94	0.86	0.85	0.72	0.68	0.63	0.61	0.71	0.78	0.80	0.83	0.76	
均值													
常德市	0.95	0.96	1.03	1.14	0.86	1.08	1.07	1.03	0.83	0.80	0.77	0.96	
均值													
益阳市	0.89	0.98	0.85	0.80	0.85	0.79	0.80	0.97	0.87	0.90	0.89	0.87	
均值													
全区均值	0.92	0.91	0.90	0.88	0.77	0.82	0.81	0.91	0.81	0.81	0.81	0.85	

表 4 观察可得，洞庭湖生态经济区的全要素生态效率均值接近，但都低于 1，表明在 2005—2015 年处于弱有效水平。其次，区域全要素生态效率存在显著的空间差异。排在前五的是：武陵区、资阳区、云溪区、津市市、岳阳楼区。武陵区每年的效率都超过 1，表明该区投入产出长期有效。该区第三产业发达，占比 GDP 高达 74.1%(2016 年武陵区政府工作报告)，说明产业结构的高度化极大降低了武陵区的能源消耗量和能源消耗强度。

2.2.1 全要素生态效率的测度结果分析

①时间序列特征分析。根据图 2，进一步分析洞庭湖生态经济区的时间序列特征。由图可知，洞庭湖生态经济区的全要素生态效率具有先降低后增加、最后趋于稳定的特征，意味着全区投入产出效率经历了先恶化再改善的过程。其中，岳阳全要素生态效率值的时间变化曲线呈“U”型，常年居于洞庭湖生态经济区的曲线下，说明其拉低了区域整体的全要素生态效率水平。常德市全要素生态效率值在高水平段波动大，有 4 个年份的全要素生态效率实现了完全有效，近几年有明显恶化趋势，但常年居于区域全要素生态效率曲线之上，表明常德对拉高湖区的全要素生态效率水平起正向作用。益阳市的曲线与全区的曲线近于重合，变化趋势趋于一致。

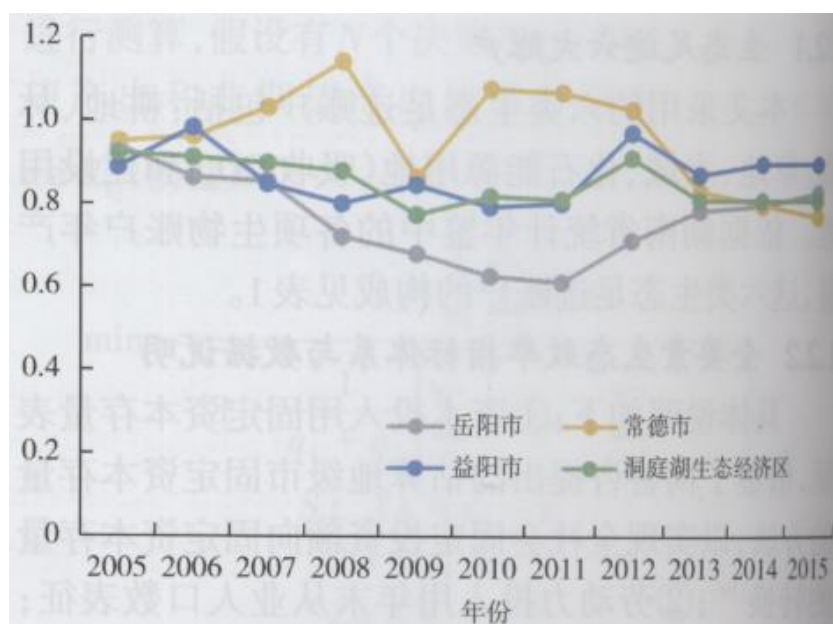
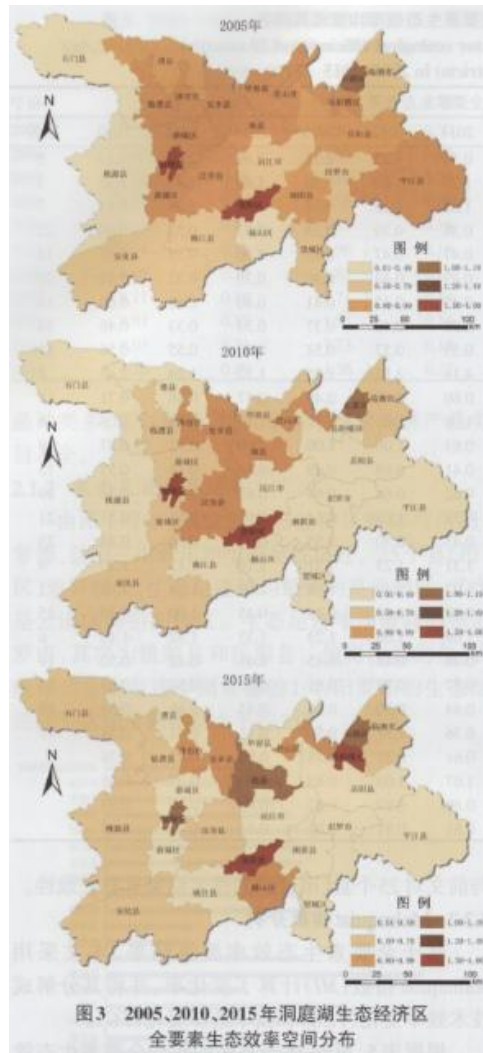


图2 2005—2015年洞庭湖区生态经济区全要素生态效率走势

其次，洞庭湖生态经济区与岳阳、常德、益阳的全要素生态效率存在趋同特征。虽然前期有很大差异，但 2013—2015 年间全要素生态效率都在 0.8~1 的范围内，意味着 3 市接近于投入产出完全有效的水平，稳定性较高，湖区整体发展趋向均衡。

②空间分布及演变特征分析。为了掌握各县区的全要素生态效率值的空间分布及演变特征，运用 ArcGIS 10.0 软件空间分析技术的自然间断点分级法，绘制了 2005、2010、2015 年的全要素生态效率分布图（图 3），并将效率值划分为六个层次。从整体空间分布及演变特征看，2005、2010 年的区域全要素生态效率值呈中间高、两边低的特征，2015 年表现为分布不均，且整体生态效率呈下降趋势。



从各县(市、区)的空间分布演变看, 8 个县区的全面要素生态效率保持稳定或较高水平, 一直保持较高有效水平的为云溪区, 保持高有效水平的则有武陵区 and 资阳区。值得重视的是, 高达 11 个县区一直处于无效水平。其中, 部分还在进一步恶化。5 个县区的全面要素生态效率值从有效转为无效, 仅赫山区 1 地实现了从无效到有效的转变。以上分析与前文对 25 个县(市、区)的排名结果具有一致性。

2.2.2 Malmquist 指数分析

基于全面要素生态效率测算结果, 本文采用 Malmquist 指数 (MI) 计算了变化率, 并将其分解成 (TEC) 技术效率变化和技术进步变化 (TC)。

表 5 2005—2015 年 Malmquist 指数分解

地区	Malmquist 指数 (MI)	技术效率变化率 (TEC)	技术变化率 (TC)
岳阳楼区	1.04	1.21	0.93
云溪区	0.97	1.01	0.96
君山区	0.91	1.01	0.91

岳阳县	0.89	0.92	0.98
华容县	0.95	0.91	1.08
湘阴县	0.91	0.91	1.00
平江县	0.88	0.92	0.97
汨罗市	0.93	0.93	1.01
临湘市	0.95	0.99	0.96
武陵区	1.08	1.00	1.11
鼎城区	0.91	0.93	0.99
安乡县	0.97	1.01	0.97
汉寿县	0.96	1.01	1.01
澧县	0.95	1.00	1.05
临澧县	0.92	0.97	0.95
桃源县	1.08	1.11	1.07
石门县	1.03	1.06	1.01
津市市	0.93	1.01	0.92
资阳区	0.91	1.00	0.94
赫山区	1.12	1.17	1.02
南县	0.99	1.02	0.97
桃江县	0.92	0.97	0.96
安化县	0.96	0.98	0.98
沅江市	0.92	0.96	0.96
望城区	0.95	1.14	1.09
岳阳市均值	0.94	0.98	0.98
常德市均值	0.98	1.01	1.01
益阳市均值	0.97	1.02	0.97
全区均值	0.96	1.00	0.99

根据表 5，可知 25 个县区的年均全要素生态效率 Malmquist 指数及其分解结果。全区全要素生态效率小幅下降(MI=0.96)，技术效率变化(TEC=1.00)和技术进步变化(TC=0.99)对区域全要素生态效率的提升无明显的推动作用。其中，岳阳全要素生态效率(MI<1)在提高的同时，受技术效率变化(TEC<1)和技术进步变化(TC<1)的双重约束。常德的 MI 指数虽小于 1，但技术效率变化(TEC>1)和技术进步变化(TC>1)对全要素生态效率的提高均有贡献。这是因为常德的效率波动大，同其时间序列的不稳定性具有一致性。益阳 MI 指数和 TC 均小于 1，但 TEC 大于 1，表明益阳在科研、宣传等基础能力建设上的投入，在促使技术效率转化为全要素生态效率中具有正向效应。此外，各县区的全要素生态效率变化及成因有显著差异。其中，有 8 个县区的长期效率变化幅度小，技术进步变化不明显，表现为 Malmquist 指数均值低于 1。

表 6 洞庭湖生态经济区各年份平均 Malmquist 指数及其分解

年份	Malmquist 指数 (MI)	技术效率变化率 (TEC)	技术变化率 (TC)
2005—2006	0.77	0.96	0.82
2006—2007	0.87	0.96	0.91
2007—2008	0.99	0.94	1.06
2008—2009	0.96	0.94	1.05
2009—2010	0.99	1.01	0.99

2010—2011	0.95	0.98	0.99
2011—2012	0.94	1.37	0.76
2012—2013	1.10	0.90	1.30
2013—2014	0.98	0.97	1.01
2014—2015	1.02	1.03	1.00

由表 6 中 2005—2015 年三类指标 (MI、TEC、TC) 的动态变化可知, 洞庭湖生态经济区的全要素生态效率经历了先降后增、再降再增的波动过程, 但变化幅度均非常小; 同时, 2012—2013 年、2014—2015 年实现了全要素生态效率的增长。从分解指标看, 技术效率变化在 2009—2010 年、2011—2012 年、2014—2015 年对全要素生态效率的改善起促进作用, 2011—2012 年技术效率变化增长率高达 37%。与此同时, 技术进步变化在 2012—2015 年间连续地、极大地推动了全要素生态效率的提高整体上, 洞庭湖生态经济区全要素生态效率的提升速度越来越明显, 技术效率变化和技术进步变化两大动力源泉实现了同步推动作用。

2.2.3 投入产出松弛率分析

为了针对性地提出改善洞庭湖生态经济区全要素生态效率的政策建议, 本文从投入产出松弛率的视角, 分析全要素生态效率可改善的方向。根据超效率 SBM 模型, 当全要素生态效率 <1 时, 松弛量 s^- 、 s^+ 、 s^{z-} 的大小可以反映全要素生态效率损失的原因。

表 7 25 个县(市、区)的年均投入产出松弛率

地区	资本 冗余率	劳动力 冗余率	生态投入 冗余率	期望产出 不足率	非期望产出 不足率
岳阳楼区	0.35	0.32	0.17	0.37	-0.14
云溪区	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
君山区	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
岳阳县	0.33	0.51	0.67	0.00	-0.28
华容县	0.22	0.40	0.43	0.00	-0.23
湘阴县	0.26	0.57	0.61	0.01	-0.42
平江县	0.17	0.57	0.46	0.00	-0.24
汨罗市	0.27	0.59	0.75	0.00	-0.46
临湘市	0.31	0.52	0.49	0.00	-0.42
武陵区	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
鼎城区	0.10	0.37	0.41	0.00	0.00
安乡县	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
汉寿县	0.04	0.19	0.16	0.00	0.00
澧县	0.23	0.50	0.54	0.00	-0.06
临澧县	0.15	0.45	0.25	0.00	-0.03
桃源县	0.23	0.58	0.65	0.00	-0.19
石门县	0.37	0.59	0.60	0.00	-0.44
津市市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
资阳区	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
赫山区	0.50	0.59	0.57	0.00	-0.01
南县	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00

桃江县	0.20	0.71	0.53	0.00	-0.16
安化县	0.09	0.54	0.48	0.00	0.00
沅江市	0.27	0.61	0.55	0.00	-0.10
望城区	0.44	0.37	0.65	0.00	-0.13
岳阳市均值	0.21	0.39	0.40	0.04	-0.25
常德市均值	0.12	0.30	0.29	0.00	-0.08
益阳市均值	0.17	0.41	0.35	0.00	-0.04
全区均值	0.18	0.36	0.36	0.02	-0.13

观察表 7 可发现，洞庭湖生态经济区劳动力冗余、生态投入冗余现象较严重，资本投入冗余、期望产出不足和非期望产出过量的情况不显著。前者反映出洞庭湖生态经济区劳动力和资源的浪费以及配置的不合理，后者表明资本投入得到较充分的利用，实现经济增长的同时对环境的负面影响较低。但从各县区的具体情况看，存在不同方面、不同程度的改进空间。资本冗余现象最突出的是效率居末位的赫山区，劳动力投入冗余现象最严重的是排名 19 的桃江县，生态投入冗余现象最高的是排在 22 位的岳阳县。虽然岳阳楼区排名第 5，但期望产出离期望值仍有差距。此外，非期望产出过量现象较严重的有：湘阴县、汨罗市、临湘市、石门县，表明这些县区能源消耗带来的 CO₂排放量过高。

3 结论与政策启示

根据洞庭湖生态经济区的全要素生态效率分析，研究结论如下：

①洞庭湖生态经济区的全要素生态效率处于弱有效水平，且存在显著的空间差异。从时间序列特征分析可得：其投入产出效率经历了先恶化再改善的过程，最后达到稳定。其中，常德市拉高了区域全要素生态效率水平，岳阳市的作用正好相反，岳益常三市的全要素生态效率趋同特征明显。空间分布及演变特征分析表明：区域全要素生态效率值的分布由中间高、两边低的格局转变为分散格局，其中 8 个县区保持稳定或较高水平，仅赫山区 1 地实现了无效到有效的转变，5 个县区由有效转为无效，11 个县区长期处于无效水平。

②从 Malmquist 指数及其分解结果可得，研究期内的技术效率变化和技术进步变化，对区域全要素生态效率的推动不明显。在市级层面，两大动力源对常德均有显著推动作用，对岳阳均表现为抑制作用，对益阳则表现为技术效率变化的推动作用和技术进步变化的抑制作用。在县区层面，两者对 25 个县区的作用程度和作用方向都存在明显差异。根据 2005—2015 年 MI、TEC、TC 的动态变化可知，区域全要素生态效率波动幅度小，且 2012—2013 年、2014—2015 年呈增长趋势。长期以来，技术效率变化和技术进步变化交错推动区域全要素生态效率提升，仅 2014—2015 年实现了同步促进作用。

③从投入产出松弛率视角看，区域整体的劳动力冗余、生态投入冗余现象较为严重，资本投入冗余不显著，期望产出不足和非期望产出过量的情况不显著，反映出区域全要素生态效率损失的主要原因。

根据以上结论，得出以下政策启示：

①整合区域各类资源，发挥协同治理效应。打破跨区域治理的壁垒，是缩小洞庭湖生态经济区全要素生态效率差异必须的一环，可充分发挥跨区域、跨部门的治理监督作用。同时根据各地环境资源禀赋和目标要求，将自然资本与环保责任贯穿其中，量化考核跨区域的治理绩效。在信息平台建设与整合上，可完善碳交易平台和排污权交易平台，激励清洁生产，实现污染型和非污染型企业的对接。搭建专家库，为企业转型、技术创新提供咨询服务。合理利用政府与资本合作模式（PPP），为环境治理项目争取社会资本，提高生态公共品的供给效率。

②加强环境规制，鼓励地方参与管理。一方面，环境规制领域需继续加强科学规划与管理。充分考虑生态保护红线和环境质量底线，对生态脆弱区和限制开发区采取严格的污染总量排放控制方法。对大气污染进行实时监测和必要的关停并转，加强水体防治与土壤污染治理，对污染严重的区域进行生态修复。另一方面，面对复杂的湖区治理与效率提升问题，需在公共资源治理与善治的原则下，鼓励当地民众参与治理过程，切实整合地方利益相关者的实际诉求，运用地方智慧，对相互冲突的目标及成因进行梳理和排序，形成地方协调发展的真实目标和有效的冲突解决机制。

③转变发展方式，改善能源结构。结合洞庭湖生态经济区各地的优势资源和产业基础，继续推进产业结构升级和转型。除发展高效农业和推进新型工业化，可积极发展独特的文化旅游业，深入挖掘丰富的自然禀赋和历史文化遗产，延伸和拓展文化体验与生态旅游。与此同时，能源生态足迹是湖区生态足迹的重要组成部分，煤炭依旧是当地能源消耗的主要构成。可综合采用提高技术创新投入(如碳捕捉和封存技术)、完善相关配套设施(如燃气管网)、提供良好的创新环境(如为专利保护提供完善的法律基础)等措施。

参考文献:

- [1]汪锋, 解晋. 中国分省绿色全要素生产率增长率研究[J]. 中国人口科学, 2015(2):53 - 62.
- [2]孙欣, 赵鑫. 长江经济带生态全要素生产率评价及协调性分析[J]. 湖州师范学院学报, 2016, 38(7):1-9.
- [3]肖攀, 李连友, 唐李伟, 等. 中国城市环境全要素生产率及其影响因素分析[J]. 管理学报, 2013, 10(11):1 681 - 1 689.
- [4]胡姚雨. 基于生态足迹视角的中国全要素生态效率研究[D]. 南京: 东南大学, 2016.
- [5]史丹, 王俊杰. 基于生态足迹的中国生态压力与生态效率测度与评价[J]. 中国工业经济, 2016(5):5-21.
- [6]黄和平, 胡晴, 乔学忠. 基于绿色 GDP 和生态足迹的江西省生态效率动态变化研究[J]. 生态学报, 2018(15):1 - 11.
- [7]郭露, 徐诗倩. 基于超效率 DEA 的工业生态效率——以中部六省 2003—2013 年数据为例[J]. 经济地理, 2016, 36(6): 116-121.
- [8]冯杰, 张世秋. 基于 DEA 方法的我国省际绿色全要素生产率评估——不同模型选择的差异性探析[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2017, 53(1): 151 - 159.
- [9]杜嘉敏. 基于超效率 DEA 的中国省际能源效率评价[J]. 生态经济, 2015, 31(7):51 -55.
- [10]Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis [J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3):498-509.
- [11]Tone K. Dealing with undesirable outputs in DEA: A slacks-based measure(SBM) approach[EB/OL]. <http://sciedlinks.jp/east>, 2007-04-01.
- [12]Andersen P, Petersen N C. A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis [J]. Management Science, 1993, 39(10): 1 261 -1 264.

-
- [13]刘心,李淑敏.基于非期望产出 SBM 模型的中国各省份能源效率的实证分析[J]. 数学的实践与认识, 2015, 45 (2):35-43.
- [14]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.
- [15]李健,邓传霞,张松涛.基于非参数距离函数法的区域生态效率评价及动态分析[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29 (4):19-23.
- [16]张恒义,刘卫东,王世忠,等. “省公顷”生态足迹模型中均衡因子及产量因子的计算——以浙江省为例[J]. 自然资源学报, 2009, 24 (1):82-92.
- [17]Malmquist S. Index numbers and indifference surfaces [J].Trabajos De Estadistica, 1953,4(2):209 - 242.
- [18]R FaRe, S Grosskopf, B Lindgren, et al. Productivity Changes in Swedish Pharmacies 1980-1989: A Non-Parametric Malmquist Approach [j]. Journal of Productivity Analysis, 1992, 3(1-2):85- 101.
- [19]柯善咨,向娟. 1996—2009 年中国城市固定资本存量估算[J]. 统计研究, 2012, 29 (7): 19 - 24.