

面向低碳发展的海洋渔业生态效率评价与影响因素分析

苏子晓¹, 狄乾斌^{1,2}, 陈小龙^{1,3}

(1. 辽宁师范大学地理科学学院 大连 116029; 2. 辽宁师范大学海洋可持续发展研究院 大连 116029;

3. 中国科学院地理科学与资源研究所 北京 100101)

摘要: 低碳发展背景下, 提升海洋渔业生态效率是实现产业可持续发展的核心路径。基于中国沿海11个省(自治区、直辖市)2010—2022年面板数据, 构建包含碳排放、环境污染等非期望产出的Super-SBM评价模型, 测算海洋渔业生态效率, 结合核密度估计、空间可视化等方法分析其时空演变特征, 并通过PVAR模型及方差分解揭示关键影响因素。结果表明: 2010—2022年海洋渔业生态效率值介于0.370~1.300之间, 总体呈现“快速提升—小幅回落—基本稳定”三阶段特征, 2016年后稳定在0.933~0.949的高位水平。区域差异显著: 北部海洋经济圈2010—2014年快速上升后呈平稳波动, 东部持续高位稳定且小幅增长, 南部波动上升但内部省份异质性明显。空间格局从集中走向均衡, 区域差异整体收敛, 标准差和变异系数较2010年分别下降24.1%、31.6%。影响因素中, 规模效应为核心驱动, 第1~5期贡献度从0.658升至0.860; 技术效应初期贡献微弱, 长期稳步增长至0.128; 结构效应贡献较弱且呈波动性, 仍有优化空间。研究结果为制定差异化海洋渔业低碳发展与生态效率提升政策提供科学依据。

关键词: 沿海地区; PVAR模型; 海洋渔业生态效率; 影响因素

中图分类号: F326.4; X196; P74

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2025)10-0137-13

Marine Fishery Eco-Efficiency Evaluation and Influencing Factors Analysis for Low-Carbon Development

SU Zixiao¹, DI Qianbin^{1,2}, CHEN Xiaolong^{1,3}

(1. School of Geography, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China; 2. Institute of Marine Sustainable

Development, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China;

3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Against the backdrop of low-carbon development, improving marine fishery eco-efficiency constitutes a core pathway for achieving sustainable industrial development. Based on panel data from 11 coastal provinces (autonomous regions and municipalities directly under the central government) of China during 2010—2022,

收稿日期: 2025-03-17; 修订日期: 2025-08-27

基金项目: 辽宁省社会科学规划基金“乡村振兴背景下我省海洋渔业经济供给侧结构性改革驱动机制研究”(L19BJ006)。

作者简介: 苏子晓, 博士研究生, 研究方向为海洋经济地理、海洋渔业碳排放

通信作者: 狄乾斌, 教授, 博士, 研究方向为海洋经济地理、资源环境经济

this study constructed a Super-SBM evaluation model incorporating undesirable outputs such as carbon emissions and environmental pollution to measure marine fishery eco-efficiency. Combined with methods including kernel density estimation and spatial visualization, the spatiotemporal evolution characteristics were analyzed, and the key influencing factors were revealed through the Panel Vector Autoregression (PVAR) model and variance decomposition. The results indicate that the marine fishery eco-efficiency values ranged from 0.370 to 1.300 during 2010—2022, showing an overall three-stage characteristic of “rapid improvement-slight decline-basic stability” and stabilizing at a high level of 0.933 ~ 0.949 after 2016. Significant regional differences were observed: the Northern Marine Economic Circle experienced rapid growth followed by stable fluctuations after 2010—2014; the Eastern Marine Economic Circle maintained a consistently high and stable level with slight growth; the Southern Marine Economic Circle showed fluctuating growth but with significant heterogeneity among internal provinces. The spatial pattern evolved from concentration to equilibrium, with overall convergence of regional differences, the standard deviation and coefficient of variation decreased by 24.1% and 31.6% respectively, compared with 2010. Among the influencing factors, the scale effect served as the core driver, with its contribution degree increasing from 0.658 to 0.860 from the 1st to the 5th period; the technical effect had a weak initial contribution but exhibited steady long-term growth to 0.128; The structural effect had a weak and fluctuating contribution with remaining room for optimization. The research findings provide a scientific basis for formulating differentiated policies to promote low-carbon development and enhance eco-efficiency in marine fisheries.

Keywords: Coastal areas, PVAR model, Marine fishery ecological efficiency, Influencing factor

0 引言

随着全球气候变化的加剧, 低碳发展已成为国际社会的共识^[1]。海洋渔业作为国民经济的重要组成部分, 其生态效率的提升对于实现可持续发展目标具有重要意义^[2]。近年来, 随着海洋资源的过度开发和环境污染的加剧, 海洋渔业的生态效率问题日益凸显^[3]。因此, 深入研究海洋渔业的生态效率, 特别是低碳发展视角下的生态效率评价与影响因素分析, 对于推动海洋渔业向低碳、高效、可持续发展方向具有至关重要的意义。

在当前全球气候变化和环境保护的大背景下, 针对海洋渔业生态效率的评价及其影响因素的分析研究已经取得了一定的进展。相关学者主要将研究的焦点集中在海洋渔业生产活动中产生的碳排放量^[4]、资源的利用效率^[5]以及对生态环境的影响等^[6]多个方面。在研究方法的选择上, 研究者们倾向于采用定量分析与定性分析相结合的综合方法, 通过构建各种模型, 如 DEA-SBM 模型^[7]、标准差和变异系数^[8]、三阶段 DEA 方法^[9]等对海洋渔业生态效

率进行评价; 同时收集相关数据来进行深入的探讨和研究^[10-11]; 通过采用 Tobit 模型^[7]、PVAR 模型^[12]、偏最小二乘回归模型^[13]和广义最小二乘法^[14]对海洋渔业生态效率的影响因素进行分析。这些评价方法和指标体系涵盖了资源利用效率、环境影响、经济效益等多个方面, 为海洋渔业生态效率的提升提供了科学依据。在研究的测度与评价方面, 已经形成一套比较完善的指标体系, 能够有效地评估海洋渔业的生态效率水平^[15-18]。此外, 针对海洋渔业生态效率的影响因素, 相关学者也进行了深入研究, 探讨了海洋渔业产业结构、海洋渔业科技^[19], 以及海洋渔业方面的经济发展、人口规模和社会消费^[13]等因素对海洋渔业生态效率的影响机制。然而, 目前的研究仍存在一些不足, 如评价指标的选择和权重的确定不够科学, 影响因素的分析不够全面等。

现有关于海洋渔业生态效率的测度评价研究, 多集中在投入产出的角度^[7], 通过对资源投入、产出效益以及环境影响等方面的量化分析, 来评估海洋渔业的生态效率^[3]。这种方法虽然能够直观地

反映海洋渔业的生产效率和环境影响, 但往往忽视了海洋渔业系统的复杂性和动态性^[12]。同时, 非期望产出往往忽略碳排放的影响, 因此, 在面向低碳发展的背景下, 现有的测度评价方法需要进一步完善和拓展^[20]。不仅要考虑资源投入、产出效益以及环境影响等方面的量化分析, 还要综合考虑海洋渔业系统的复杂性和动态性, 特别是碳排放对海洋渔业生态效率的影响^[21]。在评价海洋渔业生态效率时, 必须引入更为科学、全面的评价指标和方法, 以更准确地反映海洋渔业在低碳发展方面的实际情况和潜力。

在此背景下, 本文旨在通过系统梳理和分析现有研究成果, 探讨面向低碳发展的海洋渔业生态效率评价与影响因素分析的新思路和新方法。本文将从以下几个方面展开研究: 首先, 对海洋渔业生态效率的概念和内涵进行界定, 明确其评价标准和指标体系; 其次, 分析现有评价方法的优缺点, 提出面向低碳发展的海洋渔业生态效率评价的新方法; 再次, 深入探讨海洋渔业生态效率的影响因素, 构建影响因素分析框架; 最后, 结合具体案例, 对面向低碳发展的海洋渔业生态效率进行评价与实证分析, 提出有针对性的政策建议和实践指导。期望为推动海洋渔业向低碳、高效、可持续方向发展提供有益的参考和借鉴。

1 研究设计

1.1 评价指标体系构建

海洋渔业生态效率主要涉及渔业资源的可持续利用、生态环境保护以及经济效益的协调发展, 旨在构建一个综合的评价指标体系和研究机理(图 1)。渔业资源的可持续利用是海洋渔业生态效率研究的核心之一。强调在合理开发和利用渔业资源的同时, 注重资源的保护和恢复, 以确保渔业资源的长期稳定性和可再生性, 具体涉及渔业资源的科学规划、合理捕捞、苗种培育和资源管理等多个方面^[3]。生态环境保护也是海洋渔业生态效率研究的重要维度。随着渔业活动的日益频繁, 海洋生态环境承受着巨大的压力^[8]。因此, 如何在渔业活动中降低对环境的影响, 维护海洋生态系统的健康和稳定, 成为海洋渔业生态效率研究的重要任务。需要加强渔业活动的环境管理, 推广生态渔业模式, 减少污染物的排放, 并保护海洋生物多样性。经济效益与生态环境的协调发展同样是海洋渔业生态效率研究中不可忽视的一环。渔业作为重要的产业, 对推动地区经济发展和促进就业具有重要意义。然而, 追求经济效益不能以牺牲环境和资源为代价。因此, 在保护生态环境和资源的前提下, 实现渔业经济的可持续发展, 成为海洋渔业生态效率研究的重要内容。有必要探索渔业经济与生态环境

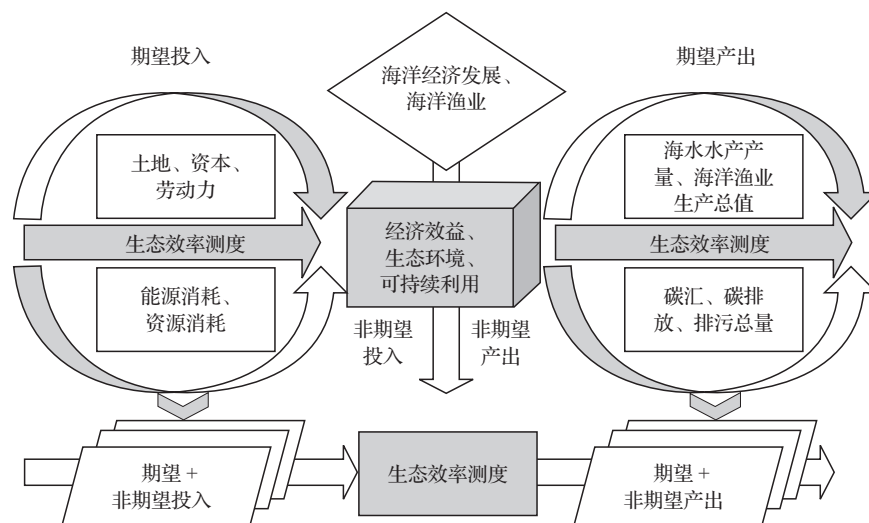


图 1 海洋渔业生态效率机理

Fig.1 Mechanism of marine fishery eco-efficiency

协调发展的新模式,推动渔业产业转型升级和绿色发展。

基于海洋渔业生态效率发展机理,并参考相关文献构建的评价指标体系,从投入—产出方面构建本文的海洋渔业生态效率测度指标体系(表1)。该指标体系旨在全面反映海洋渔业生态效率的发展状况,为后续的测算和分析提供基础。其中,投入指标涵盖劳动力、土地、资本、能源和资源等多个方面,体现渔业生产过程中所需的各种要素和资源。而产出指标则包括期望产出和非期望产出,既考虑了渔业生产的正面效益,也关注了其对生态环境可能产生的负面影响。

表1 海洋渔业生态效率测度指标体系

Table 1 Marine fishery ecological efficiency measure index system

指标类型	指标选取	具体指标	参考文献
投入指标	劳动力投入	海洋渔业从业人员/万人	[3][8]
	土地投入	海洋渔业养殖面积/hm ²	[7][19]
	资本投入	海洋渔业资本存量/万元	[3][22]
	能源投入	海洋捕捞机动渔船拥有量/kW	[8][22]
	资源投入	海洋渔业苗种投入量/万头	[3][8]
产出指标	期望产出	海洋渔业生产总值/万元	[16][23]
		海水养殖碳汇量/tCO ₂ ·hm ⁻²	[23]
	非期望产出	海洋渔业碳排放/万t	[12]
海水养殖排污总量/万t		[3][19]	

海洋渔业是沿海地区经济的关键,其生态效率影响资源可持续性和环境健康。深入分析影响因素,可以有针对性地提出改进措施,促进海洋渔业向更加环保、高效的方向发展。Grossman 等认为经济增长可以通过规模效应、结构效应和技术效应影响环境质量。参考王坤等^[24]和洪铮等^[25]的研究,将这3个指标引入海洋渔业生态系统中。规模效应通过对外开放水平指标衡量,反映海洋渔业经济活动规模。提升对外开放水平有助于渔业融入全球经济,吸引外资和技术,优化资源配置,提高生产效率。结构效应通过产业结构衡量,如养殖品种比例、捕捞与养殖比例等,优化产业结构可提升资

源利用效率,减少污染,提高生态效率。技术效应通过科技水平指标衡量,以科技进步和创新推动生产方式改进,提高资源利用和环境保护水平,对生态效率产生积极影响。具体指标包括研发投入、专利数量和技术引进情况。

1.2 研究方法

1.2.1 考虑非期望产出的 Super-SBM 评估模型

在评估海洋渔业生态效率时,传统的评估方法往往忽略了非期望产出的影响,如污染物的排放、资源的过度消耗等;而“考虑非期望产出的 Super-SBM 评估模型”则能够更全面地考虑这些因素,从而更准确地反映海洋生态系统的实际效率。该模型通过考虑期望产出和非期望产出,如海洋渔业生产总值、海水养殖碳汇量、海洋渔业碳排放和海水养殖排污总量,能够更准确地反映渔业生产活动对生态环境的综合影响。此外,该模型还具有较好的适应性和灵活性,可以根据不同的海洋生态系统特点和评估需求进行调整和优化,从而提高评估的准确性和可靠性^[26]。

1.2.2 核密度估计法

核密度估计法能够捕捉到海洋渔业生态效率在不同时间点的变化趋势和分布特征。具体来说,核密度曲线的高峰和低谷能够反映出生态效率在不同时期的集中程度和离散程度,而曲线的形状变化则揭示了生态效率的演进趋势,比如趋于集中还是分散^[27]。这种方法为理解和预测海洋渔业生态效率的动态变化提供了有力的工具。具体公式如下:

$$f(w) = -\frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{w-w_i}{h}\right) \quad (1)$$

式中: $f(w)$ 为海洋渔业生态效率 w 的密度函数; n 为观测值的个数; h 为带宽; K 为核函数。

1.2.3 面板向量自回归模型

面板向量自回归(PVAR)模型结合了面板数据分析和向量自回归模型的优点,能够捕捉变量之间的动态关系。PVAR模型可用于分析规模效应、结构效应、技术效应之间的相互影响及其随时间的变化趋势。通过构建PVAR模型,可以更深入地理解海洋渔业生态效率的动态演化过程,以及各指标之间的相互作用机制,为制定有效的渔业管理政策

和措施提供科学依据。具体公式如下:

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_i + x_1 Y_{i,t-1} + x_2 Y_{i,t-2} + \dots + x_p Y_{i,t-p} + Q_{it} \quad (2)$$

式中: Y_{it} 为包含 4 个内生变量的四维列向量, 分别为海洋渔业生态效率、技术效应、规模效应和结构效应; α_i 和 β_i 分别为城市固定效应和时间固定效应; p 为最优滞后阶矩阵; Q_{it} 为随机误差项。

1.3 数据来源与处理

本文的数据主要来源于相关年份的《中国渔业统计年鉴》《中国海洋统计年鉴》以及 11 个沿海省(自治区、直辖市)的统计年鉴。这些统计资料提供了丰富的海洋渔业生产数据, 包括劳动力投入、土地投入、资本投入、能源投入、资源投入, 以及期望产出和非期望产出等各方面的详细数据。通过对这些数据进行整理和分析, 可以得到各海洋渔业生产单元的投入—产出矩阵, 为后续研究提供数据支持。此外, 为了更深入地了解海洋渔业生态效率的动态演化过程, 本文还收集了时间序列数据, 以捕捉不同时间点海洋渔业生态效率的变化趋势和分布特征。在数据处理过程中, 本文对原始数据进行清洗和校验, 以确保数据的准确性和可靠性。

2 海洋渔业生态效率的时空演变特征

2.1 总体效率评价

利用 MaxDEA 软件, 计算基于非期望产出的中国沿海 11 个省(自治区、直辖市)的海洋渔业生态效率, 结果如表 2 所示。2010—2022 年中国沿海 11 个省(自治区、直辖市)海洋渔业生态效率值在 0.370 ~ 1.300 之间波动。其中, 2010—2014 年整体呈上升态势, 均值从 2010 年的 0.842 逐步升至 2014 年的 0.957, 其间 2011—2012 年增幅最为显著, 反映出这段时间内沿海地区在海洋渔业资源利用和环境保护方面的综合成效; 但需注意, 部分省份在此期间呈下降或平稳态势, 如河北 2010—2011 年从 0.433 降至 0.413, 浙江 2010—2014 年始终维持在 0.737 ~ 0.770 之间波动, 未随整体趋势同步提升。从波动特征来看, 考察期内共出现 4 次阶段性下滑: 2014—2015 年 (0.957 → 0.922)、2016—2017 年 (0.936 → 0.933)、2020—2021 年

(0.946 → 0.940)、2021—2022 年 (0.940 → 0.937), 其余年份以小幅波动上升为主。这种波动并非自 2015 年起出现, 而是贯穿整个考察期, 可能与海洋渔业资源开发强度调控、环境政策动态调整等因素相关, 而非单纯的“过度开发、环境污染加剧”。分区域看, 海洋渔业生态效率呈现出不同的特点。北部海洋经济圈的生态效率波动较为显著: 2010—2014 年呈快速上升趋势, 年度均值从 0.795 升至 0.947; 2015 年后均值回落至 0.839, 2016—2022 年维持在 0.790 ~ 0.827 之间低位波动, 增长态势明显放缓。这一变化可能与该区域 2014 年后产业结构优化升级及环境保护政策加码的实施节奏相关。东部海洋经济圈表现出较强稳定性, 2010—2022 年年度均值在 0.858 ~ 1.088 之间, 2012 年后均超过 0.96, 其中 2020 年达到峰值 1.088。这得益于该地区先进的渔业技术和严格的环境管理制度, 从省份总均值来看, 上海以 1.228 位居东部第一, 山东和江苏均为 1.034, 浙江相对较低。南部海洋经济圈的年度均值整体呈波动上升趋势, 但内部省份差异明显: 广西和福建的波动最为突出, 可能受局部自然灾害等自然因素和养殖布局调整等人为因素影响; 而广东的生态效率始终保持相对稳定, 2010—2022 年年度均值在 0.800 ~ 1.047 之间, 总均值 0.982, 未出现大幅波动。

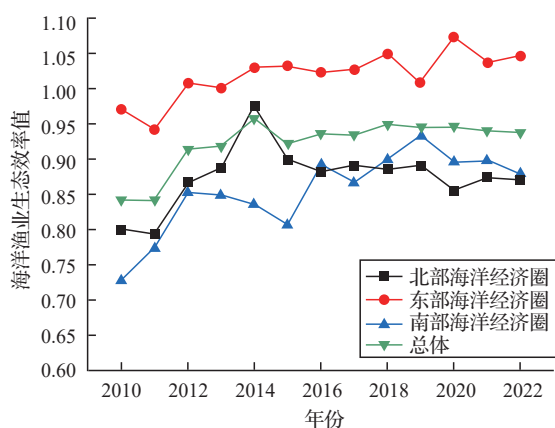
2.2 时序演变特征

如图 2(a) 所示, 2010—2022 年中国海洋渔业生态效率整体维持较高水平, 总体呈现“快速提升—小幅回落—基本稳定”的阶段性演变特征。2010—2014 年快速大幅提升阶段: 总体均值从 2010 年的 0.84 稳步攀升至 2014 年的 0.95, 其中 2012 年较 2011 年增幅最显著。这一阶段海洋渔业资源开发强度与生态保护力度实现动态平衡, 渔业生产模式优化、污染治理成效显著, 共同推动生态效率快速提升。2015 年小幅回落阶段: 总体均值从 2014 年的峰值 0.95 降至 2015 年的 0.92, 回落幅度仅 3.66%。这一短期波动可能与部分区域渔业养殖布局调整、极端气候事件等偶发因素相关。2016—2022 年基本稳定阶段: 总体均值稳定在 0.933 ~ 0.949 之间, 最大波动幅度仅 0.016, 2019—2022 年波动幅度进一

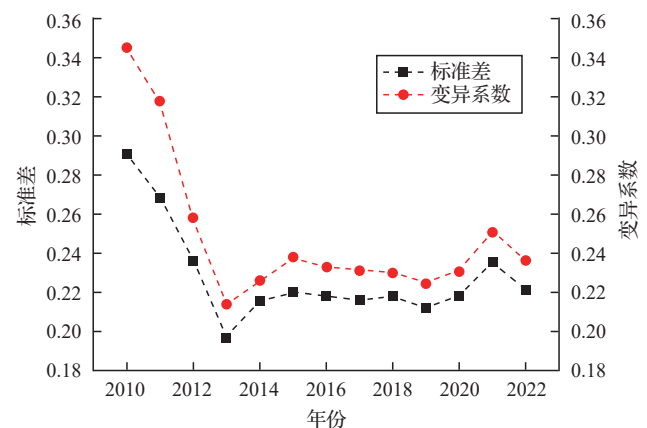
表 2 2010—2022 年中国沿海海洋渔业生态效率

Table 2 Ecological efficiency of coastal marine fisheries in China from 2010 to 2022

年份	北部海洋经济圈				东部海洋经济圈			南部海洋经济圈				均值
	天津	河北	辽宁	山东	上海	江苏	浙江	福建	广东	广西	海南	
2010	1.190	0.433	0.763	0.813	1.290	0.727	0.737	1.130	0.800	0.380	1.003	0.842
2011	1.130	0.413	0.790	0.843	1.087	0.733	0.770	1.177	0.997	0.370	0.957	0.842
2012	1.057	0.563	0.820	1.027	1.240	0.983	0.747	1.060	1.000	0.473	1.087	0.914
2013	1.087	0.643	0.853	0.970	1.080	1.047	0.770	1.107	1.017	0.520	1.010	0.919
2014	1.267	0.690	0.883	1.060	1.197	1.033	0.757	1.133	0.917	0.577	1.013	0.957
2015	1.103	0.647	0.767	1.080	1.197	1.143	0.740	1.047	0.907	0.537	0.977	0.922
2016	1.143	0.553	0.743	1.087	1.227	1.063	0.767	1.033	1.037	0.663	0.980	0.936
2017	1.153	0.560	0.767	1.083	1.200	1.127	0.753	1.027	0.960	0.660	0.980	0.934
2018	1.110	0.587	0.767	1.080	1.300	1.100	0.760	1.037	1.040	0.683	0.977	0.949
2019	1.143	0.547	0.787	1.087	1.210	1.080	0.763	0.980	1.047	0.697	1.057	0.945
2020	1.127	0.510	0.733	1.053	1.240	1.117	0.940	0.997	1.027	0.680	0.980	0.946
2021	1.187	0.513	0.723	1.077	1.300	1.057	0.783	1.010	1.033	0.687	0.973	0.940
2022	1.117	0.533	0.767	1.067	1.193	1.130	0.787	1.077	0.983	0.630	1.027	0.937



(a) 2010—2022 年海洋渔业生态效率时序演变



(b) 2010—2022 年海洋渔业生态效率标准差、变异系数

图 2 2010—2022 年海洋渔业生态效率时序演变特征

Fig.2 Temporal evolution characteristics of marine fishery eco-efficiency from 2010 to 2022

步收窄至 0.009，基本处于平稳运行状态。尽管期间相关部门持续强化海洋渔业生态保护与资源管理，

但效率已接近当前发展阶段的最优水平。这表明中国海洋渔业生态效率已进入“高位稳定”阶段，后

续提升需依赖技术创新与制度改革的突破性进展。

分区域看, 北部海洋经济圈在 2014 年之前呈现大幅度急剧上升趋势, 这归因于该区域海洋渔业资源得到了较为合理的利用, 生态环境也得到了较好的保护。然而, 随着资源的逐渐枯竭和环境的恶化, 从 2014 年开始, 北部海洋经济圈生态效率逐渐下降。相比之下, 东部海洋经济圈则表现出较为平稳的发展趋势, 其海洋渔业生态效率一直保持在较高水平, 并且整体呈上升趋势, 这可能与该地区较为完善的渔业管理体系和较高的环保意识有关。而南部海洋经济圈则呈现出波动上升的趋势, 这可能与该地区不断加大的渔业生态保护力度和逐步完善的渔业管理制度有关。

为深入探究海洋渔业生态效率的区域差异演变规律, 本文对 2010—2022 年沿海地区效率的标准差和变异系数进行统计分析 [图 2 (b)]。两大指标演变呈“快速骤降—平稳波动回升—温和回落”三阶段特征, 2013 年和 2021 年为关键转折点。2010—2013 年快速下降: 标准差从 0.29 降至 0.19, 变异系数从 0.34 降至 0.21, 区域差异加速收敛, 核心源于国家层面生态保护政策集中落地, 低效地区快速追赶。2013—2021 年平稳波动回升, 指标在低位波动后温和回升, 2021 年标准差达 0.236、变异系数达 0.251, 因区域发展路径分化, 东部地区持续提质与部分地区提升瓶颈形成差异。2021—2022 年温和回落, 标准差降至 0.221, 变异系数降至 0.236, 区域协调机制发力, 发展节奏重新趋同。整体来看, 2022 年两大指标较 2010 年分别下降 24.1% 和 31.6%, 核心趋势仍为区域差异逐步缩小, 本质是沿海地区生态治理从同步模仿到分化发展再到协同提升的演进过程。此外, 随着国家对海洋渔业生态效率越发重视, 各地区亦加大了相关政策的制定与执行力度, 叠加科技创新的赋能作用。一方面推动了全国海洋渔业生态效率的稳步提升; 另一方面促进了区域间发展的协调性。这一趋势不仅反映在标准差和变异系数的降低上, 更体现在各研究单元在海洋渔业资源利用、生态环境保护、产业结构调整等方面所进行的积极尝试与实践上。

2.3 核密度动态演化特征

为了深入探讨中国沿海地区海洋渔业生态效率的动态变化趋势, 本研究采用核密度估计方法, 对海洋渔业生态效率的分布特征及其极化特性进行全面而细致的分析。核密度估计方法能够有效地揭示数据的分布形态和变化趋势, 从而为理解海洋渔业生态效率的演变提供有力的工具。本文借助这种方法得到了一系列关于海洋渔业生态效率的详细信息, 包括其分布的集中趋势、分散程度以及极化现象等。研究结果 [图 3 (a)] 显示, 海洋渔业生态效率的核密度估计曲线整体呈现出轻微的右移趋势。这一现象表明, 在研究的时间跨度内, 海洋渔业生态效率总体上呈上升趋势。尽管在某些时期, 主峰的高度存在一定的波动, 但总体上保持了相对的稳定性。与此同时, 曲线的宽度逐渐扩展, 这可能意味着海洋渔业生态效率的分布变得更加分散, 即不同地区或不同渔业活动之间的效率差异在逐渐增大。

分区域看, 东部海洋经济圈的效率曲线则表现出较为稳定的形态 [图 3 (b)], 主峰的高度和位置变化不大, 说明该区域内的海洋渔业生态效率保持了一定的稳定性和均衡性。而南部海洋经济圈的效率曲线则呈现出明显的右移和分散趋势 [图 3 (c)]。这表明该区域内的海洋渔业生态效率在不断提升的同时, 效率差异也在逐渐增大。北部海洋经济圈的效率曲线在初期相对集中 [图 3 (d)]。但随着时间推移, 逐渐呈现出分散的趋势, 显示出该区域内海洋渔业生态效率的差异在逐渐扩大。这些分区域的变化特点, 为进一步探讨海洋渔业生态效率的影响因素和制定相关政策提供了重要的参考依据。

2.4 空间格局演变特征

为深入描绘中国沿海地区海洋渔业生态效率的空间格局演变特征, 选定 2010 年、2016 年、2022 年作为观察节点进行可视化分析。观察图 4 可知, 2010 年, 高效区域主要集中在经济发达、海洋渔业资源丰富且管理水平及技术创新能力较高的上海、天津及福建地区。相对而言, 广西、河北等地的海洋渔业生态效率较低。至 2016 年, 该空间格

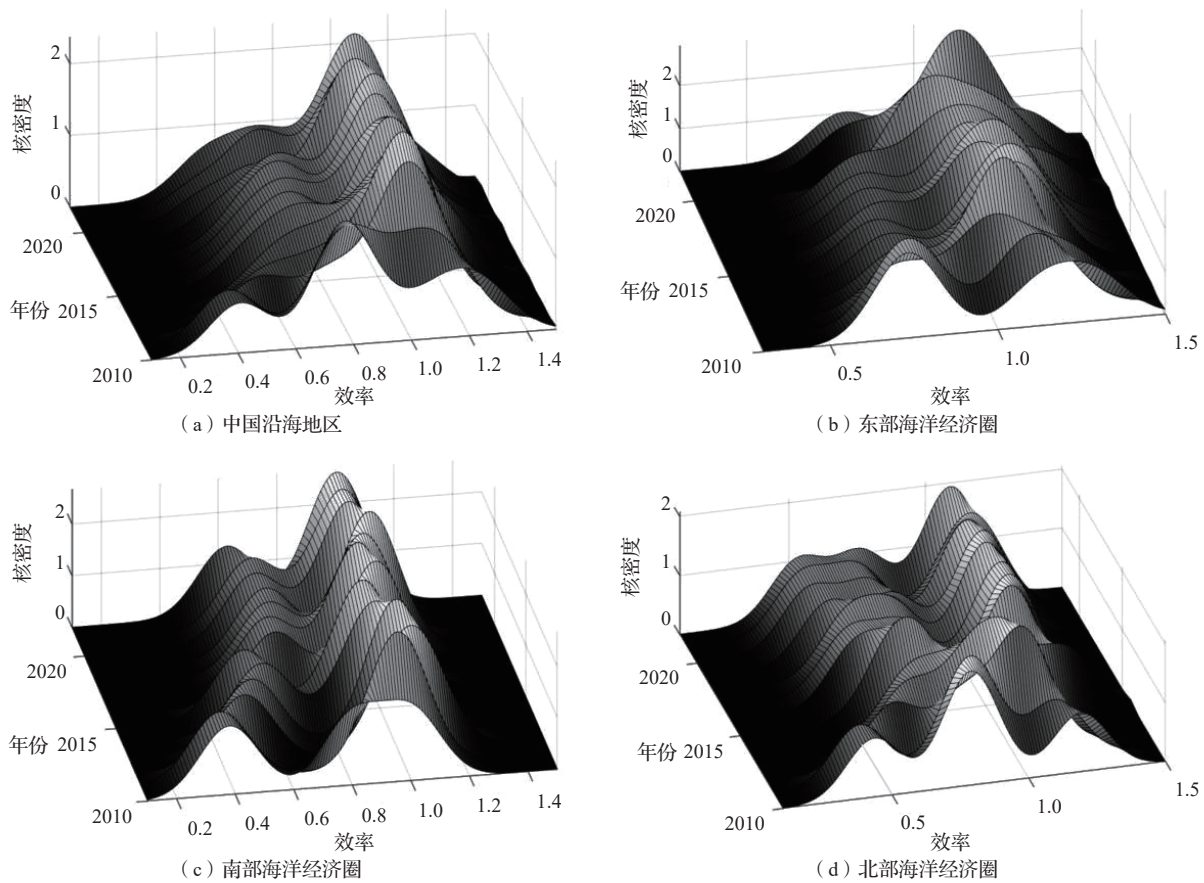


图3 中国沿海海洋渔业生态效率的动态分布

Fig.3 Dynamic distribution of marine fishery eco-efficiency in coastal China

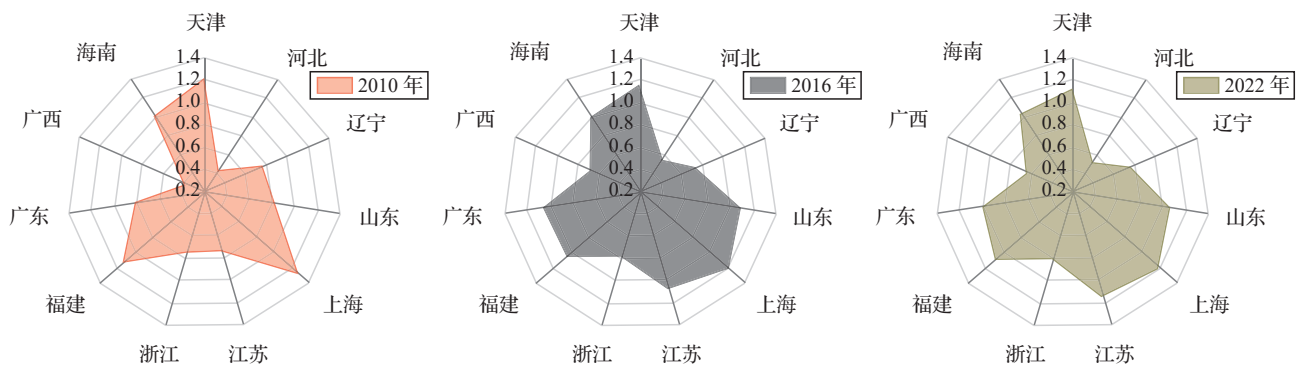


图4 2010年、2016年、2022年海洋渔业生态效率空间格局

Fig.4 Spatial pattern of marine fishery eco-efficiency in 2010, 2016 and 2022

局已发生一定变化。尽管上海、天津等地依然保持高效优势，但山东、广东及海南等地区的海洋渔业生态效率有显著提升，这可能与这些地区加强海洋渔业资源保护、提升渔业技术水平及优化产业结构

等措施相关。至2022年，中国海洋渔业生态效率的空间格局进一步呈现出均衡化趋势。上海、天津的高效区域依然稳定，但江苏的效率水平已有了显著提升，其效率水平已接近上海、山东等地区。这

表明, 随着时间的推移, 中国沿海地区海洋渔业生态效率的差异正逐渐缩小, 整体呈现出均衡发展的趋势。

3 海洋渔业生态效率的影响因素分析

运用广义脉冲响应函数分析法, 基于向量自回归 (PVAR) 模型, 借助 Eviews 10 软件对中国沿海地区海洋渔业生态效率及其影响因素之间的动态响应关系进行了定量测算。

3.1 面板数据单位根检验

构建面板向量自回归 (PVAR) 模型的初始步骤涉及对数据序列执行单位根检验。若检测出单位根, 意味着数据序列呈现非平稳性, 这将阻碍后续分析步骤的进行。即便分析勉强进行, 其结果也无法作为可靠的实证基础。为规避单一检验方法可能产生的误差, 本研究采用 LLC、IPS、ADF 和 PPF 等多种检验方法。根据数据结果, 在 5% 的显著性水平下, 样本数据拒绝存在单位根的原假设, 从而验证海洋生态效率与规模效应、结构效应、技术效应之间构成平稳序列。

3.2 面板数据协整检验

虽然样本数据通过了单位根检验, 但由于通过单位根检验的数据经过了差分处理, 因此本研究采用 Kao 检验、Pedroni 检验和 Westerlund 检验三种方法对变量进行协整检验, 以此来避免伪回归的现象出现, 影响实证结果, 检验变量之间是否存在长期均衡关系。表 3 结果显示, Kao 同质性协整检验中, DF 统计量未达到统计显著性水平, 无法拒绝“不存在协整关系”的原假设; 而 ADF 统计量在 1% 显著性水平下拒绝原假设, 表明存在协整关系。Pedroni 检验的统计量结果均在 1% 的显著性水平下, 原假设被拒绝, 这说明各变量之间存在协整关系。Johansen 协整检验的分析结果进一步证实了海洋生态效率与规模效应、结构效应、技术效应之间存在协整关系, 表明这些变量具有共同的长期变化趋势。同时, 中国沿海不同区域的海洋生态效率与规模效应、结构效应、技术效应之间存在显著的长期均衡关系。

表 3 面板数据协整检验结果

Table 3 Co-integration test results of panel data

检验方法	检验统计量	检验结果	结论
Kao	DF	3.223 (0.365)	无协整关系
	ADF	3.563*** (0.001)	存在协整关系
Pedroni	PP	-1.653*** (0.004)	存在协整关系
	MPP	2.538*** (0.002)	存在协整关系
Westerlund	方差比	4.368*** (0.002)	存在协整关系

注: ***, **, * 分别表示在 1%、5%、10% 的显著性水平下拒绝原假设; 括号内数值为对应统计量的 P 值, 其中 $P < 0.01$ 对应 ***, $0.01 \leq P < 0.05$ 对应 **, $0.05 \leq P < 0.1$ 对应 *, $P \geq 0.1$ 为不显著。

3.3 最优滞后阶数

在进行因果检验和面板向量自回归广义矩估计分析之前, 为了确保估计参数的有效性和自由度, 必须构建 AIC (Akaike Information Criterion)、BIC (Bayesian Information Criterion) 与 HQIC (Hannan-Quinn Information Criterion) 准则, 以选择最佳的滞后阶数。这一过程涉及对两个变量进行细致的分析, 从而确定 PVAR 模型的最优选择。通过比较不同滞后阶数下的 AIC、BIC 和 HQIC 值, 找到最小化这些准则的滞后阶数。确保 PVAR 模型在进行因果检验和广义矩估计分析时, 能够提供准确且可靠的统计推断。三准则结果显示, 中国沿海整体, 以及北部、东部、南部海洋经济圈均在五阶时达到最小, 因此将最优滞后阶数均确定为五阶。

3.4 方差分解

方差分解是通过分析每个结构冲击对内生变量变化的贡献度, 进一步评价不同结构冲击的重要性。在海洋渔业生态效率的影响因素分析中, 方差分解有助于理解规模效应、结构效应、技术效应各影响因素对海洋渔业生态效率波动的具体贡献 (表 4)。具体而言, 第 1 期规模效应对生态效率的冲击贡献度为 0.658; 第 3 期贡献度稳步提升至 0.718; 第 5 期进一步增至 0.860, 呈现持续显著上升趋势。这表明规模效应在生态效率波动中占据主导地位, 且其影响力随时间推移不断强化, 凸显了优化渔业生产规模、提升资源配置效率对生态效率

提升的核心作用。规模效应的贡献本质上反映了渔业资源利用强度、生产布局合理性等因素对生态效率的直接驱动作用。技术效应对生态效率的冲击贡献呈现“初期微弱、长期增长趋势”。技术效应的贡献呈现“初期低位、逐步增长”的特征。第1期贡献度仅为0.0082，处于极低水平；第3期小幅提升至0.012；第5期显著增长至0.128。尽管初期贡献有限，但持续上升的趋势表明，渔业技术创新和技术应用深化对生态效率的长期提升具有不可忽视的潜力，其贡献度体现了技术进步对资源利用效率、环境治理效果的赋能作用。结构效应对生态效率的冲击贡献相对较弱且存在波动：第1期贡献度为0.745；第3期微增至79.8%；第5期维持在0.814，整体波动幅度较小。值得注意的是，从结构效应作为响应变量的视角来看，第1期技术效应对其冲击贡献度为0.215；第3期降至0.066；第5期回升至0.172；而生态效率、规模效应在第1期对结构效应的冲击贡献度分别为0.198、0.232。结构效应整体贡献较弱且波动的特征，意味着当前海洋渔业产业结构、产业链布局的优化空间仍较大，需通过针对性调整进一步释放结构红利，助力生态效率提升。

表4 方差分解结果

Table 4 Results of variance decomposition

期数	响应变量	冲击变量			
		生态效率	规模效应	技术效应	结构效应
1	生态效率	0.846	0.658	0.0082	0.745
1	规模效应	0.251	0.229	0.046	0.054
1	结构效应	0.198	0.232	0.215	0.185
1	技术效应	0.446	0.554	0.041	0.259
3	生态效率	0.863	0.718	0.012	0.798
3	规模效应	0.356	0.361	0.038	0.262
3	结构效应	0.252	0.148	0.066	0.234
4	技术效应	0.535	0.665	0.036	0.664
5	生态效率	0.863	0.860	0.128	0.814
5	规模效应	0.435	0.736	0.112	0.012

续表4

期数	响应变量	冲击变量			
		生态效率	规模效应	技术效应	结构效应
5	结构效应	0.536	0.091	0.172	0.019
5	技术效应	0.524	0.231	0.136	0.027

4 结论与建议

4.1 结论

本研究通过构建考虑非期望产出的 Super-SBM 评估模型，该模型不仅纳入了期望产出，如渔业产量和经济效益，同时考虑了非期望产出，如碳排放和环境污染，评估海洋渔业在低碳发展背景下的生态效率。同时揭示了海洋渔业生态效率的时空演变特征，并深入分析了影响海洋渔业生态效率的关键因素，得出以下主要结论。

(1) 2010—2022 年中国海洋渔业生态效率整体处于较高水平，呈现“快速提升—小幅回落—基本稳定”的阶段性趋势：2010—2014 年均值从 0.842 升至 0.957，2015 年小幅回落至 0.922，2016 年后稳定在 0.933 ~ 0.949 之间。分区域看，北部海洋经济圈 2010—2014 年急剧上升后呈平稳波动；东部持续高位稳定小幅上升；南部波动上升且内部差异显著，均受益于生态保护与制度完善。

(2) 2010—2022 年沿海地区海洋渔业生态效率区域差异整体收敛，标准差和变异系数较 2010 年分别下降 24.1%、31.6%，呈“快速骤降—平稳回升—温和回落”三阶段特征。核密度估计显示效率总体呈上升趋势，分布趋于分散但区域整体协调性有所提升；北部曲线从集中走向分散，东部保持稳定，南部右移且分散，体现了效率提升与局部差异并存的特征。

(3) 空间格局呈现“集中—拓展—均衡”的演变态势：2010 年高效区集中于上海、天津、福建，广西、河北低效；2016 年山东、广东、海南效率显著提升；2022 年江苏效率大幅改善，高效区分布更均衡。这一变化源于各地资源保护、技术进步与产业结构优化，反映沿海地区生态效率空间协同发展趋势。

(4) 在影响因素中, 规模效应是生态效率波动的主导因素, 第 1~5 期贡献度从 0.658 升至 0.860, 影响力持续强化; 技术效应初期贡献微弱, 但长期稳步增长至 0.128, 长期赋能潜力显著; 结构效应贡献较弱且波动 (0.745~0.814), 当前产业结构仍有优化空间, 需通过针对性调整释放生态效率提升红利。

4.2 建议

为提高中国海洋渔业的生态效率, 推动其低碳发展, 提出以下建议。

(1) 加大生态保护力度, 实施更加严格的渔业资源管理和环境保护政策。特别是在北部海洋经济圈, 由于资源枯竭和环境恶化的问题较为突出, 应重点加强资源恢复和环境治理工作, 以确保海洋渔业的可持续发展。

(2) 推动技术创新和进步, 提高资源利用效率,

减少碳排放。政府应加大对海洋渔业科技创新的投入, 鼓励企业加强技术研发, 推广先进的渔业技术和设备, 以提高海洋渔业的生产和生态效率。

(3) 优化产业结构, 促进产业升级。鼓励海洋渔业企业向高端化、智能化、绿色化方向发展, 推动渔业与旅游、休闲等产业的融合发展, 提高海洋渔业的附加值和竞争力。

(4) 加强区域合作, 实现资源共享和优势互补。沿海地区应加强合作, 共同应对海洋渔业面临的挑战和问题, 推动区域间的资源共享和优势互补, 提高整个沿海地区海洋渔业的生态效率。

(5) 完善法律法规和政策体系, 为海洋渔业的低碳发展提供制度保障。政府应加强海洋渔业相关法律法规的制定和完善, 明确各方责任和义务, 为海洋渔业的低碳发展提供有力的制度保障。

参考文献 (References):

- [1] LIU G, XU Y, GE W, et al. How can marine fishery enable low carbon development in China? based on system dynamics simulation analysis[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2023, 231: 106382.
- [2] 狄乾斌, 陈小龙, 苏子晓, 等. “双碳”目标下中国海洋渔业碳排放效率区域差异及碳减排潜力研究[J]. *海洋环境科学*, 2023, 42(1): 29-37.
DI Qianbin, CHEN Xiaolong, SU Zixiao, et al. Regional differences in carbon emission efficiency and carbon emission reduction potential of China's marine fisheries under the “double carbon” target[J]. *Marine Environmental Science*, 2023, 42(1): 29-37.
- [3] 王泽宇, 曹江琦, 王焱熙. 中国海洋渔业生态效率的时空分异及其影响因素[J]. *海洋开发与管理*, 2021, 38(8): 36-43.
WANG Zeyu, CAO Jiangqi, WANG Yanxi. Spatio-temporal differentiation and influencing factors of marine fishery eco-efficiency in China[J]. *Ocean Development and Management*, 2021, 38(8): 36-43.
- [4] 田鹏, 汪浩瀚, 李加林, 等. 中国海洋渔业碳排放时空变化特征及系统动态模拟[J]. *资源科学*, 2023, 45(5): 1074-1090.
TIAN Peng, WANG Haohan, LI Jialin, et al. Spatio-temporal variation characteristics and system dynamic simulation of marine fishery carbon emissions in China[J]. *Resources Science*, 2023, 45(5): 1074-1090.
- [5] 戴桂林, 郭恩秀. 中国海洋渔业资源利用强度时空演化与因素分解研究[J]. *中国渔业经济*, 2022, 40(3): 38-45.
DAI Guilin, GUO Enxiu. Research on the temporal and spatial evolution and factor decomposition of the utilization intensity of marine fishery resources in China[J]. *Chinese Fisheries Economics*, 2022, 40(3): 38-45.
- [6] 韩嘉麟, 安姜涛. 浙江省海洋渔业资源可持续发展利用思路[J]. *农村经济与科技*, 2024, 35(5): 46-49.
HAN Jialin, AN Jiangtao. Thoughts on sustainable development and utilization of marine fishery resources in Zhejiang Province[J]. *Rural Economy and Science and Technology*, 2024, 35(5): 46-49.
- [7] 张鑫. 中国沿海地区海洋渔业生态效率评价及时空特征研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2019.
ZHANG Xin. Evaluation of marine fishery eco-efficiency and its spatial-temporal characteristics in China's coastal areas[D]. Dalian: Liaoning Normal University, 2019.
- [8] 韩增林, 计雪晴, 胡盈, 等. 基于 SBM 模型的我国海洋渔业生态效率的时空演变[J]. *海洋开发与管理*, 2019, 36(12): 3-8.
HAN Zenglin, JI Xueqing, HU Ying, et al. Spatio-temporal evolution of marine fishery eco-efficiency in China based on SBM model[J]. *Ocean Development and Management*, 2019, 36(12): 3-8.

- [9] 张同贺, 刘林忻, 刘津. 基于三阶段 DEA 模型的海洋渔业生态效率研究: 以青岛、烟台、威海三个城市为例[J]. 渔业研究, 2020, 42(6): 544-555.
ZHANG Tonghe, LIU Linxin, LIU Jin. Research on marine fishery eco-efficiency based on three-stage DEA model: taking Qingdao, Yantai and Weihai as examples[J]. Fishery Research, 2020, 42(6): 544-555.
- [10] 狄乾斌, 陈小龙, 苏子晓, 等. 海洋渔业碳排放效率的时空演变及影响因素: 以北部海洋经济圈为例[J]. 生态经济, 2024, 40(2): 109-116.
DI Qianbin, CHEN Xiaolong, SU Zixiao, et al. Spatio-temporal evolution and influencing factors of carbon emission efficiency of marine fisheries: a case study of the northern marine economic circle[J]. Ecological Economy, 2024, 40(2): 109-116.
- [11] GAO Y, FU Z, YANG J, et al. Spatial-temporal differentiation and influencing factors of marine fishery carbon emission efficiency in China[J]. Environment, Development and Sustainability, 2024, 26(1), 453-478.
- [12] 张晨. 碳排放视角下的中国海洋渔业生态效率研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2021.
ZHANG Chen. Research on the eco-efficiency of China's marine fisheries from the perspective of carbon emissions[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2021.
- [13] 孔凡振. 中国海洋渔业生态足迹时空演变及驱动因素研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2022.
KONG Fanzhen. Spatio-temporal evolution and driving factors of marine fishery ecological footprint in China[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2022.
- [14] 朱爱方, 平瑛. 基于 SFA 模型的我国海洋渔业绿色生产效率时空分异研究[J]. 海洋开发与管理, 2023, 40(3): 133-143.
ZHU Aifang, PING Ying. Spatial-temporal differentiation of green production efficiency of marine fishery in China based on SFA model[J]. Ocean Development and Management, 2023, 40(3): 133-143.
- [15] 高飞. 数字普惠金融对海洋渔业生态效率的影响研究[J]. 中国渔业经济, 2024, 42(3): 56-64.
GAO Fei. Research on the impact of digital inclusive finance on the eco-efficiency of marine fisheries[J]. Chinese Fisheries Economics, 2024, 42 (3): 56-64.
- [16] 卜庆全, 郭永清. 环境规制对中国海洋渔业生态效率的影响及生态效率空间差异[J]. 海洋开发与管理, 2024, 41(5): 69-79.
BU Qingquan, GUO Yongqing. The impact of environmental regulation on the eco-efficiency of China's marine fisheries and the spatial difference of eco-efficiency[J]. Ocean Development and Management, 2024, 41(5): 69-79.
- [17] CHEN X, DI Q, HOU Z, et al. Measurement of carbon emissions from marine fisheries and system dynamics simulation analysis: China's northern marine economic zone case[J]. Marine Policy, 2022, 145: 105279.
- [18] 计雪晴. 中国分省区海水养殖与捕捞业生态效率时空演化及影响因素分析[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2020.
JI Xueqing. Spatio-temporal evolution and influencing factors of eco-efficiency of mariculture and fishing industry in China[D]. Dalian: Liaoning Normal University, 2020.
- [19] 徐胜, 季倩芸. 沿海地区海洋渔业生态效率及影响因素研究: 基于 SBM-Tobit 模型[J]. 中国渔业经济, 2023, 41(5): 78-88.
XU Sheng, JI Qianyun. Marine fishery eco-efficiency and its influencing factors in coastal areas: based on the SBM-Tobit model[J]. Chinese Fisheries Economics, 2023, 41(5): 78-88.
- [20] 张英楠. 海洋渔业产业结构优化对碳排放效率的影响: 基于我国沿海地区的空间计量分析[J]. 海洋开发与管理, 2021, 38(4): 3-15.
ZHANG Yingnan. The impact of marine fishery industrial structure optimization on carbon emission efficiency: spatial econometric analysis based on China's coastal areas[J]. Ocean Development and Management, 2021, 38(4): 3-15.
- [21] CHEN X, SUN Z, DI Q, et al. Marine fishery carbon emission reduction and changing factors behind marine fishery eco-efficiency growth in China[J]. Ecological Informatics, 2024, 80: 102478.
- [22] 曹江琦. 中国海洋渔业生态效率时空分异及影响因素分析[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2021.
CAO Jiangqi. Spatial-temporal differentiation and influencing factors of marine fishery eco-efficiency in China[D]. Dalian: Liaoning Normal University, 2021.
- [23] 狄乾斌, 邵春雪, 陈小龙, 等. 碳汇视角下海洋生态效率的时空差异及影响因素研究: 以环渤海地级市为例[J]. 海洋与湖沼, 2024, 55(2): 409-418.
DI Qianbin, SHAO Chunxue, CHEN Xiaolong, et al. Spatial-temporal differences and influencing factors of marine eco-efficiency from the perspective of carbon sinks: a case study of cities around the Bohai Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2024, 55(2): 409-418.

- [24] 王坤, 黄震方, 曹芳东. 中国旅游业碳排放效率的空间格局及其影响因素[J]. 生态学报, 2015, 35(21): 7150-7160.
WANG Kun, HUANG Zhenfang, CAO Fangdong. Spatial pattern and influencing factors of carbon emission efficiency in China's tourism industry[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(21): 7150-7160.
- [25] 洪铮, 王林, 章成. 绿色发展背景下区域旅游生态效率影响因素: 以西部地区为例[J]. 生态学报, 2021, 41(9): 3512-3524.
HONG Zheng, WANG Lin, ZHANG Cheng. The influencing factors of regional tourism eco-efficiency under the background of green development: taking the western region as an example[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(9): 3512-3524.
- [26] 狄乾斌, 陈小龙, 王敏. 中国沿海海洋生态福利绩效时空差异及演化趋势分析[J]. 海洋通报, 2022, 41(3): 302-314.
DI Qianbin, CHEN Xiaolong, WANG Min. Analysis of spatial and temporal differences and evolution trends of marine ecological welfare performance in China's coastal areas[J]. *Marine Science Bulletin*, 2022, 41(3): 302-314.
- [27] 汪克亮, 蒋晓敏. 中国海洋经济高质量发展的时空差异及影响因素研究[J]. 海洋开发与管理, 2024, 41(3): 121-132.
WANG Keliang, JIANG Xiaomin. Research on the spatial and temporal differences and influencing factors of high-quality development of China's marine economy[J]. *Ocean Development and Management*, 2024, 41(3): 121-132.