

基于熵权 TOPSIS 法的 我国养殖海域承载力评价研究

纪建悦, 王城佳, 周婧琳

(中国海洋大学经济学院 青岛 266100)

摘要: 养殖海域承载力是衡量海水养殖业可持续发展水平的重要判据。文章构建包含压力、状态、响应 3 个准则层共 14 个评价指标的养殖海域承载力评价指标体系, 基于 2008—2019 年我国沿海地区数据, 运用熵权 TOPSIS 法确定指标权重并计算养殖海域承载力综合得分。研究结果表明: 我国养殖海域承载力逐年提高, 综合得分从 2008 年的 0.342 升至 2019 年的 0.458; 压力层和状态层得分较高, 年均值分别为 0.689 和 0.799, 响应层得分较低, 年均值仅为 0.318; 响应层得分较低是我国养殖海域承载力综合得分较低的最重要原因。研究期间, 我国沿海地区社会经济活动对养殖海域产生的资源环境压力先下降、后持平、再上升, 近岸海域的健康状态和受污染程度呈波动趋势。我国养殖海域承载力具有明显的区域差异, 其中综合得分平均值最高的是广东, 其次是海南、山东和江苏; 水产技术推广机构数量、海洋科研教育管理服务业占比、海水养殖业绿色全要素生产率是影响养殖海域承载力的最重要指标, 海水养殖产值占 GDP 比重、工业废水中化学需氧量排放量、近岸海域水质等指标也对养殖海域承载力有较大贡献。

关键词: 养殖海域承载力; 海水养殖业; 熵权 TOPSIS 法; PSR 理论

中图分类号: P74; S967

文献标志码: A

文章编号: 1005—9857(2023)12—0117—10

Evaluation of Carrying Capacity of Mariculture Region in China Based on Entropy Weight TOPSIS Method

Ji Jianyue, WANG Chengjia, ZHOU Jinglin

(School of Economics, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: The carrying capacity of mariculture region is an important criterion to evaluate the sustainable development level of mariculture. This paper established an evaluation index system for carrying capacity of mariculture region which included pressure, state and response criterion layers with 14 evaluation indexes. Based on the data of coastal areas in China from 2008 to 2019, the entropy weight TOPSIS method was used to determine the weights of the indexes and calculate the comprehensive scores of the carrying capacity of mariculture region. The results showed

收稿日期: 2023-05-03; 修订日期: 2023-12-14

基金项目: 山东省社会科学规划重大项目“以创新引领山东‘蓝色粮仓’高质量发展研究”(20AWTJ19)。

作者简介: 纪建悦, 教授, 博士, 研究方向为海洋经济和国民经济

通信作者: 周婧琳, 博士研究生, 研究方向为资源开发与国民经济可持续发展

that the carrying capacity of mariculture region in China increased year by year, and the comprehensive score increased from 0.342 in 2008 to 0.458 in 2019. Among them, the scores of the pressure layer and the state layer were higher, with an annual mean of 0.689 and 0.799 respectively, while the scores of the response layer were lower, with an annual mean of 0.318. The low response layer score was the most important reason for the low comprehensive score of carrying capacity of mariculture region in China. During the study period, the pressure of resources and environment caused by social and economic activities of coastal areas on mariculture region first decreased, then remained flat and then increased, and the health status and pollution degree of coastal areas showed a fluctuating trend. There were significant differences in the carrying capacity of mariculture region among the coastal areas. Guangdong Province had the highest average comprehensive score, followed by Hainan, Shandong and Jiangsu. The number of aquaculture technology extension institutions, the proportion of marine scientific research, education and management service industry, and the green total factor productivity of mariculture industry were the most important indicators affecting the carrying capacity of mariculture region. The proportion of mariculture output value in GDP, the discharge of chemical oxygen demand in wastewater, and the water quality of offshore sea areas also made great contributions to the carrying capacity of mariculture region.

Keywords: Carrying capacity of mariculture region, Mariculture, Entropy weight TOPSIS method, PSR theory

0 引言

海水养殖通过提供高蛋白食物优化人们的饮食结构,并通过调整渔业结构、提高居民收入等方式在我国海洋产业中发挥重要作用^[1]。随着海洋经济的发展和人类活动的激增,近岸海域遭受过度开发、环境污染、生物多样性下降等压力^[2],海水养殖业的可持续发展也遭受海洋生态系统退化的巨大压力^[3]。在现有技术水平条件下,人类若无限地开发利用海域资源,将不可避免地陷入资源枯竭和环境污染的困境,从而严重制约海洋产业的可持续发展^[4]。海水养殖业属于传统的资源导向型产业,受海域资源环境的制约更为明显^[5]。为衡量海域资源环境对海水养殖业可持续发展的制约作用,学者们探索采用养殖海域承载力进行评价。养殖海域承载力是指海域在资源可持续利用和环境保护的前提下,能够承载和支持海水养殖相关活动的的能力^[6]。养殖海域承载力评价有助于客观了解养殖海域资源环境的现状和开发利用潜力,对于维持近岸海域资源开发与海水养殖业发展的平衡关系具有

重要意义^[7]。

近年来,海域资源的快速消耗和海洋环境的持续恶化引起人们的广泛关注,海域承载力研究已成为海洋产业可持续发展的重要课题。大量研究从滨海旅游业发展^[8]、围填海空间资源配置^[9]、渔业空间规划^[10]等角度对海域承载力进行评价分析,少数研究从渔业、海水养殖业可持续性的角度对海域承载力进行探索^[11]。渔业相关海域承载力研究主要包括 3 类:①采用海洋生态系统的渔业资源生态容量表征渔业生态承载力,采用渔业生产海域面积指标构建承载力指数,研究结果表明海洋渔业资源处于生态超载状态^[12];②讨论渔业和海洋生态系统承载力之间的关系,并分析渔业对相关海域承载力的影响^[13-14];③基于渔业可持续发展评价海洋生态系统的承载力^[15-16]。

为科学评价海域承载力,国内外学者在评价指标、评价方法方面进行大量的探索,为后续研究提供有价值的借鉴和经验。①在评价指标方面,以往研究主要从资源系统、生态系统、经济社会系统 3 个

层面选取指标^[17-18]。近年来,为更系统地从整体视角分析海域对人类经济活动的承载力,国内外学者开始尝试从压力与承压关系的角度出发设计海域承载力评价指标;这些研究将海洋作为载体,将人口、环境与经济的协调发展作为受载体,从载体和受载体 2 个层面建立包含压力指标和承压指标的海域承载力评价指标体系^[19-21]。②在多指标体系的评价方法中,层次分析法^[22-23]、熵值法^[24]常被用于指标赋权和承载力评价。在指标赋权过程中,熵权法被认为可以最大限度地消除评价分析的不确定性,从而使评价更加客观^[25]。

综上所述,已有研究对海域承载力进行有益探索,但仍存在进一步深化的空间。目前对海域承载力的研究大多局限于对单一区域的分析,对养殖海域承载力的综合研究较少。在评价方法中,层次分析法基于主观经验划分指标阈值,容易造成一定的定量偏差;熵值法直接将指标的信息熵作为评价值,虽然保障评价结果的客观性,但沿海地区的海域承载力是相对的概念,采用简单的熵值法可能无法精确体现海域承载力的区域差异,而 TOPSIS 法与熵权法的结合可以弥补这一不足。因此,本研究对我国海水养殖业相关海域承载力进行研究,构建包含压力、状态、响应 3 个层次的养殖海域承载力评价指标体系,运用熵权 TOPSIS 法进行指标赋权和综合得分,以期准确评价我国养殖海域承载力。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 熵权 TOPSIS 法

TOPSIS 法基于距离度量的概念,通过计算样本与理想解之间的距离得到样本的排序,是常用的多属性决策方法。TOPSIS 法具有较强的灵活性,可以根据具体问题的需求和决策者的偏好进行调整,如可以选择不同的距离度量方法和权重分配方法。熵权 TOPSIS 法在 TOPSIS 法的基础上采用信息熵确定指标权重,能够减少主观因素对权重分配的影响,提高模型的可靠性和稳定性。熵权 TOPSIS 法充分考虑指标之间的相关性,避免传统 TOPSIS 法在处理指标权重时存在的矛盾性和不一致性问题。本研究的养殖海域承载力评价是多维度、多指标的复杂问题,须考虑指标之间的相互关

系,且养殖海域承载力具有区域差异,因此采用熵权 TOPSIS 法进行评价。

对于由 m 个评价指标和 n 个样本构成的决策矩阵,矩阵元素为 x_{ij} ($1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m$),对指标数据进行标准化处理。

$$y_{ij} = \begin{cases} \text{对于正向指标: } x_{ij}^* = \frac{(x_{ij} - x_{j,\min})}{(x_{j,\max} - x_{j,\min})} \\ \text{对于负向指标: } x_{ij}^* = \frac{(x_{j,\max} - x_{ij})}{(x_{j,\max} - x_{j,\min})} \\ \text{标准化值: } y_{ij} = \frac{x_{ij}^*}{\sum_{i=1}^n x_{ij}^*}, 0 \leq y_{ij} \leq 1 \end{cases}$$

基于得到的标准化矩阵 $Y = \{y_{ij}\}_{m \times n}$,运用熵权法得到各指标的熵值 e_j 以及权重 w_j 。

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n y_{ij} \ln y_{ij}$$

$$\text{其中 } k > 0, k = \frac{1}{\ln n}, e_j \geq 0$$

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)}$$

运用 TOPSIS 法,构建加权后的规范化矩阵 Z ,其中的元素 z_{ij} 为:

$$z_{ij} = w_j \times y_{ij}$$

基于规范化矩阵分别确定最优解和最劣解:

$$Z^+ = (z_1^+, z_2^+, \dots, z_m^+) = \{\max z_{ij} \mid j = 1, 2, \dots, m\}$$

$$Z^- = (z_1^-, z_2^-, \dots, z_m^-) = \{\min z_{ij} \mid j = 1, 2, \dots, m\}$$

计算各样本与最优解和最劣解的距离:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - Z_j^+)^2}$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - Z_j^-)^2}$$

计算评价对象与最优解的接近程度即综合得分:

$$c_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}$$

c_i 的取值范围为 $0 \sim 1$, c_i 越接近 1 表明评价对象越接近最优解。

1.2 数据来源

本研究数据主要来自历年《中国渔业统计年鉴》《中国海洋统计年鉴》和《中国农业统计年鉴》。2008 年《国家海洋事业发展规划纲要》正式指出保护海洋生态环境、规范海洋资源开发秩序在我国

海洋事业发展中的重要性,对海洋经济可持续发展 and 资源可持续利用提出要求,自此我国海洋事业步入新的阶段,因此基于 2008 年这个关键节点对我国养殖海域承载力进行定量分析。同时,考虑到自 2020 年起新冠疫情对经济数据带来阶段性和非常规性的影响,选取 2008—2019 年的相关数据进行实证研究。

2 我国养殖海域承载力评价与分析

2.1 评价指标体系和指标权重

为更全面地展现海洋生态系统对人类活动的承载力,完整的反馈机制应是:人类活动对海域施加一定的压力,海域生态环境状态发生变化;海域生态环境状态变化对经济的长期健康发展发出预警,人类随即采取行动加以响应。PSR (Pressure-State-Response) 理论作为涵盖压力、状态和响应环节的评价理论,可以很好地契合这一过程。本研究结合海水养殖业的发展特征,依据我国海水养殖业的相关政策、规划,遵循科学性、系统性、代表性、可获得性的原则,参考以往文献经验,最终构建包含 5 个压力指标、5 个状态指标、4 个响应指标共 14 项指标的评价指标体系,并基于熵权法计算各指标权重(表 1)。

表 1 养殖海域承载力评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of carrying capacity of mariculture region

目标层	准则层	指标层	属性	权重
养殖 海域 承载力	压力层	人口密度	—	0.028
		人均海水养殖产值	—	0.054
		海水养殖产值占 GDP 比重	—	0.077
		海水养殖面积	—	0.051
		海水养殖等标污染物	—	0.027
	状态层	近岸海域水质	+	0.058
		工业废水中化学需氧量排放量	—	0.066
		工业废水中氨氮排放量	—	0.050
		污染养殖面积	—	0.006
		渔业灾情造成的经济损失	—	0.018
	响应层	占渔业总产值比重	—	0.018
		水产技术推广机构数量	+	0.206
		海洋科研教育管理服务业占比	+	0.205
		硕/博士海洋科研人才占比	+	0.057
		海水养殖业绿色全要素生产率	+	0.099

注: + 表示正向指标; — 表示负向指标。

压力指标表征人类社会经济活动对海域资源环境产生的消极影响和潜在压力。①从人口与经济发展的角度,选取人口密度、人均海水养殖产值、海水养殖产值占 GDP 比重 3 个指标。②从海水养殖使用资源的角度,选取海水养殖面积指标。③从海水养殖环境污染的角度,选取海水养殖等标污染物指标;根据《水产养殖业污染源产排污系数手册》定义的 28 种海水养殖产污物以及 5 种海水养殖方式,将不同产污物(包括氮、磷、化学需氧量)的产污量转化为标准介质量,从而得到统一尺度的污染物指标^[26]。

状态指标表征海域环境的健康状态和受污染程度。①近岸海域水质采用符合第一、第二类海水水质标准的点位占比,即第一、第二类海水水质在近岸监测海域面积中的占比,占比越高表示水质越佳,这是表征海水清洁程度和安全程度的重要指标。②养殖海域多为近岸海域,其健康状态受沿海地区工业生产的影响较大。选取工业废水中化学需氧量排放量和氨氮排放量 2 个指标,表征近岸海域受工业污染的程度。③选取污染养殖面积指标表征养殖海域受污染状况,选取渔业灾情造成的经济损失占渔业总产值比重指标表征灾害损失强度。

响应指标表征政府和企业为改善海域环境、提高资源利用效率而产生的经济行为,重点考虑在水产技术推广、海洋科研教育管理服务、海洋科研人才培养 3 个方面的努力。此外,本研究纳入海水养殖业绿色全要素生产率指标,表征海水养殖业的经济效益和绿色发展水平,采用 EBM 超效率模型测度^[27],将海水养殖资本存量、海水养殖从业人员数量、海水养殖面积作为投入变量,将海水养殖产值作为产出变量,将海水养殖产污量作为非期望产出。

分析各指标权重可以发现,权重最高的是水产技术推广机构数量和海洋科研教育管理服务业占比,分别为 0.206 和 0.205;其次是海水养殖业绿色全要素生产率,接近 0.100。这 3 个指标都属于响应指标,同时都是正向指标,在养殖海域承载力评价中具有非常重要的地位。此外,海水养殖产值占 GDP 比重(0.077)、工业废水中化学需氧量排放量(0.066)、近岸海域水质(0.058)的权重较高,对养殖海域承载力的贡献较大。污染养殖面积、渔业灾情

造成的经济损失占渔业总产值比重的权重最小。

氏距离,得到 2008—2019 年我国沿海 10 省(自治区、直辖市)养殖海域承载力在目标层和 3 个准则层的得分并排名,其中目标层排名即养殖海域承载力综合排名(表 2)。

2.2 养殖海域承载力评价结果

基于熵权法获得新的决策矩阵后,运用 TOPSIS 模型计算每个对象到最优解和最劣解的欧

表 2 2008—2019 年我国沿海 10 省(自治区、直辖市)养殖海域承载力排名

Table 2 The ranking of carrying capacity of mariculture region in 10 Provinces (Autonomous Region, Municipality) of China from 2008 to 2019

评价层	地名	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年
目标层	天津	7	7	7	7	7	8	8	8	9	8	10	10
	河北	9	10	10	8	9	9	10	10	8	10	6	8
	辽宁	10	8	8	10	8	7	5	5	6	6	7	6
	江苏	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4
	浙江	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3
	福建	5	5	5	6	6	5	6	6	5	5	5	5
	山东	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	广东	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	广西	8	9	9	9	10	10	9	9	10	9	9	9
	海南	6	6	6	5	5	6	7	7	7	7	8	7
压力层	天津	4	2	2	1	2	3	4	4	4	4	5	5
	河北	1	1	1	3	3	2	2	3	3	1	3	3
	辽宁	8	8	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	江苏	2	4	4	4	4	4	3	2	2	3	2	1
	浙江	3	3	3	2	1	1	1	1	1	2	1	2
	福建	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	山东	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8
	广东	5	5	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6
	广西	6	6	5	6	5	5	5	5	5	5	4	4
	海南	9	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7
状态层	天津	6	2	9	4	4	3	4	4	1	6	7	7
	河北	3	3	2	5	5	5	5	5	7	7	2	3
	辽宁	4	6	5	7	7	7	6	6	3	2	3	2
	江苏	7	7	6	6	6	6	7	7	8	8	8	8
	浙江	8	9	10	8	8	8	8	8	10	10	10	10
	福建	2	4	1	2	3	4	3	3	6	3	4	6
	山东	5	5	4	9	9	9	9	9	5	5	6	4
	广东	10	10	8	10	10	10	10	10	9	9	9	9
	广西	9	8	7	3	2	2	2	2	4	4	5	5
	海南	1	1	3	1	1	1	1	1	2	1	1	1
响应层	天津	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	10	10
	河北	10	10	10	10	9	9	10	10	8	10	7	8
	辽宁	9	7	7	7	7	6	5	5	6	6	6	6
	江苏	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4
	浙江	5	5	5	4	4	4	4	3	3	3	3	3
	福建	4	4	4	6	5	5	6	6	5	5	5	5
	山东	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	广东	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	广西	7	9	9	9	10	10	9	9	10	8	9	9
	海南	6	6	6	5	6	7	7	7	7	7	8	7

2008—2019 年我国沿海 10 省(自治区、直辖市)养殖海域承载力排名随时间变化有一定的变动。①从目标层排名即综合排名来看,广东始终排名第一,山东一直排名第二,排名靠后的主要包括广西、天津、河北;辽宁的排名变化较大,从 2008 年的第十名升至 2014—2015 年的第五名。②从压力层排名来看,排名靠前的主要包括河北、浙江、江苏,排名靠后的主要包括福建、辽宁、海南。③状态层排名的变动较大,其中海南排名较靠前,广东和浙江排名靠后。④响应层排名较为稳定,排名靠前的主要包括广东、山东、江苏,排名靠后的主要包括河北、天津、广西。

以 2008—2019 年我国沿海 10 省(自治区、直辖市)养殖海域承载力得分的平均值作为我国养殖海域承载力得分,得到各年份不同评价层的得分变化情况(图 1)。

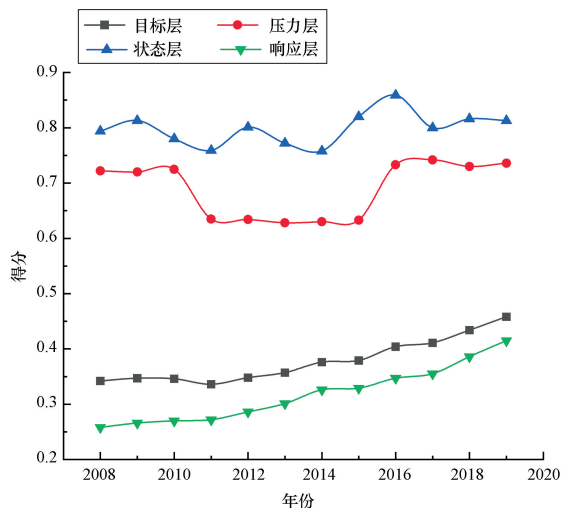


图 1 2008—2019 年我国养殖海域承载力得分的变化趋势

Fig.1 Variation trend of the scores of carrying capacity of mariculture region in China from 2008 to 2019

2008—2019 年我国养殖海域承载力目标层得分即综合得分逐年上升,从 2008 年的 0.342 升至 2019 年的 0.458,年均值为 0.378;压力层和状态层得分较高,年均值分别为 0.689 和 0.799;响应层得分较低,年均值为 0.318。

压力层得分呈现先下降、后持平、再上升的趋势,其中 2011—2015 年较低,保持在 0.630 左右,2016 年后回升至 0.730 以上;状态层得分在 0.800 左右小幅波动,其中 2016 年达到峰值即 0.859;响应

层得分呈现逐年上升的趋势,从 2008 年的 0.258 升至 2019 年的 0.415,变化趋势与综合得分相近。虽然压力层和状态层得分远高于响应层,但响应指标的权重较大,对综合得分的贡献率更高,可以认为我国养殖海域承载力综合得分偏低主要受到响应层的影响。

进一步分析养殖海域承载力的区域差异。各地养殖海域承载力目标层得分平均值如图 2 所示,可以看出广东最高(0.503),其次是海南、山东和江苏(高于 0.400),天津最低(0.285)。

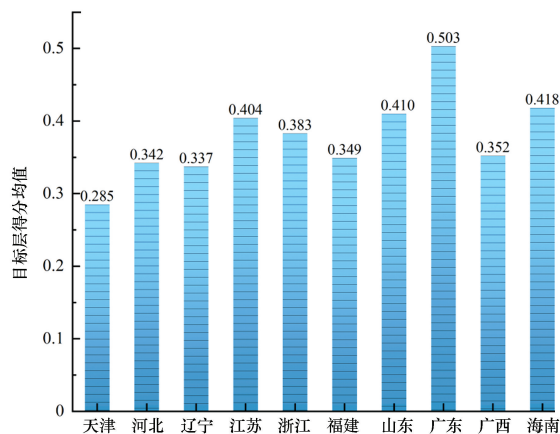


图 2 养殖海域承载力目标层得分平均值

Fig.2 Average value of target layer of carrying capacity of mariculture region

各地养殖海域承载力压力层得分平均值如图 3 所示,可以看出呈现两极分化状态,其中天津最高(0.862),其次是浙江(0.820),河北、江苏、广西较高(高于 0.750),山东、辽宁、福建较低(低于 0.600)。

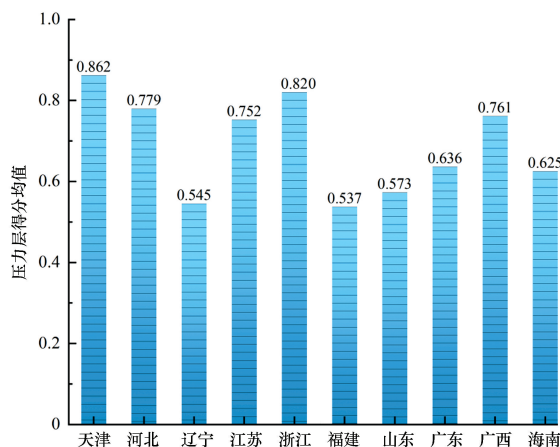


图 3 养殖海域承载力压力层得分平均值

Fig.3 Average value of pressure layer of carrying capacity of mariculture region

各地养殖海域承载力状态层得分平均值如图 4 所示,可以看出同样呈现两极分化状态,其中大多数较高(高于 0.800),山东最高(0.936),其次是河北和海南(高于 0.900),天津和浙江较低(分别为 0.586 和 0.419)。

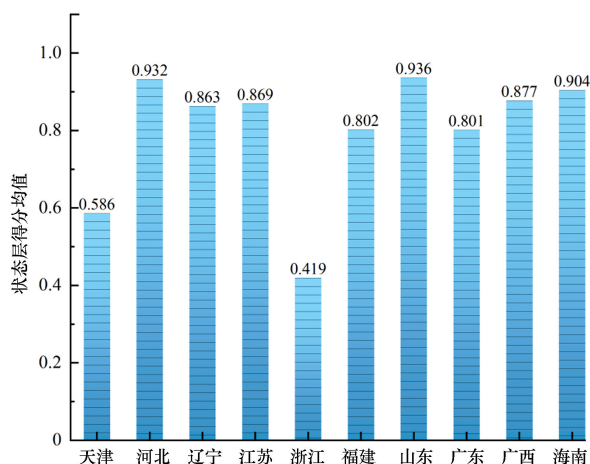


图 4 养殖海域承载力状态层得分平均值

Fig.4 Average value of state layer of carrying capacity of mariculture region

各地养殖海域承载力响应层得分平均值如图 5 所示,可以看出区域差异较大,其中广东最高(0.483),其次是山东、海南、江苏(高于 0.350),辽宁、河北、广西、天津较低(低于 0.300),天津最低(0.138)。由于响应指标在评价指标体系中权重较大,响应层得分对目标层得分和排名具有重要影响。

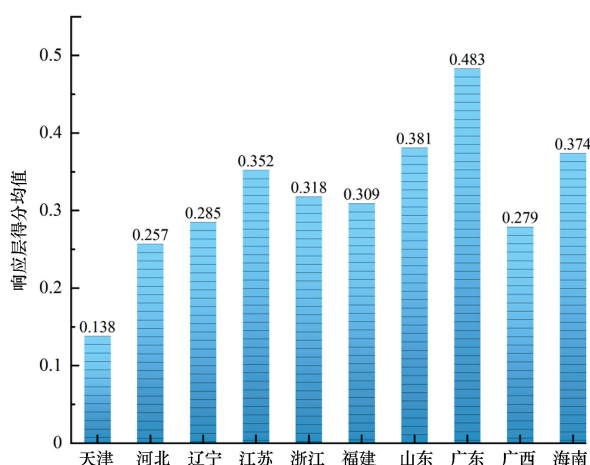


图 5 养殖海域承载力响应层得分平均值

Fig.5 Average value of response layer of carrying capacity of mariculture region

3 结论与政策建议

3.1 结论

本研究基于 PSR 理论以及我国海水养殖业特征和海域资源环境特征,构建包含压力、状态、响应 3 个准则层共 14 个评价指标的养殖海域承载力评价指标体系。运用 2008—2019 年我国沿海 10 省(自治区、直辖市)数据,通过熵权 TOPSIS 法确定指标权重并计算得到养殖海域承载力综合得分,主要得到 3 点结论。

(1)2008—2019 年我国养殖海域承载力逐年提高,综合得分从 2008 年的 0.342 升至 2019 年的 0.458,年均值为 0.378。在养殖海域承载力评价指标体系的不同准则层中,压力层和状态层得分较高,年均值分别为 0.689 和 0.799;响应层得分较低,年均值仅为 0.318。响应层得分较低是我国养殖海域承载力综合得分较低的最重要原因,表明近年来沿海地区政府和企业为改善近岸海域环境、提高养殖海域资源利用效率而做出的努力是不够的。

(2)养殖海域承载力评价指标体系的压力层得分呈现先下降、后持平、再上升的趋势,状态层得分小幅波动并于 2016 年达到峰值即 0.859。这表明沿海地区社会经济活动对养殖海域产生的资源环境压力有所减小且海域环境有所改善,这种变化可能与我国海洋经济发展与海域环境保护政策有关。2012 年全国海洋经济发展“十二五”规划指明“十二五”时期是我国海洋经济加快调整优化的关键时期,同时指出“十一五”期间海洋经济总量快速增长但资源与环境问题愈渐突出的状况;2017 年全国海洋经济发展“十三五规划”则对海域资源集约利用和海洋生态保护提出更严格的要求。

(3)我国养殖海域承载力具有明显的区域差异。综合得分平均值最高的是广东,其次是海南、山东和江苏,最低的是天津;压力层得分呈现两极分化状态,平均值最高的是天津,其次是浙江,较低的是山东、辽宁和福建,主要受海水养殖产值占 GDP 比重、工业废水中化学需氧量排放量 2 个指标的影响;状态层得分也呈现两极分化状态,天津

和浙江的平均值较低,主要受近岸海域水质指标的影响;响应层得分的区域差异较大,平均值最高的是广东,其次是山东、海南和江苏,主要受水产技术推广机构数量、海洋科研教育管理服务业占比、海水养殖业绿色全要素生产率 3 个指标的影响。

3.2 政策建议

基于我国养殖海域承载力评价的研究结论,本研究认为应采取有力的政策措施来保护和优化近岸海域生态环境,同时促进海水养殖业的可持续发展。在此基础上,本研究提出 3 点针对性建议。

(1)加强工业废水处理,降低工业废水中化学需氧量和氨氮排放量,改善近岸海域水质。工业化的加速和人口的增加导致我国近岸海域水质日益恶化,直接影响海水养殖业的健康发展,沿海地区应采取措施推动工业废水的全面处理。对于违反环保规定的企业,必须坚决予以惩处,并对其进行长期监管,确保废水排放符合相关标准;积极开展海域环境综合治理,提高海洋环境整体质量,加大对生境修复、污染治理的项目投资;以陆海统筹发展理念为指引,促进海洋产业结构高级化、布局合理化,大力扶持高新技术产业和清洁能源产业发展;通过排污许可、征收排污税、提高排污标准等手段激励企业节能减排,降低废水、废气排放对海域资源环境的压力。通过上述措施有效改善近岸海域水质,提高养殖海域承载力。

(2)推动海洋科研和水产技术的发展,鼓励设立水产技术推广机构、提高海洋科研教育管理服务业占比。科技创新是实现养殖海域可持续发展的关键,政府应积极推动海洋科研和水产技术的发展,加大科技投入,提高科技要素贡献率,提高养殖海域承载力。具体来说,加强科研机构和企业之间的合作,促进科研成果的转化和应用;加强知识产权保护,鼓励创新创业;通过设立科技创新专项资金,支持相关企业和机构的科研项目,激励其投入更多的研发资源,推动技术创新的发展。

(3)提高海水养殖业绿色全要素生产率。海水养殖业的发展面临资源环境压力和生产成本等诸多挑战,沿海地区应加强技术创新,推进绿色生产。一方面,通过推广先进的海水循环养殖技术、水产养殖废弃物资源化利用技术、水产品质量安全监管技术等,提高海水养殖业资源利用效率,从而提高生产效率和降低成本;另一方面,通过调整海水养殖业结构和布局实现降本提效,鼓励企业根据不同区域的资源特点和市场需求,合理规划和布局海水养殖场和养殖品种,同时鼓励和支持农民合作社等新型经营主体的发展,实现规模化养殖和资源共享。

参考文献(References):

- [1] YU Jinkai, YIN Wang. Exploring stakeholder engagement in mariculture development: challenges and prospects for China[J]. Marine Policy, 2019, 103: 84—90.
- [2] RAYNER R, JOLLY C, GOULDMAN C. Ocean observing and the blue economy[J]. Frontiers in Marine Science, 2019, 6: 330.
- [3] HAN Hongyun, JIANG Ye. The evolution of mariculture structures and environmental effects in China[J]. Journal of Coastal Research, 2018(83): 155—166.
- [4] VIRTO L R. A preliminary assessment of the indicators for sustainable development goal (SDG) 14 “Conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development”[J]. Marine Policy, 2018, 98: 47—57.
- [5] 徐康宁, 王剑. 自然资源丰裕程度与经济发展水平关系的研究[J]. 经济研究, 2006(1): 78—89.
XU Kangning, WANG Jian. An empirical study of a linkage between natural resource abundance and economic development[J]. Economic Research Journal, 2006(1): 78—89.
- [6] 韩增林, 狄乾斌, 刘锴. 海域承载力的理论与评价方法[J]. 地域研究与开发, 2006, 25(1): 1—5.
HAN Zenglin, DI Qianbin, LIU Kai. Research on the theories and assessment method of carrying capacity of marine region[J]. Areal Research and Development, 2006, 25(1): 1—5.
- [7] SUN Jing, MIAO Jichao, MU Hairong, et al. Sustainable development in marine economy: assessing carrying capacity of Shandong Province in China[J]. Ocean & Coastal Management, 2022, 216: 105981.
- [8] 郑佳, 刘丹丹, 狄乾斌. 承载力视角下辽宁省滨海旅游业发展现状分析: 基于 DP 政策战略矩阵[J]. 海洋开发与管理, 2018, 35(5): 100—105.
ZHENG Jia, LIU Dandan, DI Qianbin. Analysis on the develop-

- ment of coastal tourism in Liaoning Province from the perspective of bearing capacity; based on DP policy strategy matrix[J]. Ocean Development and Management, 2018, 35(5): 100—105.
- [9] 崔丹丹, 吕林, 李飞, 等. 基于围填海的江苏用海承载指数评价研究[J]. 海洋开发与管理, 2020, 37(10): 26—30.
- CUI Dandan, LYU Lin, LI Fei, et al. Evaluation of sea use carrying capacity for reclamation in Jiangsu [J]. Ocean Development and Management, 2020, 37(10): 26—30.
- [10] 于谨凯, 孔海峥. 基于海域承载力的海洋渔业空间布局合理度评价: 以山东半岛蓝区为例[J]. 经济地理, 2014, 34(9): 112—117.
- YU Jinkai, KONG Haizheng. The rationality evaluation of spatial arrangement of marine fishery based on marine carrying capacity vision; exemplify Shandong Blue Area[J]. Economic Geography, 2014, 34(9): 112—117.
- [11] 李艳玲, 顾波军. 舟山养殖海域承载力评价研究[J]. 海洋开发与管理, 2021, 38(10): 52—57.
- LI Yanling, GU Bojun. The evaluation of carrying capacity of aquaculture marine region of Zhoushan [J]. Ocean Development and Management, 2021, 38(10): 52—57.
- [12] 张靳, 姚仕喜. 基于渔业生态足迹的广东海洋渔业生态可持续利用评价[J]. 河北渔业, 2016, 275(11): 46—51.
- ZHANG Jin, YAO Shixi. Evaluation of the ecological sustainable utilization of Guangdong marine fisheries based on the ecological footprint [J]. Hebei Fisheries, 2016, 275(11): 46—51.
- [13] VASCONCELLOS M, GASALLA M A. Fisheries catches and the carrying capacity of marine ecosystems in southern Brazil [J]. Fisheries Research, 2001, 50(3): 279—295.
- [14] AKPALU W, BITEW W T. Species diversity, fishing induced change in carrying capacity and sustainable fisheries management [J]. Ecological Economics, 2011, 70(7): 1336—1343.
- [15] ZHANG C I, SEO Y I, KANG H J, et al. Exploitable carrying capacity and potential biomass yield of sectors in the East China Sea, Yellow Sea, and East Sea/Sea of Japan large marine ecosystems[J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2019, 163: 16—28.
- [16] 王若凡. 厦门与罗源湾近岸海域生态足迹对比研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2008.
- WANG Ruofan. Study on the differences of marine ecological footprints between Xiamen and Luoyuan Bays[D]. Xiamen: Xiamen University, 2008.
- [17] 刘蕊. 海洋资源承载力指标体系的设计与评价[J]. 广东海洋大学学报, 2009, 29(5): 6—9.
- LIU Rui. Design and evaluation of marine resources environmental loading index system[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2009, 29(5): 6—9.
- [18] LIU Rongjuan, PU Lijie, ZHU Ming, et al. Coastal resource-environmental carrying capacity assessment: a comprehensive and trade-off analysis of the case study in Jiangsu coastal zone, eastern China[J]. Ocean & Coastal Management, 2020, 186: 105092.
- [19] 狄乾斌, 韩增林. 海域承载力的定量化探讨: 以辽宁海域为例[J]. 海洋通报, 2005, 24(1): 47—55.
- DI Qianbin, HAN Zenglin. Discussion on the quantification of the carrying capacity of marine region; taking the marine region of Liaoning for example[J]. Marine Science Bulletin, 2005, 24(1): 47—55.
- [20] 苗丽娟, 王玉广, 张永华, 等. 海洋生态环境承载力评价指标体系研究[J]. 海洋环境科学, 2006, 35(3): 75—77.
- MIAO Lijuan, WANG Yuguang, ZHANG Yonghua, et al. Assessing index system for bearing capacity of marine ecological environment[J]. Marine Environmental Science, 2006, 35(3): 75—77.
- [21] MA Panpan, YE Guanqiong, PENG Xin, et al. Development of an index system for evaluation of ecological carrying capacity of marine ecosystems [J]. Ocean & Coastal Management, 2017, 144: 23—30.
- [22] 孙才志, 李欣. 环渤海地区海洋资源、环境阻尼效应测度及空间差异[J]. 经济地理, 2013, 33(12): 169—176.
- SUN Caizhi, LI Xin. Measurement and spatial analysis of marine resources and environment damping effect in the Bohai Sea Ring Area [J]. Economic Geography, 2013, 33(12): 169—176.
- [23] JIANG Daokui, CHEN Zhuo, DAI Guilin. Evaluation of the carrying capacity of marine industrial parks: a case study in China[J]. Marine Policy, 2017, 77: 111—119.
- [24] 薄文广, 孙元瑞, 左艳, 等. 天津市海洋资源承载力定量分析研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(S3): 407—409.
- BO Wenguang, SUN Yuanrui, ZUO Yan, et al. The quantitative analysis of ocean resource carrying capacity of Tianjin City [J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(S3): 407—409.
- [25] TIAN Renqu, SHAO Qinglong, WU Fenglan. Four-dimensional evaluation and forecasting of marine carrying capacity in China: empirical analysis based on the entropy method and grey Verhulst model [J]. Marine Pollution Bulletin, 2020, 160: 111675.
- [26] 纪建悦, 李艺菲. 我国海水养殖业绿色技术进步测度及其影响因素研究[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版), 2019(2): 45—50.

JI Jianyue, LI Yifei. Research on green technology progress measurement and influencing factors in marine aquaculture industry in China[J]. Journal of Ocean University of China (Social Sciences), 2019(2): 45—50.

[27] ANDERSEN P, PETERSEN N C. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis[J]. Management Science, 1993, 39(10): 1261—1264.