

环渤海地区生态效率评价及空间演化规律

盖美^{1,2}, 聂晨²

(1. 辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心, 大连 116029;

2. 辽宁师范大学城市与环境学院, 大连 116029)

摘要: 运用三阶段DEA模型对环渤海沿海地区17个城市的生态效率进行测算,并结合标准差椭圆和重心坐标方法,定量分析了2006-2015年环渤海地区生态效率的空间演化规律。结果表明:(1)基于三阶段DEA模型测算的生态效率结果,环渤海沿海17市的生态效率总体呈中等偏上水平,且2006-2015年效率值持续上升,天津、唐山、青岛、大连位居前四,17市中绝大多数城市生态效率值低于环渤海平均值,地区差异十分显著。(2)标准差椭圆结果显示环渤海沿海地区生态效率整体呈东北—西南格局,且有逐渐向西南偏移的趋势。(3)环渤海地区生态效率存在明显的省际差异性,且各省限制性因素区别较大。

关键词: 生态效率;三阶段DEA;空间转移;环渤海地区

环渤海地区作为北方的黄金海岸,对于我国北方经济具有巨大的带动作用。但是近几年环渤海地区的经济社会发展却发生明显的区域差异,高污染、高能耗、低收益的经济增长模式没有得以改变,社会经济的发展对资源与环境的需求巨大,致使资源匮乏和环境污染的问题日益严峻。2017年10月18日中共中央十九大召开,将生态文明建设定为“千年大计”,提出将生态文明理念全面融入城市发展。量化及协调环渤海地区经济发展与资源环境之间的关系,能够满足国家战略需求,对推动环渤海地区资源环境与社会经济的可持续发展起到重要作用。因此,为响应十九大的号召,实现环渤海地区经济的绿色发展,提高其生态效率,成为该地区目前亟待解决的问题。

关于生态效率的界定,各大国际组织定义不一。世界可持续发展工商理事会(WBCSD)把生态效率定义为^[1]: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;经合组织^[2]诠释为:生态资源用于满足人类需求的效率;欧盟环境署^[3]则定义为:从更少的资源中获得更多的福利等。由于各组织所处视角不同,因此对于生态效率定义的侧重点不同。本文在此基础上,对于其概念进行总结和升华。作者认为不仅仅要从单一的生态环境角度讨论生态效率的定义,还应该从社会、资源和环境三重角度共同探讨生态效率概念。故本文认为生态效率(Eco-Efficiency)指的是产出与投入的比值,其中产出是指企业生产或经济体提供的产品和服务的价值;投入是指企业生产或经济体的投资、资源和能源的消耗及它们所造成的环境负荷。因此生态效率的核心理念是以更少的社会投入、资源消耗及环境破坏获取更多的价值,集中体现了经济发展与资源环境利用

收稿日期: 2018-06-20; 修订日期: 2018-09-18

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(14ZDB130); 国家自然科学基金项目(41501594); 辽宁省社科规划基金项目(L18BTJ002)

作者简介: 盖美(1971-),女,辽宁大连人,博士,教授,研究方向为区域经济与可持续发展。

E-mail: gamei71@163.com

关系^[4-5]。

近几年国内外学者对于生态效率问题进行了大量研究^[6]。(1)从研究方法上:Quariguasi等基于帕累托最优开发出了生态拓扑方法用于评价生态效率,该方法同意决策者根据自身喜好来评价最终方案,且易于达到可视化表达^[7];王恩旭^[8]、邓波等^[9]、彭红松等^[10]分别采用超效率DEA模型、三阶段DEA模型和SBM-DEA模型对中国省际生态效率、区域生态效率和黄山旅游地的生态效率进行了评价;韩增林等运用考虑非期望产出的SBM模型测算了环渤海经济圈的生态效率值,并利用面板门槛回归模型分析其影响因素^[11]。(2)从研究视角上:付丽娜等运用超效率DEA模型,从城市群的发展视角测算和评价了长株潭“3+5”经济圈的生态效率趋势^[12];任宇飞等从生态效率的空间作用机制以及与经济互动关系的视角,对2006-2014年京津冀城市群县级行政单元生态效率进行测度^[13]。(3)从生态效率的研究层次上:李惠娟等对我国资源型城市生态效率进行定量评价^[14];Michelsen等就能源消耗、物质消耗等9个指标对挪威家具产品的生态效率进行了定量测算^[15];Van Caneghem等则从环境维度测算了钢铁产业的生态效率^[16]。这都为本文提供了良好的基础。但是以往的研究对于生态效率空间格局的动态转移研究较少,且在指标选取时过于简单。

鉴于此,本文将在以下方面改进:(1)三阶段DEA模型突破了随机前沿法(SFA)和传统DEA的局限性,剔除了外部环境变量和随机误差对投入变量的影响,计算所得结果更能反应出实际生态效率发展的优势与不足,并且在三阶段DEA模型第三阶段的基础上本文又将生态效率做出分解,分别从技术效率、纯技术效率和规模效率的角度分解了环渤海地区的生态效率,并且逐个分析各项要素对于生态效率的贡献和影响,使得研究结果更加深入。(2)在生态效率定义和张焱等^[17]经济—社会—生态的复合系统的思路,从社会、资源和环境三个系统的视角选取多个指标体系,更能贴近生态效率资源消耗和环境、经济投入与产出比值的概念,从而更加全面地分析各地区的真实效率。(3)在分析环渤海地区17个城市的生态效率基础上,借助标准差椭圆,利用空间可视化的方式和多角度定量识别的方法展示了2006-2015年环渤海地区生态效率的空间演化规律,升华论文的完成度,且为各城市的发展路线提供现实指导。

1 研究方法与数据来源

1.1 三阶段DEA模型

三阶段DEA模型是由Fried等提出的,相较于传统的DEA模型,它能够准确地评价研究地的效率特征值,共包括三个阶段^[18]。

第一阶段:传统DEA模型

DEA方法由Charnes等^[19]于1978年提出,用于在多“投入—产出”的模式下,衡量研究对象间的相对有效性。公式如下:

$$\rho^* = \min \frac{1 - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{S_n^x}{x_{kn}^t}}{1 + \frac{1}{M+1} \left(\sum_{m=1}^M \frac{S_m^y}{y_{km}^t} + \sum_{i=1}^L \frac{S_i^b}{b_{ki}^t} \right)}$$

$$\begin{aligned}
s.t. \quad & \sum_{k=1, k \neq j}^k z_k^t x_{kn}^t + s_n^x = x_{kn}^t, n=1, \Lambda N \\
& \sum_{k=1, k \neq j}^k z_k^t y_{kn}^t - s_m^y = y_{km}^t, m=1, \Lambda M \\
& \sum_{k=1, k \neq j}^k z_k^t b_{ki}^t + s_i^b = b_{ki}^t, i=1, \Lambda I \\
& z_k^t \geq 0, s_n^x \geq 0, s_m^y \geq 0, s_i^b \geq 0, k=1, \Lambda K
\end{aligned} \quad (1)$$

式中： ρ 为效率值， $0 < \rho \leq 1$ ，当 $\rho=1$ 时，决策单元则为有效；当 $\rho < 1$ 时，决策单元出现效率损失。 N 为投入指标数量； M 为期望产出指标的数量； (S_n^x, S_m^y) 代表松弛向量； (x_{kn}^t, y_{km}^t) 表示投入—产出的权重； z_k^t 表示投入产出权重。

第二阶段：构建相似SFA模型

在第二阶段中，依据Batese等^[20]的研究结果，建立SFA模型，可将松弛变量分解为3个自变量，分别是：管理无效因素、随机因素和环境因素。然后依据SFA的结果调整其投入变量，最终得出在同质环境下的新投入数据。公式为：

$$\begin{aligned}
S_{ni} &= f^n(Z_i, \beta^n) + V_{ni} + U_{ni} \\
n &= 1, 2, \Lambda N; i = 1, 2, \Lambda I
\end{aligned} \quad (2)$$

式中： S_{ni} 为第 i 个决策单元第 n 种投入的松弛变量， $Z_i = (Z_{1i}, Z_{2i}, \Lambda, Z_{ki})$ 为 K 个环境变量； $f^n(Z_i, \beta^n)$ 表示环境变量对投入松弛变量 S_{ni} 的影响，一般取 $f^n(Z_i, \beta^n) = Z_i \beta^n$ ； $V_{ni} + U_{ni}$ 为混合误差项， V_{ni} 表示随机干扰项， U_{ni} 表示管理无绩效项。

第三阶段：调整后的DEA模型

摒弃原始投入数据，替换为调整后的第二阶段投入数据和原始的产出数据，利用DEA第一阶段模型重新计算各市生态效率绩效值。

1.2 标准差椭圆

标准差椭圆是一种能够精准描述空间分布各方面规律的空间统计方法，利用椭圆的长短轴和重心的分布特征来描述研究地区的整体空间特征^[21-23]，长轴表示离散程度，重心表示相对位置。SDE公式为：

$$\overline{X_w} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}; \quad \overline{Y_w} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (3)$$

$$\sigma_x = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (w_i \tilde{x}_i \cos \theta - w_i \tilde{y}_i \sin \theta)^2}}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (4)$$

$$\sigma_y = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (w_i \tilde{x}_i \sin \theta + w_i \tilde{y}_i \cos \theta)^2}}{\sum_{i=1}^n w_i^2} \quad (5)$$

式中： $(\overline{X_w}, \overline{Y_w})$ 为区域重心坐标； (x_i, y_i) 为空间区位要素； w_i 表示权重； x 和 y 分别

表示各点距离椭圆重心的相对坐标; $\tan\theta$ 表示各点与重心之间的转角; σ_x 和 σ_y 分别为沿 x 轴和 y 轴的标准差。以上运算可依托GIS 10.0软件得出。

1.3 指标选取

基于生态效率的基本概念,本文将从投入(成本)和产出(收益)两个层面出发,投入层面又从社会经济、资源、环境三个角度来构建指标^[24-28],并运用皮尔森积矩相关系数的同向性原则对各个指标进行线性相关检验(该检验可依托SPSS 17.0软件包运算得出)。社会经济层:运用年末从业人员数量(万人)表征人力资源要素,资本要素用固定资产投资总额(万元)替代;环境层则使用传统的“工业三废”替代,由于工业固体废弃物排放量指标未能通过皮尔森积矩相关系数检验,且考虑到环渤海地区中绝大部分城市的空气质量不及全国平均水平空气污染严重,因此在环境层中,用工业烟尘排放量取代工业固体废弃物排放量,最终采取工业废水排放量(万t)、工业二氧化硫排放量(t)和工业烟尘排放量(t)来衡量环境要素;资源层中土地、水资源、能源要素分别以城市建设用地面积(km²)、供水总量(t)和能源消耗总量(万t标准煤)替代,其中能源消耗总量采用各地区煤炭、焦炭、石油液化气能源的消费量转化为同一单位后加总所得^[4]。

第二阶段计算所需的外部环境变量,应该选取对生态效率存在影响但又不在于样本主观可控范围的指标^[4],同样将从社会经济、资源、环境三个层面对应选取,产业结构的调整对于经济和生态的影响十分显著,而环渤海地区产业结构问题严峻,因此以第三产业占GDP比例(%)来表征社会经济系统,作为资源系统的因变量;环境系统则用建成区绿化覆盖率来衡量;电能是当今社会主要的动能之一,以万元GDP电耗(kWh)作为资源系统的因变量。

生态效率的产出指标是用来描述各类经济体所表现出来的经济价值,因此选择地区经济总量即该地区的地区生产总值(GDP)作为该地区生态效率的产出指标。

为保证数据的统一性和连贯性,以上所有数据均来自2006-2015年《中国城市统计年鉴》《中国环境年鉴》。

2 结果分析

2.1 第一阶段传统DEA实证结果

运用DEA-SOLVER Pro 5软件包计算得2006-2015年环渤海沿海17市生态效率结果(表1)。表1显示:在不考虑外部环境变量和随机误差的情况下,环渤海地区生态效率平均值为0.744,大部分城市的生态效率都是高于平均值。数据显示,各城市生态效率值没有明显区别,基本在0.8左右浮动,且最高值出现在经济环境条件处于中等低水平的盘锦,是由于第一阶段的效率值并没有剔除随机因子外部环境变量的干扰,并未反映出环渤海地区个城市的真实生态效率,因此还需要加入第二阶段的运算。

2.2 第二阶段SFA回归结果

在第二阶段中,调整环渤海17市十年的原始投入值,选取原始8个投入的松弛变量为因变量,第三产业占GDP比例、万元GDP电耗和建成区绿化覆盖率为自变量,利用SFA模型,依托FRONTIER Version 4.1软件对上述投入松弛变量进行统计,结果见表2。

从回归结果可以看出:第三产业占GDP比例对工业二氧化硫排放量和能源消耗总量松弛变量的影响方向为负,且都在1%水平上显著,这说明当第三产业占经济总量比例提高时,工业废水排放量和能源消耗总量均会减少,因此生态效率值将会得到有效提高。

表 1 生态第一阶段效率结果平均值

Table 1 The average value of the first stage of ecological efficiency results

城市	天津	唐山	秦皇岛	沧州	青岛	东营	烟台	潍坊	威海	日照	滨州	大连	丹东	锦州	营口	盘锦	葫芦岛
生态效率	0.68	0.63	0.43	0.99	0.86	0.81	0.87	0.63	0.99	0.55	0.63	0.62	0.98	0.66	0.4	1	0.92

表 2 第二阶段SFA 回归结果

Table 2 Second stage SFA regression results

	工业废水排放量		工业二氧化硫排放量		工业烟尘排放量		城市建设用地面积	
	系数	T	系数	T	系数	T	系数	T
常数项	-500	-493***	48582	48580***	-7034	-7033***	-13.87	-13.87***
三产占 GDP 比例	17945	17920***	-57035	-57035***	15314	15313***	79.03	79.03***
建成区绿化覆盖率	0.03	3.18***	0.02	7.22***	0.01	9.16***	-3.E-06	-3.E-06
万元 GDP 电耗	-1.10	-0.31	22.75	1.64*	14.31	2.04**	0.02	0.02
sigma-squared	4.E+07	4.E+07***	8.9E+08	8.9E+08***	1.E+08	1.E+08***	203.71	203.71***
gamma	0.04	0.12	0.43	1.47	0.05	0.14	0.05	0.05
Log likelihood	-172.13		-196.44		-182.32		-69.04	
	供水总量		能源消耗总量		年末从业人员数量		固定资产投资总额	
	系数	T	系数	T	系数	T	系数	T
常数项	-5293	-5291***	-105493	-102656***	125.41	0.58	2281738	2281738***
三产占 GDP 比例	42680	42678***	-97970	-97650***	147.65	2.29**	3080129	3080129***
建成区绿化覆盖率	0.00	1.45	0.19	6.54***	0.00	1.53	-0.004	-0.01
万元 GDP 电耗	-0.53	-0.09	326.74	2.45*	-0.03	-0.38	-2 039	-2 032***
sigma-squared	1.E+08	1.E+08	5.E+10	5.E+10	16205	16078***	5.E+12	5.E+12
gamma	0.04	0.12	0.04	0.12	0.03	0.12	0.05	0.14
Log likelihood	-180.39		-233.62		-106.24		-272.90	

注：*、**和***分别表示在 10%、5%和 1%显著性水平上显著。

我国近几年不断推动第三产业的发展，重视调整产业结构，目的就是降低经济发展所占用的资源能耗从而起到改善环境的作用。另外，第三产业占 GDP 比例对工业烟尘排放量、城市建设用地面积、供水总量、年末从业人员和固定资产投资总额的影响为正，这也是符合现实情况的，随着第三产业的推进，各项指标随之增加，从而带动产出的增加。

建成区绿化覆盖率在理论上应该是对生态效率起正相关作用，但是从回归结果来看，却没有起到相应作用，且只有 4 个指标通过了 1% 的显著检验，且建成区绿化覆盖率对城市建设用地和固定投资总额松弛变量的影响为负值。绿化在一个城市生态系统建设中的作用突出，但是环渤海地区在城市绿化工作上并没有十分到位，该地区绿化覆盖率不达标的主要原因是该地区对于城市绿化缺乏长远的规划目标，绿化基础设施配备不全，且较差的城市生态环境本底也影响园林植物的正常生长。因此环渤海各级城市应该大力做好城市绿化与城市规划同步协调发展工作，使城市绿化尽快对该地区的生态效率起到正面作用。

万元 GDP 电耗对工业废水排放量、供水总量、年末从业人员数量以及固定资产投资总额松弛变量的影响为负，但影响强度不大，其他指标影响都为正，对工业二氧化硫排放量和能源消耗总量通过 10% 的显著检验，对工业烟尘排放量通过 5% 的显著检验，对固定资产投资总额为 1% 的显著检验。这说明万元 GDP 电耗的减小对于环渤海生态效率值

的提高有很大的影响, 因此提高电能的利用率减小万元 GDP 电耗是环渤海地区的首要工作之一。

由于外部环境变量对不同的地区的影响程度不同, 经营环境的好坏程度也会影响到该地区的生态效率特征值。因此, 在第三阶段需要调整投入变量, 使研究地的经营环境处于相同条件下才能测算出环渤海地区各城市准确的生态效率值。

2.3 第三阶段调整后的 DEA 实证结果

对第二阶段得出的 8 个投入指标和原始的产出指标依托 DEA-SOLVER Pro 5 软件包进行分析, 得到 2006-2015 年环渤海地区 17 市的真实生态效率, 如表 3。对比表 1 可知, 第三阶段的效率值比第一阶段发生明显改变, 说明本文所选取的外部环境变量对生态环境的影响较大, 剔除外部环境影响后, 环渤海沿海 17 市的生态效率值有了明显的波动和差异, 地区差异更加明显。

2.3.1 环渤海生态效率分析

表 3 显示, 环渤海地区整体生态效率较低, 十年的平均效率值为 0.491, 地区绝大多数城市未达到平均水平, 说明环渤海地区的生态效率还有很大的发展空间, 这也同时成为拔高环渤海地区经济发展的一个“短板”。从数据来看, 十年来环渤海地区生态效率总体水平呈持续上升趋势, 从 2006 年的 0.303 上升至 2015 年的 0.606, 进步成果显著。

从城市得分上来看, 环渤海地区生态效率值内部差异巨大, 效率值较高的城市主要集中在环渤海沿岸的西部和南部, 其中赋值最高的天津达到 0.832, 而最低的葫芦岛仅有 0.181, 相差悬殊。再从葫芦岛十年的增率来看, 从 2006 年的 0.113 增加到 2015 年的 0.221, 生态效率仅上升了 0.108; 而天津十年间则上升了 0.557, 增率是葫芦岛的 5 倍左右。这主要是因为两地的经济发展水平相差甚远, 天津市由于工业发达且背靠首都北京, 经济发展速度极快, 相应的对环境保护的资金投入也较高, 且该城市经济结构已经由粗放型的重工业渐渐调整为以科技为支撑的第三产业, 因此天津市能用较少的环境、资源投入获取较高的经济产出, 保持了生态效率的稳定增长。但是以葫芦岛为例的辽南和辽东各城市长期以来未能实现产业结构的调整和经济的转型, 投入和产出比较小, 导致生态效率的滞后。总之, 环渤海地区大部分城市的生态效率并没有达到理想水平, 产出与投入的比值较低, 资源环境的投入并没有实现最大的产出转化, 经济发展与资源环境利用关系没有达到最优。

2.3.2 各省生态效率分析

图 1 给出了 2006-2015 年环渤海分省生态效率的变动情况 (为方便统计和区位原因暂将天津市划分到河北省)。如图, 研究期间河北省和山东省生态效率一直处于环渤海平均值之上, 辽宁省长期不及平均值。且十年来各省及环渤海总体生态效率值都是稳定上升的, 环渤海总体增幅为 50.07%, 河北、山东和辽宁增幅分别为: 52.63%、46.21% 和 59.07%。在此将以山东省和辽宁省为例做对比分析。如图所示, 从 2006 年开始, 山东省生态效率值逐渐超过辽宁省, 这主要原因还是两地区发展路线的差异。从山东省来看, 其各城市发展路线十分清晰, 青岛的旅游产业、威海的对韩外贸产业以及烟台的农副产品销售产业针对性十足, 充分利用了各地的发展优势, 用最少的环境污染和资源消耗带动了最大的经济产出, 使其生态效率持续拔高。而近几年, 辽宁省除大连市外其他城市各项发展极度缓慢, 长期滞后于环渤海平均水平, 原因在于其经济发展长期依赖于农业

表3 2006-2015年环渤海沿海各市第三阶段生态效率测算结果

Table 3 Estimated ecological efficiency of the Bohai Rim in the third stage from 2006 to 2015

城市/年份	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	平均值	地区排名
天津	0.456	0.517	0.647	0.759	0.912	0.919	1.029	1.036	1.012	1.033	0.832	1
唐山	0.442	0.513	0.643	0.667	0.735	0.830	0.970	0.881	0.976	0.983	0.764	3
秦皇岛	0.181	0.189	0.220	0.218	0.249	0.306	0.320	0.299	0.332	0.323	0.264	15
沧州	0.399	0.440	0.531	0.522	0.680	0.696	0.724	0.760	0.763	0.779	0.629	6
青岛	0.582	0.602	0.749	0.736	0.772	0.885	0.839	0.817	0.835	0.945	0.776	2
东营	0.369	0.418	0.489	0.525	0.589	0.622	0.647	0.642	0.710	0.709	0.572	7
烟台	0.553	0.615	0.715	0.692	0.722	0.719	0.801	0.806	0.818	0.867	0.731	5
潍坊	0.274	0.322	0.371	0.392	0.416	0.452	0.606	0.514	1.014	0.557	0.492	8
威海	0.374	0.396	0.393	0.412	0.449	0.458	0.479	0.608	0.518	0.510	0.460	10
日照	0.155	0.192	0.232	0.260	0.338	0.303	0.403	0.404	0.492	0.475	0.325	11
滨州	0.231	0.297	0.372	0.408	0.394	0.515	0.566	0.575	0.642	0.656	0.466	9
大连	0.427	0.524	0.623	0.938	0.676	0.921	0.823	0.935	0.850	0.861	0.758	4
丹东	0.126	0.148	0.184	0.214	0.209	0.301	0.329	0.364	0.340	0.288	0.250	16
锦州	0.155	0.180	0.200	0.232	0.263	0.316	0.341	0.371	0.363	0.357	0.278	14
营口	0.142	0.177	0.216	0.243	0.268	0.276	0.370	0.396	0.405	0.408	0.290	12
盘锦	0.169	0.169	0.195	0.194	0.264	0.351	0.344	0.368	0.410	0.335	0.280	13
葫芦岛	0.113	0.130	0.154	0.160	0.188	0.218	0.190	0.209	0.226	0.221	0.181	17
平均值	0.303	0.343	0.408	0.445	0.478	0.535	0.575	0.587	0.630	0.606		

和老工业，经济转型未能达到预期目标，资源利用效率极低，生态破坏严重，且科技力量薄弱，为获得同等经济产出只能消耗数倍的资源能耗，因此成为环渤海生态效率最低的省份。

2.4 生态效率分解

基于第二阶段调整后的投入值，运用DEA-SOLVER Pro 5软件包，计算出技术效率和纯技术效率（分别采用BCC和CCR路径运行），然后用技术效率除以纯技术效率测算出规模效率值（表4）。

总体来看，环渤海十年的技术效率、纯技术效率和规模效率均为上升趋势，但是上升程度不尽相同。其中技术效率从0.311上升为0.623，升幅为31.21%；纯技术效率由0.987增长到0.998，增幅仅为1.11%；规模效率从0.315上涨到0.624，增幅为30.82%。可见，环渤海生态效率近十年进步幅度较大的原因是技术效率的带动。从生态效率增长的驱动因子来看，首先是技术进步，十年来技术效率的增幅最大，说明技术进步对环渤海的生态效率存在很大的带动作用；再从纯技术效率来看，研究期间环渤海地区的纯技术效率的增幅最小，可见纯技术效率的进步对于环渤海整体生态效率并没有起到至关重要的作用；最后是规模效率，2006-2015年环渤海的规模效率提升速度也十分显著，并没有

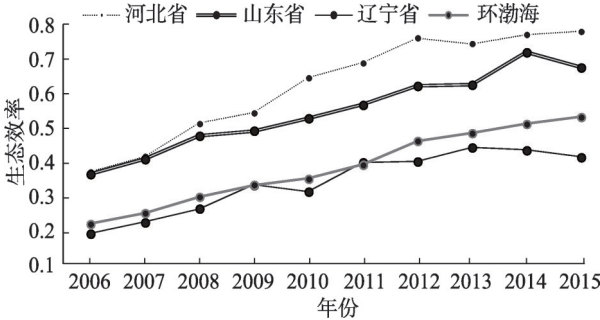


图1 2006-2015年环渤海分省生态效率变动趋势

Fig. 1 Inter-provincial eco-efficiency trends from 2006 to 2015

表4 环渤海沿海各市生态效率分解测算结果

Table 4 Eco-efficiency decomposition results for cities in the Bohai Rim

城市	天津	唐山	秦皇岛	沧州	青岛	东营	烟台	潍坊	威海	日照	滨州	大连	丹东	锦州	营口	盘锦	葫芦岛
TE	0.821	0.764	0.264	0.629	0.776	0.572	0.731	0.759	0.460	0.325	0.466	0.758	0.250	0.278	0.290	0.280	0.181
PTEC	0.972	0.989	0.993	0.999	0.994	0.994	0.994	0.996	0.997	0.997	0.997	0.987	0.998	0.997	0.996	0.995	0.998
SE	0.845	0.772	0.266	0.630	0.781	0.575	0.735	0.762	0.461	0.326	0.467	0.768	0.251	0.279	0.291	0.281	0.181

注: TE代表技术效率, PTEC代表纯技术效率, SE代表规模效率。

出现规模不经济的局面,表明环渤海地区的资本、人力、技术等要素的投入起到了提升规模效率的作用,从而很好地带动了该地区的生态效率增长。

从区域差异来看,环渤海17市的纯技术效率差异不大,主要是技术效率和规模效率的差异显著,而且二者几乎是同步差异,即技术效率差的地区,规模效率也会受到极大影响。技术效率和规模效率较好的城市有:天津、唐山、青岛、威海和大连;较差的城市为:秦皇岛、丹东、锦州和葫芦岛。这就说明天津、唐山等4个城市科技较为发达,资源配置较好,生产技术较高,且投入转化为产出的效率较高,且这4个城市的投入要素的集聚适中,起到了提升规模效率的作用,因此技术效率和规模效率较高且提升速度较快;丹东、葫芦岛等较差的几个城市则仍然以粗放型经济为主,资本、资源等的投入配置不合理,且高级要素例如人才和先进技术的集聚不足,不利于提升规模效率,导致技术效率和规模效率较低。

2.5 生态效率的空间演化分析

依托 ArcGIS 10.2 软件,环渤海沿海17市生态效率转移结果见图2。如图所示,2006-2015年该地区生态效率整体呈东北—西南格局,且逐渐向西南偏移的趋势。

从标准差椭圆重心来看,十年间环渤海地区生态效率重心移动路径并不显著,2006-2015年向西北方向稍稍偏移,2006-2010年偏移较为明显,2010-2015年偏移距离削弱。向北移动的总距离大于向南移动的总距离,向东移动的总距离大于向西移动的总距离。生态效率重心总的移动路径为14.07 km,其中南北移动距离为8.81 km,东西移动路径为10.97 km(图2)。生态效率并没有发生明显的转移,一直停留在环渤海的南部地区,生态效率的高值区停留在山东和天津附近。从标准差椭圆分布范围上看,2006-2015年生态效率空间分布呈现出在波动中扩大的趋势,但是扩大范围不算明显,因此得出环渤海地区生态效率呈微弱的分散趋势。如图3所示,十年来短轴总体缩短,缩短距离约为5 km;长轴总体延长,延长距离约为14 km。这表明环渤海沿海地区生态效率在东—西方向上收缩,在南—北方向上扩张,且扩张趋势强于收缩趋势。从标准差椭圆的位置上看,一直都是靠近南部较多,从地域范围上包含天津及山东各市,辽宁省除大连外,其他城市长期未被椭圆覆盖。这体现出环渤海生态效率存在明显的

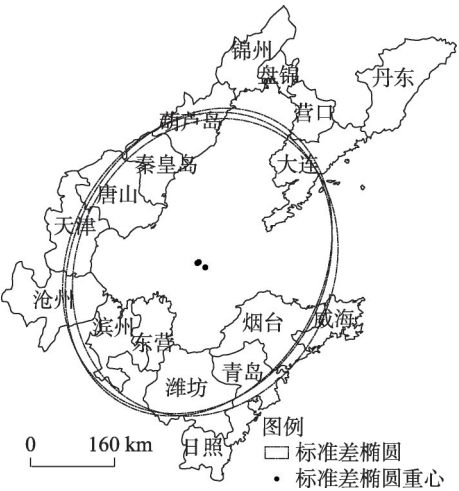


图2 环渤海生态效率空间转移
Fig. 2 Eco-efficiency spatial transfer in the Bohai Rim

南北差异,环渤海南部和西部各城市生态效率长期高于北部城市。环渤海北部地区即我国东北地区,其经济发展长期滞后于内地,虽然国家颁布了振兴东北老工业基地发展政策,但效果不是十分明显,原因主要归结为:第一,东北地区的经济发展属于资源指向型,石油业、重工业和农业是其经济进步的主要动力,而近几年东北地区已经面临资源枯竭的境地,导致经济发展停滞;第二,东北地区没有积极跟上国家的产业转型步伐,第三产业比例较小,经济突破较为困难;第三,东北的人才流失十分严重,导致该地区创新不够,无法实现经济飞跃。

结合表3和标准差椭圆的结果,从时间节点上,可将环渤海沿海地区的生态效率变化分为4个阶段:2006-2008年的平稳上升阶段、2008-2009年的短暂下降阶段、2009-2013年的稳步上升阶段和2013-2015年的波动大增长小阶段。从图4可以看出,环渤海沿海地区生态效率除了受2008年的经济危机有所影响而出现减幅,其他时间都呈上升趋势,但总体上升趋势并不明显,主要原因是部分城市在2006-2015年的生态效率没有明显进步,区域内部差异未能缩小,最终导致环渤海平均生态效率进步缓慢。

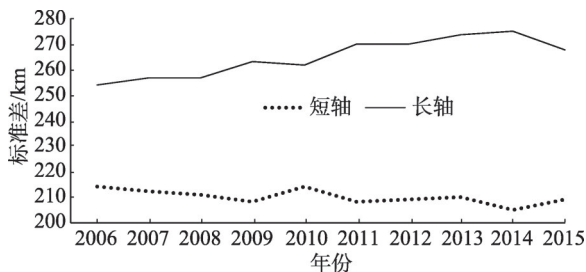


图3 生态效率标准差长短轴变化

Fig. 3 Ecological efficiency standard deviation of short-axis changes

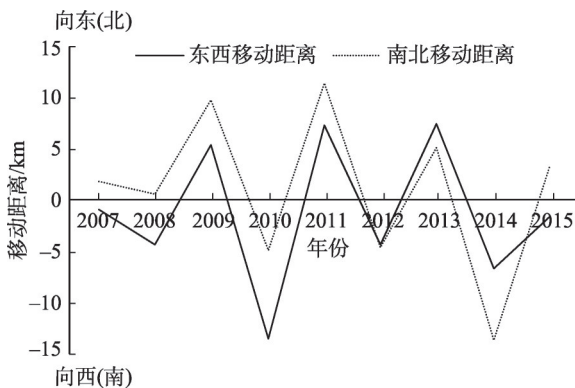


图4 生态效率重心移动距离

Fig. 4 Ecological efficiency of the center of gravity moving distance

3 结论与讨论

3.1 结论

本文运用三阶段DEA定量测算了环渤海沿海17市2006-2015年的生态效率,结果发现,第二阶段考虑到外部环境变量和随机误差后,生态效率值发生明显波动。2006-2015年期间环渤海沿海17市生态效率总体处于中等水平,且呈缓慢上升趋势;但区域内部差异明显,天津、青岛、唐山、大连位居前四,17市中绝大多数城市生态效率值低于环渤海平均值,高值和低值差距较大,高值区大多集中在环渤海西部和南部。三省生态效率之间差异明显,辽宁省常年落后于河北、山东,且效率值停滞不前。

从标准差椭圆分析发现,环渤海生态效率重心转移不是十分明显,一直盘旋在西南部附近,总体向西北方稍稍偏移。从标准差椭圆分布范围及位置上看,环渤海生态效率在东—西方向上扩张,在南—北方向上收缩,且椭圆分布长期处在环渤海南偏西部分,生态效率南北差异极其明显,且省际及各省内部差异明显。

本文从投入产出的角度出发诠释了生态效率的概念,同时认为投入又分为社会经济的支持、资源的消耗和环境的破坏,保证了生态效率在概念上的科学性;指标选取时紧

贴生态效率定义和环渤海地区现状,且每个指标经过了皮尔森积矩相关系数检验,确保了定量研究参考值的全面性,二者共同作用能够确定研究结果的合理性。本文指标选取时,用工业烟尘排放量代替了传统的工业“三废”中的工业固体废弃物排放量,可能会导致环渤海地区生态效率值最终偏小,但是考虑到环渤海地区的空气污染现状,依然将该指标保留。上述因素造成了研究结果的不确定,而这些不足将是本研究未来需要拓展的主要研究方向。

3.2 讨论

基于上述分析,并针对环渤海沿海地区生态效率存在的问题提出以下建议:

(1) 河北省(含天津市)应该在保持现状稳定的基础上注意环境保护问题,提高环境污染治理力度,减少工业三废以及工业烟尘的排放量,降低单位能耗,提高资源利用率,可以通过制定环保优惠政策来促使企业引进新能源,从而达到清洁生产的目的,同时政府应加大对环保的财政投入,以经济发展带动生态效率的提高。

(2) 山东省整体效率值较高,但是部分城市例如日照、滨州效率靠后,则应该发挥好高值地区的带动作用,在青岛这种有经济和科技条件的城市设立高新园区和研发机构,以供低值区学习交流,使低值区的城市在利用好自身优势的同时,能够提高科学技术水平,发展第三产业,使投入产出比达到最高。

(3) 辽宁省属于资源禀赋较好省区,但是其能源结构的不均衡且资源利用率极低,使得该地的生态效率不优,应该结合自身短板优势,规避和克服空间格局不经济的同时从科技创新,吸引人才和建立地方品质三个方面综合入手,优化产业结构,加快经济发展速度,提升生态效率值。

(4) 针对环渤海地区省际差异问题,要想达到该地区生态文明一体化发展,则应该加强区域内的联动效应,发挥大连、天津和青岛生态效率较好的重心城市的作用,做好各省资源环境与可持续发展的带头作用,并且要加快产业向环渤海经济发展较差的地区转移,不仅能改善大连、青岛和天津的生态环境问题而且还能够带动迁移地区的经济发展,加强内部合作,从整体上提升环渤海地区的生态效率。

本文从规划、协调方面指导了环渤海地区的生态效率提高和环境管理工作,有利于该地区的绿色发展。用定量的方式评价了环渤海地区生态效率现状,并且从市级和省级两个层面建议,环渤海地区在以后的发展过程中应该处理好国民经济、社会集团之间有关环境问题的相互关系,使经济建设和环境建设同步规划,做到经济效益和环境效益的统一,防止环境污染,维护生态平衡,以低投入和高产出的方式提高生态效率。

参考文献(References):

- [1] WBCSD. Eco-efficiency Leadership for Improved Economic and Environmental Performance. Geneva: WBCSD, 1996.
- [2] UNCTAD. Integrating Environmental and Financial Performance at the Enterprise Level: A Methodology for Standardizing Eco-Efficiency Indicators. Geneva: United Nations Publication, 2003: 29-30.
- [3] MOLLER A, SCHALTEGGER S. The sustainability balanced scorecard as a framework for eco-efficiency analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 2005, 9(4): 73-83.
- [4] 郑慧,贾珊,赵昕. 新型城镇化背景下中国区域生态效率分析. *资源科学*, 2017, 39(7): 1314-1325. [ZHENG H, JIA S, ZHAO X. Analysis of China's regional ecological efficiency under the background of new urbanization. *Resource Science*, 2017, 39(7): 1314-1325.]
- [5] 张晓娣. 生态效率变动的产业及要素推动: 基于投入产出和系统优化模型. *自然资源学报*, 2015, 30(5): 748-760. [ZHANG X D. Promoting industries and factors that change eco-efficiency: Based on input-output and system optimization models. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(5): 748-760.]

- [6] 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. 生态学报, 2012, 32(11): 3595-3605. [YI K., WANG R S, ZHOU C B, et al. Review of the methods and applications of ecological efficiency accounting at home and abroad. *Journal of Ecology*, 2012, 32(11): 3595-3605.]
- [7] QUARIGUASI F N J, WALTHER G, BLOEMHOF J, et al. A methodology for assessing eco-efficiency in logistics networks. *European Journal of Operational Research*, 2009, 193(3): 670-682.
- [8] 王恩旭. 基于超效率DEA模型的中国省际生态效率的时空差异研究. 管理学报, 2011, 8(3): 443-450. [WANG E X. Study on the spatial and time difference of provincial ecological efficiency in China based on super efficiency DEA model. *Journal of Management*, 2011, 8(3): 443-450.]
- [9] 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. 中国软科学, 2011, (1): 92-99. [DENG B, ZHANG X J, GUO J H. Study on regional ecological efficiency based on three stage DEA model. *China Soft Science*, 2011, (1): 92-99.]
- [10] 彭红松, 章锦河, 韩娅, 等. 旅游地生态效率测度的SBM-DEA模型及实证分析. 生态学报, 2017, 37(2): 628-638. [PENG H S, ZHANG J H, HAN Y, et al. The SBM-DEA model and empirical analysis of tourism ecology efficiency. *Journal of Ecology*, 2017, 37(2): 628-638.]
- [11] 韩增林, 吴爱玲, 彭飞, 等. 基于非期望产出和门槛回归模型的环渤海地区生态效率. 地理科学进展, 2018, 37(2): 255-265. [HAN Z L, WU A L, PENG F, et al. Eco-efficiency of Bohai Rim region based on undesired output and threshold regression model. *Progress in Geography*, 2018, 37(2): 255-265.]
- [12] 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. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(4): 169-175. [FU L N, CHEN X H, LENG Z H. Urban agglomerations eco-efficiency analysis based on super-efficiency DEA model: Case study of Chang-Zhu-Tan "3+5" urban agglomeration. *China Population, Resources and Environment*, 2013, 23(4): 169-175.]
- [13] 任宇飞, 方创琳. 京津冀城市群县域尺度生态效率评价及空间格局分析. 地理科学进展, 2017, 36(1): 87-98. [RENG Y F, FANG C L. Eco-efficiency evaluation and spatial pattern analysis at county scale in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Progress in Geography*, 2017, 36(1): 87-98.]
- [14] 李惠娟, 龙如银, 兰新萍. 资源型城市的生态效率评价. 资源科学, 2010, 32(7): 1296-1300. [LI H J, LONG R Y, LAN X P. Eco-efficiency evaluation of resource-based cities. *Resources Science*, 2010, 32(7): 1296-1300.]
- [15] MICHELSEN O, FET A M, DAHLSTRUD A. Eco-efficiency in extended supply chains: A case study of furniture production. *Journal of Environmental Management*, 2006, 79(3): 290-297.
- [16] VAN CANEGHEM J, BLOCK C, CRAMM P, et al. Improving eco-efficiency in the steel industry: The ArcelorMittal Gent case. *Journal of Cleaner Production*, 2010, 18(8): 807-817.
- [17] 张焯, 王国顺, 王一苇. 生态经济效率评价及时空差异研究. 经济地理, 2014, 34(12): 153-160. [ZHANG X, WANG G S, WANG Y W. Eco-economic efficiency evaluation and research on time and spatial differentiation. *Economic Geography*, 2014, 34(12): 153-160.]
- [18] FRIED H O, LOVELL C A K, SCHMIDT S S. Accounting for en-vironmental effects and statistical noise in data envelopment analysis. *Journal of Productivity Analysis*, 2002, 17(1/2): 157-174.
- [19] CHARNES A, COOPER W W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operation Research*, 1978, 2: 429-444.
- [20] BATESE G E, COELLI T J. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. *Empirical Economics*, 1995, 20(2): 325-332.
- [21] 邹玮, 孙才志, 覃雄合. 基于Bootstrap-DEA模型环渤海地区海洋经济效率空间演化与影响因素分析. 地理科学, 2017, 37(6): 859-867. [ZHOU W, SUN C Z, QIN X H. Spatial evolution of marine economic efficiency and its influential factors in Bohai Sea Ring area based on Bootstrap-DEA model. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(6): 859-867.]
- [22] 蒋金亮, 徐建刚, 吴文佳, 等. 中国人—地碳源汇系统空间格局演变及其特征分析. 自然资源学报, 2014, 29(5): 757-768. [JIAING J L, XU J G, WU W J, et al. Spatial pattern evolution and characterization of Chinese-carbon source exchange system. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(5): 757-768.]
- [23] 方叶林, 黄震方, 陈文娣, 等. 2001-2010年安徽省县域经济空间转化. 地理科学进展, 2013, 32(5): 831-839. [FANG Y L, HUANG Z F, CHEN W D, et al. The spatial transformation of county economy in Anhui province during 2001 to 2010. *Progress in Geography*, 2013, 32(5): 831-839.]
- [24] 关伟, 许淑婷. 中国能源生态效率的空间格局与空间效应. 地理学报, 2015, 70(6): 980-992. [GUAN W, XU S T. Spatial pattern and spatial effect of energy eco-efficiency in China. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(6): 980-992.]
- [25] 韩瑞玲, 佟连军, 宋亚楠. 基于生态效率的辽宁省循环经济分析. 生态学报, 2011, 31(16): 4732-4740. [HAN R L, DONG L J, SONG Y N. Analysis of circular economy in Liaoning province based on ecological efficiency. *Journal of*

Ecology, 2011, 31(16): 4732-4740.]

- [26] 杨皓然, 吴群. 碳排放视角下的江苏省土地利用转型生态效率研究: 基于混合方向性距离函数. 自然资源学报, 2017, 32(10): 1718-1730. [YANG H R, WU Q. Study on eco-efficiency of land use transformation in Jiangsu province from the perspective of carbon emission: Based on mixed directional distance function. Journal of Natural Resources, 2017, 32(10): 1718-1730.]
- [27] 毕斗斗, 王凯, 王龙杰, 等. 长三角城市群产业生态效率及其时空跃迁特征. 经济地理, 2018, 38(1): 167-173. [BI D D, WANG K, WANG L J, et al. Research on industrial eco-efficiency and spatio-temporal transition characteristics of the Yangtze River Delta. Economic Geography, 2018, 38(1): 167-173.]
- [28] 任宇飞, 方创琳, 蒯雪芹. 中国东部沿海地区四大城市群生态效率评价. 地理学报, 2017, 72(17): 2047-2063. [REN Y F, FANG C L, LIN X Q. Ecological efficiency evaluation of four major urban agglomerations in eastern coastal region of China. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(17): 2047-2063.]

Ecological efficiency evaluation and spatial evolution in Bohai Rim region

GAI Mei^{1,2}, NIE Chen²

(1. Research Center for Marine Economy and Sustainable Development, Liaoning Normal University,
Dalian 116029, Liaoning, China; 2. School of Urban and Environmental Sciences, Liaoning Normal University,
Dalian 116029, Liaoning, China)

Abstract: As the center of economic development in northern China, the coastal areas around the Bohai Sea (Bohai Rim region) have greatly boosted the development in this region. However, in recent years, there are many inharmonious conditions in this region due to various reasons. Applying the three-stage of DEA model, this paper has calculated the eco-efficiency of 17 cities in the Bohai Rim. Combining the standard deviation ellipse and gravity center transfer method, this paper has concluded the evolution law of ecological efficiency space transfer in the 17 cities of the study region. Therefore some conclusions can be drawn as follows: (1) Based on the eco-efficiency result measured by the three-stage DEA model, the eco-efficiency of the 17 cities in the Bohai Rim region is generally above average, and the efficiency value continued to rise from 2006 to 2015. Among the 17 cities, Tianjin, Tangshan, Qingdao, and Dalian rank the top four in the efficiency, and for the rest of the 17 cities, the eco-efficiency is lower than the average, which indicates that there is a significant regional difference. (2) The result of the standard deviation ellipse is in the northeast- southwest direction and has a tendency gradually towards the southwest. On the whole, we have not found an obvious transfer of the eco- efficiency center in the Bohai Rim. (3) There are significant provincial differences in the study region, as well as a big difference between the highest and lowest values. Among them, several provinces with the lowest values have remained unchanged in the ecological efficiency for a long time, and the restrictive factors of different provinces are quite different.

Keywords: eco-efficiency; three-stage DEA; spatial evolution; Bohai Rim region