

基于陆海统筹的资源环境承载力评价方法探讨

岳保静, 陈斌, 仇建东, 邹亮, 徐刚, 胡睿, 王蜜蕾, 薛碧颖, 张艺严, 许帅

(中国地质调查局青岛海洋地质研究所 青岛 266237)

摘要: 海洋、海岸带蕴含的资源丰富, 与人类生存发展息息相关。近年来, 随着海洋经济的迅速增长, 自然岸线和滨海湿地面积减少、生物多样性降低、典型生态系统受损、近岸海域灾害频发、渔业资源减少等问题日益显现。如何从战略高度提升海洋经济, 开发和保护并举, 确保海岸带、海洋资源取用合理是新时代的重要课题。陆地和海洋是生态系统不可分割的组成部分, 开展陆海统筹的资源环境承载力评价是衡量区域经济发展与生态环境是否协调可持续发展的有效途径。文章系统地梳理了承载力概念的发展历程, 对比了常用的海洋资源环境承载力评价方法, 初步构建了陆海统筹的资源环境承载力评价指标体系, 并提出使用熵值法来确定指标权重, 采用状态空间评价模型或 TOPSIS 模型进行承载力综合评价, 可以体现陆地和海洋相互影响、相互制约的关系, 并具有较强的可操作性, 评价结果可以反映区域资源环境承载力的空间差异或随时间变化情况, 能够为海洋和海岸带保护利用提供有效借鉴。

关键词: 陆海统筹; 资源环境承载力; 综合评价; 指标体系; DPSIR-TOPSIS 模型

中图分类号: X55; P964; P74

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2024)03-0045-07

Discussion on Evaluation Method of Resources and Environmental Carrying Capacity Based on Sea-Land Coordination

YUE Baojing, CHEN Bin, QIU Jiandong, ZOU Liang, XU Gang, HU Rui,
WANG Milei, XUE Biying, ZHANG Yiyan, XU Shuai

(Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266237, China)

Abstract: The ocean and coastal zones are rich in resources and closely related to human survival and development. In recent years, with the rapid growth of the ocean economy, issues such as the reduction of natural coastlines and coastal wetlands, decreased biodiversity, damaged typical ecosystems, frequent coastal disasters, and declining fishery resources have become increasingly apparent. How to enhance the ocean economy from a strategic perspective, promote both development and protection, and ensure the rational use of coastal zones and marine resources is an important issue in the new era. Land and ocean are inseparable components of the ecosystem, and conducting a comprehensive assessment of the resource and environmental carrying capacity of land and sea is an effective way to measure

收稿日期: 2023-06-16; 修订日期: 2024-01-22

基金项目: 自然资源部中国地质调查局“我国重点海域自然资源综合调查与评价”项目(DD20230071); 国家自然科学基金联合基金项目“山东海岸带地下卤水资源形成及演化机制”(U2106203)。

作者简介: 岳保静, 副研究员, 硕士, 研究方向为海岸带调查与监测研究

通信作者: 陈斌, 正高级工程师, 博士, 研究方向为海洋和海岸带资源环境调查评价研究

whether regional economic development and ecological environment are coordinated and sustainable. This paper systematically reviews the development process of the carrying capacity concept, compares commonly used methods for evaluating the resource and environmental carrying capacity of marine resources, preliminarily constructs an index system for evaluating the carrying capacity of marine resources based on land-sea coordination, proposes the use of entropy method to determine index weights, and adopts a state space evaluation model or TOPSIS model for comprehensive carrying capacity evaluation. This approach can reflect the interdependence and mutual constraints between land and ocean, and has strong operability. The evaluation results can reflect the spatial differences or temporal changes in the carrying capacity of regional resources and environment, and provide effective reference for the protection and utilization of oceans and coastal zones.

Keywords: Sea-land coordination, Resources and environment carrying capacity, Comprehensive assessment, Index system, DPSIR-TOPSIS model

0 引言

我国大陆海岸线长达 1.8 万 km,沿海地区海洋和岸线资源丰富。发展海洋经济是建设海洋强国的重要支撑,遵循陆海自然生态规律,因地制宜、高效有序的利用海岸带、海洋资源是助力海洋经济可持续发展的现实要求。近年来,海洋经济快速增长的同时沿海资源的过度开发和生态破坏、环境污染等问题日益显现,如何解决沿海地区的经济发展与资源、生态环境之间的矛盾,促进陆海统筹,和谐发展是当前要解决的关键问题^[1]。保护海洋、海岸带资源环境,将海洋、海岸带作为一个完整系统,根据不同地区和海域的自然资源禀赋、生态环境容量、产业基础等多重因素综合分析,开展陆海统筹的资源环境承载力评价,有助于优化海洋总体布局,形成特色鲜明的海洋经济空间格局,从而更好地促进资源、生态环境和经济社会协调发展。

1 海洋资源环境承载力概念及发展

“承载力”最初指代地基强度对建筑物的负重能力,后来随着生态学理论被引入,演变为衡量人类经济活动与自然环境关系的概念,是衡量和管理可持续发展的重要依据^[1]。

1758 年,法国经济学家 Francois Quesnay 首次提出了承载力的概念^[2];1798 年,Malthus^[3]提出的人口论为承载力理论奠定了基础;1838 年,比利时数学家 Verhulst 首次用 Logistic 方程表示 Malthus 的人口理论,为承载力理论提供了数学模型^[4];

1953 年,Odum^[5]将承载力概念与 Logistic 方程曲线的最大值常数 K 联系起来,将其定义为“种群数量增长的上限”,此后学者们用 Logistic 方程常数 K 表示承载力。早期承载力研究仅考虑自然因素的制约,随着经济发展问题日益增多,开始纳入生态环境效应、价值观念、社会制度等社会文化因素,并开始在近海环境容量等领域和尺度进行研究^[6]。

关道明等^[7]将海洋资源环境承载力定义为:在一定时期和一定区域范围内,在维持区域海洋资源结构符合可持续发展需要且海洋生态环境功能仍具有维持其稳态效应能力的条件下,区域海洋资源环境系统所能承载的人类各种社会经济活动能力^[7]。海洋资源承载力指数是一种无量纲指标值,将某一时期海洋资源实际承受的人类社会经济活动承载量值与其承载力阈值的比值作为评价值,表达了特定时期、区域的海洋资源是否超载^[8]。

2 陆海统筹资源环境承载力评价指标体系

当前的海洋资源环境承载力主要包括海域空间资源承载能力^[9]、海洋生态环境承载能力^[10]、海岛资源环境承载能力^[11]、海洋渔业资源承载力^[12]、海岸带承载力^[13]等,这些研究方向和对象既有交叉也有不同的侧重点。通常,根据海洋资源和生态环境、经济发展协调关系及数据可获取性、多重共线性分析、专家咨询等多种方法,构建海域资源环境承载力评价指标体系^[14]。

陆地和海洋是生态系统的两大组成部分,海洋

是一片连续运动的水体,由于多尺度和多圈层过程间相互作用的复杂性和非线性,指标体系不能只是简单列举资源供给、环境容量和人类活动的要素,还要考虑整个陆地—海洋系统的综合效应,反映承载体和承载对象之间的动态关系^[7]。要实现区域空间资源利用和环境管理政策切实有效,需要对流域—近海、陆域—近海统筹考虑,目前的研究多是将陆地和海洋分别进行评价,对于二者的相互影响和依存关系考虑较少,缺乏对复杂系统、多重因子和不确定性的分析功能,有学者从不同角度和领域开展了陆海统筹研究并取得了很大的进展^[15-16],李杨帆等^[15]提出通过海岸带土地—水—生物多样性的联结,构建海岸带韧性研究新框架,以实现海岸带韧性的多维时空测度以及社会—生态耦合系统的转型模式应用,但对于如何建立陆域和海域系统之间相互影响和转化关系,统筹考虑两个系统的资源配置、生态环境整治、经济协调发展,从而体现二者之间相互制约、相互促进关系方面仍需要进一步探索。

本文在构建指标体系时,首先要考虑各指标的独立性和代表性,能够客观反映陆地—海洋资源、生态环境和经济社会现状及相互关系,其次考虑单个指标获得的难易程度、重复性、可量化和可对比性。除了自然因素外,还要考虑社会经济发展、相关政策制度、科学技术对陆海资源环境承载力的影响。基于前人的研究实践,本文在驱动力—压力—状态—影响—响应(DPSIR)模型的基本框架下^[7,17],从 5 个维度构建基于陆海统筹的资源环境承载力评价指标体系。在 DPSIR 模型中,经济发展和社会发展是区域海洋经济发展的驱动力,同时也给资源和环境带来压力,在驱动力和压力双重作用下,资源和环境做出反馈而呈现一定的状态,同时,资源环境的变化又对海洋经济和海洋产业产生一定程度的影响,通过提高海洋科技研发水平,开展环境治理等措施可以改善经济社会的发展^[18]。表 1 选取了 10 个要素层构建陆海资源环境承载力评价指标体系,将指标细化为 59 个,该指标体系综合考虑了陆域和海域要素,能够较为全面准确地反映人类与陆海资源、生态环境之间的相互作用和影响,

从多层次、多角度分析陆海统筹的内涵,可以为陆海空间协调可持续发展研究提供参考。

表 1 陆海统筹资源环境承载力评价指标体系

Table 1 Evaluation index system for the resources and environment carrying capacity of sea-land coordination

| 目标层 | 准则层 | 要素层 | 指标层 |
|----------------|--------------|-------------|------------------|
| 陆海统筹的海洋资源环境承载力 | 驱动力 (D) | 经济发展 | 海洋生产总值 |
| | | | 海洋渔业产值 |
| | | | 海洋生产总值占地区生产总值的比重 |
| | | | GDP 总量 |
| | | | 进出口总额 |
| | | 社会发展 | 港口吞吐量 |
| | | | 人口密度 |
| | | | 人口总数 |
| | | | 旅游接待人数 |
| | | | 居民人均可支配收入 |
| | 压力 (P) | 资源压力 | 单位地区海洋生产总值能耗 |
| | | | 单位地区海洋生产总值电耗 |
| | | 环境压力 | 海洋生产总值工业废水排放量 |
| | | | 海洋生产总值工业固体废物排放量 |
| | | | 海洋生产总值工业废气排放量 |
| | 资源供给 | 人均海域面积 | |
| | | 人均海岸线保有量 | |
| | | 无居民海岛人工岸线占比 | |
| | | 自然岸线保有量 | |
| | | 围填海面积 | |
| | | 海水养殖面积 | |
| | | 人均海水产品产量 | |
| | | 人均海洋捕捞量 | |
| | | 人均海水养殖产量 | |
| | | 民用运输船舶总数 | |
| | | 泊位个数 | |
| | | 状态 (S) | 鱼卵、仔鱼密度 |
| | | | 浮游植物、浮游动物、底栖生物量 |
| | | | 游泳动物数量 |
| 沙滩资源环境质量 | | | |
| 沙滩旅游服务质量 | | | |
| 生态调节 | 近岸海域功能区水质达标率 | | |
| | 近岸海水浴场健康指数 | | |
| | 近岸海域功能区达标率 | | |
| | 海岛植被覆盖率 | | |
| | 典型生境植被覆盖率 | | |
| | 海洋生态保护对象数量 | | |
| | 第一、二类海水面积比例 | | |
| 四类和劣四类海水海域面积占比 | | | |

续表 1

| 目标层 | 准则层 | 要素层 | 指标层 |
|----------------|-----------|----------|----------------|
| 陆海统筹的海洋资源环境承载力 | 影响 (I) | 资源 存量 | 人均海洋渔业资源量 |
| | | | 人均海洋盐业资源量 |
| | | | 人均海洋矿业资源量 |
| | | 环境 质量 | 海洋工业废水排放达标率 |
| | | | 海洋工业废气排放达标率 |
| | | | 海洋工业固体废物综合利用率 |
| | | | 沉积物质量 |
| | | | 海洋灾害频次 |
| | | | 赤潮发生次数 |
| | 响应 (R) | 环境 治理 | 自然保护区个数 |
| | | | 自然保护区面积 |
| | | | 海洋保护区面积比例 |
| | | | 污水处理率 |
| | | | 治理固体废物量 |
| | | | 政府、企事业单位环境治理资金 |
| | | 科技 进步 | 海洋科技人员数量 |
| | | | 海洋科技项目数量 |
| | | | 海洋科技成果数量 |
| | | 海洋科技专利数量 | |
| | | 海洋科研机构数量 | |

(1)驱动力层面,为了反映沿海地区经济发展和社会发展的能力,选取海洋生产总值体现沿海地区的海洋经济实力;海洋渔业产值、海洋生产总值占地区生产总值的比重可以反映海洋经济在沿海地区经济发展中的地位;GDP 总量可以反映当地的经济形势;进出口总额、港口吞吐量等则可用于反映当地港口资源现状。人口密度、人口总数、旅游接待人数和居民人均可支配收入等指标表征了当地人类社会发展现状和旅游资源现状。

(2)压力层面,从资源压力和环境压力两方面考虑,用单位地区海洋生产总值能耗、单位地区海洋生产总值电耗情况衡量资源承载压力;通过废水排放量、固体废物排放量和废气排放量等数据来评估环境承载压力。

(3)状态层面,包括资源供给与生态调节两个要素层。人均海域面积、人均海岸线保有量、无居民海岛人工岸线占比、自然岸线保有量、围填海面积等指标可以用于反映海洋和岸线资源利用现状;海水养殖面积、人均海水产品产量、人均海洋捕捞

量、人均海水养殖产量反映渔业资源现状;民用运输船舶总数、泊位个数反映港口资源现状;鱼卵、仔鱼密度、浮游植物、浮游动物、底栖生物量和游泳动物数量反映生物资源现状;沙滩资源环境质量和沙滩旅游服务质量反映旅游资源现状。近岸海域功能区水质达标率、近岸海水浴场健康指数、近岸海域功能区达标率反映近岸海域生态质量现状;海岛植被覆盖率、典型生境植被覆盖率、海洋生态保护对象数量反映海域生态现状;第一、二类海水面积比例及四类和劣四类海水海域面积占比反映海水质量现状。

(4)影响层面,包括资源存量和环境质量两个要素层。其中人均海洋渔业资源量、人均海洋盐业资源量、人均海洋矿业资源量反映海洋资源存量;环境质量用海洋工业废水排放达标率、海洋工业废气排放达标率和海洋工业固体废物综合利用率、沉积物质量、海洋灾害频次、赤潮发生次数等指标指示。

(5)响应层是指人类对现状做出的响应,其中在环境治理方面,用自然保护区个数、自然保护区面积、海洋保护区面积比例反映对沿海地区的保护情况;用污水处理率、治理固体废物量和政府、企事业单位环境治理资金反映对环境的治理和投入的资金情况。在科技进步方面,科学技术是经济发展和生态保护有力措施,通过海洋科技人员、项目、成果、专利、科研机构数量等指标可表征人们对经济发展和生态保护投入的人力和技术保障。

综上,在该指标体系中,基于陆海资源具有可再生性、流动性和地区差异性,综合考虑了陆域和海域的资源、环境和经济发展等要素,以及社会经济状况、政策与管理水平的影响,较为科学、全面。

3 评价方法

目前,海洋资源环境承载力评价尚无统一且成熟的方法,众多学者从资源供给、生态环境、经济发展和科技管理等角度开展了实例研究,评估区域海洋资源环境承载力水平^[19-21],分析区域资源环境承载力的空间差异或随时间变化情况^[9,17]。常见的评价方法包括对评价指标的原始数据需进行标准化处理,确定指标权重,对承载状态开展综合评价 3 个

步骤。

3.1 评价指标标准化处理

由于指标体系中各指标的类型复杂,各个被选取指标有不同的量纲和数量级,难以简单比较,首先需要对各评价指标的原始数据进行标准化处理,进行无量纲化,使评价指标具有可对比性和可度量性。其中,对海洋资源环境承载力的影响是正向的,且属性值越来越好的指标称为正向指标;反之则为负向指标。然后,再运用极值变化法进行标准化处理。计算公式:

正向指标:

$$X'_{ij} = (X_{ij} - X_{i\min}) / (X_{i\max} - X_{i\min}) \quad (1)$$

负向指标:

$$X'_{ij} = (X_{i\max} - X_{ij}) / (X_{i\max} - X_{i\min}) \quad (2)$$

式中: $X_{i\max}$ 为第 i 个指标中所有年份的最大值; $X_{i\min}$ 为在第 i 个指标中所有年份的最小值; X'_{ij} 为 X_{ij} 经过标准化处理得到的数据。

3.2 权重确定

确定海洋资源环境承载力评价指标权重的方法包括层次分析法、熵值法和加权求和法等^[6]。层次分析法是请相关专家对评价指标的重要性程度打分,得到各指标重要性分值。该方法结合定性和定量分析,将与决策相关的指标分解成不同层次,并用数量形式表达人为主观判断,但该方法受专家的背景和经验知识影响较大,主观性强^[22];熵值法根据各个指标之间数值离散程度计算权重,信息熵越小,信息无序度越低,表明该评价指标对综合评价水平的影响程度越大,指标权重越大,反之则影响程度越小^[17]。相较于层次分析法,熵值法能更客观地反映各评价指标的重要程度^[9]。基于熵值法改进的评价指标权重计算公式^[23]为:

(1) 计算标准化后的指标 x_{ij} 的比重 R_{ij} 及 j 项指标的熵值 e_{jk} :

$$e_{jk} = - \left(\frac{1}{\ln n} \right) \sum_{i=1}^n R_{ij} \ln R_{ij} \quad (3)$$

(2) 计算第 j 项指标差异性系数 g_{jk} 及指标 x_{ij} 的权属 ω_{jk} :

$$\omega_{jk} = \frac{g_{jk}}{\sum_{i=1}^n g_{jk}}, j = 1, 2, 3, \dots; k = 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

式中: x_{ij} 为第 j 项指标标准化后的部分; ω_{jk} 为第 j 项指标用熵权法计算后所得权重, g_{jk} 是第 j 项指标差异性系数。

3.3 陆海统筹资源环境承载力综合评价

常用的资源环境承载力综合评价方法包括短板效应法、状态空间法、供需平衡法、系统动力学模型法和模糊综合评价法等^[9-17,24]。短板效应法是根据单项指标中最差的因子作为评价结果。虽然这种方法简单且适用性强,但由于资源环境各要素之间的替代性和流动性,短板效应法略显严苛^[22];状态空间法基于空间几何原理,通过比较不同状态下承载力的大小来判断系统的承载状况,该方法考虑了人类活动的影响,并能较准确地判断某区域某时间段的资源环境承载力状态,近年来被广泛应用于定量描述和测度区域承载力及承载状况^[9];供需平衡法是通过承载主体和承载对象之间的供需对比对区域承载状况进行评估,可以直观地反映区域复合系统的承载力大小,但忽略了各要素间的相互影响以及社会、经济等因素对承载力的影响,缺乏对不同系统要素间相互作用的考虑,评价结果准确性较低^[22]。系统动力学模型法通过借助模型对区域复合系统承载状况进行模拟和预测,综合考虑了复合系统要素间的相互作用,并具备优化和预测功能^[25],其中, TOPSIS 模型是一种适用于多项指标、多个方案进行选择的综合评价分析方法,通过计算被评价对象与对应理想目标的距离,得到比较客观的评价结果,相对于其他方法更为稳定可靠^[14]。

本研究认为选用 TOPSIS 模型或状态空间评价模型对陆海资源、海洋环境、社会经济系统进行综合评价,将静态分析和动态模型相结合,反映区域陆海资源环境承载力综合状况和时空变化趋势更为科学合理。

(1) TOPSIS 模型计算公式:

$$T_j = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (z_i^- - z_{ij})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (z_i^+ - z_{ij})^2} + \sqrt{\sum_{i=1}^n (z_i^- - z_{ij})^2}} \quad (5)$$

式中: T_j 为第 j 年海洋资源环境承载力综合评价指

数,取值区间(0,1]。指数数值越接近1表示综合评价的得分越高,而越接近0则表示综合评价得分越低。 z_{ij} 为第*i*个指标第*j*年加权规范化的值; z_i^+ 和 z_i^- 分别为正、负最优理想值。

(2)状态空间法计算公式:

对指标进行无量纲化处理后的指标理想值为1(共*n*个),则理想状态下海域承载力大小为:

$$M = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i p_{i0}^2} = 1.0 \quad (6)$$

现实状态下海域承载状况为:

$$RC = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i p_{ij}^2} \quad (7)$$

4 结语

资源环境承载力评价是国土空间规划的基础,

目前,对于陆海统筹资源环境承载力评价指标体系的研究还较少且尚不统一。本文认为,要根据研究重点因地制宜地开展评价,实际操作中要对指标进行适当筛选,厘清评价中的逻辑问题,通过综合分析区域海洋、海岸带资源环境承载压力,承载力与发展潜力之间的关系,综合判断沿海经济和生态环境存在的矛盾,从而为陆海资源环境承载力监测预警、陆海使用空间统筹、生态保护修复实践应用提供有效借鉴。通过采用DPSIR-TOPSIS模型将陆地和海洋两大系统连接起来,综合体现二者相互制约相互促进的整体关系,可以使陆海资源环境承载力更为科学有效,为促进沿海地区经济发展和生态文明建设和国土空间规划提供有力支撑。

参考文献(References):

- [1] 张林波,李文华,刘孝富,等.承载力理论的起源、发展与展望[J].生态学报,2009,29(2):878-888.
ZHANG Linbo, LI Wenhua, LIU Xiaofu, et al. Carry capacity: origin, development and prospective[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(2):878-888.
- [2] 陶在朴.生态包袱与生态足迹[M].北京:经济科学出版社,2003:145.
TAO Zaipu. Eco-rucksack and Eco-footprint[M]. Beijing: Economic Science Press, 2003:145.
- [3] MALTHUS T R. An essay on the principle of population [M]. London: Pickering, 1798.
- [4] HARDIN G. Cultural capacity: a biological approach to human problems [J]. Bioscience, 1986, 36(9): 599-604.
- [5] ODUM E P. Fundamentals of ecology[M]. Philadelphia: W.B.Saunders, 1953.
- [6] 赵兵. 资源环境承载力研究进展及发展趋势[J]. 西安财经学院学报, 2008, 21(3): 114-118.
ZHAO Bing. Progress trend of bearing capacity on resource and environment[J]. Journal of Xi'an University of Finance and Economics, 2008, 21(3): 114-118.
- [7] 关道明, 张志锋, 杨正先, 等. 海洋资源环境承载能力理论与测度方法的探索[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(10): 1241-1247.
GUAN Daoming, ZHANG Zhifeng, YANG Zhengxian, et al. Research on measuring strategy of carrying capacity of marine resources and environment[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2016, 31(10): 1241-1247.
- [8] 赖敏, 蒋金龙, 欧阳玉蓉, 等. 海洋资源环境承载力评价研究进展[J]. 生态经济, 2021, 37(1): 164-171.
LAI Min, JIANG Jinlong, OUYANG Yurong, et al. Research progress on evaluating marine resources and environment carrying capacity [J]. Ecological Economy, 2021, 37(1): 164-171.
- [9] 党二莎, 褚艳玲, 田翠翠, 等. 深圳海域资源环境承载力评价研究[J]. 海洋技术学报, 2020, 39(4): 70-76.
DANG Ersha, CHU Yanling, TIAN Cuicui, et al. Assessment of resource and environmental carrying capacity in Shenzhen coastal area [J]. Journal of Ocean Technology, 2020, 39(4): 70-76.
- [10] 崔昊天, 贺桂珍, 吕永龙, 等. 海岸带城市生态承载力综合评价: 以连云港市为例[J]. 生态学报, 2020, 40(8): 49-58.
CUI Haotian, HE Guizhen, LYU Yonglong, et al. Integrated assessment of ecological carrying capacity in coastal cities: a case study in Lianyungang City[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(8): 49-58.
- [11] 顾勇, 田鹏, 林丽萍, 等. 无居民海岛资源环境承载力动态评估: 以福建平潭大屿岛为例[J]. 亚热带资源与环境学报, 2021, 16(1): 63-69.
GU Yong, TIAN Peng, LIN Liping, et al. Dynamic of resource and environmental carrying capacity of uninhabited islands: a case of

- Pingtang Dayu Island in Fujian Province[J]. *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2021, 16 (1): 63—69.
- [12] 龙鑫玲,陈丕茂,袁华荣,等.深圳大鹏半岛沿岸海域渔业资源承载力评价[J].*南方水产科学*,2019,15(6):56—64.
LONG Xinling, CHEN Pimao, YUAN Huarong, et al. Evaluation on carrying capacity of fishery resources in coastal waters of Dapeng Peninsula, Shenzhen[J].*South China Fisheries Science*,2019,15(6):56—64.
- [13] 刘小丁,唐力明,孙端,等.广东省海岸带地区资源环境承载力综合评价[J].*热带地理*,2023,43(3):459—473.
LIU Xiaoding, TANG Liming, SUN Duan, et al. Comprehensive evaluation of resources and environmental carrying capacity in Guangdong coastal zone[J].*Tropical Geography*,2023,43 (3): 459—473.
- [14] 马玉艳,张秋丰,陈燕珍,等.海洋资源环境承载能力监测预警指标体系和技术方法示范性验证及修改建议;以天津市汉沽海域为例[J].*海洋开发与管理*,2018,35(11):52—60.
MA Yuyan, ZHANG Qiufeng, CHEN Yanzhen, et al. The exemplary verification and the amendment suggestions of the index system and the evaluation method of marine resources and environment carrying capacity monitoring and early-warning: a case study of Hangu sea area of Tianjin[J]. *Ocean Development and Management*,2018,35(11):52—60.
- [15] 李杨帆,向枝远,李艺,等.海岸带韧性:陆海统筹生态管理的核心机制[J].*海洋开发与管理*,2019,36(10):3—7.
LI Yangfan, XIANG Zhiyuan, LI Yi, et al. Coastal resilience: core mechanism of integrated land-sea eco-management [J]. *Ocean Development and Management*,2019,36(10):3—7.
- [16] GAO Jinzhu, AN Tiantian, SHEN Jiawen, et al. Development of a land-sea coordination degree index for coastal regions of China[J]. *Ocean & Coastal Management*,2022,230:106370.
- [17] 宋泽明,宁凌.基于 DPSIR-TOPSIS 模型的我国沿海省份海洋资源环境承载力评价及障碍因素研究[J].*生态经济*,2020,36(8):154—160,212.
SONG Zeming, NING Ling. Evaluation and obstacle factors of marine resources and environment carrying capacity of coastal provinces and cities in China based on DPSIR-TOPSIS Model[J]. *Ecological Economy*, 2020,36(8):154—160,212.
- [18] 王奎峰,李娜,于学峰,等.基于 P-S-R 概念模型的生态环境承载力评价指标体系研究;以山东半岛为例[J].*环境科学学报*,2014,34(8):2133—2139.
WANG Kuifeng, LI Na, YU Xuefeng, et al. Eco-environmental carrying capacity evaluation index system based on the concept of P-S-R model: a case study in Shandong Peninsula[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*,2014,34(8) :2133—2139.
- [19] 邢聪聪,赵蓓,刘娜娜,等.我国海洋资源环境承载力评价指标体系和评价方法[J].*海洋开发与管理*,2019,36(8):33—35.
XING Congcong, ZHAO Bei, LIU Nana, et al. The evaluation index system and the evaluation method of marine resource and environment carrying capacity in China[J]. *Ocean Development and Management*,2019,36(8):33—35.
- [20] 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.
- [21] 狄乾斌,吴桐.中国海洋资源承载力的时空演变特征及影响因素[J].*地理与地理信息科学*,2018,34(1):121—126.
DI Qianbin, WU Tong. Spatio-temporal evolution characteristics and influencing factors of marine resources carrying capacity in China [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2018,34(1):121—126.
- [22] 孙欢.海洋资源环境承载力研究:以渤海湾天津近岸海域为例[D].上海:上海海洋大学,2017.
SUN Huan. Marine resources and environment carrying capacity in Tianjin coastal area[D].Shanghai :Shanghai Ocean University,2017.
- [23] 高芬,何鑫,黄亚朋,等.基于改进 TOPSIS 法的海南省资源环境承载力时空差异研究[J].*数学的实践与认识*,2022,52(9):38—48.
GAO Fen, HE Xin, HUANG Yapeng, et al. Study on space-time differences in the carrying capacity of resource environment in Hainan Province based on improving Topsis Method[J].*Mathematics in Practice and Theory*,2022,52(9):38—48.
- [24] RESS W, WACKERNAGEL M. Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable—and why they are a key to sustainability [J]. *Environmental Impact Assess Review*. 1996, 16: 223—248.
- [25] 蓝胜新,李美芳,王平,等.资源环境承载力研究进展与方法述评[J].*中南林业科技大学学报(社会科学版)*,2022,16(1):21—30.
LAN Shengxin, LI Meifang, WANG Ping, et al. Review on research progress and methods of resources and environment carrying capacity[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology (Social Sciences)*, 2022,16(1):21—30.