

生态文明视角下生态效率评价分析

——以湖北省为例¹

周蓉蓉

（中国社会科学院 财经战略研究院，北京 100028；

山东省高级人民法院，山东 济南 250101）

【摘要】：在加快推进生态文明建设的过程中，实现绿色发展的背景下如何在最少的资源消耗和最轻微的环境损害的前提下取得最优的经济效益，是现阶段湖北省推进生态文明建设的迫切而关键的问题之一。基于 2005-2014 年湖北省 12 个地级市面板数据，运用 Malmquist 生产率指数（MPI）计算出湖北省地级市生态效率并对其结果进行分析。研究显示：2005-2014 年湖北省的生态效率出现波动下降趋势，全省各地的环境生产总体状况呈现出环境生产技术水平大幅下降，环境生产效率却在上升的形式。但由于技术效率提高的速度小于技术退化的程度，最终使得湖北全省全要素环境生产率有所下降。

【关键词】：生态效率；地级市；湖北省

【中图分类号】：F062.2

【文献标识码】：A

【文章编号】：1671-4407（2018）03-212-06

1、引言

随着生态文明建设的不断推进，湖北省作为中部的支点，面临着环境污染与生态破坏的双重压力^[1]，湖北省同样走着一一条资源型增长路线，通过高消耗和高污染的投入获得低质低量的产出方式的“先污染，后治理”工业化道路。然而在目前经济增长相对平缓的“经济新常态”阶段，湖北省的资源消耗和面临的生态环境压力势必会持续增大。在加快推进生态省的建设以及实现绿色发展的背景之下，如何争取在最少资源消耗和最轻微的环境损害前提下，取得最优的经济产出和最高的生态效率，是现阶段湖北省推进生态文明建设迫切而关键的问题之一。

在生态文明建设的背景下，湖北省市域生态效率评价更值得期待。如何突破原有区域生态效率评价的局限，站在生态文明建设的战略高度，建立生态效率评价的新基准，并把资源消耗、环境损害、生态效益纳入区域生态效率评价体系，重新审视、客观评价湖北省市域生态效率，为推进湖北省生态文明建设指引方向。但关于湖北省市域生态效率评价方面的文献并不多见，本文将深入探讨湖北省市域生态效率评价问题，从资源消耗、环境污染、期望产出三方面构建评价指标体系，深入研究生态文明建设中湖北省市域生态效率评价问题，以期对湖北省各地级市生态效率进行客观评价并提出改进政策措施，因此本文研究结论对推动湖北省生态文明建设具有较强的借鉴意义。

¹【作者简介】：周蓉蓉（1987-），女，山东济南人，博士生，研究方向为产业经济学、移动互联网与电子商务创新。E-mail: rongrong8799@126.com

2、研究模型与数据来源

2.1 MPI 模型

20 世纪 50 年代, 经济学家 Malmquist^[2]首次提出消费指数, 即 Malmquist 指数, 用来表征和分析不同时期的消费边框情况。随后, Caves 等^[3]1982 年将 Malmquist 指数引入到生产率评价分析领域, 形成了 Malmquist 生产率指数 (MPI)。1994 年, 随着 Färe 等^[4]在 Malmquist 指数算法上的研究突破, 其应用范围得到进一步拓展与延伸, 他们提出了一种理论的非参数的线性规划算法, 并在 Shephard^[5]的距离函数的应用基础上, 将全要素生产率增长分解成两个部分, 即“技术变动”与“技术效率变化”。具体来说, Färe 等人修正的 MPI 用公式如下所示:

$$M_i(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \left[\frac{D_i^t(x^t, y^t)}{D_i^t(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D_i^{t+1}(x^t, y^t)}{D_i^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{D_i^t(x^t, y^t)}{D_i^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \left[\frac{D_i^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_i^t(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D_i^{t+1}(x^t, y^t)}{D_i^t(x^t, y^t)} \right] \quad (1)$$

式 (1) 中: 需要计算 $[D_i^t(x^t, y^t)]^{-1}$ 、 $[D_i^{t+1}(x^t, y^t)]^{-1}$ 、 $[D_i^t(x^{t+1}, y^{t+1})]^{-1}$ 和 $[D_i^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})]^{-1}$ 等 4 个距离函数。具体而言, $[D_i^t(x^t, y^t)]^{-1}$ 指的是依据第 t 期的技术效率水平; $[D_i^{t+1}(x^t, y^t)]^{-1}$ 指的是依据第 $t+1$ 期的技术效率水平, 被评价单位在第 t 期的技术效率水平; $[D_i^t(x^{t+1}, y^{t+1})]^{-1}$ 指的是在第 $t+1$ 期被评价单位的技术效率水平; $[D_i^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})]^{-1}$ 的是依据第 t 期的技术水平, 被评价单位在第 $t+1$ 期的技术效率水平。

Kortelainen^[6]基于 MPI 构造的生态环境绩效指数, 假定 $EE_k(Z^s, V^s, t)$ 指的是依据第 s 期的产出数据, 在第 t 期环境生产技术前沿下计算出的第 k 个决策单元的相对生态效率, 用公式表示如下:

$$[EE_k(Z^s, V^s, t)]^{-1} = \min_w \sum_{i=1}^M W_i \frac{Z_{ki}^s}{Z_k^s} \quad (2)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{i=1}^M W_i \frac{Z_{ki}^t}{V_k^t} \geq 1 \\ \sum_{i=1}^M W_i = 1 \end{cases}$$

$$W_i \geq 0, i = 1, \dots, M$$

为了评价从 $t-1$ 到 t 期之间第 k 个决策单元的动态环境绩效变化, Kortelainen 分别使用第 $t-1$ 期和第 t 期的环境生产技术前沿作为依据, 运用公式 (2) 所列的线性规划来获得一个环境绩效指标。若在选取环境生产技术前沿时的依据是 $t-1$ 期的, 则 $[t-1, t]$ 期间内第 k 个决策单元的动态环境绩效变化可通过下列式子展现出来, 如式 (3):

$$EPI_k(t-1) = \frac{EE_k(Z^t, V^t, t-1)}{EE_k(Z^{t-1}, V^{t-1}, t-1)} \quad (3)$$

同样地, 若第 t 期的环境生产技术前沿作为依据, 则第 k 个决策单元在 $[t-1, t]$ 期间内的动态环境绩效变化可通过下列式子展现出来, 如式 (4):

$$EPI_k(t) = \frac{EE_k(Z^t, V^t, t)}{EE_k(Z^{t-1}, V^{t-1}, t)} \quad (4)$$

Kortelainen 采用式 (3) 和式 (4) 的几何算术平均数来综合考虑两种计算指数结果, 求得 $[t-1, t]$ 期间内第 k 个决策单元的动态环境绩效变化, 即, $EPI_k(t-1, t)$ 见式 (5)。

$$EPI_k(t-1, t) = \left[\frac{EE_k(Z^t, V^t, t-1)}{EE_k(Z^{t-1}, V^{t-1}, t-1)} \times \frac{EE_k(Z^t, V^t, t)}{EE_k(Z^{t-1}, V^{t-1}, t)} \right]^{\frac{1}{2}}_{t=2, \dots, T} \quad (5)$$

Kortelainen 指出式 (5) 中的 $EPI_k(t-1, t)$ 相当于基于投入导向的 MPI, 若 $EPI_k(t-1, t)$ 大于 1, 说明 $[t-1, t]$ 期间内第 k 个决策单元的生态效率有所改善; 此外 $EPI_k(t-1, t)$ 的值与生态效率的改善程度成正比。相反地, 若 $EPI_k(t-1, t)$ 小于 1, 则说明 $[t-1, t]$ 期间内第 k 个决策单元的生态效率有所退步; 此外, $EPI_k(t-1, t)$ 的值与其生态效率的衰退程度成正比。为了进一步地探讨生态效率变化的根本原因, $EPI_k(t-1, t)$ 被 Kortelainen 分成两块, 即“相对生态效率变化”和“环境技术变化”, 具体表示参见式 (6)。

$$EPI_k(t-1, t) = \frac{EE_k(Z^t, V^t, t)}{EE_k(Z^{t-1}, V^{t-1}, t)} \times \left[\frac{EE_k(Z^{t-1}, V^{t-1}, t-1)}{EE_k(Z^{t-1}, V^{t-1}, t)} \times \frac{EE_k(Z^t, V^t, t-1)}{EE_k(Z^t, V^t, t)} \right]^{\frac{1}{2}} = \Delta EE_k(t-1, t) \times \Delta ENVITECH_k^{t, t-1} \quad t = 2, \dots, T \quad (6)$$

在式(6)中: $\Delta ENVITECH_k^{t, t-1}$ 说明的是连续两期内被评价单位的环境技术的变化程度, $\Delta EE_k(t-1, t) = \frac{EE_k(Z^t, V^t, t)}{EE_k(Z^{t-1}, V^{t-1}, t-1)}$ 说明的是连续两期内被评价单位的相对生态效率的变化程度数。

2.2 评价指标体系

对生态效率的概念掌握是确定和建立生态效率评价指标的基础前提。经济增加值（产出指标）与环境影响（投入指标）的比值即为生态效率。在生态效率评价指标的确定和建立, 除了要考虑这两类指标, 也要针对不同的评价对象做出不同的指标选择。

以往的文献中有部分学者针对企业及行业来选择指标, 也有另一部分学者针对国家及区域层面的生态效率评价来选择指标。本文根据以往文献对目前国内外关于生态效率评价指标的代表性文献进行梳理, 在此基础上对生态效率指标进行综述, 见表 1。

表 1 生态效率评价指标体系总结

来源	评价对象	生态效率公式中的子指标	生态效率公式中分母指标	
			投入项	产出项
Dahlström & Ekins ^[7]	英国的钢铁及铝制品行业	有效原材料产出; 有效能源产出; 经济价值产出	原材料投入、能源投入、单位人工投入	污染物排放量; 碳排放量
孙源元 ^[8]	石化企业	销售收入; 废水产生量; 废渣产生量	总资产、员工人数	
Höh H 等 ^[9]	德国	GDP	资本、劳动力、原材料、土地、能源、水	温室气体; 酸性气体
Hiltunen M R ^[10]	Kymen-laakso	GDP; EDP; ISEW; HDI; SBM	DMF (直接物质流)	
邱寿丰和诸大建 ^[11]	中国	GDP	土地、能源、水、原材料、劳动力	废水排放; 废气排放; 固废排放

李栋雁和董炳南 ^[12]	山东	GDP	劳动力、水资源消耗、能源消耗、土地消耗	废水排放；废气排放；固废排放
成金华等 ^[13]	中国	GDP	废气排放、固废排放、能源消耗、土地消耗、水资源消耗、人力消耗	经济发展总量
其他学者 ^[14-17]	湖南、大连、江苏等	GDP	土地、能源、水、原材料、劳动力	废水；废气；固废

因此本文除了通过在上文所提到的原则和依据的基础来构建湖北省地级市生态效率评价指标，还充分地考虑湖北省各地级市当前统计资料的完整性和工作的难度，特别是资料数据的可获得性等实际情况。因此，在设计适合湖北省各地级市的生态效率评价指标体系时，要从该区域各地级市的经济发展水平和环境发展水平两个方面入手。也就是说，指标的设计要反映湖北省各地级市生态效率评价指标体系的特殊性和评价指标的投入产出特性。生态效率评价指标体系的层次性不仅有助于本文对研究对象的机制进行分析，在选择和管理指标所测量的生态效率问题上也提供了实践意义。综上，本文基于目前研究和国内外已有成果，最后选择环境污染类、资源消耗类、经济产出类等三大类指标，作为衡量湖北省各地级市生态效率的标杆。

本文的产出指标采用经济总量 GDP 来代替，环境污染、资源消耗等指标来代替投入指标。此外，为了数据的科学性和可获得性，本文选择了以下各类具体指标来衡量湖北省各地级市生态效率演变情况，具体指标见表 2。

表 2 湖北省地级市生态效率评价指标体系

指标类型	指标类别	具体指标	单位
投入指标	环境污染	工业废水	万吨
		工业二氧化硫	_万吨_
		工业烟粉尘	吨
	资源消耗	建设用地面积	平方千米
		劳动力从业人数	万人
		万元 GDP 能耗	吨标准煤/万元
产出指标		GDP	亿元

2.3 数据来源

本文的数据来源于《湖北统计年鉴》，查阅发现《湖北统计年鉴》最早提供可查的数据为 2005 年的数据，而最新的数据为 2014 年的数据。因此在坚持研究期内样本数据全面、连续一致的基础上，本文的研究期为 2005-2014 年。样本地区选取的是湖北省 12 个主要的地级市。

此外，在本文中投入变量指标采用的均不是价值指标：采用万吨为单位的是工业废水、工业二氧化硫和工业烟粉尘的排放量，建设用地的面积单位是平方千米，而万元 GDP 能耗单位采用的是吨标准煤/万元，劳动力从业人数采用的单位则为万人，因此不需要进行价值平减。本文以 2005 年的数据为基期，对国内生产总值（GDP）进行指数平减。除工业烟粉尘排放量数据来自《中国城市统计年鉴》，其余所需数据均来自《湖北统计年鉴》（2006-2015 年）。

表 3 为湖北省 12 个主要地级市在研究期内各指标的平均值。表 4 为湖北省投入产出指标数据的描述性统计。整理后结果如下：

表 3 湖北省地级市研究期内各指标数据平均值

地级市	工业废水/ 万吨	工业二氧 化硫/万吨	工业烟粉 尘/万吨	建设用地 面积/平方 千米	劳动力从 业人数/万 人	万元 GDP 能 耗/(吨标 准煤/万 元)	GDP/亿元
武汉	2.16	10.03	2.84	571.40	176.91	1.04	5599.83
黄石	0.71	7.61	1.84	66.08	26.71	1.86	627.32
十堰	0.28	2.19	1.24	64.40	36.64	1.50	608.54
宜昌	1.42	4.87	1.71	122.30	46.68	1.61	1449.56
襄阳	1.00	5.33	1.89	111.39	42.87	1.55	1467.36
鄂州	0.26	3.31	1.80	51.78	17.58	1.78	5936.03
荆门	0.52	3.89	3.85	50.5	23.51	1.64	609.90
孝感	0.57	3.94	2.04	34.70	41.22	1.48	596.17
荆州	0.74	3.64	1.97	66.20	27.45	1.09	679.26
黄冈	0.35	1.38	1.31	35.40	24.79	1.22	618.85
咸宁	0.24	2.06	1.66	41.20	13.98	1.31	417.17
随州	0.16	0.64	0.83	52.10	9.87	0.85	369.22

表 4 湖北省各投产出指标描述性统计

指标	工业废水/ 万吨	工业二氧 化硫/万吨	工业烟粉 尘/万吨	建设用地 面积/平方 千米	劳动力从 业人数/万 人	万元 GDP 能 耗/(吨标 准煤/万 元)	GDP/亿元
平均值	0.6998	4.0724	1.9148	105.625	40.68525	47.7917	1581.6
标准差	0.5977	3.0174	1.1581	155.3533	46.3403	28.0991	5290.71
最小值	0.13	0.13	0.29	24	4.68	0.72	38.68
最大值	2.6	13.26	6.533	829	202.3	2.37	56039
样本数/个	120	120	120	120	120	120	120

从表 3 和表 4 中可以看出：（1）湖北省各地级市之间的经济发展水平并不均衡。具体分析，从 2005-2014 年，湖北省各地级市近 10 年的 GDP 统计标准差高达 5290.71 亿元，高于其平均值 1581.6 亿元；GDP 平均值的最大值为武汉地区的 5599.83 亿元，而最小值是随州地区，仅为 369.22 亿元，前者约是后者的 15.33 倍，可见湖北省的 12 个地级市之间的经济发展极不均衡。

（2）湖北省各地级市的经济活动对环境造成的影响差异较大。其中，工业废水、工业二氧化硫以及工业烟粉尘三项的排放量指标的标准差分别为 0.5977 万吨、3.0174 万吨和 1.1581 万吨，它们的最大最小值之比分别高达 20、102 和 22.5 倍。

3、实证过程及结果分析

3.1 湖北省生态效率动态分析

对于湖北省动态生态效率变化的分析、采用上文中所描述的 MPI 方法。MPI 表示从 t 期到 $t+1$ 期决策单元整体生产率的变化程度。即 $[t, t+1]$ 期间内决策单元的技术效率变动值，与生产技术变动值的几何平均数的乘积。若 $MPI > 1$ ，则表示该决策单元的生产率是在上升的；若 $MPI < 1$ ，说明与参照时期的值相比，决策单元的生产率是在衰退和下降。其中，MPI 还可以被分成两块，即生产效率变动（efficiency change, EC）和生产技术变动（technical change, TC）。

相对效率变化指数化（EC），指的是在 $[t, t+1]$ 期间内，决策单元的技术效率变动程度。相对效率变化指数测度了决策单元与当期的生产前沿面相连程度，所以常被称为“水平效应”或“追赶效应”。具体来说，当 $EC > 1$ ，表明决策单元的生产与生产前沿面更加靠近，相对技术效率也有所提高；而当 $EC < 1$ ，表明决策单元远离最优决策单元的前沿面。另外，相对效率变化指数的测度与参考期的选取无关。

生产技术变动指数（TC），指的是在 $[t, t+1]$ 期间内，决策单元的生产技术变化幅度，生产技术变动指数可以用来表示生产前沿面在 $[t, t+1]$ 时期内的移动情况，即“增长效应”或“前沿面移动效应”，用来反应技术进步与技术创新水平。与相对效率变化指数不同的是，生产技术变动指数所选参考期的生产前沿面与该效应的度量存在着关联性。 $TC > 1$ ，表明与所选基期相比，生产前沿面出现“向上”移动，表明生产技术在进步；而当 $TC < 1$ ，则相反，即决策单元的生产技术出现下降。此夕卜，生产技术变动指数又可以分解为“纯技术效率变化”和“规模效率变化”。

依据前文所选指标及样本数据，利用 Deap2.1 软件计算出产出导向的 MPI 指数，结果整理如下表 5 所示。表 5 为 2005–2014 年湖北省各地级市总体生态效率指数及其分解情况。

表 5 2005–2014 年湖北省各地市总体生态效率变化及其分解

年份	EC	TC	PEC	SC	MPI
2005–2006 年	0.936	1.083	0.988	0.947	1.013
2006–2007 年	1.057	1.028	0.973	1.086	1.086
2007–2008 年	0.998	1.01	1.038	0.961	1.008
2008–2009 年	0.973	1.016	1.006	0.967	0.989
2009–2010 年	1.055	1.005	0.982	1.075	1.061
2010–2011 年	1.025	1.047	0.996	1.029	1.073
2011–2012 年	1.018	0.965	1.013	1.004	0.982
2012–2013 年	1.005	0.941	0.997	1.007	0.945
2013–2014 年	1.009	0.926	0.992	1.017	0.934
平均	1.008	1.002	0.998	1.01	1.01

从表 5 中可以看出，湖北省的环境生产效率总体上呈现波动而且呈下行趋势。从 2005–2014 年，MPI 指数下降了 8.43%。从具体来看，2005–2006、2006–2007、2009–2010 及 2010–2011 年，湖北省的生态环境效率是在上升的，其中 2006–2007 年生态效率上升幅度最大，为 8.6%。而剩余年份，生态效率都呈现下降趋势，其中 2013–2014 年下降趋势最为明显，下降幅度为 6.6%。通过对 2005–2014 年湖北省 MPI 指数的具体分解可以看出，环境生产技术出现了下降，由 2005–2006 年技术进步 8.3%，到 2012–2014 年技术退步 7.4%，尽管在研究期内环境生产效率有了小幅上升，在 2005–2006 年，环境生产效率退步 6.4%，到 2013–2014 年环境生产效率上升 0.9%，但却难覆盖住大幅倒退的环境生产率，究其原因还是因为在此期间环境生产技术水平倒退。所以，为了提高 MPI，需要环境技术效率和环境生产效率同时发力，共同作用。

从湖北省 MPI 各项分解指标值来看,湖北省在 2005-2014 年,环境生产效率 (EC) 呈现出波动上升的良好趋势,其中 2010-2011 年出现增长幅度下降,但是研究期 10 年间,环境生产效率累计改善达 7.3%,年均生产效率为 0.73%,其中效率改善幅度最大的时间发生在 2009-2010 年,生产效率进步 5.5%。而环境生产技术则不容乐观,环境生产技术则在退步,2013-2014 年下降 7.4%,年均下降了 1.57%。

综述分析可以,湖北省环境生产效率在 2005-2014 年呈现退步的趋势,而环境生产技术水平的持续恶化是导致这种现象的根本原因。所以,提高湖北省总体的环境生产技术水平的步伐刻不容缓。

3.2 湖北省市域生态效率动态分析

为了探究湖北省整体 MPI 指数变化的构成结构和主要原因,本文分解了湖北省 12 个地级市在 2005 年、2009 年、2014 年各地级市 MPI 指数,并对其进行了分析。其中湖北省 12 个地级市在 2005 年、2009 年和 2014 年 MPI 指数及分解指标变化趋势图,见图 1~3。

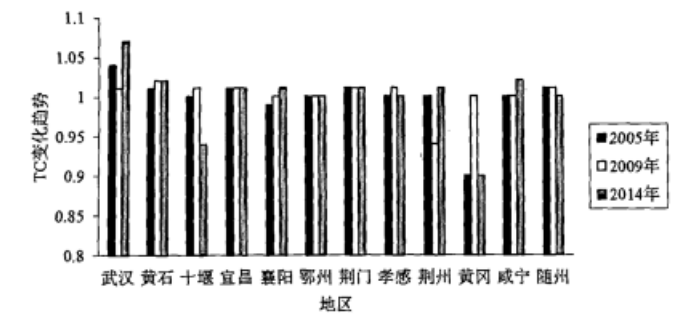


表 1 2005 年、2009 年、2014 年湖北省 12 个地级市 MPI 变化趋势

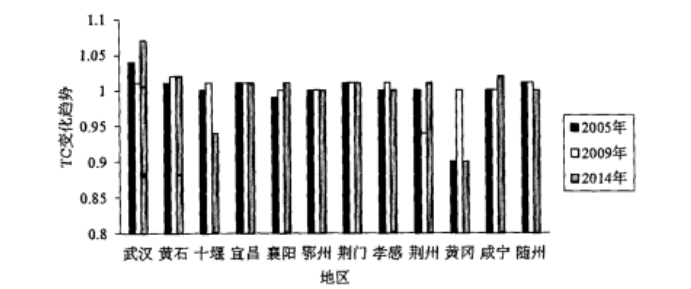


图 2 2005 年、2009 年、2014 年湖北省 12 个地级市 TC 变化趋势

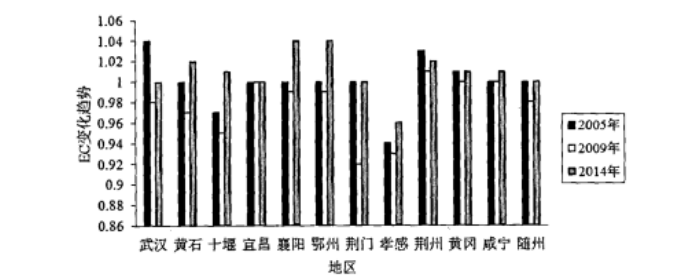


图 3 2005 年、2009 年、2014 年湖北省 12 个地级市 EC 变化趋势

从图 1 可以看出，虽然整体上各地级市 MP 指数都在上升，但是十堰、黄冈等地区厘巧指数出现下降，生态效率出现倒退，而武汉、鄂州、襄阳等地方 MPI 出现不同程度上升，说明生态效率在提高，生态治理效果得到体现。

从 MPI 指数分解来看，生态环境生产技术变动总体上是在下降的，其中黄冈和十堰下降最为明显，而武汉、襄阳及鄂州等地方生态环境生产技术变动不明显。这就说明，生态环境生产效率的变动在很大程度上是受环境生产技术的影响，因此，黄冈、十堰等地区需要提高生态环境生产技术以提高生态效率。

从环境生产效率来看，各地级市生态环境生产效率都在提升，尽管十堰和黄冈地区的生态环境生产效率提升，但也不能弥补因为生态环境技术退步的影响，即生态效率下降。

从湖北省区域生态效率分析来看，湖北省的生态效率体现出以下变化特征：全省各地的环境生产总体状况呈现出环境生产技术水平大幅下降、但环境生产效率却在上升的形势。由于技术效率提高的速度小于技术退化的程度，最终使得湖北全省的全要素环境生产率有所下降，即生态效率出现下降。十堰、黄冈等生态产品、生态资源丰富地区，未能将生态优势转化为生态效率优势，而武汉、襄阳等生产消费地区却表现出高效率，尽管生态效率一方面与社会经济相关，但主要还是生态本底所决定的。因此，生态补偿要向生态产品提供区倾斜，国家财政要向生态产品提供区域提供生态支付转移，生态消费区域要向生态产品提供区域提供生态补偿。

4、研究结论

基于 2005-2014 年湖北省 12 个地级市面板数据，运用 Malmquist 生产率指数（MPI）计算出湖北省地级市生态效率并对其结果进行分析。研究结果表明：第一，湖北省的环境生产效率总体上呈现波动且出现下降趋势，而环境生产技术水平的持续恶化才是根本原因。第二，虽然环境生产效率得到了一定程度的改善，但环境生产技术水平却在不断地恶化。也正是因为技术效率提高的速度小于技术退化的程度，最终使得湖北全省的全要素环境生产率有所下降。

为了提高湖北省地级市生态效率实现区域绿色协调发展，依据结果本文提出了下述的政策建议：第一，积极实施区域环境保护战略，制定国家环境功能区规划，以“分区管理、分类指导”为指导来构建区域环境管理、污染控制新体系。比如在东南部地区要大力消除污染源，大幅度减少污染物排放总量；在中部地区则要考虑当前区域资源环境的承载能力，加强维护措施；在鄂西南、鄂西北地区应当考虑山地、林区、湿地等生态脆弱性，以生态优先的原则，适当减少人类活动足迹。此外，还需要充分发挥在资源配置过程中市场的基础性作用，以市场的手段与机制推进污染物排放交易，以降低环保与减排的相关成本，在源头控制生态的破坏和环境的污染。第二，政府需要积极引导，加大资金和政策扶持力度，充分发挥现有的经济技术的基础上引进先进技术和设备，从而构建一个以环境友好和资源节约为导向型的生产体系，最终推广节能技术，提高清洁能源产品的使用率，从而让我们的生产消费活动向着更加高效、清洁方向靠近和发展。

[参考文献]:

[1]张 涛, 成金华. 湖北省生态补偿机制建设研究[J]. 中国国土资源经济, 2016 (8) : 36-42.

[2]Malmquist S. Index number and indifference surfaces[J]. Trabajos de Estadística, 1953, 4 (2) : 209-242.

[3]Caves D W, Christensen L R, Diewert W E. The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity[J]. Econometrica, 1982, 50 (6) : 1393-1414.

-
- [4]Fare R, Grosskopf S, Norris M. et al. Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries[J]. American Economic Review, 1994, 84: 1033-1039.
- [5]Shephard R W. Cost and production functions[M]. Princeton: Princeton University Press, 1953.
- [6]Kortelainen M. Dynamic environmental performance analysis: A Malmquist index approach[J]. Ecological Economics, 2008, 64 (4) : 701-715.
- [7]Dahlstrom K, Ekins P. Combining economic and environmental dimensions: Value chain analysis of UK iron and steel flows[J].Ecological Economics, 2006, 58 (3) : 507-519.
- [8]武春友, 孙源远. 基于生态承载力的工业园区生态效率评价研究[J]. 管理学报, 2009 (6) : 751-754.
- [9]Hoh 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 (1-2) : 41-52.
- [10]Hiltunen M R. Measuringeco-efficiency: A case study of agriculture in the Kymenlaakso region, Finland[D]. Helsinki: University of Helsinki, 2004.
- [11]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 (1) : 20-24.
- [12]李栋雁, 董炳南. 山东省区域生态效率研究_基于数据包络分析的实证分析[J]. 当代经济, 2010 (12) : 131-133.
- [13]成金华, 孙 琼, 郭明晶, 等. 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 (1) : 47-54.
- [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 (4) : 169-175.
- [15]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 (3) : 443-450.
- [16]吴小庆, 王 远, 刘 宁, 等. 基于物质流分析的江苏省区域生态效率评价[J]. 长江流域资源与环境, 2009 (10) : 890-895.
- [17]张 炳, 黄和平, 毕 军. 基于物质流分析和数据包络分析的区域生态效率评价——以江苏省为例[J]. 生态学报, 2009 (5) : 2473-2480.