

环渤海地区沿海城市的生态效率

盖美,王楠

(辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心 大连 116029)

摘要:环渤海地区是我国最具综合优势和发展潜力的经济增长极之一。为促进环渤海地区的生态文明建设和经济可持续发展,文章采用三阶段 DEA 模型、Malmquist 指数和空间自相关分析法,基于 2006—2015 年环渤海地区 17 个沿海城市的面板数据,动静态结合分析其生态效率和空间关联特征。研究结果表明:通过引入环境变量和运用相似 SFA 模型,剔除外部环境和随机误差的影响,可更加准确地测算区域生态效率;各城市的生态效率均有所提高,主要原因是技术进步;区域生态效率同时存在空间的相关性和差异性,空间格局处于动态变化中。

关键词:生态效率;环渤海;三阶段 DEA 模型;Malmquist 指数;空间自相关

中图分类号:X22;F062.2

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2018)08-0003-09

Ecological Efficiency of Coastal Cities around Bohai Sea

GAI Mei, WANG Nan

(Marine Economics and Sustainable Development Research Center, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

Abstract: The Bohai Sea rim region is one of the most economic growing poles of China's comprehensive advantages and developing potential. In order to promote the ecological civilization construction and sustainable economic development in the Bohai Sea region, the three stage DEA model, Malmquist index and spatial autocorrelation analysis method were used to analyze the ecological efficiency and spatial correlation characteristics of the 17 coastal cities in the Bohai Sea region, based on the panel data of 17 coastal cities in the ring region of 2006—2015. The results showed that by introducing the environmental variables and using the similar SFA model, eliminating the influence of the external environment and random error, the ecological efficiency of the region could be calculated more accurately; the ecological efficiency of each city was improved, the main reason was the technological progress, and the spatial correlation and difference existed in the regional ecological efficiency in the same time. The spatial pattern was in the dynamic change.

Key words: Eco-efficiency, Bohai Sea rim, Three-stage data envelopment analysis, Malmquist index, Spatial autocorrelation

收稿日期:2017-12-25;修订日期:2018-07-22

基金项目:教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(16JJD790021);国家社会科学基金重大项目(14ZDB130);辽宁省教育厅项目(W201683606)。

作者简介:盖美,教授,博士,研究方向为资源、经济与可持续发展

0 引言

随着社会的不断发展,人类对自然的依赖程度日益提高,导致资源消耗过快和生态环境恶化,经济发展与资源环境之间的矛盾日益突出。环渤海地区是由环绕渤海的全部地区和黄海部分沿岸地区所组成的经济区域,涵盖天津市、秦皇岛市、唐山市、沧州市、滨州市、东营市、潍坊市、烟台市、威海市、青岛市、日照市、大连市、丹东市、营口市、盘锦市、锦州市和葫芦岛市 17 个沿海城市,拥有海岸线 6 924.2 km,约占全国大陆海岸线总长度的 38%^[1]。环渤海地区的区位条件优越、自然资源丰富、产业基础雄厚,是我国最具综合优势和发展潜力的经济增长极之一,在我国对外开放和现代化建设全局中具有重要战略地位。“一带一路”建设、山东半岛蓝色经济区建设和《环渤海地区合作发展纲要》的实施等促进了环渤海地区的经济全球化和区域一体化,国际国内产业分工的深刻调整为其创新发展和转型发展提供了良好契机。近年来,环渤海地区的经济始终保持高速增长,一系列生态环境问题也随之而来^[2],深入研究环渤海地区的生态效率,对于其生态文明建设、循环经济发展和区域经济平衡发展具有重要意义。

“生态效率”(Eco-Efficiency)一词最初由德国学者 Schaltegger 和 Sturm 于 1990 年提出,是指增加的经济价值与增加的生态环境影响的比值。世界可持续发展工商委员会(WBCSD)在里约地球峰会上对生态效率赋予了新的涵义,随后世界经济合作与发展组织(OECD)、欧洲环境署(EEA)和联合国贸易与发展会议(UNCTAD)等开始对生态效率展开深入研究。

1995 年生态效率的概念被引入我国,并逐渐得到国内学者的关注。成金华等^[3]运用超效率 DEA 模型测算 2000—2011 年我国 30 个省级行政区的生态效率,在此基础上运用空间自相关分析法对生态效率的演化格局进行研究;邓波等^[4]运用三阶段 DEA 模型对 2008 年我国区域生态效率进行实证研究,提出外部环境效应和随机误差对生态效率产生一定的影响;傅京燕等^[5]以 2002—2012 年我国 30 个省级行政区的面板数据为样本,对区域生态效率的

动态变化以及对外贸易和环境规制对区域生态效率的影响进行分析;张焯等^[6]基于系统论,将生态经济系统划分为生态、社会和经济 3 个子系统,构建基于矩阵型结构的网络 DEA 模型,对 2007—2012 年我国区域生态效率进行测算和评价,并对其敛散性进行检验;彭妍等^[7]运用超效率 DEA 模型评价 2009—2013 年江苏省 13 个地级市以及苏南、苏中和苏北 3 个区域的工业生态效率,并采用 Tobit 模型测算城镇化率、产业结构和环境规制对生态效率的影响;蔡洁等^[8]采用山东省 17 个地级市的面板数据,以新型城镇化为视角,研究区域生态效率;付丽娜等^[9]运用超效率 DEA 模型测算 2005—2010 年长株潭城市群各城市的生态效率,并利用 Malmquist 指数对生态效率进行动态对比。

从已有的研究成果来看,我国对于生态效率的研究大多基于省级区域,对地市级区域的研究较少,对环渤海地区的研究更少,且大多没有考虑外部环境和随机误差的影响,仅是静态分析综合效率,缺乏对生态效率的进一步分解和动静态结合分析。本研究采用三阶段 DEA 模型、Malmquist 指数和空间自相关分析法,基于环渤海地区 17 个沿海城市的面板数据,动静态结合分析其生态效率和空间关联特征,以期对环渤海地区的生态文明建设和经济可持续发展提供理论依据。

1 研究方法

1.1 三阶段 DEA 模型

数据包络分析(DEA)于 1978 年被首次提出,旨在评价多投入和多产出模式下决策单元间的相对有效性^[10]。由于传统的 DEA 模型没有考虑外部环境和随机误差对决策单元效率产生的影响,本研究采用三阶段 DEA 模型。

1.1.1 第一阶段:传统 DEA 模型

本研究采用规模报酬可变的 DEA-BCC 模型,其可将技术效率进一步分解为纯技术效率和规模效率,从而更加准确地反映决策单元的效率。在导向性上,本研究采用投入导向的 BCC 模型。假设需测算的决策单元 DUM 为 n 个,决策单元的输入变量和输出变量分别有 m 个和 l 个,则对于任意决策单元,投入导向 BCC 模型可表示为:

$$\begin{aligned} & \min \theta \\ & \left\{ \begin{aligned} & \sum_{k=1}^n x_{ik} + s^- = \theta X_r \\ & \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k - s^+ = Y_r \\ & \sum_{k=1}^n \lambda_k = 1 \\ & \lambda_k \geq 1, k=1, 2, \dots, n \\ & s^- \geq 0, s^+ \geq 0, \theta \text{ 无约束} \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

式中: x_{ik} ($i=1, 2, \dots, m$) 表示第 k 个决策单元的第 i 个输入变量; y_{jk} ($j=1, 2, \dots, l$) 表示第 k 个决策单元的第 j 个输出变量; X 和 Y 分别表示投入向量和产出向量。 θ 表示决策单元的总效率, 且满足 $0 \leq \theta \leq 1$; 当 $\theta=1$, 且 $s^+ = s^- = 0$ 时, 表示决策单元处于前沿面, 为总体有效; 当 $\theta=1$, 且 $s^+ \neq 0$ 或 $s^- \neq 0$ 时, 表示决策单元为弱 DEA 有效; 当 $\theta < 1$ 时, 表示决策单元为非 DEA 有效。

1.1.2 第二阶段: 相似 SFA 模型

Fried^[11] 提出决策单元的效率受管理无效率、外部环境和随机误差的影响, 有必要对其进行分离。因此, 其以投入松弛变量为被解释变量, 以诸多外部环境因素为解释变量, 构建相似 SFA 模型, 并运用该模型剔除外部环境和随机误差的影响, 只保留因管理无效率造成的投入松弛, 调整公式为:

$$\begin{aligned} X_{ni}^* &= X_{ni} + [\max(z_i; \beta^n) - (z_i; \beta^n)] + \\ & [\max(v_{ni}) - v_{ni}] \\ & (n=1, 2, \dots, N; i=n=1, 2, \dots, I) \end{aligned}$$

式中: X_{ni}^* 表示原始投入经同质化调整后的新投入; 第 1 个中括号内是对外部环境影响的调整, 第 2 个中括号内是对随机误差影响的调整, 调整后所有决策单元均面临相同的外部环境和随机误差。

1.1.3 第三阶段: 调整投入后应用 DEA 模型

将剔除外部环境和随机误差影响的投入 X_{ni}^* 代替原始投入, 再次利用第一阶段的 DEA 模型计算各决策单元的效率, 结果更能准确反映决策单元的管理无效率情况^[12]。

1.2 Malmquist 指数

Malmquist 指数最早于 1953 年由 Sten 在分析消费变化时提出^[9], 随后 Fare 等将其应用于评价跨时期的动态生产效率, 认为生产效率变化 (T_{ch}) 由技

术效率变化 (E_{ch}) 和技术变化 (TE_{ch}) 构成, 在规模报酬不变条件下, 技术效率变化又可看做由纯技术效率变化 (P_{ch}) 和规模效率变化 (S_{ch}) 构成, 即:

$$T_{ch} = E_{ch} \times TE_{ch} = P_{ch} \times S_{ch} \times TE_{ch}$$

式中: E_{ch} 为当给定的投入要素不变时, 被评价对象的实际产出与最大产出之间的比例, 反映其获取最大产出的能力; TE_{ch} 为生产前沿面的移动对生产效率变化的贡献程度。当 E_{ch} 、 TE_{ch} 、 P_{ch} 和 S_{ch} 的值大于 1 时, 分别代表技术效率提高、技术进步、纯技术效率提高和生产规模扩大, 若值小于 1 则情况相反。

生产效率变化可利用距离函数比率计算从 t 期到 $t+1$ 期的投入产出变化关系。在规模报酬不变条件下, Malmquist 指数公式为:

$$\begin{aligned} T_{ch} &= \left[\frac{d^t(m_{t+1}, n_{t+1})}{d^t(m_t, n_t)} \times \frac{d^{t+1}(m_{t+1}, n_{t+1})}{d^{t+1}(m_t, n_t)} \right]^{1/2} \\ &= \frac{d^{t+1}(m_{t+1}, n_{t+1})}{d^t(m_t, n_t)} \times \\ & \left[\frac{d^t(m_{t+1}, n_{t+1})}{d^{t+1}(m_{t+1}, n_{t+1})} \times \frac{d^t(m_t, n_t)}{d^{t+1}(m_t, n_t)} \right]^{1/2} \end{aligned}$$

若 $T_{ch} > 1$, 表示从 t 期到 $t+1$ 期全要素生产率水平提高, 反之则为降低。

1.3 空间自相关分析法

本研究运用空间自相关分析法, 对区域生态效率的空间分布特征及其关联程度进行测算。空间自相关分为全局空间自相关和局部空间自相关, 其中全局空间自相关用于分析区域总体的空间关联程度、分布特征及其显著性, 局部空间自相关反映相邻区域的空间关联程度。全局空间自相关指数为:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sigma^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n W_{ij}}$$

式中: n 为观测值的数量; x_i 和 x_j 分别为区域 i 和区域 j 的观测值; $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, $\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$; 空间权重矩阵 W_{ij} 为二元邻接矩阵。

标准化统计量 Z 用于检验区域空间自相关关系是否存在, 公式为:

$$Z = \frac{I - E(I)}{\sqrt{VAR(I)}}$$

式中: $E(I)$ 为期望值; $VAR(I)$ 为方差。若 I 显著

为正,表明存在正向的空间相关性,生态效率较高(较低)的区域在空间上呈集聚状态。

在实际研究中,同一区域内的空间自相关指数往往不同,即存在空间异质性,无法反映局部的集聚特征,因此需进一步分析局部空间自相关性。局部空间自相关指数为:

$$I_i = z_i \sum_{i \neq j}^n W_{ij} z_j$$

式中: $z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\delta}$, δ 为 x_i 的标准差。当 I_i 为正(负)时,表示相似(异)类型属性值要素在空间上呈集聚状态,且绝对值越大表示集聚程度越高。

2 指标选取和数据来源

2.1 投入和产出指标

生态效率强调经济效益和环境效益的统一,即用较少的资源消耗和环境污染生产较多的产品和服务,以满足人类的需求;其本质是以最小的投入获得最多的产出,同时产生最少的排放^[5]。鉴于指标数据的可获得性,本研究选取2006—2015年环渤海地区17个沿海城市的面板数据;产出指标选取区域经济发展总量(地区GDP);投入指标分为环境污染和资源消耗2个大类,其中环境污染类由废水排放(废水排放量)、废气排放(SO₂和工业烟粉尘排放量)和固废利用(工业固体废物综合利用率)等指标组成,资源消耗类由能源消耗(万元GDP能耗)、电消耗(用电总量)、水消耗(用水总量)、土地消耗(建设用地面积)、人力消耗(就业人数)和绿化(建成区

绿化覆盖率)等指标组成。

2.2 环境变量

环境变量应选取不在主观可控范围内,但能对区域生态效率产生影响的因素。本研究选取地区产业结构、政府对环境保护的支持力度和人力资源作为环境变量。①调整产业结构是转变经济增长方式、提高经济效益、减少环境污染和改善生态环境的重要途径,选取第三产业占地区GDP比重表示地区产业结构;②环境保护财政支出是政府提供基本环境服务的重要物质保障,在一定程度上对环境质量 and 环境保护效果发挥决定性作用,选取地区财政支出中用于环境保护的部分(万元)表示政府对环境保护的支持力度;③人口的受教育程度对区域生态效率同样有重要影响,选取地区万人在校大学生数量表示人力资源。

2.3 数据来源

本研究数据来自2007—2016年《天津统计年鉴》《河北统计年鉴》《山东统计年鉴》《辽宁统计年鉴》《中国城市年鉴》和《中国区域统计年鉴》,部分数据来自各地统计局等相关官方网站。

3 实证结果

3.1 生态效率的三阶段DEA模型测算

3.1.1 第一阶段

运用投入导向的DEA-BCC模型,将投入和产出指标的初始数据带入DEAP2.1软件,得到2006—2015年环渤海地区17个沿海城市的生态效率(表1)。

表1 2006—2015年环渤海地区17个沿海城市的生态效率

地区	城市	年份										平均值
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
天津市	天津市	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	唐山市	0.879	1.000	1.000	1.000	0.965	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.984
河北省	秦皇岛市	0.428	0.457	0.463	0.481	0.536	0.572	0.546	0.460	0.535	0.472	0.495
	沧州市	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
山东省	青岛市	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	东营市	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	烟台市	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	潍坊市	0.855	0.922	0.920	0.992	0.991	0.901	0.846	0.921	1.000	1.000	0.935
	威海市	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	日照市	0.935	0.581	0.533	0.528	0.538	0.565	0.510	0.499	0.523	0.547	0.576
	滨州市	0.729	0.888	0.823	0.804	0.737	0.767	1.000	1.000	0.876	0.681	0.831

续表

地区	城市	年份										平均值	
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		
辽宁省	大连市	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	丹东市	0.459	0.532	0.578	0.548	1.000	0.697	0.621	1.000	0.688	0.648	0.677	0.677
	锦州市	0.487	0.531	0.550	0.536	0.571	0.628	0.694	0.574	0.728	0.526	0.583	0.583
	营口市	0.453	0.435	0.413	0.526	0.594	0.639	1.000	0.709	0.679	0.668	0.612	0.612
	盘锦市	1.000	1.000	0.734	0.760	0.804	0.766	0.810	0.700	0.661	0.628	0.786	0.786
	葫芦岛市	0.413	0.401	0.375	0.393	0.769	0.449	0.448	0.746	0.759	0.414	0.517	0.517
平均值		0.802	0.809	0.788	0.798	0.853	0.823	0.851	0.859	0.850	0.799	—	—

当生态效率等于 1 时,表明已实现产出的最大化;当生态效率小于 1 时,表明实际产出与目标产出之间存在一定的差距。由表 2 可以看出,2006—2015 年天津市、沧州市、青岛市、东营市、烟台市、威海市和大连市 7 个城市的生态效率均为 1,即处于技术效率前沿面;唐山市除 2006 年和 2010 年,其余年份的生态效率均为 1,即达到技术有效;潍坊市的生态效率总体呈上升趋势,于 2014 年和 2015 年达到技术有效;秦皇岛市、葫芦岛市、日照市和锦州市

的生态效率偏低,且波动较大,平均值均低于 0.600,其中秦皇岛市最低。

3.1.2 第二阶段

以第一阶段所得的各决策单元的松弛变量值作为被解释变量,以地区产业结构、政府对环境保护的支持力度和人力资源 3 个环境变量作为解释变量,运用相似 SFA 模型剔除外部环境和随机误差的影响,利用 Frontier4.1 软件进行回归分析,结果如表 2 所示。

表 2 SFA 回归结果

因变量	系数值	常数项	第三产业占地区 GDP 比重	环境保护财政支出	万人在校大学生数量	σ_{ε}^2	γ	Log likelihood function	LR 单边误差
废水排放量	系数值	867.10	-17.47	-0.002 2	-0.339 5	8.76E+04	1.00	196.86	2 653.***
	T 检验值	867.10***	-17.47***	-0.455 4	-0.339 5	8.76E+04***	20.87E+05***		
SO ₂ 排放量	系数值	1 898.11	-34.01	-0.015 2	-0.939 4	30.25E+04	1.00	136.76	2 743.50
	T 检验值	1 898.11***	-34.01***	-1.87*	-0.939 4	30.25E+04***	39.17E+04***		
工业烟粉尘排放量	系数值	3.26E+05	-6 441.87	-0.022 1	-131.97	11.59E+09	1.00	-910.34	2 443.40
	T 检验值	3.26E+05***	-6 441.87***	-0.502 1	-131.97***	11.59E+09***	69.10E+08***		
工业固体废物综合利用率	系数值	5.06	-0.121 7	0.85E-05	-0.011 7	2.14	1.00	1 104.76	2 663.48
	T 检验值	5.06***	-0.124 7	0.208 0**	-0.051 7	2.14**	29.80E+05***		
建成区绿化覆盖率	系数值	2.25	-0.072 3	0.20E-05	-0.67E-03	0.013 8	1.00	1 552.29	3 303.25
	T 检验值	12.97***	-7.70***	6.42***	-0.569 5	1.24	11.30E+08***		
万元 GDP 能耗	系数值	0.338 3	-0.006 5	-0.11E-06	-0.15E-03	0.011 5	0.95	404.92	375.03
	T 检验值	0.338 3	-0.006 5	-0.11E-06	-0.15E-03	0.011 5	0.95		
建设用地面积	系数值	0.059 6	-0.001 8	-0.51E-05	10.05E-04	0.180 5	1.00	1 232.23	2 871.46
	T 检验值	0.180 6	-0.110 8	-11.19***	0.542 7	6.26***	56.91E+08***		
用水总量	系数值	294.42	-5.62	-0.002 0	-0.130 9	8 419.75	1.00	449.36	2 759.87
	T 检验值	294.42***	-5.62***	-1.01	-0.130 9	8 419.75***	3.91E+05***		
就业人数	系数值	9.89	-0.249 1	3.16E-06	-0.013 2	0.720 8	1.00	1 210.14	3 099.22
	T 检验值	9.90***	-5.70***	0.327 5	-1.46	2.75***	26.98E+08***		
用电总量	系数值	3.34E+05	5 013.25	-0.202 7	-290.73	2.12E+10	1.00	998.34	2 369.69
	T 检验值	3.34E+05***	5 013.25***	-1.87*	-290.73***	2.12E+10***	8.57E+11***		

注: T 检验值为检验解释变量对被解释变量是否有显著影响的指标;***、**和* 分别表示通过显著性水平为 1%、5%和 10%的检验。

由表 2 可以看出,第三产业占地区 GDP 比重、环境保护财政支出和万人在校大学生数量对一定的投

入变量通过显著性水平检验,表明本研究选取的环境变量在一定程度上对投入冗余存在显著的影响。

(1)第三产业占地区GDP比重对除用电量外的所有投入松弛变量的回归系数均为负,表明其提高有利于降低除电消耗外所有变量的投入冗余,从而提高生态效率;这与近年来我国致力于调整产业结构、大力发展第三产业、保护生态环境和降低能耗的实际相吻合。

(2)环境保护财政支出对多数投入松弛变量的回归系数为负,表明其增加可降低各投入冗余,从而提高生态效率,与预期结果一致;随着国家相关政策的出台和实施,多渠道融资局面已逐步形成,促进政府和社会资金融合投入环保产业。

(3)万人在校大学生数量对多数投入松弛变量

的回归系数为负,表明其增加可降低各投入冗余,从而提高生态效率;提高公众受教育程度能显著增强社会环保意识和促进科技进步,从而减少污染和降低能源,各地应充分重视教育,加大教育投入、提高教育水平。

由于各环境变量对不同区域生态效率的影响有所不同,有必要调整原始投入变量,使所有区域面临相同的外部环境和随机误差,从而保证第三阶段测算生态效率的准确性。

3.1.3 第三阶段

对调整后的投入变量和原始的产出变量,再次利用DEAP2.1软件计算,得到2006—2015年环渤海地区17个沿海城市的生态效率,即已剔除外部环境和随机误差影响后的生态效率,结果如表3所示。

表3 2006—2015年环渤海地区17个沿海城市的生态效率(剔除外部环境和随机误差影响后)

地区	城市	年份										平均值	
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		
天津市	天津市	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	唐山市	0.927	1.000	1.000	1.000	0.966	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.989
河北省	秦皇岛市	0.474	0.485	0.463	0.490	0.526	0.547	0.534	0.456	0.516	0.428	0.428	0.492
	沧州市	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
山东省	青岛市	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	东营市	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	烟台市	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	潍坊市	0.875	0.915	0.907	0.983	0.991	0.906	0.863	0.923	1.000	1.000	1.000	0.936
	威海市	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	日照市	0.449	0.574	0.531	0.533	0.554	0.532	0.523	0.500	0.534	0.541	0.541	0.527
	滨州市	0.645	0.836	0.786	0.775	0.738	0.756	1.000	0.967	0.870	0.686	0.686	0.806
辽宁省	大连市	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	丹东市	0.398	0.538	0.558	0.528	0.598	0.639	0.586	0.631	0.676	0.662	0.662	0.581
	锦州市	0.394	0.516	0.542	0.512	0.560	0.612	0.679	0.519	0.684	0.548	0.548	0.557
	营口市	0.450	0.445	0.411	0.521	0.598	0.600	1.000	0.687	0.683	0.707	0.707	0.610
	盘锦市	0.710	0.622	0.576	0.633	0.750	0.746	0.726	0.648	0.650	0.636	0.636	0.670
	葫芦岛市	0.378	0.410	0.359	0.390	0.744	0.404	0.418	0.659	0.761	0.422	0.422	0.495
平均值		0.747	0.785	0.773	0.786	0.825	0.808	0.843	0.823	0.846	0.802	0.802	—

由表3可以看出,对比第一阶段的结果,从总体上看,2006—2015年生态效率均为1的城市保持不变;生态效率有所提高的城市包括唐山市和潍坊市;生态效率有所降低的城市包括秦皇岛市、日照市、滨州市、丹东市、锦州市、营口市、盘锦市和葫芦岛市,这些城市的生态效率在第一阶段被高估,主

要原因是其处于较好的外部环境或较低的随机误差水平。

3.2 生态效率的Malmquist指数动态分析

本研究选取2006—2015年环渤海地区17个沿海城市的面板数据,利用DEAP2.1软件计算Malmquist指数,得到各城市年均生态效率的

Malmquist 指数及其分解(表 4)。

表 4 2006—2015 年环渤海地区 17 个沿海城市年均生态效率的 Malmquist 指数及其分解

城市	技术效率变化 (E_{ch})	技术变化 (TE_{ch})	纯技术效率变化 (P_{ch})	规模效率变化 (S_{ch})	生态效率变化 (T_{ch})
天津市	1.000	1.107	1.000	1.000	1.107
唐山市	1.008	1.119	1.003	1.005	1.129
秦皇岛市	0.989	1.132	1.000	0.989	1.119
沧州市	1.000	1.128	1.000	1.000	1.128
青岛市	1.000	1.096	1.000	1.000	1.096
东营市	1.000	1.089	1.000	1.000	1.089
烟台市	1.000	1.127	1.000	1.000	1.127
潍坊市	1.015	1.088	1.003	1.012	1.104
威海市	1.000	1.148	1.000	1.000	1.148
日照市	1.021	1.177	0.991	1.030	1.202
滨州市	1.007	1.088	1.000	1.007	1.095
大连市	1.000	1.217	1.000	1.000	1.217
丹东市	1.058	1.153	1.000	1.058	1.220
锦州市	1.037	1.128	1.000	1.037	1.170
营口市	1.052	1.105	1.000	1.052	1.162
盘锦市	0.988	1.147	1.000	0.988	1.133
葫芦岛市	1.012	1.047	1.000	1.012	1.060
平均值	1.011	1.123	1.000	1.011	1.136

由表 4 可以看出,各城市的生态效率均有所提高,且技术变化高于技术效率变化,表明生态效率的提高主要来自技术变化的推动。其中,丹东市、大连市和日照市生态效率提高最快,明显高于平均值;尤其是丹东市,虽然其生态效率较低,但技术进步较快。葫芦岛市生态效率提高最慢,而其生态效率也较低,表明其改进空间较大。

3.3 生态效率的空间自相关分析

3.3.1 空间格局演化

根据运用三阶段 DEA 模型测算的 2006—2015 年环渤海地区 17 个沿海城市的生态效率,选取 2006 年、2010 年和 2015 年的截面数据,运用 ArcGIS 软件,绘制各城市生态效率的空间格局。当生态效率等于 1 时,效率最高;当生态效率在 $[0.8, 1)$ 区间时,效率良好;当生态效率在 $[0.6, 0.8)$ 区间

时,效率中等;当生态效率小于 0.6 时,效率无效^[13](图 1)。

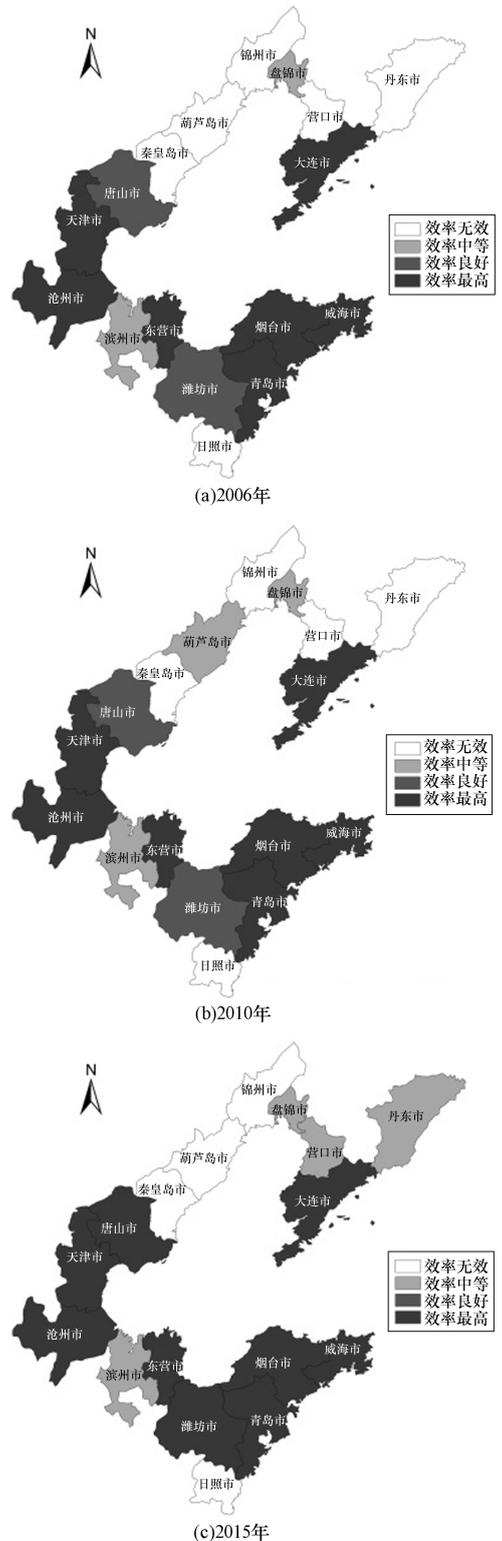


图 1 环渤海地区 17 个沿海城市生态效率的空间格局

由图1可以看出,环渤海地区17个沿海城市的生态效率总体上有提高的趋势。①2006年天津市和山东省的生态效率较高,河北省次之,辽宁省总体较低。②2010年生态效率整体有所提高,效率最高和良好的城市保持不变,葫芦岛市由效率无效提高至效率中等,效率无效的城市降为5个。③2015年唐山市和潍坊市的生态效率提高至最高水平,效率最高的城市达到9个;丹东市和营口市也由效率无效提高至效率中等;葫芦岛市由2010年的效率中等又降至效率无效;河北省和山东省的生态效率发展平稳,辽宁省总体提升较大。

3.3.2 全局空间自相关

运用GEODA1.6.7软件,分别测算2006年、2010年和2015年环渤海地区17个沿海城市生态效率的全局空间自相关指数(表5)。

表5 3个年份环渤海地区17个沿海城市生态效率的全局空间自相关指数

年份	Moran's I	E(I)	Z(I)	P value
2006	0.135 534 0	-0.062 5	0.923 2	0.175 0
2010	0.015 592 5	-0.062 5	0.309 8	0.373 0
2015	0.317 391 0	-0.062 5	1.616 3	0.049 0

由表5可以看出,2006年、2010年和2015年环渤海地区17个沿海城市的全局空间自相关指数都呈正向的空间相关性,表明生态效率较高(较低)城市集聚的空间关联特征;2015年相关系数最高,并在5%水平下显著,表明生态效率较高(较低)城市存在显著的空间正相关;相关系数在2010年稍有回落上升,表明生态效率较高(较低)城市的集聚程度逐渐提高。从全局来看,各城市的生态效率不仅与其经济发展水平等因素有关,而且与相邻区域的生态效率有关。

3.3.3 局部空间自相关

进一步测算2006年、2010年和2015年环渤海地区17个沿海城市生态效率的局部空间自相关指数,得到其在4个象限的散点分布。

(1)位于第1象限(H-H集聚)的城市均为7个,即城市自身和周边地区的生态效率均较高;多

数来自山东省,表明近年来“海上山东”“绿色山东”和“生态山东”等重大战略以及相关生态环境保护政策和规划的实施对山东省生态文明建设发挥出积极作用。

(2)位于第2象限(L-H集聚)的城市包括营口市、丹东市、日照市和滨州市,即自身的生态效率较低而周边地区的生态效率较高,空间分布稳定;秦皇岛市于2010年由第3象限转移至此。

(3)位于第3象限(L-L集聚)的城市包括葫芦岛市、锦州市和盘锦市,即自身和周边地区的生态效率均较低。

(4)位于第4象限(H-L集聚)的城市包括唐山市和大连市,即自身的生态效率较高而周边地区的生态效率较低。

具体散点分布如表6所示。

表6 3个年份环渤海地区17个沿海城市生态效率的散点分布

象限	年份		
	2006	2010	2015
第1象限 (H-H)	沧州市、天津市、青岛市、烟台市、潍坊市、东营市、威海市	沧州市、天津市、青岛市、烟台市、潍坊市、东营市、威海市	沧州市、天津市、青岛市、烟台市、潍坊市、东营市、威海市
第2象限 (L-H)	营口市、丹东市、日照市、滨州市	秦皇岛市、营口市、丹东市、日照市、滨州市	营口市、丹东市、日照市、滨州市
第3象限 (L-L)	秦皇岛市、葫芦岛市、锦州市、盘锦市	葫芦岛市、锦州市、盘锦市	秦皇岛市、葫芦岛市、锦州市、盘锦市
第4象限 (H-L)	唐山市、大连市	唐山市、大连市	唐山市、大连市

综上所述,环渤海地区沿海城市的生态效率同时存在空间的相关性和差异性,空间格局处于动态变化中。

4 结语

在借鉴生态效率相关研究成果的基础上,本研

究采用三阶段 DEA 模型、Malmquist 指数和空间自相关分析法,分析 2006—2015 年环渤海地区 17 个沿海城市的面板数据。突破传统单一阶段 DEA 模型受外部环境和随机误差影响的局限性,综合考虑环境变量测算生态效率,动态分析生态效率及其空间关联特征,研究结果与预期基本一致:各城市的生态效率均有所提高,主要原因是技术进步;区域生态效率同时存在空间的相关性和差异性,空间格局处于动态变化中。

在今后的研究中,应进一步对不同区域的生态效率进行比较和排序,并进一步研究区域生态效率空间差异的影响因素和解决途径等,从而为有效提高地区生态效率提供理论依据。

参考文献

- [1] 覃雄合,孙才志,王泽宇.代谢循环视角下的环渤海地区海洋经济可持续发展测度[J].资源科学,2014,36(12):2647—2656.
- [2] 柯昶,曹桂艳,张继承.环渤海经济圈的海洋生态环境安全问题探讨[J].太平洋学报,2013,21(4):71—80.
- [3] 成金华,孙琼,郭明晶.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,2014,24(1):47—54.
- [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] 傅京燕,原宗琳,曾翩.中国区域生态效率的测度及其影响因素分析[J].产经评论,2016,11(6):85—97.
- [6] 张焯,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.
- [7] 彭妍,岳金柱,李景理.基于 DEA-Tobit 的城市生态效率评价及影响因素研究:以江苏省为例[J].环境保护科学,2016,42(4):71—78.
- [8] 蔡洁,夏显力,李世平.新型城镇化视角下的区域生态效率研究:以山东省 17 地市面板数据为例[J].资源科学,2015,37(11):2271—2278.
- [9] 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.
- [10] CHARNES A, COOPER W W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operation Research, 1978, 2: 429—444.
- [11] FRIED. Accounting for environmental effects and statistical noise in data environment analysis[J]. Journal of Productivity Analysis, 2002(17): 121—136.
- [12] 黄德春,董宇怡,刘炳胜.基于三阶段 DEA 模型中国区域能源效率分析[J].资源科学,2012,34(4):688—695.
- [13] 赵林,张宇硕,焦新颖.基于 SBM 和 Malmquist 生产率指数的中国海洋经济效率评价研究[J].资源科学,2016,38(3):461—475.