

基于 DEA-Malmquist 指数和 Tobit 模型的区域生态效率评价及影响因素研究

——以山东省为例

李成宇¹, 张士强^{1,2}

(1. 山东科技大学 经济管理学院, 山东 青岛 266590; 2. 济南大学 绿色发展研究院, 山东 济南 250022)

摘要:以山东省 17 地市为研究对象,从静态和动态两个角度出发,运用 DEA-BCC 模型和 Malmquist 指数对 2006—2015 年山东省 17 地市生态效率进行测算,在此基础上,运用 Tobit 回归模型分析生态效率的影响因素。研究表明:山东省整体生态效率水平较高,但 17 地市之间存在差异性,青岛、烟台、威海、东营 4 个城市实现有效,其他 13 个城市均有不同程度的无效率状态;区域之间也存在差异性,总体呈现出中东部高、西南西北低的空间分布格局;山东省 17 地市生态效率的 Malmquist 指数呈现出较好的增长趋势,技术进步效率是其主要推动力;生态效率的主要影响因素是经济发展水平、对外开放度、科技进步、产业结构、绿色资源禀赋和人口密度。未来山东省应提升青岛、济南两个中心城市辐射带动能力,加强各区域间的协同作用,充分发挥各区域的优势,通过优化产业结构、提升科技水平、引进高质量外资等手段来改善生态效率。

关键词:生态效率;DEA 模型;Malmquist 指数;Tobit 模型;影响因素

中图分类号:F224

文献标识码:A

文章编号:1008-7699(2019)03-0078-09

一、引言

自改革开放以来,中国社会经济飞速发展,取得了许多举世瞩目的成就,但这种经济快速增长主要依靠的是高投入、高消耗、高污染的粗放式发展模式。这种模式在推动经济发展的同时也会产生许多消极影响,资源耗竭、气候变暖、季节性雾霾等问题接踵而来,给中国生态环境蒙上阴影。如何科学、有效地衡量中国生态文明建设水平及发展趋势成为目前我国经济、资源、环境协调发展所面临的关键问题之一,因此考虑经济、资源、生态等各方面综合利益的生态效率,也就成为促进资源、环境协调发展,共建生态文明的重要切入点。

生态效率的概念最早由美国学者 Schaltegger 和 Sturm 提出^[1],1992 年 WBCSD 首次将生态效率作为一种商业概念加以阐述,1996 年 BASE 集团从产品生产的角度界定生态效率的概念,1998 年 OECD 将概念扩大到政府、工业企业以及其他组织^[2]。至此,生态效率得到学术界和企业界广泛的认可和接受,成为衡量经济与环境协调发展的重要参考。现阶段,生态效率的研究主要集中在生态效率应用和生态效率测算两方面。在生态效率应用方面,国内外学者已将其广泛地应用到区域^[3-5]、城市^[6,7]、产业^[8-10]、行业^[11-13]、工业园区^[14]、产品^[15]等不同领域,取得了不少的研究成果。在生态效率测算方面,学术界则以 DEA 及其扩展方法为主,例如,邓波等人考虑到环境变量的不可控性,采用三阶段 DEA 模型测算区域生态效率^[4];杨佳伟等人考虑到非期望产出,采用网络 DEA 模型测算区域生态效率^[16];吴振华等人为提高

收稿日期:2018-10-16

基金项目:国家社科基金重大项目“中国自然资源资本化及对应市场建设研究”(15ZDB163);教育部人文社会科学研究规划基金项目“企业节能减排资本化运营研究”(15YJAZH110)

作者简介:李成宇(1990—),男,山东青州人,山东科技大学经济管理学院博士研究生。

生态效率测算的精确度,采用 Bootstrap-DEA 方法^[17]。此外,还有部分学者,采用 DEA 模型与其他模型方法相结合的方式来测度生态效率,例如,吴小庆^[18]、李健^[19]、程晓娟^[21]的研究,就分别将层次分析法、非参数距离函数法、主成分分析法与 DEA 模型相结合,测算相关领域的生态效率。可以看出,现有文献大多注重生态效率测算和应用方面的研究,却忽视了对于生态效率影响因素的研究,导致现有生态效率影响因素的研究较少,而仅有的关于生态效率影响因素方面的研究,也多使用 3—5 年的面板数据,研究期间短,使研究缺少连贯性和精准性。因此,本文以山东省 17 地市 2006—2015 年的数据为研究对象,首先构建基于 DEA 模型的生态效率投入产出指标体系,然后将 DEA-BCC 模型与 Malmquist 指数方法有效结合,从静态、动态两个角度出发,对其生态效率进行测度,最后运用 Tobit 模型分析生态效率的影响因素,以期为区域生态效率的量化研究提供新的视角和方法,也可为山东省及有关部门制定有针对性的生态环境政策提供决策依据。

二、研究方法及数据说明

(一) 研究方法

1. DEA-BCC

Charnes、Cooper 等人于 1978 年提出 DEA-CCR 模型,该模型测算规模报酬不变下的效率,未考虑规模报酬可变的实际情况^[20];随后 Banker、Charnes、Cooper 等人提出了规模报酬可变情况的 DEA-BCC 模型,将技术效率(TE)分解为纯技术效率(PTE)和规模效率(SE),即 $TE = PTE \times SE$ ^[21]。DEA 模型分为投入导向型和产出导向型:投入导向型是以产出不变为前提减少投入以提高效率;产出导向型则是以投入不变为前提增加产出以提高效率。本研究采用投入导向型 DEA-BCC 模型,具体模型如下:

$$\begin{aligned} & \text{Min} \theta \\ & \left. \begin{array}{l} \sum_j^n \lambda_j X_j + S^- = \theta X_k \\ \sum_j^n \lambda_j Y_j - S^+ = Y_k \\ \sum_j^n \lambda_j = 1 \\ S^+ \geq 0, S^- \geq 0, \lambda_j \geq 0, j=1, 2, \dots, n \end{array} \right\} \quad (1) \end{aligned}$$

其中 θ 是标量, λ 是一个 $N \times 1$ 的常向量,解出来的 θ 值即为单元(DMU_i)的效率值,一般有 $\theta \leq 1$,如果 $\theta = 1$,则意味着该单元是技术有效的,且位于前沿上。

2. Malmquist 指数法

Malmquist 指数由 Malmquist 提出,Caves 等人于 1982 年首次将该指数运用于生产效率变化测算,并将其命名为 Malmquist 生产率指数^[22];1994 年 Fare 等人将 Malmquist 指数与 DEA 理论相结合,构建起以 t 和 $t+1$ 期为参照的 Malmquist 生产率指数,使 Malmquist 指数得到广泛应用^[23],具体公式如下:

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

若 $M(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) > 1$,说明从 t 到 $t+1$ 期全要素生产率水平提高;反之,当 $M(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) < 1$,说明从 t 到 $t+1$ 期全要素生产率水平下降。具体 Malmquist 生产率指数分解如下:

$$M = \text{EFFCH} \times \text{TECHCH}$$

$$\text{即 } M(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \frac{Dc^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{Dc^t(x^t, y^t)} \times \left[\frac{D^t c(x^{t+1}, y^{t+1})}{Dc^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D^t c(x^t, y^t)}{Dc^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2} \quad (3)$$

其中,EFFCH 为技术效率变化指数,若 $\text{EFFCH} > 1$ 说明决策单元越接近生产前沿面,技术效率有所改善;反之当 $\text{EFFCH} < 1$ 则说明决策单元对现有技术利用情况不甚理想。TECHCH 为技术进步变化指

数,若 $TECHCH > 1$,则说明出现技术进步或技术创新,生产前沿面向前移动。

3. Tobit 模型

Tobit 模型又称为样本选择模型、受限因变量模型,是因变量满足某种约束条件下取值的模型,由美国著名经济学家 Tobin 于 1958 年正式提出^[24]。一般情况下,如果自变量 Y_i 是介于 0—1 之间的截尾数据,且 Y_i 与自变量 X_i 有关,则有如下线性回归模型:

$$Y_i = \beta_0 + \beta^T X_i + u_i \quad (4)$$

式(4)中, Y_i 为受限因变量; X_i 为解释变量; β^T 是未知参数向量; $u_i \sim N(0, \sigma^2)$ 。

(二) 数据说明

1. 投入产出指标

影响区域生态效率的因素是多样的,在选取投入产出指标时要充分考虑到它们之间的相互依赖关系,鉴于 DEA 模型的特殊性,要尽量避免指标间的线性相关性。本文在考虑数据可获取性和参考以往文献的基础上^[6,25,26],构造生态效率指标体系,将资源消耗指标和环境污染指标作为投入指标,经济价值作为产出指标,具体见表 1。

2. 数据来源及处理

山东省 17 地市生态效率的投入产出指标数据时间跨度为 2006—2015 年,数据均来自各年度的《山东统计年鉴》,并结合山东省 17 地市的市级统计年鉴、统计公报和新闻报道等资料进行修正。

本文考虑到研究样本数量有限,且环境污染指标过多,首先利用 SPSS 软件采用主成分分析法进行降维处理,将环境污染的 7 个子指标降维处理成一个环境影响指标。再参考吴琦^[27]的处理办法,针对有可能出现的环境影响指标负值,通过线性数据转换函数法对其进行正向处理。

三、实证分析

(一) 生态效率静态测算

通过 DEAP2.2 软件测算山东省 17 地市 2006—2015 年生态效率值,包括综合效率值、纯技术效率值和规模效率值,具体如表 2 所示。

表 2 山东省 17 地市生态综合效率、纯技术效率、规模效率均值(2006—2015 年)

城市	综合效率	纯技术效率	规模效率	城市	综合效率	纯技术效率	规模效率
青岛市	1.000	1.000	1.000	枣庄市	0.591	0.994	0.595
烟台市	1.000	1.000	1.000	滨州市	0.544	0.995	0.547
威海市	1.000	1.000	1.000	聊城市	0.469	0.940	0.500
东营市	1.000	1.000	1.000	莱芜市	0.475	1.000	0.475
淄博市	0.979	1.000	0.979	日照市	0.437	0.955	0.457
济南市	0.937	0.977	0.960	菏泽市	0.454	1.000	0.454
潍坊市	0.840	0.984	0.852	均值	0.720	0.982	0.732
临沂市	0.735	0.953	0.772	半岛地区	0.879	0.990	0.885
泰安市	0.591	0.948	0.625	鲁中地区	0.745	0.981	0.760
济宁市	0.590	0.951	0.621	鲁西南地区	0.593	0.975	0.611
德州市	0.599	1.000	0.599	鲁西北地区	0.537	0.978	0.549

从表 2 可以看出,山东省整体生态效率水平较高,综合效率均值为 0.720,纯技术效率均值为 0.982,规模效率均值为 0.732。从市级层面来看,生态效率排名前五位的城市分别为青岛市、烟台市、威海市、东营市和淄博市,除淄博市效率值为 0.979 以外,其他四市综合效率均达到 1 处于前沿面上;生态效率排名后五位的城市依次是滨州市、聊城市、莱芜市、日照市和菏泽市,综合效率值均在 0.550 以下,其他接近前沿面的城市集中在济青沿线,而效率值低的城市则集中在山东西南及西北地区。可以看出,山东省 17 地市生态效率差异显著,存在明显的异质性。从区域层面来看,东部半岛地区生态效率最高,综合效率为 0.879、纯技术效率为 0.990、规模效率为 0.885;鲁中地区次之,综合效率为 0.745、纯技术效率为 0.981、规模效率为 0.760;鲁西南地区第三,综合效率为 0.593、纯技术效率为 0.975、规模效率为 0.611;鲁西北地区最低,综合效率、纯技术效率、规模效率分别为 0.537、0.978、0.549。显而易见,山东省四大区域生态效率存在较大差异,总体呈现出中东部高、西南西北低的空间分布格局。以青岛为核心的东部半岛地区凭借得天独厚的地理位置,雄厚的经济、科技、教育实力,其产业结构趋于合理,发展方式趋于绿色,生态效率会越来越高。以济南为核心的鲁中地区,经济发展水平较高,基础设施完善,科教实力强、政策优势明显,在生态效率上也具有一定优势。鲁西南、鲁西北地区则因为地处内陆,经济发展水平相对较低,基础设施、科教方面相对落后,高污染、高消耗的重工业占比大,导致其生态效率比较低。

(二) 生态效率动态测算

为了更好地分析山东省 17 地市生态效率的变化趋势,本文运用 17 地市 2006—2015 年之间的面板数据,采用 Malmquist 指数模型计算其效率变动值,具体如表 3 所示。

表 3 山东省 17 地市年均 Malmquist 指数及其分解(2006—2015 年)

城市	技术 效率	技术进 步效率	纯技术 效率	规模 效率	Malmquist 效率指数	城市	技术 效率	技术进 步效率	纯技术 效率	规模 效率	Malmquist 效率指数
潍坊市	1.044	1.139	1.013	1.031	1.190	泰安市	0.995	1.065	1.014	0.981	1.059
济宁市	1.010	1.104	1.014	0.995	1.115	日照市	0.981	1.076	0.992	0.988	1.056
青岛市	1.000	1.131	1.000	1.000	1.131	德州市	0.994	1.055	1.000	0.994	1.048
临沂市	1.023	1.08	1.021	1.003	1.105	聊城市	0.978	1.053	1.012	0.967	1.030
济南市	1.004	1.085	1.006	0.998	1.089	滨州市	0.969	1.054	1.000	0.969	1.021
淄博市	1.002	1.085	1.000	1.002	1.087	菏泽市	0.947	1.062	1.000	0.947	1.006
枣庄市	0.996	1.089	0.998	0.998	1.085	均值	0.996	1.080	1.004	0.992	1.076
莱芜市	0.992	1.083	1.000	0.992	1.074	半岛	1.004	1.092	1.001	1.003	1.097
烟台市	1.000	1.072	1.000	1.000	1.072	鲁中	0.998	1.080	1.005	0.993	1.077
东营市	1.000	1.068	1.000	1.000	1.068	鲁西南	0.994	1.084	1.008	0.986	1.078
威海市	1.000	1.065	1.000	1.000	1.065	鲁西北	0.980	1.054	1.004	0.977	1.033

表 3 显示,2006—2015 年山东省 17 地市生态效率的 Malmquist 指数均大于 1,其中年均 Malmquist 指数增长率为 7.6%,从年均 Malmquist 指数增长率分解来看,技术进步年均增长率为 8%,纯技术年均增长率为 0.4%,综合技术效率年均下降 0.4%,规模效率年均下降 0.8%。由此可见,山东省 17 地市生态效率的增长主要是由技术进步推动的。从城市层面来看,潍坊、青岛、济宁、临沂、济南增长最快,其 Malmquist 指数增长率为 19%、13.1%、11.5%、10.5%、8.9%,均高于平均值。特别是济宁市虽然生态效率偏低,但是增长速度很快、进步很大。日照、德州、聊城、滨州、菏泽增长最慢,其 Malmquist 指数增长率为 5.6%、4.8%、3%、2.1%、0.6%,均低于平均值,且排名与生态效率值排名基本相同。从区域层面来看,东部半岛地区、鲁中地区、鲁西南地区 Malmquist 指数增长率均高于均值,分别为 9.7%、

7.7%、7.8%，鲁西北地区 Malmquist 指数增长率低于均值，仅为 3.3%。特别是鲁西南地区，虽生态效率低，但 Malmquist 指数增长率较高，说明仍有很大进步空间。从动力层面来看，技术进步是主要推动力，年均增长率达到 8%，增长最快的城市是潍坊、青岛、济宁，分别为 13.9%、13.1%、10.4%，超出均值 5.9%、5.1%、2.4%。从影响 Malmquist 指数的因素来看，综合技术效率和纯技术效率最明显，综合技术效率达到 1 的有 9 个城市，其余低于 1，其中下降最快的三个城市为聊城、滨州、菏泽，分别下降 2.2%、3.1%、5.3%；纯技术效率达到 1 的为 15 个城市，其余小于 1，其中枣庄下降 0.2%，日照 0.8%。

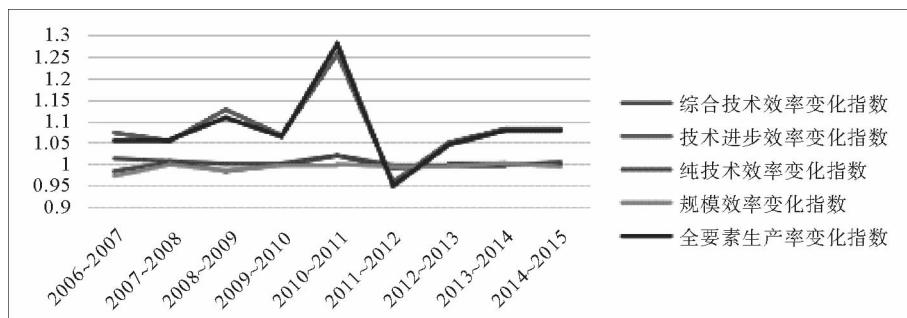


图 1 山东省 17 地市各年份平均 Malmquist 指数及其分解

从图 1 即山东省 17 地市 10 年发展动态来看，2006—2015 年生态效率总体呈现增长态势，由 1.054 增长到 1.079。其中，技术进步效率和全要素生产率的变化较为剧烈、起伏比较大，从 2006 年开始，经过 4 年的波动于 2011 年达到峰值，2012 年大幅度下落至最低点，2013 年又开始回升，且两者变化趋势基本一致，说明技术进步是促进生态效率增长的主导因素。其他三个因素增长率变化不大，仅在 0.970—1.020 之间波动。其中纯技术效率均值略大于 1，为 1.004，说明纯技术效率是促进生态效率增长的次要因素，综合技术效率和规模效率均值小于 1，分别为 0.996、0.992，说明两者对生态效率增长起到制约作用。

(三) 生态效率影响因素研究

通过 DEA-BCC 模型和 Malmquist 指数法仅能获得地区生态效率值，但生态效率的影响因素并非仅局限于选择的投入产出指标，除此之外的其他影响因素仍然值得我们进一步探究。考虑到数据可获取性及生态效率的特点，同时在借鉴已有文献研究基础上^[5,6,28]，本文认为生态效率可能会受到产业结构、经济发展水平、对外开放度、科技进步、绿色资源禀赋、人口密度、城市化水平等因素的影响，相关因素指标选取如表 4 所示。相关数据主要来自 2006—2015 年的《山东省统计年鉴》《中国城市统计年鉴》以及山东省 17 地市统计年鉴和统计公报等资料。

本文将 DEA-BCC 模型计算得到的生态综合效率值(Crsts)作为因变量，上述影响因素作为自变量，考虑到模型准确性，自变量先进行对数化处理，构造 Tobit 回归模型如下：

$$Crsts = C + \beta_1 \ln IS + \beta_2 \ln PCGDP + \beta_3 \ln FDI + \beta_4 \ln TP + \beta_5 \ln PCGS + \beta_6 \ln PD + \beta_7 \ln CR + \mu \quad (5)$$

式(5)中：C 为常数项； $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7$ 为估计参数； μ 为随机误差。

根据上文计算出的绩效值以及统计的影响因素指标值，对山东省 17 地市生态效率影响因素进行 Tobit 回归分析，结果如表 5 所示。

根据 Tobit 回归模型估计结果显示，经济发展水平、对外开放度、科技进步均通过显著性检验，且都显著为正。其中经济发展水平和对外开放度的系数分别为 0.298 和 0.068，在 1% 的显著性水平下通过检验，科技进步系数为 0.061，在 5% 的显著性水平下通过检验。具体来看，经济发展水平系数显著为正，

表 4 模型变量设置表

影响因素	变量名称	变量符号	计算方法
因变量	综合效率	CRSTE	DEA-BCC 模型计算得出的综合效率值
自变量	产业结构	IS	第二产业增加值占区域 GDP 比例%
	经济发展水平	PCGDP	人均 GDP(元)
	对外开放度	FDI	外资投资额占区域 GDP 比例%
	科技进步	TP	专利数(项)
	绿色资源禀赋	PCGS	人均绿地面积(人/平方公里)
	人口密度	PD	人口密度(人/平方公里)
	城镇化	CR	人口城市化率%

表 5 山东省生态效率影响因素 Tobit 回归分析结果

解释变量	系数	标准差	T 值	P 值
InIS	-0.340 **	0.148	-2.290 **	0.023
InPCGDP	0.298 ***	0.053	5.600 ***	0.000
InFDI	0.068 ***	0.023	2.950 ***	0.004
InTP	0.061 **	0.026	2.360 **	0.019
InPCGS	-0.052 **	0.021	-2.470 **	0.015
InPD	-0.119 **	0.054	-2.200 **	0.029
InCR	-0.049	0.030	-1.620	0.107
常数	-1.937	0.717	-2.700	0.008

说明: ***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 水平下显著。

表明在研究期间内,经济增长对山东省生态效率的提高具有显著的正向影响,人均地区生产总值每提高 1 万元,就能促进生态效率提高 0.298。经济发展水平高的地区,产业结构更为合理,基础设施完善,资金投入量大,政府管理也更为高效,在这种环境下,生态效率会更高。同时,经济发展水平高的地区,人民生活更富裕,更加注重享受生活,对生态环境有更高层次的需求,环保意识更强,这些都有助于生态效率的提升。对外开放度系数显著为正,表明在研究期间内,对外开放度对山东省生态效率的提高具有显著正向影响,外商投资占地区 GDP 比重每提高 1 个百分点,生态效率就会增加 0.068 个百分点。对外开放度的提升,有利于引进国外先进技术、设备、管理经验,降低能耗,改善环境,提高生态效率。科技进步系数显著为正,表明在研究期间内,科技进步对山东省生态效率的提高具有显著正向影响,科技进步水平每提高 1 个百分点,生态效率就会增加 0.061 个百分点。科技进步的增强有利于创新和推广先进的生产技术及节能减排技术,进而在推动工业化、城市化过程中提高生态效率。产业结构、绿色资源禀赋、人口密度通过显著性检验,且显著为负。其中产业结构系数为 -0.340,人均绿色资源系数为 -0.052,人口密度系数为 -0.119,均在 5% 的显著性水平下通过检验。产业结构显著为负,表明在研究期间内,产业结构对山东省生态效率的提高具有显著的负向影响,第二产业增加值占地区 GDP 比重每提高 1 个百分点,生态效率就会下降 0.340 个百分点。山东省整体上走的依旧是“高污染、高消耗”的传统工业发展道路,煤炭、化工等重工业占比大,发展模式粗放,会带来各种污染排放物的增加,进一步恶化生态环境,不利于生态效率的提升。绿色资源禀赋显著为负,表明在研究期间内,人均绿色资源对山东省生态效率的提高具有

显著的负向影响,人均绿化面积每提高1个百分点,生态效率就会下降0.052个百分点。绿色资源禀赋与生态效率的影响存在边际效应,并不是人均绿地面积越高,生态效率就越高,绿化面积某种程度上会优化环境、提高生态效率,但由于人均绿化面积高的城市,浪费破坏现象也更为严重,环保节约意识更淡薄,例如莱芜市,其人均绿化面积在山东省17地市位居前列,但其生态效率值排名仅为15名。反而是人均绿化面积低的城市,其浪费破坏现象少,环保节约意识更强。例如潍坊市,其人均绿化面积在山东省17地市位于下游,但其生态效率值排名位于山东省前列。人口密度显著为负,表明在研究期间内,人口密度对山东省生态效率的提高具有显著的负向影响,人口密度每提高1个百分点,生态效率就会下降0.119个百分点。人口密度过大,会增加环境压力,产生过量的资源消耗、浪费和污染排放,加剧生态破坏,不利于提升生产效率。城镇化系数为-0.049,呈负相关,但未通过显著性检验,说明城镇化对生态效率的影响不显著,表明在研究期间内,山东省城镇化发展速度虽快,但发展质量并不高,并未有效提升生态效率、促进绿色发展。

四、结论与建议

本文基于2006—2015年山东省17地市的面板数据,利用DEA-BCC模型和Malmquist指数法对山东省17地市的生态效率进行分析,以此为基础,运用Tobit回归模型分析生态效率的影响因素,进而为山东省的绿色可持续发展提出针对性建议。研究结论及建议如下。

从生态效率静态测算来看,山东省17地市整体生态效率水平较高,综合效率均值为0.720,青岛、烟台、威海、东营4个城市综合效率值达到1,处于前沿面上,其他13个城市均有不同程度无效率状态,有很大提升空间。从城市层面看,17地市间存在较大差异,青岛、烟台等沿海城市生态效率高,处于领先地位;济南、淄博等城市生态效率较高,处于追赶状态;聊城、菏泽等内陆城市则生态效率低,位于落后位置。区域层面,山东省区域间生态效率存在较大差异,东部半岛地区生态效率最高,鲁中地区次之,鲁西南地区第三,鲁西北地区最低,呈现出中东部高、西南西北低的空间分布格局。因此,应该提升青岛、济南两个中心城市的辐射带动能力,带动周边城市生态效率的提高,形成“中心城市—外围城市”辐射发展的经济生态格局。加强区域间的协同作用,以半岛地区和鲁中地区为龙头,充分发挥其在政策、资金、基础设施、科教等方面的优势,大力发展能耗低、污染少、增加值高的高新技术业、金融业、旅游业等第三产业,提高第三产业在产业结构中的比重,推进产业结构优化升级。发挥鲁西南、鲁西北地区的资源优势,大力推进节能减排,实现绿色生产、循环生产、清洁生产,提高能源利用效率。

从生态效率动态测算来看,山东省生态效率的Malmquist指数为1.076,增长趋势较好,17个地市生态效率的Malmquist指数均大于1,年均Malmquist指数增长率为7.6%。城市层面潍坊、青岛、济宁、临沂、济南增速快,高于均值;日照、德州、聊城、滨州、菏泽增速慢,低于均值。区域层面,东部半岛地区、鲁中地区、鲁西南地区增速较快,鲁西北地区增速慢。动力层面,技术进步效率是Malmquist指数的主要推动力,综合效率变动则主要影响Malmquist指数的下降。同时,技术效率变动又源于纯技术效率和规模效率变动的双重影响,但规模效率变动对技术效率指数变动的作用更大。因此,要提高山东省17地市Malmquist指数增长率应从两方面入手。首先,应加大科技投入力度,拓展科研经费的来源渠道,并积极与外资企业、高等院校、科研院所开展交流合作,提高自身技术研发能力,做到科技投入、产出两手抓、两手硬,利用技术进步来改善生态效率;其次,要合理配置城市资源,完善生产规模,整合优化企业,淘汰落后产能,提高规模效率,以此来提升生态效率。

从生态效率影响因素来看,经济发展水平、对外开放度、科技进步与生态效率呈显著正相关,对生态效率提升有正向影响;产业结构、绿色资源禀赋,人口密度与生态效率呈显著负相关,对生态效率提升有负向影响;城镇化则与生态效率呈不显著的负相关。因此,各市在引进外资时要注意外资的引进类型,积极引进技术含量高、污染小的外资企业,合理引导外资向低污染、高附加值产业发展;努力提升自身的科

技研发实力,加大科技研发投入力度,积极培育科技人才,通过科技进步来促进生态效率的提高;主动调整产业结构,减少高耗能、高污染的第二产业比重,扶持新能源及可再生能源的发展,减少资源浪费及污染排放。

参考文献:

- [1] SCHALTEGGER S, STURM A. Ökologischerentalität: ansatzpunktezurausgestaltung von ökologieorientierten managementinstrumenten[J]. Die unternehmung, 1990(4):273-290.
- [2] 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.
- [3] 陈傲. 中国区域生态效率评价及影响因素实证分析——以 2000—2006 年省际数据为例[J]. 中国管理科学, 2008(s1): 566-570.
- [4] 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.
- [5] 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(7): 1314-1325.
- [6] 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.
- [7] 黄雪琴,王婷婷. 资源型城市生态效率评价[J]. 科研管理, 2015(7): 70-78.
- [8] ZHANG B, BI J, FAN Z, et al. Eco-efficiency analysis of industrial system in China: a data envelopment analysis approach[J]. Ecological economics, 2008(1): 306-316.
- [9] 王宝义,张卫国. 中国农业生态效率测度及时空差异研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016(6): 11-19.
- [10] 卢燕群,袁鹏. 中国省域工业生态效率及影响因素的空间计量分析[J]. 资源科学, 2017(7): 1326-1337.
- [11] 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(6): 180-187.
- [12] 姚治国,陈田. 旅游生态效率模型及其实证研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2015(11): 113-120.
- [13] 周叶,张孟晓,杨洁. 基于 SE-DEA 的省域物流行业生态效率研究[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2015(4): 99-106.
- [14] 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.
- [15] KUOSMANEN T, KORTELAINEN M. Measuring eco-efficiency of production with data envelopment analysis[J]. Journal of industrial ecology, 2005(4): 59-72.
- [16] 杨佳伟,王美强. 基于非期望中间产出网络 DEA 的中国省际生态效率评价研究[J]. 软科学, 2017(2): 92-97.
- [17] 吴振华,唐芹,王亚蓓. 江浙沪地区城市建设用地生态效率评价——基于三阶段 DEA 与 Bootstrap-DEA 方法[J]. 生态经济(中文版), 2016(4): 105-110.
- [18] 吴小庆,王亚平,何丽梅,等. 基于 AHP 和 DEA 模型的农业生态效率评价——以无锡市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2012(6): 714-719.
- [19] 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(4): 19-23.
- [20] CHARNES A, COOPER W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European journal of operational research, 1978(6): 429-444.
- [21] BANKER R D, CHARNES A, COOPER W W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis[J]. Management science, 1984(9): 1078-1092.
- [22] 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(6): 1393-1414.
- [23] FARE R, GROSSKOPF S, SORRIS M. Productivity growth, technical progress and efficiency change in industrialized countries[J]. American economic review, 1994(5): 66-83.
- [24] TOBIN J. Estimation of relationships for limited dependent variables[J]. Econometrics, 1958(1): 24-36.
- [25] 龙亮军,王霞,郭兵. 基于改进 DEA 模型的城市生态福利绩效评价研究——以我国 35 个大中城市为例[J]. 自然资源学报, 2017(4): 595-605.
- [26] 王晓玲,方杏村. 东北老工业基地生态效率测度及影响因素研究——基于 DEA-Malmquist-Tobit 模型分析[J]. 生态经

- 济(中文版),2017(5):95-99.
- [27]吴琦.中国省域能源效率评价研究[D].大连:大连理工大学,2010.
- [28]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(6):116-121.

Evaluation of Regional Eco-efficiency and Its Influence Factors Based on DEA-Malmquist Index and Tobit Model: a Case Study of Shandong Province

LI Chengyu¹, ZHANG Shiqiang^{1,2}

(1. College of Economics and Management, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China;

2. Institute of Green Development, University of Jinan, Jinan 250022, China)

Abstract: The DEA-BCC model and the Malmquist index have been used, from the static and dynamic perspectives, to measure the eco-efficiency of 17 cities in Shandong Province from 2006 to 2015. On this basis, Tobit regression model has been applied to analyze the influence factors of eco-efficiency. The results show that: 1. Differences exist among the 17 cities in spite of the overall higher level of eco-efficiency in Shandong Province. Four cities, including Qingdao and Yantai, are ecologically efficient, while the other 13 cities are faced with different extents of inefficiency; there are also differences among regions, which generally show the spatial distribution pattern with high efficiency in the central and eastern regions while low in the southwest and northwest regions. 2. The Malmquist index of eco-efficiency in 17 cities shows a healthy growth trend, and the efficiency of technological progress acts as its main driving force. 3. The main influence factors involve economic development level, openness to the outside world, scientific and technological progress, industrial structure, green resource endowment and population density. Therefore, Shandong Province should enhance the radiation capacity of the two central cities of Qingdao and Jinan, strengthen the synergy among regions and give full play to the advantages of each region. It is sensible to improve the eco-efficiency by means of optimizing the industrial structure, enhancing the technological level and introducing high-quality foreign investment.

Key words: eco-efficiency; DEA model; Malmquist index; Tobit model; influence factors

(责任编辑:魏 霄)