

盖美,展亚荣.中国沿海省区海洋生态效率空间格局演化及影响因素分析[J].地理科学,2019,39(4):616-625.[Gai Mei, Zhan Yarong. Spatial Evolution of Marine Ecological Efficiency and Its Influential Factors in China Coastal Regions. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39(4): 616-625.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2019.04.011

中国沿海省区海洋生态效率空间格局 演化及影响因素分析

盖美,展亚荣

(辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心,辽宁 大连 116029)

摘要:采用考虑非期望产出的SBM模型对中国沿海11省区(不包括港澳台地区)海洋生态效率进行测算,借助重心模型定量刻画了2001~2015年沿海省区海洋生态效率空间格局演化特征,并基于VAR模型探究空间格局演化与其影响因素之间的动态关系。结果表明:①沿海省区海洋生态效率呈现上升趋势,天津、上海、江苏、福建、广东海洋生态效率由相对无效跃升至相对有效,辽宁、山东、海南由相对无效上升至相对低效,河北、浙江、广西始终处于相对无效水平。②海洋生态效率重心移动路径可分为“2001~2006年东北方向迁移阶段”和“2006~2015年西南方向迁移阶段”,但重心移动范围主要位于长三角地区。③针对海洋生态效率空间格局演化影响因素的分析表明,海洋产业结构对海洋生态效率的影响呈正负波动态势但以正向促进为主,随着产业结构的不断优化,负向作用不断减弱;海洋科技水平对海洋生态效率会产生显著的正向推动作用和持续效益,在海洋生态效率变动的初期刺激作用尤为强烈;环境规制作为末端处理对海洋生态效率的影响并不显著。

关键词:海洋生态效率;重心模型;VAR模型;沿海省区

中图分类号:P74

文献标识码:A

文章编号:1000-0690(2019)04-0616-10

党的“十九大”提出要加快建设海洋强国,对海洋的重视已提升到空前的战略高度^[1]。然而随着中国海洋经济进入高速增长阶段,对海洋资源掠夺式的粗放型开发模式导致海洋资源耗竭、海洋生态环境恶化等问题日益凸显^[2],成为建设海洋强国的瓶颈制约和发展短板。当前,开展海洋生态文明建设已成为海洋强国战略实施的重要内容,这就要求在保证海洋经济增长的基础之上实现资源消耗减量和污染物减排,发展高质量的蓝色GDP。因此,研究海洋生态效率并挖掘其空间演化特征及规律,揭示其演化过程的驱动机制,对于促进海洋生态文明、加快建设海洋强国具有重要的现实意义。

生态效率的概念最早由Schaltegger等于1990年提出^[3],其后在世界可持续发展工商业联合会(WBCSD)的积极发展下渐趋成熟,其核心理念是

以更少的资源消耗及环境破坏获取更多的经济收益^[4]。国外相关研究主要围绕生态效率的基础理论^[5]、核算方法^[6]、空间差异特征^[7]、生态效率在企业、区域等不同尺度及领域的实证研究^[8,9]等方面。国内相关研究主要包括:一是研究内容上以宏观层面的城市、区域为主,对工业^[10]、农业^[11]、旅游业^[12]等行业的生态效率及时空分布特征进行研究,并采用传统回归模型分析其影响因素^[10,13]。二是研究方法上,测度生态效率的方法有单一比率法^[14]、物质流分析法(MFA)^[15]、能值分析法^[16]、生态足迹法^[17]、数据包络分析(DEA)等^[18],其中DEA模型因其具有所需指标少、保存了原始信息完整性等优点,被学术界广泛使用。

综上文献分析发现,国内外学者关于生态效率的研究已卓有成效。从研究对象上看,国内学者对陆域生态效率的研究已相对成熟,但对海洋

收稿日期:2018-02-12;修订日期:2018-05-23

基金项目:国家社科基金重大项目(14ZDB130)、教育部重大项目(16JJD790021)、辽宁省社科规划基金项目(L18BTJ002)资助。
[Foundation: National Social Science Foundation of China (14ZDB130), Major Project of Ministry of Education (16JJD790021), Project of Social Science Foundation of Liaoning Province (L18BTJ002).]

作者简介:盖美(1971-),女,辽宁大连人,博士,教授,主要从事区域经济与可持续发展研究。E-mail: gaimei71@163.com

生态效率的研究鲜有涉及。相关研究多是围绕海洋经济效率^[19]进行,过分注重海洋生产活动的经济效益而忽略了其环境效益,无法考量海洋经济发展对海洋资源环境的损耗程度。近年来有学者开始关注海洋经济生产中的污染排放,以工业废水排放入海量作为非期望产出测算海洋经济效率^[2],但污染指标的选择过于单一,容易造成效率评价的偏差。从研究内容上看,国内学者对生态效率整体空间格局演变轨迹的研究较少,已有研究多采用地理空间方法分析生态效率的空间差异、集聚或扩散特征,未能有效体现生态效率空间格局演化的整体性、动态性特征以及空间格局之间的变异性;研究方法上,国内学者对生态效率影响因素的研究多采用传统回归模型,侧重于静态分析,忽略了生态效率与其影响因素之间随时间变化的动态关系及响应程度。

鉴于此,本文基于生态效率的概念内涵,将海洋生态效率的概念界定为在海洋经济发展过程中以最少的海洋资源消耗尽可能的实现经济产出最优化和环境污染最小化,从而达到经济效益和环境效益的统一。海洋系统作为一个开放的复杂巨系统,同陆域系统的互动性、关联性不断增强,其中在海洋环境污染中有90%来自于陆源污染,包括排放到长江、黄河等跨省、市、县域的河流中并最终汇入海洋的城市污水和工业废水。但由于各流域污染物入海通量的数据缺乏统计,且难以量化,因此本文选择11个沿海省区作为研究地域单元(广东、江苏、上海、浙江、山东、河北、福建、辽宁、天津、广西、海南)。基于沿海省区的海洋资源消耗和环境污染统计数据^[20],采用考虑非期望产出

的SBM模型对沿海11省区的海洋生态效率进行测算,借助重心模型揭示2001~2015年海洋生态效率空间格局的演化特征,并进一步利用VAR模型对海洋生态效率空间演化及其影响因素之间的响应关系及影响程度进行动态测度,为今后中国沿海省区地方政府的经济绩效及生态环保监督管理提供有效评判手段。

1 研究方法

1.1 指标体系构建

在陆域生态效率研究中,一般选择能源消耗量、供水总量、建成区土地面积表征资源消耗,以固定资本存量、年末从业人员数等作为资本、人力的投入指标,以地区生产总值作为期望产出,以工业三废排放量(废水、废气、固体废弃物)作为非期望产出。但海洋经济生产模式与陆域经济相比存在特殊性,海洋资源消耗主要体现在海洋渔业、海洋盐业、海洋油气业、海洋矿业等海洋经济活动直接(一次)开发利用的资源。因此,在兼顾数据可得性与指标质量基础上,根据海洋经济活动的特点构建海洋生态效率评价指标体系(表1),选取海洋生物资源系数、海水化学资源标准量、海洋矿产资源标准量^[21]这3个指标并进行0~1标准化后加权求和得到最终的海洋资源消耗。选取沿海11省区海洋生产总值(以2001年为基期按照各省区GDP平减指数进行平减)作为期望产出。

随着海洋高新技术的发展以及海洋资源产业链的延伸,海洋经济在陆域上的生产活动也相应增多。考虑到海洋经济在省区陆域深处的生产活动所造成的废水、废气污染,以及部分陆域污染物

表1 研究区海洋生态效率投入产出指标体系

Table 1 The input-output measurement indicators of marine ecological efficiency of study area

| 目标层 | 准则层 | 指标层 | 指标解释及计算 |
|-----|-------|-------------------------|--------------------------------|
| 投入 | 资源 | 海洋生物资源系数 | 具体说明请见公式① |
| | | 海水化学资源标准量 | 具体说明请见公式② |
| | | 海洋矿产资源标准量 | 具体说明请见公式③ |
| | 资本 | 海洋固定资本存量 | 具体说明请见公式(1) |
| | 人力 | 涉海从业人员 | 从《中国海洋统计年鉴》 ^[20] 获得 |
| 产出 | 期望产出 | 海洋生产总值 | 从《中国海洋统计年鉴》 ^[20] 获得 |
| | 非期望产出 | 沿海地区工业废水排放中的化学需氧量、氨氮排放量 | 从《中国环境统计年鉴》 ^[26] 获得 |
| | | 沿海地区工业废气排放中的二氧化硫、烟粉尘排放量 | 从《中国环境统计年鉴》 ^[26] 获得 |

注:公式① $\sum x_i w_i$, 其中*i*包含海洋捕捞、海水养殖产量,*x_i*为标准化后值,*w_i*为权重;公式② $\sum y_i p_i$, *i*包含海盐和海洋化工产品产量,*y_i*为标准化后值,*p_i*为权重;公式③ $\sum z_i w_i$, *i*包含海洋原油、天然气、海滨砂矿产量,*z_i*为标准化后值,*w_i*为权重。

虽然不是海洋经济生产过程中的排放,但治理和生产成本的很大一部分会转嫁到该省区海洋经济上,因此,选取沿海地区工业废水排放中化学需氧量、氨氮排放量,沿海地区工业废气排放中的二氧化硫、烟粉尘排放量作为非期望产出,这些污染物通过直排入海和河流携带入海等方式直接或间接的对海洋环境产生破坏。测算前对非期望产出指标进行0~1标准化后加权求和。

相较已由资源驱动进入到以技术进步为主导的发展阶段的陆域经济,中国海洋经济发展起步较晚,仍处于物质投入驱动的阶段^[22]。在海洋经济发展初期,资源投入是主要驱动力。伴随海洋经济增长方式的转变,资本等要素的投入可对资源产生一定替代作用。丰富的海洋资源会成为“福音”还是“诅咒”,主要取决于海洋资源开发中经济变量的选择,如海洋资源的开发强度、开发集约度、资本转化度等。因此,单纯考虑资源投入无法真正反映海洋生态效率的水平,还应考虑资本、劳动力等变量和海洋资源组合配置后在海洋经济活动中所发挥的能动作用和转化度。由于海洋经济生产活动不是直接取决于当期的投资,而是更多依赖于地区的固定资本存量,故采用海洋资本存量衡量对资本的消耗,采用涉海从业人员作为对人力的消耗指标。由于受海洋基础研究数据限制,采用等资本产量比法^[23]计算海洋固定资本存量:

$$\frac{K_N}{Y_N} = \frac{K}{Y} \Rightarrow K = Y \times \frac{K_N}{Y_N} \quad (1)$$

式中, K_N 为沿海11省区资本存量, Y_N 为沿海11省区地区生产总值(以2001年为基期按照各省区GDP平减指数进行平减)。利用永续盘存法计算资本存量: $K_{it} = (1 - \delta)K_{it-1} + I_{it}$,其中 K_{it} 为第 i 个地区第 t 年的资本存量, δ 为折旧率(9.6%)^[24], I_{it} 表示第 i 个地区第 t 年的资本形成总额(以2001年为基期按照固定资产投资价格指数进行调整)。初始资本存量采用Young的估计方法^[25],用基年固定资本形成总额除以10%计算得到。研究数据来源于2002~2016年《中国海洋统计年鉴》^[20]、《中国环境统计年鉴》^[26]、《中国统计年鉴》^[27]及相关省区海洋经济统计公报。

1.2 研究方法

1.2.1 非期望产出的SBM模型

Tone提出的考虑非期望产出的SBM模型属于非径向和非角度的DEA模型,通过将松弛变量

放入目标函数中,既解决了传统DEA模型中投入产出的松弛性问题,又解决了存在非期望产出时的效率测度问题^[28],被广泛应用到生态效率评价中并表现出良好的可信性。因此,本文采用Tone提出的考虑非期望产出的SBM模型来测度沿海省区海洋生态效率,具体计算过程可参考文献[2]。

1.2.2 重心模型

重心概念最早来源于物理学,地理学引入重心概念用于解决区域属性的空间动态变迁^[29]。海洋生态效率重心是指在沿海区域空间上存在某一点,在该点各个方向的力量对比保持平衡。效率重心偏离的方向指示了海洋生态效率的“高密度”部位,偏离的距离则指示非均衡程度。计算公式如下:

$$\begin{cases} \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i X_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \\ \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i Y_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \end{cases} \quad (2)$$

式中, (\bar{x}, \bar{y}) 为区域重心坐标; (X_i, Y_i) 为各研究单元坐标,本文取沿海11省区主要沿海城市的坐标, M 为沿海11省区海洋生态效率值, n 取11。

1.2.3 影响因素与模型设定

中国沿海省区由于自然资源禀赋、海洋产业结构、海洋科技水平、环境规制水平的迥异,导致海洋生态效率呈现出显著的地域分化格局。海洋科技的突破和进展程度决定了海洋资源开发的广度和深度,先进的海洋科技是提高海洋经济生态效益的主要驱动力。海洋产业结构的优化调整是海洋生态效率“质”的提升的根源。环境规制对于促进地区节约和综合利用海洋资源,控制海洋环境污染,提高环境监督管理等方面具有重要作用。综合考虑以上情况,参考相关文献,选取以下影响因素:① 海洋产业结构(MIS):产业结构直接反映海洋经济系统中各产业的构成、联系和比例关系,不同海洋产业的资源利用率及污染排放存在较大差异,进而影响海洋生态效率的变化。选用海洋产业结构高级化指数来反映中国海洋产业结构的发展水平^[25];② 海洋科技水平(MTS):先进的科学技术可直接提升海洋经济的生产质量,降低海洋资源和环境的损耗率,选用涉海科技人员素质(海洋科研机构科技人员硕士研究生以上学历比重)进行衡量;③ 环境规制(ER):环境污染的外部不经济性特征使得单一依靠市场调节难以实现环境质量的持续改善,需要政府加以规范和调

节。选用地区环境污染治理投资额反映环境规制强度。海洋科技、海洋产业结构、环境规制等要素相互联系和作用,以各自的方式对海洋生态效率的变化和重心的移动产生约束力或内驱力,并最终形成一种空间上的合力,共同驱动着海洋生态效率格局的空间演化。

VAR模型视系统中的内生变量为所有内生变量滞后值的函数,以此来构造模型,是用来估计相互联系的时间序列以及分析随机扰动对变量动态冲击的重要工具,能够有效反映各影响因素对海洋生态效率空间格局演化的刺激和影响。其数学表达式是:

$$y_t = A_1y_{t-1} + \cdots + A_py_{t-p} + Bx_t + \varepsilon_t \tag{3}$$

式中, y_t 是 h 维的内生变量向量, x_t 是 k 维的外生变量向量, p 为滞后阶数, t 为样本个数, $h \times h$ 维矩阵 A_1, \cdots, A_p 和 $h \times k$ 维矩阵 B 是被估计的系数矩阵, ε_t 是 k 维的扰动向量^[30]。

2 实证研究

2.1 海洋生态效率分析

运用MaxDEA软件,计算2001~2015年沿海11省区海洋生态效率值(表2)。根据已有研究及本文的实际情况,将效率大于0.8定义为相对有效,0.4~0.8为相对低效,效率小于0.4为相对无效^[31]。

表2 2001~2015年研究区海洋生态效率值

Table 2 Marine ecological efficiency of study area in 2001-2015

| 省份 | 2001年 | 2003年 | 2005年 | 2007年 | 2009年 | 2011年 | 2013年 | 2015年 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 天津 | 0.090 | 0.136 | 0.223 | 0.261 | 0.342 | 0.504 | 0.719 | 1.000 |
| 河北 | 0.080 | 0.096 | 0.121 | 0.250 | 0.218 | 0.280 | 0.339 | 0.393 |
| 辽宁 | 0.101 | 0.129 | 0.168 | 0.249 | 0.298 | 0.392 | 0.462 | 0.529 |
| 上海 | 0.157 | 0.191 | 0.349 | 0.538 | 0.611 | 0.738 | 1.000 | 1.000 |
| 江苏 | 0.091 | 0.132 | 0.180 | 0.291 | 0.374 | 0.517 | 0.666 | 1.000 |
| 浙江 | 0.102 | 0.132 | 0.158 | 0.178 | 0.234 | 0.276 | 0.317 | 0.390 |
| 福建 | 0.140 | 0.185 | 0.197 | 0.254 | 0.327 | 0.477 | 0.628 | 1.000 |
| 山东 | 0.105 | 0.137 | 0.170 | 0.260 | 0.332 | 0.418 | 0.526 | 0.623 |
| 广东 | 0.120 | 0.137 | 0.225 | 0.266 | 0.337 | 0.476 | 0.638 | 1.000 |
| 广西 | 0.097 | 0.085 | 0.116 | 0.161 | 0.201 | 0.270 | 0.307 | 0.380 |
| 海南 | 0.100 | 0.112 | 0.143 | 0.186 | 0.216 | 0.268 | 0.341 | 0.414 |
| 全国 | 0.108 | 0.134 | 0.187 | 0.263 | 0.317 | 0.420 | 0.540 | 0.703 |

注:受篇幅限制,本文选取奇数年份效率值;全国数据中未包括港澳台地区数据。

表2显示,11个沿海省区海洋生态效率呈上升

趋势,由相对无效提升至相对低效。2001~2006年各省区海洋事业进入快速发展时期,这一时期海洋产业结构性矛盾突出,传统的海洋资源消耗型产业仍居于主导地位且增长方式高度粗放,同时受人力、技术的限制海洋资源开发利用结构层次偏低,导致资源消耗和环境污染严重,海洋生态效率提升并不明显,处于相对无效水平。2006~2015年海洋生态效率得到显著提升并于2010年达到相对低效水平。这一时期在海洋资源、环境双重压力驱动下海洋产业结构调整 and 转型升级加快,尤其在“十二五”时期,海洋三次产业结构调整出现积极变化,由2010年的5.1:47.7:47.2调整为2015年的5.1:42.5:52.4,海洋产业逐步由海洋资源开发向海洋服务转变,而海洋科技成果转化率的大幅提升也使海洋原油、海滨砂矿等不可再生型资源开发的集约化、清洁化水平提高,加之前期国家宏观调控及环境规制的边际效应逐步显现,海洋生态效率由2010年的0.401快速提升到2015年的0.703。

由于区域海洋经济发展水平以及海洋资源禀赋差异等因素使得区域海洋生态效率存在显著差异,主要分为以下3种类型:①由相对无效跃升至相对有效,包括天津、上海、福建、江苏、广东。上海海洋资源禀赋不足,但充分利用先进的海洋科技克服了资源约束条件,海洋生产总值保持高速增长的同时实现污染物排放负增长。天津、福建、广东依靠科技创新,率先转变海洋经济发展方式,利用资源环境倒逼机制带动海洋产业升级,海洋资源利用率高且污染减排效应显著。江苏海洋资源消耗量较低,较高的资本投入对海洋资源形成了一定替代效应,且注重海洋环保建设,海洋生态效率提升显著。②由相对无效上升至相对低效,包括辽宁、山东、海南。辽宁虽然海洋资源开发过程中初级开发占比较大且污染排放较为严重,但近年来海洋第三产业发展较快,以消耗海洋生物资源、海水化学资源为主的一、二产比重逐年下降,对海洋初级资源的依赖程度相对降低。山东属于高消耗高产出型,海洋生产总值增幅快于海洋资源消耗量的增幅,海洋生态效率稳步提升。这与山东海洋产业部门多元化发展以及海洋高新技术在资源开发中的应用密切相关。海南为低消耗低产出型,污染物排放量为沿海省市最低。③始终处于相对无效水平,包括河北、浙江、广西。河北、广西海洋经济发展相对落后,对

资源的依赖性强且技术含量低,能耗大、污染高的粗放型资源开发模式导致海洋经济增长的同时资源、环境压力大幅增长。浙江对海洋矿产资源消耗量极大,但由于深层次开发利用不足导致资源浪费现象严重,资源消耗量的快速增长并未完全转化为海洋经济增长的动力,海洋生态效率提升缓慢。

2.2 海洋生态效率空间格局演化分析

根据公式(2)计算沿海省区海洋生态效率重心坐标,并绘制海洋生态效率重心演变图。图1显示,2001~2015年,海洋生态效率重心始终在117.44~118.23°E,30.30~31.64°N之间移动,效率重心从2001年的117.44°E、30.33°N迁移到2015年的117.67°E、30.99°N,南北方向移动明显大于东西方向移动。

中国沿海省区海洋生态效率重心位置变化阶段性特征显著,2001~2006年,效率重心总体呈现向东北方向移动的趋势,其中2004年重心向西南方向偏移,2005年之后又转向东北方向移动。2006~2015年,效率重心呈现向西南方向移动的趋势,其中2008~2010年重心短暂向东回移,2010年之后再次偏向西南方向移动。总体来看,中国海洋生态效率重心移动路径先偏向东北再偏向西南方向,效率重心的总位移达到79.92 km,其中向东移动21.92 km,向北移动76.88 km,整体南北方向移动距离大于东西移动距离。

沿海省区海洋生态效率重心空间分布范围呈

现扩大再缩减的趋势,主要表现为南北方向上的变化。2001~2006年效率重心南北波动范围扩大,向东北方向扩张趋势显著,说明海洋生态效率区域不平衡性突出,南北方向差异加大。2006~2015年效率重心表现为向西南方向扩张,空间波动范围相对缩小,表明海洋生态效率空间聚集性增强,区域不平衡性有所收敛。

总体上看,11个沿海省区海洋生态效率重心移动路径可分为“2001~2006年东北方向迁移阶段”和“2006~2015年西南方向迁移阶段”,但重心移动范围主要位于长三角地区。① 研究期内长三角海洋生态效率始终高于全国平均水平,为高值集聚区。作为海洋经济发展较早地区,长三角海洋经济区拥有优越的海洋资源禀赋、丰富的海洋科技资源、完备的海洋产业,受国家发展战略与政策的扶持,产业转型走在全国前列,海洋经济发展已从单纯的依靠资源消耗性产业到依靠高新技术产业和海洋服务业转变,而资源消耗大、污染程度高的传统海洋产业也逐步由粗放型开发向集约效益型转变,海洋资源、环境压力减缓。同时上海对长三角经济区的生态效率起到了较强的拉升作用。上海依托资金和人才优势海洋先进制造业和海洋现代服务业发展较快,已摆脱资源索取型的发展模式,海洋生态效率始终居于全国首位。② 2001~2006年海洋生态效率重心呈现向东北方向移动的趋势,说明环渤海地区海洋生态效率的空间拉动效应增强。这一时期环渤海凭

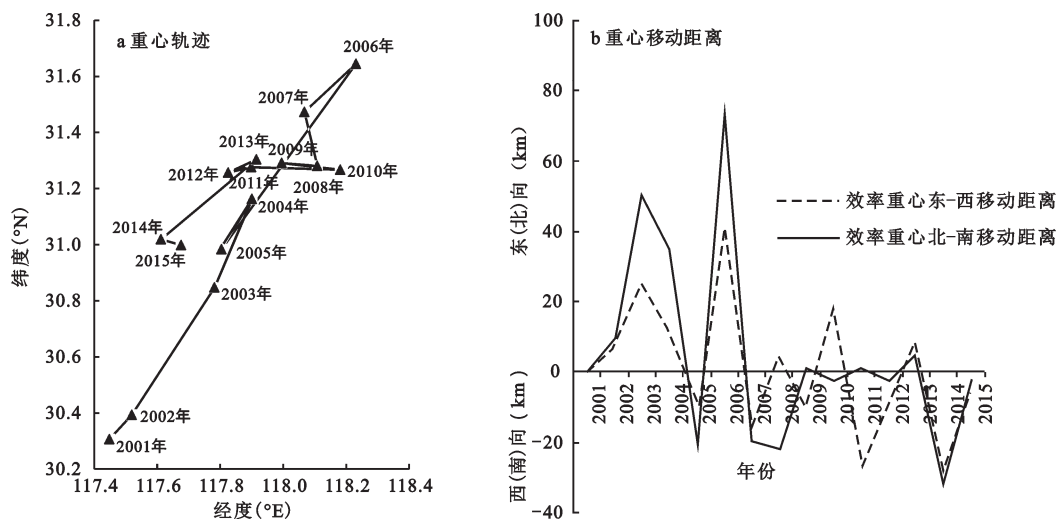


图1 2001~2015年11个沿海省区海洋生态效率重心迁移轨迹演变

Fig.1 Movement of the gravity center of marine ecological efficiency of 11 coastal regions during 2001-2015

借优越的区位条件和政府政策的扶持,滨海旅游业、海洋交通运输业等产业发展迅速,海洋工程建筑业、电力海水产业等海洋新兴产业增长势头强劲,海洋产业部门趋向多元化,资源组合配置情况较好,海洋生态效率提升较快。此外,天津海洋生态效率的快速提升也对邻接区域产生了积极的辐射带动作用,扩散效应显著。③ 2006~2015年海洋生态效率重心又转向西南方向。2006年之后,江苏沿海地区、长三角经济区、珠三角经济区、海南国际旅游岛等沿海区域规划纷纷上升为国家战略,在国家政策扶持下海洋产业结构转型升级加快,新兴战略产业快速崛起,海洋资源开发范围由浅海向深、远海拓展,通过延长海洋资源开发的产业链实现了资源的集约、高效利用,海洋环保技术水平提高,海洋环境恶化趋势得到有效遏制,海洋经济由速度规模型向质量效益型转变。长三角、珠三角地区海洋生态效率的快速提升牵引效率重心南移,其中广东、福建两省作为海洋经济发展试点地区工作取得显著成效,对海南、广西等邻接地区的海洋经济辐射带动能力进一步增强,南北效率不平衡性趋于收敛。

2.3 海洋生态效率空间格局演化的影响因素分析

基于VAR模型中的广义脉冲响应函数,凭借Eviews7对沿海省区海洋生态效率空间格局演化与其影响因素之间的响应关系进行测度,并刻画各变量随时间变化的动态关系和响应程度。

2.3.1 单位根及协整检验

为消除原始数据的异方差性,对MEE(海洋生态效率)、MIS、MTS、ER指标序列作取对数处理,分别用 $\ln MEE$ 、 $\ln MIS$ 、 $\ln MTS$ 和 $\ln ER$ 表示。ADF检验结果显示变量经过一阶差分后均变成平稳序列,分别用 $d\ln MEE$ 、 $d\ln MIS$ 、 $d\ln MTS$ 、 $d\ln ER$ 表示一阶差分后的变量。进一步选择Johansen检验来验证序列之间是否存在协整关系,检验结果在5%的显著性水平下拒绝了海洋生态效率与各影响因素之间不存在协整关系的零假设,即海洋生态效率与海洋产业结构、海洋科技水平、环境规制之间存在长期协整关系。

2.3.2 脉冲响应函数分析

脉冲响应函数通过测量内生变量对随机扰动项的标准差冲击的反应,可揭示多个时间段内变量相互作用的动态变化。为了进一步分析各影响因素与海洋生态效率变量之间的动态特征,并从

动态反应中判断变量间的时滞关系,对其进行脉冲响应分析。结果如图2所示,实线为脉冲响应函数,横轴为滞后期数,纵轴为响应程度。

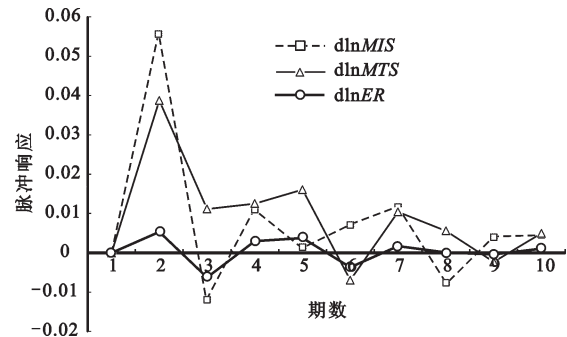


图2 海洋生态效率脉冲响应

Fig.2 Impulse response of marine ecological efficiency

1) 海洋产业结构对海洋生态效率的影响在滞后2期表现为正向,并达到正向最大值,随后影响迅速下降并于滞后3期产生负向影响,滞后4期又转变为正向影响。总体来看,海洋生态效率对海洋产业结构的冲击在正负响应之向呈现波动状态,正向响应次数多于负向响应次数。从响应的幅度看,正向响应的频率和幅度均大于负向响应。这表明,海洋产业结构对海洋生态效率的影响以正向促进为主,但由于研究期内中国正处于海洋产业结构深度调整和转型升级时期,其内部结构体系和运行流程并不成熟,不可避免的会存在不合理的地方对海洋生态效率产生负向影响,随着海洋产业结构的不断调整优化,新兴产业逐渐取代传统资源消耗型产业,负向作用有所减弱,但正向促进效应并未得到充分发挥,中国海洋产业结构层次亟需提升。因此,应加快海洋产业结构深度调整和转型升级的步伐,削弱短期负向冲击带来的影响,充分发挥其正向促进效应。

2) 海洋科技水平对海洋生态效率的影响存在一定时滞性,在当期没有影响,滞后2期达到正向最大值,正向作用持续波动并于滞后6期产生负向影响,随后趋于收敛。这表明,海洋科技水平对海洋生态效率会产生显著的推动作用和持续效益,但响应作用波动幅度较大,尤其在初期会对海洋生态效率的提升有着强烈的刺激作用。中国海洋产业正处于粗放型向集约型、劳动密集型向技术密集型转变的过渡时期,海洋科技优势并未完

全转化为产业优势,存在自主创新能力不足、海洋科技应用率较低、海洋科技成果转化周期较长的问题,导致其响应作用幅度出现较大起伏。因此,应加快推进海洋资源开发、海洋经济转型升级亟需的核心技术的产业化、普及化,强化海洋重大关键技术创新,促进科技成果转化,缩短成果转化周期,最大化的发挥海洋科技水平的促进作用。

3) 海洋生态效率对环境规制的响应值在0值附近小幅波动,表明环境规制作为末端处理对海洋生态效率影响较小。中国沿海省区海洋经济早期主要依托陆域经济发展,走“先污染、后治理”的发展模式,海洋经济高速增长伴随的海洋生态环境恶化形势愈发严峻,现有的治理力度很难化解,环境规制强度与污染排放速度并不匹配,导致效果甚微。呈负向作用可能在于地方政府环境规制的失灵,由政府驱动的污染治理措施和政策未能得到有效落实,深化海洋生态文明体制改革和增强制度执行力等方面还存在许多问题。因此,应建立健全海洋生态环境保护机制,加强海洋生态环境损害评估,通过强化环境规制来倒逼海洋企业提升生态效率,并转换环境治理路径,从海洋生产源头上提高环保标准和治理力度。

2.3.3 方差分解

从脉冲响应函数来看,各个影响因素对海洋生态效率的影响冲击有正有负,在滞后1~5期影响比较明显,随着时间的推移影响逐渐减弱。为了进一步分析每个影响因素在不同时期对海洋生态效率长期波动变化的贡献程度,需进一步对海洋生态效率进行方差分解(表3)。

表3 方差分解结果

Table 3 Results of variance decomposition

| 预测期 | 标准误差 | 海洋生态效率 | 海洋产业结构 | 海洋科技支撑能力 | 环境规制 |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 0.087291 | 100.0000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 2 | 0.145331 | 77.94765 | 14.80597 | 7.112295 | 0.134084 |
| 3 | 0.155663 | 79.51105 | 13.49888 | 6.711822 | 0.278251 |
| 4 | 0.156729 | 78.62873 | 13.80305 | 7.257021 | 0.311202 |
| 5 | 0.160084 | 78.44338 | 13.23761 | 7.966028 | 0.352987 |
| 6 | 0.163419 | 78.89708 | 12.88941 | 7.824911 | 0.388597 |
| 7 | 0.165299 | 78.47688 | 13.08834 | 8.044011 | 0.390775 |
| 8 | 0.165630 | 78.23466 | 13.25014 | 8.125937 | 0.389263 |
| 9 | 0.166024 | 78.2619 | 13.24389 | 8.106213 | 0.388004 |
| 10 | 0.166714 | 78.27585 | 13.20672 | 8.128495 | 0.388932 |

由表3可知,海洋生态效率的波动受自身冲击的影响呈下降趋势,随着预测期的推移从100%递减到78.28%。海洋产业结构对海洋生态效率的贡献度在预测期内呈小幅波动下降趋势,海洋科技支撑能力的贡献度呈小幅上升趋势。从长期来看,沿海省区海洋生态效率空间演化除78.28%受自身决定之外,所受到的影响程度从高到低分别为:13.21%受海洋产业结构的影响,8.13%受海洋科技水平的影响,0.39%受环境规制的影响。

3 结论与建议

在海洋经济发展初期,海洋经济生产表现为“资源-产品-污染物”单向流动的线性模式,海洋经济的快速增长主要依托资源消耗型产业规模的扩张来实现。随着海洋经济的发展,增长方式逐步向依靠资金、科技、人才等要素转变,海洋资源利用的集约化、清洁化水平不断提高,海洋生态效率得到一定程度的改善。文章紧密结合中国海洋经济的发展态势,从资源消耗、资本、人力、污染物排放等方面构建投入产出指标体系,采用考虑非期望产出的SBM模型进行测度,其评价结果能够比较全面客观的反映中国沿海省区海洋生态效率的年度变化和省际差异,利用重心模型定量分析了2001~2015年海洋生态效率的空间格局演化特征,并引入VAR模型探究了空间格局演化与其影响因素的动态关系特征,结果表明:

中国沿海省区海洋生态效率呈上升趋势,但仍未达到相对有效。空间上形成北部围绕天津、中部围绕上海、南部围绕广东、福建的格局。总体来看,沿海省区海洋生态效率水平仍然偏低,消耗海洋资源和牺牲海洋生态而实现海洋经济提升的情况还普遍存在,因此应着力推进中国海洋经济由资源、资本等要素驱动型向创新引领型转变,摆脱对粗放型增长的依赖,实现产业的脱胎换骨,同时加强海洋生态文明建设,实现海洋经济与海洋生态的共生发展。

沿海省区海洋生态效率重心移动路径可分为“2001~2006年东北方向迁移阶段”和“2006~2015年西南方向迁移阶段”,但重心移动范围主要位于长三角地区。效率重心空间分布范围呈现扩大再缩减的趋势,2001~2006年海洋生态效率重心向东北方向扩张趋势显著,区域不平衡性突出。2006~2015年效率重心表现为向西南方向扩张,空间分

布波动范围缩小,区域不平衡性有所收敛。总体来看,在建设海洋强国的战略背景下,沿海三大海洋经济区存在着相互“追赶效应”,区域差距缩小,但内部各省区海洋生态效率差距较大,因此各省区在依据自身优势、因地制宜的实行差别化发展策略的基础上,应不断加强海洋经济合作,通过政策引导和统筹规划增强省区间间的经济、技术交流和环境治理合作,推动区域增长极如天津、上海、广东等地发挥知识性溢出、产业关联性溢出效应来增强对其他省区的辐射带动作用,缩小省际差异,实现协作共赢的局面。

针对海洋生态效率空间格局演化影响因素的分析表明,海洋产业结构对海洋生态效率的影响呈现正负波动态势但以正向促进为主,随着海洋产业结构的不断优化,负向作用不断减弱。海洋科技水平对海洋生态效率会产生显著的推动作用和持续效益,但响应作用波动幅度较大,在海洋生态效率变动的初期刺激作用尤为强烈。而环境规制对海洋生态效率的影响在0值附近小幅波动。进一步做方差分解发现,海洋产业结构对海洋生态效率的贡献度在预测期内呈小幅波动下降趋势,从长期看对海洋生态效率空间格局演化影响最大,海洋科技支撑能力的贡献度呈小幅上升趋势,环境规制的影响并不显著。对此应加快海洋产业结构调整,推动海洋经济向更高级的“三、二、一”产业结构迈进,全面提升海洋科技自主创新能力,注重高技术、低能耗、环境友好的海洋新兴产业和服务业的发展,对海洋原油、海洋矿业、海洋盐业等高耗能产业实施节能减排,加快淘汰落后、过剩产能,从源头上发力以提升海洋生态效率。

参考文献(References):

- [1] 张海文.以党的十九大精神指引海洋战略研究[N].中国海洋报,2018-02-28(001).[Zhang Haiwen. Guiding marine strategy research with the spirit the 19th CPC National Congress.China Ocean News,2018-02-28(001).]
- [2] 赵林,张宇硕,吴迪,等.考虑非期望产出的中国省际海洋经济效率测度及时空特征[J].地理科学,2016,36(5):671-680. [Zhao Lin, Zhang Yushuo, Wu Di et al. Marine economic efficiency and spatio-temporal characteristics of inter-province based on undesirable outputs in China. Scientia Geographica Sinica,2016, 36(5):671-680.]
- [3] Schaltegger S, Sturm A. Ecological rationality[J]. Die Unternehmung,1990(4):273-290.
- [4] Kuosmanen T. Measurement and analysis of eco-efficiency: An Economist's perspective[J].Journal of Industrial Ecology,2005,9(4):15-18.
- [5] Moller A,Schaltegger S.The sustainability balanced scorecard as a framework for eco-efficiency analysis[J].Journal of Industrial Ecology,2005,9(4):73-83.
- [6] Robaina-Alves M,Moutinho V,Macedo P.A new frontier approach to model the eco-efficiency in European countries[J]. Journal of Cleaner Production,2015,103:562-573.
- [7] Yin K, Wang R S, An Q X et al. Using eco-efficiency as an indicator for sustainable urban development: A case study of Chinese provincial capital cities[J]. Ecological Indicators, 2014,36: 665-671.
- [8] Campbell R,Rogers K,Rezek J.Efficient frontier estimation: A maximum entropy approach[J].Journal of Productivity Analysis, 2008,30(3):213-221.
- [9] Van Berkel R.Cleaner production and eco-efficiency initiatives in Western Australia 1996-2004[J].Journal of Cleaner Production,2007,15(8/9):741-755.
- [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,2017,39(07):1326-1337.[Lu Yanqun,Yuan Peng. Measurement and spatial econometrics analysis of provincial industrial ecological efficiency in China. Resources Science,2017,39(7):1326-1337.]
- [11] 郑德凤,郝帅,孙才志.基于DEA-ESDA的农业生态效率评价及时空分异研究[J].地理科学,2018,38(3):419-427.[Zheng Defeng, Hao Shuai, Sun Caizhi. Evaluation of agricultural ecological efficiency and its spatial-temporal differentiation based on DEA-ESDA.Scientia Geographica Sinica,2018,38(3):419-427.]
- [12] 姚治国,陈田,尹寿兵,等.区域旅游生态效率实证分析——以海南省为例[J].地理科学,2016,36(3):417-423.[Yao Zhiguo, Chen Tian, Yin Shoubing et al.Regional tourism eco-efficiency model and an empirical research of Hainan Province. Scientia Geographica Sinica,2016,36(3):417-423.]
- [13] 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,2017,39(7):1314-1325. [Zheng Hui,Jia Shan, Zhao Xin. An analysis of regional eco-efficiency in China under the background of new-type urbanization. Resources Science,2017,39(7):1314-1325.]
- [14] 黄和平,伍世安,智颖颀,等.基于生态效率的资源环境绩效动态评估——以江西省为例[J].资源科学,2010,32(5):924-931. [Huang Heping,Wu Shian,Zhi Yingbiao et al. Dynamic evaluations of resources and environmental performance based on eco-efficiency: A case study of Jiangxi Province.Resources Science,2010,32(5):924-931.]
- [15] 谷平华,刘志成.基于物质流分析的区域工业生态效率评价——以湖南省为例[J].经济地理,2017,37(4):141-148.[Gu Pinghua,Liu Zhicheng.Evaluation of industrial eco-efficiency based on material flow analysis—As an example in Hunan Province. Economic Geography,2017,37(4):141-148.]
- [16] 孙玉峰,郭全营.基于能值分析法的矿区循环经济系统生态效

- 率分析[J].生态学报,2014,34(3):710-717.[Sun Yufeng, Guo Quanying. Ecological efficiency analysis of the circular economy system in mining area based on emergy analytic approach. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(3): 710-717.]
- [17] 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.[Shi Dan, Wang Junjie. Measurement and evaluation of China's ecological pressure and ecological efficiency based on ecological footprint. *China Industrial Economics*, 2016(5): 5-21.]
- [18] 王耕,李素娟,马奇飞.人类福祉视角下中国生态效率时空演化研究[J].地理科学,2018,38(10):1597-1605.[Wang Geng, Li Sujuan, Ma Qifei. Spatial-temporal evolution of Chinese eco-efficiency from the perspective of human well-being. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(10): 1597-1605.]
- [19] 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[J].地理科学,2017,37(6):859-867.[Zou Wei, Sun Caizhi, Qin Xionghe. 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.]
- [20] 国家海洋局.中国海洋统计年鉴[M].北京:海洋出版社,2002-2016. [State Oceanic Administration, People's Republic of China. *China marine statistical yearbook*. Beijing: China Ocean Press, 2002-2016.]
- [21] 张耀光.中国海洋经济地理学[D].南京:东南大学出版社,2015. [Zhang Yaoguang. *Marine economic geography of China*. Nanjing: Southeast University Press, 2015.]
- [22] 杜利楠.海洋与陆域产业的要素效率评价及关联研究[D].大连:大连海事大学,2015.[Du Linan. The research on the correlation on factors efficiency evaluation of marine and terrestrial industries. Dalian: Dalian Maritime University, 2015.]
- [23] 吴清峰,唐朱昌.投资信息缺失下资本存量K估计的两种新方法[J].数量经济技术经济研究,2014,31(9):150-160.[Wu Qingfeng, Tang Zhuchang. Estimating of capital stock without investment information. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2014, 31(9): 150-160.]
- [24] 张军,吴桂英,张吉鹏.中国省际物质资本存量估算:1952~2000[J].经济研究,2004(10):35-44.[Zhang Jun, Wu Guiying, Zhang Jipeng. Estimates of the physical capital stock in China: 1952-2000. *Economic Research Journal*, 2004(10): 35-44.]
- [25] Young A. Gold into base metals: Productivity growth in the people's republic of China during the reform period[R]. Beijing: National Bureau of Economic Research, 2000.
- [26] 国家统计局,环境保护部.中国环境统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2002-2016. [National Bureau of the People's Republic of China, Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. *China statistical yearbook on environment*. Beijing: China Statistics Press, 2002-2016.]
- [27] 中华人民共和国统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2002-2016. [National Bureau of the People's Republic of China. *Statistical yearbook of China*. Beijing: China Statistics Press, 2002-2016.]
- [28] Tone K. Dealing with undesirable outputs in DEA: A Slacks-based Measure (SBM) Approach[R]. GRIPS Research Report Series, 2003.
- [29] 王泽宇,卢雪凤,孙才志,等.中国海洋经济重心演变及影响因素[J].经济地理,2017,37(5):12-19. [Wang Zeyu, Lu Xuefeng, Sun Caizhi et al. Influence factors and evolution of China's marine economic spatial pattern. *Economic Geography*, 2017, 37(5): 12-19.]
- [30] 吴胜男,李岩泉,于大炮,等.基于VAR模型的森林植被碳储量影响因素分析——以陕西省为例[J].生态学报,2015,35(1):196-203. [Wu Shengnan, Li Yanquan, Yu Dapao et al. Analysis of factors that influence forest vegetation carbon storage by using the VAR model: A case study in Shanxi Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(1): 196-203.]
- [31] Caizhi S, Song W, Wei Z. Estimating the efficiency of complex marine systems in China's coastal regions using a network Data Envelope Analysis model[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2017, 139: 77-91.]

Spatial Evolution of Marine Ecological Efficiency and Its Influential Factors in China Coastal Regions

Gai Mei, Zhan Yarong

*(Center for Studies of Marine Economy and Sustainable Development, Liaoning Normal University,
Dalian 116029, Liaoning, China)*

Abstract: This article measures the marine ecological efficiency of 11 coastal regions in China with the SBM model considering the undesirable output. The center of gravity model is applied to projecting and visualizing the evolution of spatial pattern of marine ecological efficiency from 2001 to 2015. On this basis, the VAR model is introduced to explore the dynamic relationship between spatial evolution of marine ecological efficiency and its influence factors. The results showed that: 1) The marine ecological efficiency of coastal provinces is generally low but shows an upward trend. Among them, the marine ecological efficiency of Tianjin, Shanghai, Jiangsu, Fujian and Guangdong jumped from relatively ineffective to relatively effective, and Liaoning, Shandong and Hainan rose from relatively ineffective to relatively inefficient, while Hebei, Zhejiang and Guangxi remained relatively ineffective. 2) The transition process of the gravity center of marine ecological efficiency can be divided into "northeast migration phase from 2001 to 2006" and "southwest migration phase from 2006 to 2015", however, the movement range of the center of gravity is mainly located in the Yangtze River Delta region. 3) By analyzing the influence factors on the evolution of spatial pattern of marine ecological efficiency, we can find out that the impact of marine industrial structure on marine ecological efficiency has fluctuations between positive and negative but mainly positive. As the industrial structure is continuously optimized, the negative effect is weakened over time. Marine science and technology have a significant positive effect and sustained benefits on marine ecological efficiency, especially in the initial stage of the change of marine ecological efficiency. As a terminal treatment, the effect of environmental regulation on the marine ecological efficiency is not significant.

Key words: marine ecological efficiency; barycenter model; VAR model; coastal regions of China