

中国海洋渔业生态效率的时空分异及其影响因素

王泽宇, 曹江琦, 王焱熙

(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:文章基于非期望产出的超效率 SBM 模型, 测算 2007—2016 年中国海洋渔业生态效率, 运用标准差椭圆刻画其时空分异特征, 并引入广义矩估计模型分析其影响因素。研究结果表明: 中国海洋渔业生态效率呈现波动上升的趋势, 但整体仍处于较低水平, 有较大的提升空间; 海洋渔业生态效率较高的地区为江苏、广东和山东, 生态效率中等的地区为浙江, 生态效率低的地区为辽宁和福建, 生态效率无效的地区为河北、广西和海南; 海洋渔业生态效率空间分布的重心整体向东南方向偏移, 且空间格局在南北方向呈扩张状态, 在东西方向呈收缩状态; 海洋渔业的产业结构、环境规制和科技支撑对海洋渔业生态效率的提升起正向作用, 而对外开放程度对海洋渔业生态效率的提升起负向作用。

关键词:海洋渔业; 生态效率; 时空分异; 标准差椭圆; 广义矩估计

中图分类号: P745; F326.4

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2021)08-0036-08

Spatial-temporal Differentiation and Influencing Factors of Ecological Efficiency of China's Marine Fisheries

WANG Zeyu, CAO Jiangqi, WANG Yanxi

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

Abstract: The super-efficiency SBM model based on undesired output was used to calculate the marine fishery ecological efficiency in China from 2007 to 2016. The standard deviation ellipse was used to characterize its spatial-temporal differentiation characteristics, and a generalized moment estimation model was introduced to analyze the influencing factors. The results showed that the ecological efficiency of marine fishery in China showed a fluctuating upward trend, but the overall level was still at a relatively low level, and there was still much room for improvement in the ecological efficiency of marine fishery. The areas with high ecological efficiency of marine fishery were Jiangsu, Guangdong and Shandong, the areas with medium ecological efficiency were Zhejiang, the areas with low ecological efficiency were Liaoning and Fujian, and the areas with ineffective ecological efficiency were Hebei, Guangxi and Hainan. The center of gravity of the spatial distribution of marine fishery ecological efficiency in coastal shifted to the southeast as a whole.

收稿日期: 2020-09-08; 修订日期: 2021-07-10

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41671119); 辽宁省社会科学联合会青年项目 (2020lsktqn-048).

作者简介: 王泽宇, 教授, 博士, 研究方向为海洋经济地理

The spatial pattern of marine fishery ecological efficiency was expanding in the south-north direction and contracting in the east-west direction. Marine fishery industry structure, environmental regulation and scientific and technological support had positive effects on the improvement of marine fishery ecological efficiency. The degree of opening to the outside world played a negative role in improving the ecological efficiency of marine fisheries.

Keywords: Marine fishery, Ecological efficiency, Spatial-temporal variation, Standard deviation ellipse, Generalized moment estimation

0 引言

海洋渔业是海洋经济的重要组成部分,在保障水产品供给、缓解粮食安全压力和改善居民膳食结构等方面发挥重要作用^[1]。全球范围长期粗放型的海洋渔业发展模式给海洋生态环境造成不同程度的损害,近海捕捞难以维持、养殖环境恶化和海水富营养化等问题不断出现,不仅制约海洋渔业的健康可持续发展,而且导致生态系统整体功能的下降。国际地圈生物圈计划(IGBP)将陆地与海洋的相互作用(COICZ)列为其核心计划^[2],海洋渔业生态效率研究是人-海关系地域系统科学研究的重要组成部分。区域海洋渔业生态效率测算与分析对于建设海洋生态文明和促进海洋经济高质量发展具有重要的现实意义,对于完善海洋经济地理学科理论体系具有重要的理论价值。

生态效率的概念最初由德国经济学家 Schaltegger 等^[3]提出,用于测算企业运营的生态环境绩效^[4],随后众多国外学者和组织机构对生态效率的概念和内涵进行补充完善^[5-7],且研究重点逐渐转向产业层面的效率。Salmi^[8]研究 1985—2015 年俄罗斯科拉半岛采矿业的生态效率,认为实现工业共生是提高工业生态效率的关键;Kelly 等^[9]对比研究不同旅游线路的生态效率,发现游客通常倾向于选择生态效率较高的旅游线路;Huppes 等^[10]基于环境影响和经济脱耦两大视角,对比利时佛兰德地区的产业系统生态效率进行探究并刻画其演变趋势。此后,为进一步探索生态经济系统的复合性及其内在的关联机制,学者们开始尝试借助其他学科领域的理论和模型,对已有的比值法和模型法进行改进^[11]。

国内对于生态效率的研究主要集中在我国陆

域的不同行业和区域生态效率的时空分布特征、区域差异及其形成机制^[12-20]。郭露等^[21]采用超效率 DEA 模型,分析我国中部地区的工业生态效率及其影响因素,提出工业生态效率偏低且地区差异较小;郑德凤等^[22]借助探索性空间数据分析方法,对甘肃省的农业生态效率和空间分布格局进行实证分析,认为考虑非期望产出值更符合实际的农业生产过程;郑慧等^[23]基于新型城镇化背景,运用超效率 DEA 模型测算我国省际区域的生态效率及其内在驱动因素,提出东部经济发达地区的生态效率普遍较高,而西部经济欠发达地区的生态效率较低。也有少数学者对我国海洋经济生态效率进行研究:盖美等^[24]结合中国海洋经济发展态势,对沿海地区的海洋生态效率进行测度,认为海洋生态效率呈上升趋势,但效率仍存在缺失;邹玮等^[25]借助 Bootstrap-DEA 模型测算环渤海地区的海洋经济效率,认为纠偏后的海洋投入产出经济效率更为有效。

综上所述,现有的研究多围绕陆域生态效率或海洋经济总体层面的生态效率展开,而鲜见对具体海洋产业生态效率的研究。海洋经济具有显著的产业差异和区域差异特征,区域海洋渔业生态效率研究对于海洋生态文明和“蓝色粮仓”建设更具有指导意义。鉴于此,本研究基于海洋渔业生态效率的内涵,采用考虑非期望产出的超效率 SBM 模型、标准差椭圆和广义矩估计模型(GMM),对 2007—2016 年中国海洋渔业生态效率进行测算和时空分异分析,以期为海洋渔业的绿色发展提供决策参考依据。

1 研究方法

1.1 超效率 SBM 模型

传统 DEA 模型局限于单一从投入或产出角度出发,对指标权重不加以任何限制,对测量误差的忽

略会影响效率测度的准确性和稳定性,导致结果偏离实际。为克服缺陷,Tone^[26]提出超效率 SBM 模型,该模型结合超效率 DEA 模型和 SBM 模型的优势,避免径向和角度选择带来的影响,并充分考虑存在非期望产出时的效率评价问题,能够更准确和有效地测度评价单元的效率,计算公式为:

$$\rho^* = \min \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{ik}}{1 - \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s s_r^+ / y_{rk}} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{s. t.} \quad & \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^-, \quad x_{ik} (i=1, 2, \dots, m) \\ & \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rk} \lambda_j + s_r^+, \quad y_{rk} (r=1, 2, \dots, s) \\ & \lambda \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, n (j \neq k) \\ & s_i^- \geq 0, \quad s_r^+ \geq 0 \end{aligned}$$

式中: ρ^* 表示海洋渔业生态效率; m 和 s 分别表示投入和产出指标个数; x 和 y 分别表示各投入和产出要素; i 和 r 分别表示投入和产出决策单元; s_i^- 和 s_r^+ 分别表示投入和产出松弛量; x_{ik} 表示第 k 个决策单元的第 i 个投入要素; y_{rk} 表示第 k 个决策单元的第 r 个产出要素; λ_j 表示权重向量; n 表示生产决策单元的个数。

设定 $\rho^* \geq 1$ 为高生态效率, $0.8 \leq \rho^* < 1$ 为中等生态效率, $0.6 \leq \rho^* < 0.8$ 为低生态效率, $\rho^* < 0.6$ 为生态效率无效^[27]。

1.2 标准差椭圆

标准差椭圆(SDE)^[28]主要以重心、长轴和短轴为基本参数对地理要素进行定量描述:重心反映生态要素的空间分布特征和相对位置,长轴和短轴体现生态要素的空间分布形态。本研究通过标准差椭圆重心、长轴和短轴的变化,反映中国海洋渔业生态效率的空间分布和移动特征,平均重心、 x 轴标准差和 y 轴标准差的计算公式分别为:

$$\bar{X}_w = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad \bar{Y}_w = \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2)$$

$$\sigma_x = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (w_i \bar{x}_i \cos \theta - w_i \bar{y}_i \sin \theta)}}{\sum_{i=1}^n w_i^2} \quad (3)$$

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

式中: x_i 和 y_i 分别表示研究对象的空间区域; w_i 表示权重; i 表示决策单元; x 和 y 分别表示各点距离标准差椭圆重心的相对坐标; θ 为分布格局的转角。

2 指标选取

2.1 海洋渔业生态效率的内涵

生态效率最早被定义为增加的经济价值与增加的生态环境影响的比值^[3],欧洲环境署(EEA)认为生态效率指以最少的投入创造更多的福利^[7],联合国亚洲及太平洋经济社会委员会(ESCAP)等对该内涵进行扩展。尽管对于生态效率内涵的界定尚不统一,但已有阐释均包含环境影响最小化和经济效益最大化等核心思想。因此,本研究将海洋渔业生态效率界定为:在海洋渔业发展过程中,将海洋渔业各项生产要素的消耗量以及对污染物的处理能力控制在海洋渔业生态系统可承载的能力范围内,用尽可能少的投入获得更多的经济价值,把对海洋生态环境造成的负面影响降到最低。

2.2 指标体系

基于海洋渔业生态效率的内涵,从投入和产出2个方面构建评价指标体系(表1)。

表1 中国海洋渔业生态效率评价指标体系

一级指标	二级指标	指标说明
投入	资源	海洋渔业养殖面积
		海洋渔业苗种投入量
	能源	海洋渔业机动渔船功率
	劳动力	海洋渔业从业人员数量
	资本	海洋渔业资本存量
产出	经济发展	海洋渔业生产总值(期望产出)
	环境污染	海水养殖污染产出量(非期望产出)

在投入指标中,海洋渔业资本存量^[1,29] = 海洋渔业生产总值 × 地区资本存量 / 地区生产总值。在产出指标中纳入环境污染的关键指标,但氮和磷排

放量不易直接获取,因此参照已有方法^[29]进行测算,即海水养殖污染产出量=海水养殖生物的产污系数×海水养殖生物的增产量。

2.3 研究区域和数据来源

本研究以中国沿海 9 省(自治区)为研究区域,时间跨度为 2007—2016 年,数据来源于历年《中国海洋统计年鉴》和《中国渔业统计年鉴》。由于天津和上海的海洋渔业占比太小,海洋渔业养殖面积几

乎为 0,且个别年份的数据不详,故未将其纳入分析;此外,分析内容也不含我国港、澳、台地区。

3 中国海洋渔业生态效率的时空分异

3.1 时间格局

2007—2016 年中国海洋渔业生态效率如表 2 所示。

表 2 2007—2016 年中国海洋渔业生态效率

地区	年份										平均值	排名
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016		
河北	0.317	0.283	0.263	1.441	0.322	0.249	0.289	0.274	0.272	0.273	0.332	8
辽宁	0.669	0.606	0.534	0.783	0.683	0.499	1.031	1.045	0.626	0.409	0.661	5
江苏	1.261	1.147	1.254	1.217	1.267	1.454	1.475	1.480	1.437	1.431	1.337	1
浙江	0.712	1.012	0.609	0.631	1.008	1.002	1.038	1.059	1.063	1.074	0.901	4
福建	0.565	0.538	0.484	0.642	0.689	0.553	0.762	0.754	1.000	0.651	0.650	6
山东	1.218	1.232	1.122	1.118	1.140	1.043	1.046	1.030	1.023	1.033	1.098	3
广东	1.257	1.360	1.410	1.412	1.337	1.298	1.232	1.237	1.305	1.345	1.318	2
广西	0.495	0.497	0.506	0.444	0.459	0.412	0.369	0.369	0.393	0.424	0.434	7
海南	0.299	0.256	0.242	0.146	0.336	0.249	0.362	0.367	0.360	0.307	0.283	9

2007—2016 年中国海洋渔业生态效率呈现波动上升的趋势,但整体仍处于较低水平,存在效率无效的状况。

(1)江苏、广东和山东的海洋渔业生态效率平均值分别为 1.337、1.318 和 1.098,均处于高生态效率水平。江苏紧抓新一轮沿海开发和“一带一路”建设机遇,着力打造海洋渔业经济绿色发展模式,通过攻关海水育苗养殖技术,做强水产品精深加工,有助于海洋生态环境的保护;广东得益于积极发展海洋战略性新兴产业,重点培育生态化养殖、水产品精深加工和休闲渔业相结合的现代海洋渔业产业链,有效解决海洋渔业经济发展的结构性问题;山东积极实施海洋渔业资源修复行动,大规模建设海洋牧场和实施增殖放流,大力支持海洋渔业从“猎捕型”向“农牧化”转变,在近海渔业资源养护和生态环境恢复方面取得良好成效。

(2)浙江的海洋渔业生态效率平均值为 0.901,处于中等生态效率水平。浙江坚持推崇海洋渔业

养殖清洁生态化改造以及水稻和鱼虾的共生轮作模式,有效改善海洋渔业基础设施和海洋生态环境,但仍存在海洋渔业中、低端产业占比较大以及对非法捕捞的管控力度不足等突出问题,制约其海洋渔业生态效率的提高。

(3)辽宁和福建的海洋渔业生态效率平均值分别为 0.661 和 0.650,均处于低生态效率水平。辽宁的海水养殖业仍占海洋渔业的主导地位,海洋渔业发展方式相对粗放;福建部分地区的海水养殖容量处于超负荷状态,且常年受一系列自然灾害的影响,对海洋生态环境的影响较大。

(4)广西、河北和海南的海洋渔业生态效率平均值分别为 0.434、0.332 和 0.283,均处于生态效率无效水平。这 3 个地区普遍以海洋渔业粗加工和浅加工为主,现有渔船装备和渔业基础设施滞后,且缺乏相关技术和人才。

3.2 空间格局

基于 2007—2016 年中国海洋渔业生态效率,借

助 ArcGIS 10.2 软件绘制中国海洋渔业生态效率的标准差椭圆重心移动和空间分布的动态演变轨迹(图 1 和图 2)。

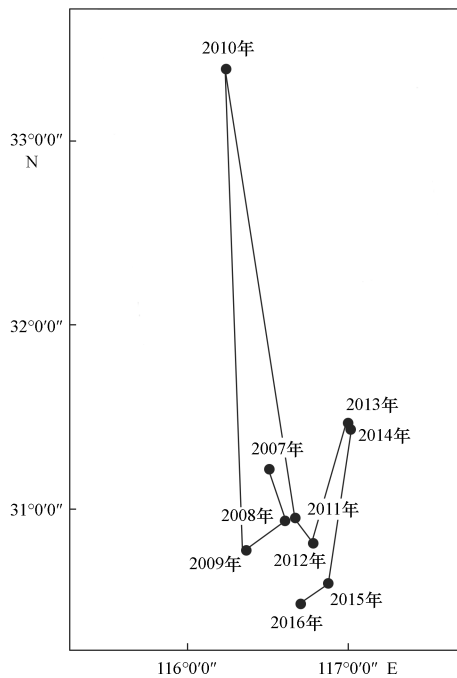


图 1 2007—2016 年中国海洋渔业生态效率的重心移动

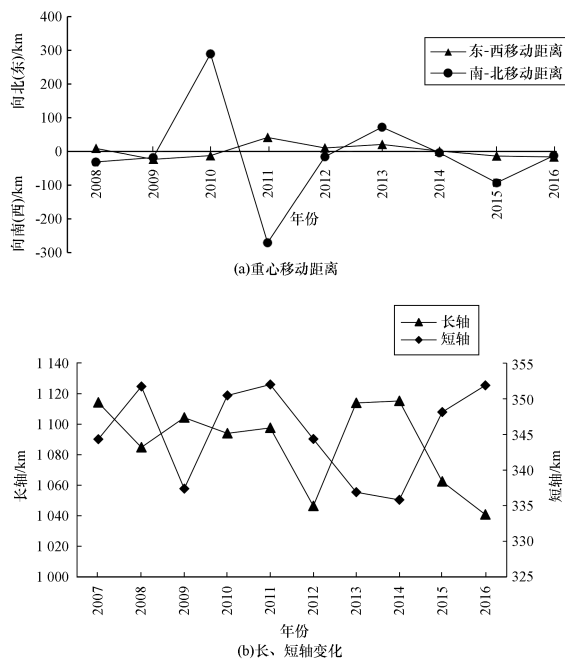


图 2 2007—2016 年中国海洋渔业生态效率的标准差椭圆重心移动距离和长、短轴变化

从标准差椭圆重心移动的方向和距离来看,

2007—2016 年中国海洋渔业生态效率的空间分布重心呈先向西北方向移动、后向东南方向移动的趋势,总位移为 82.995 km。其中,2007—2011 年重心大体向西北方向移动,最大移动距离为 289.798 km;2012—2016 年重心大体向东南方向移动,最大移动距离为 41.916 km。2007—2011 年重心在南北方向的波动范围较大,表明海洋渔业生态效率的区域发展不平衡,南北差异显著;2012—2016 年重心在东西方向小范围波动,表明海洋渔业生态效率的空间集聚性增强,区域发展不平衡有所改善。

从标准差椭圆的覆盖面积来看,2007—2011 年由 12 050 万 km^2 上升到 12 135 万 km^2 ,表明海洋渔业生态效率的空间分布由集中趋于分散;2012—2016 年下降到 11 504 万 km^2 ,表明海洋渔业生态效率的空间分布由分散趋于集中。其中,江苏、广东和山东的覆盖面积较大,表明这 3 个地区的海洋渔业生态效率较高。

从标准差椭圆的长、短轴变化来看,2007—2016 年长轴标准差始终大于短轴标准差,且长轴波动较大,短轴波动较小,表明海洋渔业生态效率的空间格局在南北方向呈扩张状态,在东西方向呈收缩状态。

4 影响因素

为进一步探讨中国海洋渔业生态效率的影响因素,本研究运用 Stata 14.0 软件对可能的影响因素进行面板 GMM 回归分析。被解释变量为海洋渔业生态效率,解释变量为海洋渔业的产业结构、对外开放程度、环境规制和科技支撑。其中,产业结构以海洋渔业第三产业产值占地区海洋渔业生产总值的比重表示,对外开放程度以水产品进出口贸易额表示,环境规制以地方政府治理海洋生态环境的投资额表示,科技支撑以海洋渔业科研推广机构数量占全国渔业科研推广机构总数的比重表示。

传统的计量经济模型以线性假设为主,须严格限定部分参数变量符合某种假设才能进行分析,存在一定的局限性。而 GMM 较好地考虑因变量内生性问题引起的估计偏差,所得到的参数估计量比

其他参数估计方法更符合实际。计算公式为:

$$MEF_{it} = \alpha + \beta_i IS_{it} + \lambda_i GS_{it} + \delta_i OS_{it} + \zeta_i TA_{it} + \epsilon_i \tag{5}$$

式中:MEF 表示海洋渔业生态效率;*i* 表示地区;*t* 表示年份; α 表示常数项;IS、GS、OS 和 TA 分别表示产业结构、对外开放程度、环境规制和科技支撑; β 、 λ 、 δ 和 ζ 分别表示产业结构、对外开放程度、环境规制和科技支撑对海洋渔业生态效率的影响系数; ϵ_i 为误差项。

回归结果如表 3 所示。

表 3 中国海洋渔业生态效率影响因素的参数估计结果

变量	系数	标准差	Z 统计量
常数项	0.195	0.463	4.220
IS	0.900***	0.120	7.510
GS	-3.41e-07**	1.39e-07	-2.460
OS	0.003***	0.001	2.630
TA	5.704***	1.144	4.990

注:***、** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 显著性水平上显著。

产业结构与海洋渔业生态效率呈正相关关系,且通过 1% 的显著性检验,表明产业结构的调整有利于海洋渔业生态效率的提高。一方面,产业结构的组合类型和占比关系可在很大程度上影响经济效益、资源开发利用效益和环境效益,休闲渔业和相关服务业占比的提高也在一定程度上有助于海洋渔业污染物排放量的减少;另一方面,产业结构的升级将提高海洋渔业资源开发利用的广度和深度,促进海洋渔业的健康可持续发展。

对外开放程度与海洋渔业生态效率呈负相关关系,且通过 5% 的显著性检验。对外开放程度是具有双向影响的指标,目前为负向指标但总体影响较小。一般而言,对外开放程度较高地区的产业承接带来的生态环境破坏也较大。但随着国际贸易的持续推进,各沿海地区都开始重视引进先进技术和保护生态环境,并根据自身实际情况选择性地开展贸易活动,实现水产品进出口贸易的良性互动,对外开放程度的正向效应将逐渐显现。

环境规制与海洋渔业生态效率呈正相关关系,且通过 1% 的显著性检验。一方面,政府提高海洋生态环境治理能力、推动落实海洋环境保护措施以及投入更多资金用于相关技术研发,有利于提高海洋渔业生态效率;另一方面,政府通过对海洋渔业企业施加环境保护压力,推动企业优化其产品结构和技术水平,逐渐摆脱资源消耗型的传统发展模式并不断提升自身环保标准,能够间接改善海洋渔业生态环境。

科技支撑与海洋渔业生态效率呈正相关关系,且通过 1% 的显著性检验,表明随着海洋渔业科研推广机构的增多以及 R & D(研究与试验发展)经费投入的增加,企业通过应用绿色生产技术提高自身的资源开发利用效率和污染物处理率,最大化地发挥技术优势,对提高海洋渔业生态效率产生一定的积极影响。

5 结语

本研究基于海洋渔业生态效率的内涵,综合运用考虑非期望产出的超效率 SBM 模型、标准差椭圆和广义矩估计模型等方法,对 2007—2016 年中国海洋渔业生态效率的时空分异及其影响因素进行分析,主要得到 3 点结论。①2007—2016 年中国海洋渔业生态效率总体呈波动上升的趋势,但地区差异显著,包括高生态效率、中等生态效率、低生态效率和生态效率无效 4 种类型;②海洋渔业生态效率空间分布的重心整体向东南方向偏移,空间格局由分散趋于集中,且在南北方向呈扩张状态,在东西方向呈收缩状态;③海洋渔业的产业结构、环境规制和科技支撑对海洋渔业生态效率具有正向作用,而对外开放程度对海洋渔业生态效率具有负向作用。

鉴于中国海洋渔业生态效率整体仍处于较低水平,地方政府在制定相关政策时,应根据自身资源特征和经济发展阶段寻求合理的发展路径。江苏具有发展海洋渔业的良好物质基础,应抓住“走出去”战略和“一带一路”建设的重要机遇,积极发展远洋渔业,努力建设布局科学、基础设施完善和管理规范的远洋渔业产业体系,不断拓展远洋渔业产业链;广东海洋渔业的整体科研实力不强,应积

极引进先进经验和技术,探索海洋渔业发展的新模式,着力培育绿色、低碳和循环的海洋渔业,把现有的比较优势转化为竞争优势;山东应继续坚持绿色的海洋渔业生态观,加快推进海洋渔业治理体系和治理能力现代化,全力做好现代化海洋牧场建设综合试点工作,同时注意节能减排;浙江海洋渔业中海洋捕捞的占比仍较大,应积极响应国家“以养为主、以捕为辅”的号召,出台相应政策引导捕捞渔民转产转业,从而降低捕捞强度,进而优化海洋渔业产业结构;辽宁应加快推进水产健康养殖和精深加工,科学发展海水养殖业,提高水产品质量;福建应进一步强化海洋渔业专业人才的培养,提升海洋渔业的综合开发利用层次;河北应加快现有渔船装备和渔业基础设施等的更新改造,着力解决海洋渔业能耗大和资源转化率的问题,同时注重加强对海洋渔业生态环境的监管;广西拥有丰富的海洋渔业资源,但创新能力和基础设施建设方面仍存在“短板”,应提高科技研发投入和配套基础设施建设;海南应继续加强国际旅游岛建设,加快智慧渔业技术创新,使绿色设备和技术贯穿海洋渔业发展全过程,从根本上改善海洋渔业发展环境。

分析海洋渔业生态效率的时空分异及其影响因素对转变海洋渔业的传统发展模式和促进海洋渔业的可持续发展具有一定的指导意义。本研究也存在一些不足:由于海洋渔业数据获得的限制性因素,研究时序较短;仅考虑海洋渔业的产业结构、对外开放程度、环境规制和科技支撑等影响因素,缺乏更加细致和深入的机理分析。在后续研究中,可进一步探讨海洋渔业生态效率投入和产出的冗余率和不足率。

参考文献

- [1] 秦宏,张莹,卢云云.基于 SBM 模型的中国海水养殖生态经济效率测度[J].农业技术经济,2018(9):67—79.
- [2] 张耀光.从人地关系地域系统到人海关系地域系统:吴传均院士对中国海洋地理学的贡献[J].地理科学,2008,28(1):6—9.
- [3] SCHALTEGGER S, STURM A. Ökologische rationalität; ansatzpunkte zur ausgestaltung von ökologieorientierten management instrumenten [J]. Die Unternehmung, 1990, 44 (4): 273—290.
- [4] KUOSMANEN T, CHERCHYE L, SIPIILAINEN T. The law of one price in data envelopment analysis: restricting weight flexibility across firms [J]. European Journal of Operational Research, 2006, 170(3): 735—757.
- [5] WBCSD. Eco-efficiency leadership for improved economic and environmental performance [R]. Geneva: WBCSD, 1996.
- [6] UNCTAD. Integrating environmental and financial performance at the enterprise level: a methodology for standardizing eco-efficiency indicators [R]. Geneva: United Nations Publication, 2003.
- [7] 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.
- [8] SALMI O. Eco-efficiency and industrial symbiosis: a counterfactual analysis of a mining community [J]. Journal of Cleaner Production, 2007, 15(17): 1696—1705.
- [9] KELLY J, HAIDER W, WILLIAMS P W, et al. Stated preferences of tourists for eco-efficient destination planning options [J]. Tourism Management, 2007, 28(2): 377—390.
- [10] HUPPES G, ISHIKAWA M. Eco-efficiency guiding micro-level actions towards sustainability: ten basic steps for analysis [J]. Ecological Economics, 2009, 68(6): 1687—1700.
- [11] FILIPPINI M, HUNT L C. US residential energy demand and energy efficiency: a stochastic demand frontier approach [J]. Energy Economics, 2012, 34(5): 1484—1491.
- [12] 侯孟阳, 姚顺波. 1978—2016 年中国农业生态效率时空演变及趋势预测 [J]. 地理学报, 2018, 73(11): 2168—2183.
- [13] 潘丹, 应瑞瑶. 中国农业生态效率评价方法与实证: 基于非期望产出的 SBM 模型分析 [J]. 生态学报, 2013, 33(12): 3837—3845.
- [14] 杨亦民, 王梓龙. 湖南工业生态效率评价及影响因素实证分析: 基于 DEA 方法 [J]. 经济地理, 2017, 37(10): 151—156, 196.
- [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.
- [16] 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, 35(6): 180—187.
- [17] 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.
- [18] 汪克亮, 孟祥瑞, 杨宝臣, 等. 基于环境压力的长江经济带工业生态效率研究 [J]. 资源科学, 2015, 37(7): 1491—1501.
- [19] 李淑娟, 周珊. 滨海城市旅游发展效率时空分异与驱动因素研究: 以山东半岛蓝色经济区为例 [J]. 中国海洋大学学报(社会科学版), 2015(4): 8—15.
- [20] 李姣, 周翠烟, 张灿明, 等. 基于生态足迹的湖南省洞庭湖生态经济区全要素生态效率研究 [J]. 经济地理, 2019, 39(2): 199—206.

[21] 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,2016,36(6):116—121,58.

[22] 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.

[23] 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.

[24] 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.

[25] 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.

[26] TONE K.Dealing with undesirable outputs in DEA:a slacks based measure (SBM) approach[R].GRIPS Research Report,2003—0005.

[27] 狄乾斌,梁倩颖.中国海洋生态效率时空分异及其与海洋产业结构响应关系识别[J].地理科学,2018,38(10):1606—1615.

[28] 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.

[29] 宗虎民,袁秀堂,王立军,等.我国海水养殖业氮、磷产出量的初步评估[J].海洋环境科学,2017,36(3):336—342.