

引用格式: 盖美, 岳鹏, 杨苒菲. 环渤海地区海洋生态环境评价及影响因素识别[J]. 资源科学, 2022, 44(8): 1645-1662. [Gai M, Yue P, Yang Q F. Assessment of marine ecological environment and identification of influencing factors in Bohai Rim region[J]. Resources Science, 2022, 44(8): 1645-1662.] DOI: 10.18402/resci.2022.08.09

环渤海地区海洋生态环境评价及影响因素识别

盖美^{1,2}, 岳鹏^{1,2}, 杨苒菲^{1,2}

(1. 辽宁师范大学海洋可持续发展研究院, 大连 116029;
2. 辽宁省“海洋经济高质量发展”高校协同创新中心, 大连 116029)

摘要: 海洋环境保护是助推海洋可持续发展、建设海洋强国的重要任务和使命。本文基于熵权TOPSIS法对环渤海地区海洋生态环境质量进行测算, 借助重心模型刻画海洋生态环境质量时空格局演变特征, 并利用空间杜宾模型对环渤海地区海洋生态环境影响因素进行识别。得出以下结论: ①环渤海地区海洋生态环境质量存在较为显著的空间自相关性, 整体呈上升趋势, 偶有波动; 但空间异质性显著, 南部经济区较高, 西部经济区较低。海洋生态环境质量重心整体呈向西再向北迁移的趋势, 各经济区内部重心移动差异性明显。②从地区整体效应来看, 对海洋生态环境直接贡献强度排序为: 环境规划>生活水平>科技水平>科技投入>0>碳排放量>农业污染>工业化水平>劳动力结构>废水排放, 对其他地区的溢出效应影响排序为环境规划>0>碳排放量>劳动力结构>工业化水平>废水排放。③分区域来看, 各影响因素在不同经济区的作用效果不同, 西部经济区产业结构、科技投入、科技产出、环境规划、生活水平提升海洋生态环境水平; 南部经济区经济发展、科技水平、科技产出、生态优化、环境规划对海洋生态环境质量提升效果明显; 北部经济区生态优化和环境规划推动地区海洋生态环境发展。研究为环渤海地区沿岸省市海洋生态环境保护提供了理论支持。

关键词: 海洋生态环境评价; 影响因素识别; 影响机制; 空间杜宾模型; 重心迁移模型; 环渤海地区

DOI: 10.18402/resci.2022.08.09

1 引言

近20年来, 由于丰富的海洋资源、逐步完善的基础设施和不断雄厚的科研力量, 环渤海地区成为继珠三角和长三角之后, 中国地区海洋经济发展的第三极^[1]。习近平总书记强调要推动海洋经济向质量效益型转变、推动海洋开发方式向循环利用型转变^[2]。然而, 海洋环境给海洋经济发展提供必不可少的支撑, 却又给海洋经济发展施加了不可忽略的约束^[3]。因此, 提升海洋环境质量显得尤为重要。在《中共中央、国务院关于全面加强生态环境保护, 坚决打好污染防治攻坚战的意见》^[4]中提出: 打好渤海综合治理攻坚战、推动河口海湾综合整治, 实施

最严格的围填海和岸线开发管控, 统筹安排海洋空间利用活动。经过多年的综合治理, 渤海海域环境明显改善, 但还存在着一些生态环境问题。因此, 开展环渤海地区海洋生态环境影响因素的识别具有重要的现实意义。

海洋生态环境研究一直以来是国内外研究的热点, 主要分为3方面: ①海洋生态环境质量评价。早期学者们通过分析海洋生物等的变化对海洋环境的影响来评价海洋生态环境质量^[5]。近年来, 国外学者们开始关注多要素累积效应下的海洋生态环境综合评价, 如Gissi等^[6]利用累积效应评估不同级别生物组织的生态响应及功能, 并将人类压力源

收稿日期: 2022-03-22, 修订日期: 2022-07-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(42276231); 国家环境保护海洋生态环境整治修复重点实验室基金项目(202105); 辽宁省社会科学界联合会基金项目(2023lsjdybkt-018)。

作者简介: 盖美, 女, 辽宁大连人, 博士, 教授, 硕士生导师, 研究方向为区域经济与可持续发展。E-mail: gaimei71@163.com

通讯作者: 岳鹏, 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 硕士研究生, 研究方向为海洋经济与海洋环境。E-mail: lshys_yp@163.com

和气候变化的综合效应进行系统评价。而国内学者则主要通过构建指标体系评价海洋生态环境质量,如韩婕妤等^[7]以污染排放、污染治理、污染面积、环保投资为要素层对中国沿海省市海洋生态环境质量变化趋势展开评价;又如杜元伟等^[8]从驱动力、压力、状态、影响、响应5个层面构建海洋牧场生态安全评价指标体系,并对荣成市海洋牧场示范区生态环境进行了评价。②海洋生态环境的影响因素研究。国外学者多基于特定海洋污染事件探究其对海洋生态环境的影响^[9],但随着研究的不断深入,学者们开始对海洋环境污染来源与作用机制展开研究,如Singh等^[10]通过研究发现,污染物入海是影响海洋生态环境的主要因素,应严格控制污染物排放量。随着人类活动日趋频繁,学者们发现人口增长^[11]、资源开发^[12]、经济发展^[13]、海洋法规^[14]等对海洋生态环境存在多方面的影响。国内学者则聚焦海源污染和陆域污染等视角下海洋生态环境质量差异及其影响因素,如刘学海^[15]通过对渤海近岸海域主要污染物的超标分布及污染源进行分析,证实渤海环境质量下降的主要诱因是陆域污染物的超标排放和水交换不畅。③海洋生态环境的提升策略。国外学者近年来多聚焦公共突发安全事件下海洋生态环境质量的提升策略,如Hassan等^[16]通过新冠疫情爆发期间塑料类防护物资使用量的变化来分析塑料污染问题对海洋生态环境的影响,并提出了相应减缓策略。而国内学者则更多以服务国家战略为核心展开研究。学者们以海洋可持续发展^[17]、高质量发展^[18]为目标,探寻更加符合中国实际的海洋保护与管理模式,并尝试从海洋生态安全^[8]、海洋规制效率^[19]、海洋生态修复制度^[20]等角度分析新形势下中国海洋环境质量提升策略。

总体来看,国内外有关海洋生态环境的研究取得了丰富的成果,为解决海洋生态环境问题提供了坚实的理论指导。但仍存在以下不足之处:①地区海洋生态环境质量不仅受本地影响,还有可能受周边地区的影响。在以往海洋生态环境影响因素研究中,往往忽略了海洋生态环境质量的差异在一定空间范围内可能产生的空间异质性和空间依赖性,难以揭示区域间海洋生态环境的空间作用。②在海洋生态环境影响因素的机理研究中,学者们大多

从经济、社会、陆域环境角度分析经济水平、产业结构、人口结构及陆源污染物对海洋生态环境的影响,随着社会的不断发展,既有研究应进一步深入。在“建设海洋强国”的大背景下,科技水平、科技投入、科技产出和生活水平对海洋生态环境影响的机理研究相对较少,应当考虑将其添加至海洋生态环境影响因素的指标体系中。③现有环渤海地区海洋生态环境的研究中,大多以陆域指标和海洋指标相结合的方式对地区海洋生态环境作出评价,无法真正从海洋自身角度体现海洋生态环境变异规律,且现有研究中数据多取自统计年鉴及有关公报,数据来源单一且缺乏客观性。

鉴于以上分析,本文在前人研究的基础上,作出以下改进:①研究方法方面,空间杜宾模型可以在一定程度上克服面板数据模型空间影响差异方面的局限性,全面考察海洋生态环境影响因素的直接效应和溢出效应。因此,本文利用环渤海地区17市面板数据,借助空间杜宾模型实证检验各子系统内部诸多因素对海洋生态环境影响。②影响因素选取方面,在探究经济、社会、陆域环境对海洋生态环境影响的基础上,充实经济、社会、陆域环境指标,加入科技相关指标,以进一步分析海洋生态环境影响因素。③在指标体系构建与数据来源方面,选取Ⅰ、Ⅱ类海水水质面积占比、活性磷酸盐浓度等11项海洋相关指标构建环渤海地区海洋生态环境评价体系,并在使用年鉴、公报部分数据的基础上,通过相关海洋大数据网站获取部分海洋数据,对环渤海地区海洋生态环境质量进行测算。在保证数据可获得性的前提下,本文对2008—2018年环渤海地区海洋生态环境质量进行评价,并对海洋生态环境质量的影响因素进行识别,为环渤海地区及有关省、市海洋生态环境保护提供理论参考。

2 研究区概况

环渤海地区是指渤海沿岸三省一市(辽宁省、河北省、山东省、天津市)所辖的丹东、大连、营口、盘锦、锦州、葫芦岛、秦皇岛、唐山、天津、沧州、滨州、东营、潍坊、烟台、威海、青岛和日照17个沿海城市下辖的行政区域。研究区陆域面积约为17.59万km²,海域面积约22万km²,海岸线长约6277 km。作为中国社会发展的重要引擎,近年来,环渤海地

2022年8月

区经济社会发展迅速。具体来看:经济方面,2018年,环渤海地区生产总值为80287.41亿元,是2008年的2.26倍,其中,海洋生产总值23886亿元,增长了2.18倍。如图1所示,第二产业占GDP比重持续下降,由2008年的56.06%下降到2018年的44.11%;第三产业占GDP比重则显著上升,2018年达到47.53%,较2008年增长了13.16%。社会方面,2018年末,环渤海地区常住人口约为8882.18万人,10年间净增长703.36万人,同时也带来生活水平的提升,研究期内环渤海地区各地居民家庭恩格尔系数均小于30%,根据联合国粮农组织的标准,已经达到了最富裕级别。人口和生活水平的提升离不开科技的进步,环渤海地区专业科技人才水平不断提升,2018年海洋科学研究与开发机构R&D工作人员数量为9505人,相较于2008年有明显的增长。

海洋生态环境方面,环渤海地区近岸水质优良比由2008年的67.4%提升到2018年的81.2%,实现稳步提升(图1)。但随着经济的快速发展,资源被粗放式利用,能源消耗不断攀升,给环渤海地区海洋生态环境带来了巨大的压力。一方面,入海河流污染物超标带来海水富营养化程度明显。在2018年全国入海河流国控断面监测中,注入渤海的46个监测断面有10个为劣V类水质,相较于2008年32个劣V类水质断面,环境治理效果显著。但化学需

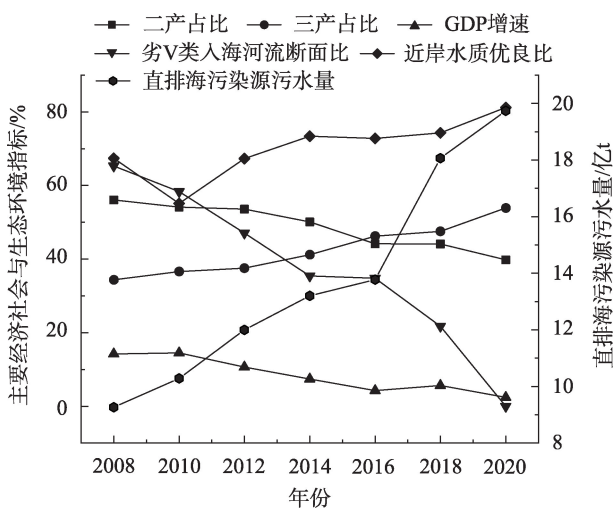


图1 2008—2020年环渤海地区主要经济社会与生态环境指标

Figure 1 Major economic, social, and ecological environment indicators in the Bohai Rim region, 2008-2020

氧量、高锰酸钾指数等污染物还存在超标现象,由此造成辽东湾、黄河口等地区重度富营养化海域面积达到370 km²。另一方面,直排海污染源污水量与日俱增给近岸水质带来持续性压力。在2018年生态环境部对453个日排污量大于100 m³的直排海工业污染源、生活污染源、综合排污口开展的监测中,环渤海地区的直排海污染源污水量为18.07亿t,较2008年增加16.75亿t,增长明显。综上所述,尽管近年来地区海洋生态环境得到了一定改善,但海洋生态环境问题依然严峻,已成为环渤海地区经济发展的瓶颈。因此,努力实现社会经济活动与海洋生态环境的协调发展,是环渤海区域高质量发展的重要基础。

3 研究方法 with 指标选取

3.1 研究方法

3.1.1 海洋生态环境质量指数

通过参考相关研究^[21,22],根据环渤海地区海洋生态环境特点,构建环渤海地区海洋生态环境质量评价指标体系(表1)。

进一步,利用熵值法确定评价指标的权重,再利用TOPSIS法确定评价目标的相对优劣^[23],从而衡量海洋生态环境质量。熵权TOPSIS法试图选择最接近正理想解且离负理想解最远的解。该方法主要包括6个步骤:①对数据进行归一化处理;②确定海洋生态环境各指标的权重;③构建海洋生态环境加权归一化矩阵;④确定正、负理想解;⑤计算目标值到正负理想解的距离;⑥计算评价向量与理想值的相对贴进度,即为海洋生态环境质量指数。具体步骤见参考文献[23]。根据计算结果对海洋生态环境质量进行分类,得到环渤海地区海洋生态环境质量等级(表2)。

3.1.2 重心迁移模型

重心迁移模型^[24]可以根据重心的变动轨迹确定环渤海地区海洋生态环境质量的空间变化情况,具体公式如下:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i x_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i}, y = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i y_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (1)$$

式中: x 、 y 分别代表沿海城市海洋生态环境质量的重心; n 为沿海城市数量; x_i 、 y_i 代表沿海城市 i 的地理坐标; ω_i 为沿海城市 i 的海洋生态环境质量。

表1 环渤海地区海洋生态环境质量评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of marine ecological environment quality in the Bohai Rim region

指标名称	单位	属性	综合权重	指标解释
I、II类海水水质面积占比	%	+	0.105	I、II类海水水质面积/海水总面积,反映海水水质优劣情况
无机氮浓度	mg/L	-	0.096	海水中无机氮含量,反映海域内水体富营养化程度
活性磷酸盐浓度	mg/L	-	0.096	海水中活性磷酸盐含量,反映海域内水体富营养化程度
化学需氧量浓度	mg/L	-	0.096	海水中化学需氧量含量,反映海域内水体溶氧程度
石油类浓度	mg/L	-	0.095	海水中石油污染量,反映海域内水体油污染程度
沉积物质量	%	+	0.076	符合第一类沉积物标准的站位数/总监测站位数,反映海域内沉积物水平
浮游植物多样性指数	—	+	0.085	$-\sum(P_{\text{plank}} \cdot \log_2 P_{\text{plank}})$, P_{plank} 为浮游植物个体数占样品总个体数之比
浮游动物多样性指数	—	+	0.086	$-\sum(P_{\text{zplank}} \cdot \log_2 P_{\text{zplank}})$, P_{zplank} 为浮游动物个体数占样品总个体数之比
底栖生物多样性指数	—	+	0.085	$-\sum(P_{\text{benth}} \cdot \log_2 P_{\text{benth}})$, P_{benth} 为底栖生物个体数占样品总个体数之比
赤潮累计分布面积	km ²	-	0.091	面积超过100 km ² 的赤潮面积和,反映海域内赤潮灾害情况
绿潮最大分布面积	km ²	-	0.089	一年中,日绿潮分布最大面积,反映海域内绿潮灾害情况

表2 环渤海地区海洋生态环境质量等级划分标准

Table 2 Classification standard of marine ecological environment quality in the Bohai Rim region

等级	评价等级	指数区间
一级	优秀	[0.75, 1.00]
二级	良好	[0.70, 0.75)
三级	轻度污染	[0.65, 0.70)
四级	中度污染	[0.60, 0.65)
五级	重度污染	[0.00, 0.60)

3.1.3 空间自相关模型

空间自相关模型^[25]是研究区域内部某一属性空间关联性的重要方法之一,也是验证并使用空间计量模型的必需。本文采用全局Moran's I 指数分析环渤海地区海洋生态环境质量的空间自相关性,计算公式为:

$$\text{Moran's } I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{ij} (q_i - \bar{q})(q_j - \bar{q})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{ij} \sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2} \quad (2)$$

式中: n 为沿海市域数; m 为 i 市域邻近城市数; w_{ij} 为空间权重矩阵 W 中的元素,根据环渤海地区沿海城市的地理特征,本文采用欧氏距离倒数(Inverse distance)作为空间权重矩阵的元素; q_i 、 q_j 分别为 i 和 j 市域的海洋生态环境质量; \bar{q} 为17个市域海洋生态环境质量的均值。Moran's I 的取值范围为 $[-1, 1]$,若 $I > 0$,说明各城市海洋生态环境呈正相关;若 $I < 0$,则说明各城市海洋生态环境呈负相关;若 $I = 0$,则表

示不相关。

3.1.4 空间计量模型

空间计量模型考虑空间异质性的存在,分析变量与扰动项在空间上的分布,常用的空间计量模型有空间滞后模型(SLM)、空间误差模型(SEM)和空间杜宾模型(SDM)^[26],计算公式为:

$$\begin{aligned} Q_{it} &= \rho W Q_{it} + \alpha Z_{it} + \lambda W Z_{it} + \varepsilon_{it} \\ \varepsilon_{it} &= \theta W \varepsilon_{it} + \varphi_{it} \end{aligned} \quad (3)$$

式中: Q_{it} 为 i 市域第 t 年的海洋生态环境质量; Z_{it} 为海洋生态环境质量的影响因素; $W Q_{it}$ 、 $W Z_{it}$ 分别为空间权重矩阵 W 与被解释变量、解释变量的交乘项; ρ 为空间自回归系数; α 为解释变量的回归系数; λ 为空间溢出系数; ε_{it} 为随机误差项; $W \varepsilon_{it}$ 为空间权重矩阵 W 与随机误差项的交乘项; θ 为随机误差项的空间自相关系数; φ 为正态分布的随机误差项。当 $\rho=0$ 且 $\theta \neq 0$ 时,式(3)为空间误差模型;当 $\lambda=0$ 且 $\rho \neq 0$ 时,式(3)为空间滞后模型;当 $\theta=0$ 、 $\rho \neq 0$ 且 $\lambda \neq 0$ 时,式(3)为空间杜宾模型。

3.2 影响因素指标选取

海洋生态系统极易受到人类活动的影响。陆域社会、经济、环境对于海洋生态环境的影响是提升环渤海地区海洋生态环境质量的关键。此外,科技创新能够提高能源使用效率从而减少生态污染,对于实现绿色和谐的生态环境具有重要的推动作用^[27]。具体如下(图2):

经济因素(A)。海洋环境是沿海地区经济发展

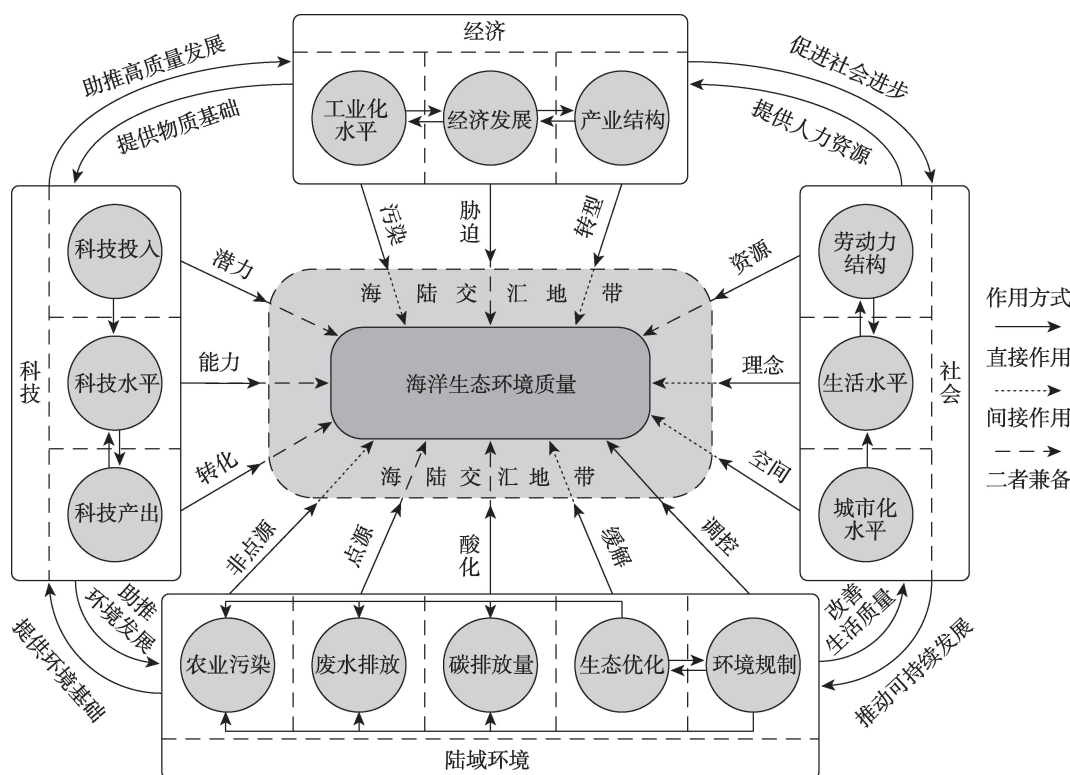


图2 潜在性影响因素对海洋生态环境影响及其内部关系

Figure 2 Impact of potential influencing factors on marine ecological environment and their relationships

不可或缺的生态基础,而经济过度发展在一定程度上又会制约海洋生态环境的良性演化,两者互为依托,彼此约束^[28]。经济发展水平的提高,有利于政府加大环保资金投入,可以有效提升海洋生态环境质量,但传统、粗放的经济展方式导致海洋资源过度消耗,并造成生态破坏,使海洋生态环境受到严重影响。工业化水平提升的同时,往往产生大量的污染物,这些污染物大多通过直排入海、河流携带入海等方式直接或间接地对海洋环境产生破坏^[29]。海洋产业结构的优化,尤其是海洋第三产业和海洋高新技术产业的发展,将会助推海洋经济转型,改善海洋生态环境^[30]。鉴于以上分析,本文选取地区生产总值、工业总产值、海洋第三产业占地区生产总值比重分别表征经济发展(A1)、工业化水平(A2)和产业结构(A3),并作为环渤海地区海洋生态环境潜在性影响因素进行识别。

科技因素(B)。作为实现经济发展和生态环境保护双赢局面的重要抓手,科技因素对于海洋生态环境意义重大。科技水平的进步可以提高资源利

用效率,减少生产过程中排放至海洋的污染物,从而提升海洋生态环境质量^[28]。但有时科技进步带来的资源需求增大也会导致海洋生态环境体系的失衡,造成海洋生态破坏、生物多样性锐减等问题,进而加剧海洋生态环境的恶化。海洋科技创新是一个多方面投入、多类型产出的复杂的实践活动,科技投入的过程中,往往伴随着科技支出的增多,由此来增强清洁技术推广力度以减少污染物排放,这一措施可以有效缓解海洋生态环境的污染程度^[31,32]。科技产出的提升主要体现在科技成果转化为现实生产力所带来的经济效益^[30],对于提升海洋生态环境质量有着积极的意义。综上所述,本文选取地区科研水平、科学技术支出和海洋科研课题应用数分别表征科技水平(B1)、科技投入(B2)和科技产出(B3),并作为环渤海地区海洋生态环境潜在性影响因素进行识别。其中,地区科研水平选取科研机构数量、科研机构人数和科研论文数加权求和而来。

陆域环境因素(C)。研究表明,陆源污染给海洋生态环境带来的冲击程度最大^[33]。大量农用化肥

的使用,造成许多农业污染物以径流的方式汇入海洋,是沿海生态系统氮污染的最大来源^[34],由此带来海水富营养化等问题,严重影响海洋生态环境。工业废水及生活污水等以地表径流或直排的方式流入海洋,是造成海洋水体富营养化的另一重要诱因^[34]。此外,碳排放的增加使溶解在浅层海水中的 CO_2 增多,导致海洋pH值降低,从而引发海水酸化等问题^[35]。城市绿化覆盖率的提升不仅能保持水土、涵养水源,还能减轻陆源污染物排海压力。环境污染的外部不经济性特征使单一依靠市场调节难以实现海洋生态环境质量的持续改善,需要政府加以规范和调节^[36]。综上,本文选取农用化肥施用量、废水排放量、建成区绿化覆盖率、碳排放量、地区环境污染治理投资额分别表征农业污染(C1)、废水排放(C2)、生态优化(C3)、碳排放量(C4)、环境规制(C5),并作为环渤海地区海洋生态环境潜在性影响因素进行识别。其中,废水排放量为工业废水排放量和生活污水排放量之和;就对碳排放量而言,2008—2017年碳排放量数据通过对17个城市下辖县域碳排放数据求和获得,2018年碳排放总量则由于碳排放数据库中县域数据缺失,由各市碳强度逐年平均下降幅度和该年份实际GDP反推演算而得。

社会因素(D)。由于沿海地区人口激增、资源消耗增大等原因,中国海洋资源日趋枯竭、海域污染持续加重^[37]。在快速城市化过程中,对土地资源的迫切需求使人们向海扩地,由此给海洋生态环境带来了巨大的压力。其次,渔业劳动率的增长使捕捞能力持续增强,极易造成鱼类资源的过度开发,给海洋生态环境带来附加压力^[34]。人民生活水平的提高,对多元化水产品的需求日益增加,进一步带来对于海洋生态环境的压力^[37]。但从另一个角度考虑,由于生活水平的提升伴随环保意识的提高,促使着海洋生态环境质量向好发展。综上,本文选取城市化率、海洋第一产业从业人口比重、居民家庭恩格尔系数分别表征城市化水平(D1)、劳动力结构(D2)、生活水平(D3),并作为环渤海地区海洋生态环境潜在性影响因素进行识别。其中,城镇化水平测度利用夜间灯光指数法^[38];此外,鉴于恩格尔系数越低,地区越富裕的事实,为使计算结果对于海洋生态环境影响的正负性直观可见,本文中居民家庭

恩格尔系数=1/(城镇家庭恩格尔指数+农村家庭恩格尔系数)。

综上,建立经济、科技、陆域环境、社会4个子系统,选取经济发展、科技水平、农业污染、城市化水平等14个潜在性影响因素对环渤海地区海洋生态环境影响因素进行综合性识别。

3.3 数据来源

综合数据可获取性和代表性,2008—2018年研究区域相关数据较为完整和充分,因此,本文选取2008—2018年数据进行研究。并在进一步研究中根据行政区划、经济社会、发展历史等特点,将环渤海地区分为西部经济区(天津、唐山、秦皇岛、沧州)、南部经济区(青岛、东营、滨州、潍坊、烟台、威海、日照)、北部经济区(大连、丹东、营口、盘锦、锦州、葫芦岛),以实现地区内部环境质量及影响因素研究。

本文数据来自历年《中国海洋统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国海洋经济统计公报》《中国海洋生态环境公报》《中国海洋灾害公报》及各省、市统计年鉴和公报,部分海洋数据来自中国科学院海洋研究所海洋大数据中心(<http://msdc.qdio.ac.cn/>)、中国海洋信息网(<http://www.nmdis.org.cn/>)、国家海洋局北海预报中心网站(<http://www.nmfc.org.cn/>)、中国大洋资料中心(<https://comrdc.nmdis.org.cn/>)等有关海洋数据网站,碳排放量数据来自中国碳核算数据库(www.ceads.net.cn)。

4 结果与分析

4.1 海洋生态环境质量空间演化分析

4.1.1 空间差异分析

根据环渤海地区海洋生态环境质量等级划分标准,运用ArcGIS 10.7软件对2008—2018年环渤海地区海洋生态环境质量差异进行空间可视化分析(图3),可以得出:

①环渤海地区各沿海城市海洋生态环境质量整体呈趋好的态势,但偶有波动。近年来,随着国家和各级地方政府对于海洋生态环境问题治理的政策不断落实、决心不断增强,海洋生态环境质量持续向好。但由于海域生态环境存在某些不确定性,因此环境质量出现波动现象。由图3可以看出,

2022年8月

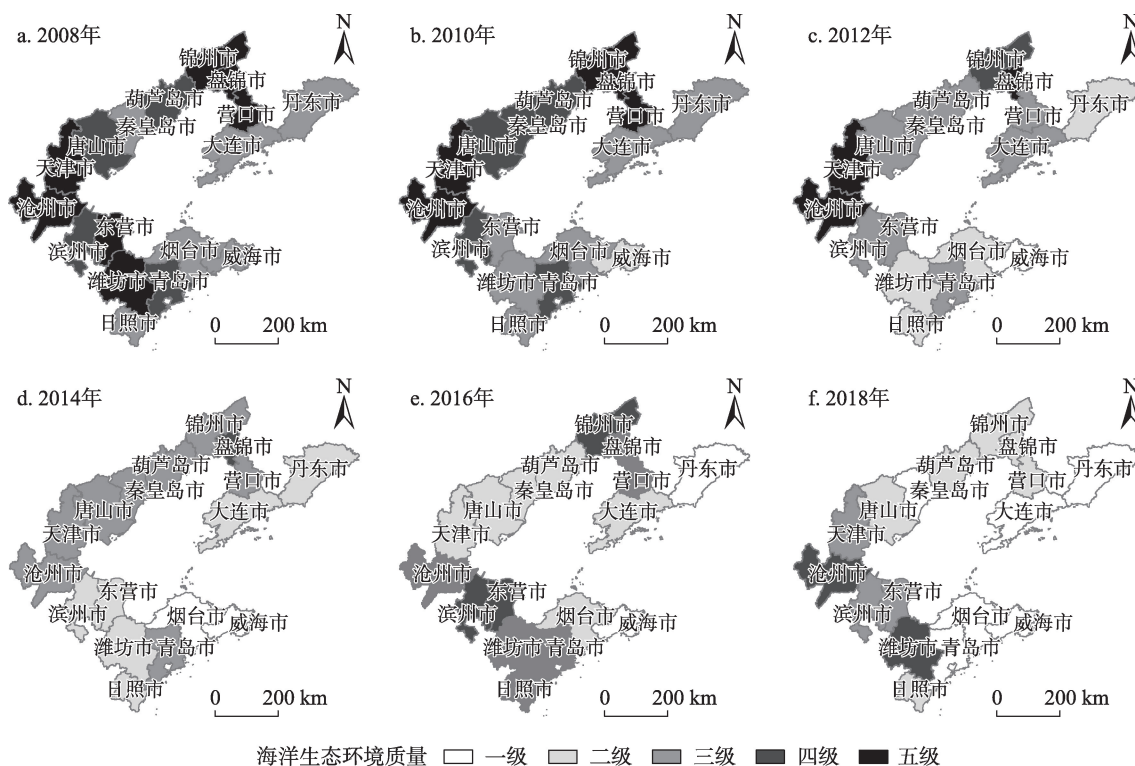


图3 2008—2018年环渤海地区海洋生态环境质量空间分布

Figure 3 Spatial distribution of marine ecological environment quality in the Bohai Rim region, 2008-2018

2008年无一、二级海洋生态环境质量的城市,到2018年这一数量增长至12个,其余城市海洋生态环境质量也所改善,环渤海地区整体海洋生态环境质量提升明显。②从海洋生态环境质量指数多年平均值来看,海洋生态环境质量最差的城市为沧州市,多年平均值为0.608,其次为盘锦市,为0.609。多年来,沧州海域Ⅰ、Ⅱ类海水占比为0或接近于0。一方面,由于渤海湾深入沧州海域内部,海水流动性差,易发生赤潮等灾害;另一方面,沧州市位于九河下梢,特殊的地理位置使沧州地区的市域、省域排污任务繁重。盘锦位于辽河口腹地,由辽河带来的陆源污染物持续汇入辽东湾,加之资源开发型企业对地区海洋资源的过度开发,给盘锦及周边海域海洋生态环境带来了巨大的压力。威海市多年平均值为0.764,为地区最优。威海市位于山东半岛东北端,三面环海,海域面积广阔,海水流动性强。20世纪80年代以来,威海市不断发挥海洋优势、突出海洋特色,探索出一条“人海和谐、生态保护与经济发展共生共荣”的发展路径^[39]。③西部经济区海洋生

态环境质量指数从2008年的0.607上升到2018年的0.702,海洋生态环境质量指数多年平均值为0.662,为三大经济区中最差,区内南(天津、沧州)北(秦皇岛、唐山)差异较大。西部经济区地处渤海湾腹地,独特的地理位置使西部经济区海域密闭性强,海水流动性差,海洋生态环境受陆域影响较大,因此海洋生态环境质量长期处于较低水平。但随着近年来西部经济区沿岸省市对于海洋环境监测与评价、海洋生态环境整治与修复的力度不断深入,海洋生态环境有所好转。④南部经济区海洋生态环境质量指数从2008年的0.643上升到2018年的0.736,海洋生态环境质量指数多年平均值为0.705,为三大经济区中最优,但也存在一些问题:首先,黄河口和莱州湾地带受黄河携带的泥沙和沉积物影响较为严重,且石油等海洋资源的开发给海洋生态环境带来了较强冲击;其次,大规模浒苔泛滥现象的发生,使黄海沿岸的青岛等地深受其影响,2021年,浒苔绿潮最大覆盖面积达到了1746 km²,为近年来最高值,严重影响地区海洋生态环境。⑤

研究期内,北部经济区海洋生态环境质量指数从0.610上升到0.745,增长显著,海洋生态环境质量指数多年平均值为0.666。作为中国重要的老工业基地,北部经济区早期追求经济快速发展,环境保护机制并不完善,在发展过程中“重陆轻海”思想明显,导致许多工业废水、废气及固体废物向海超排、乱排等现象叠生,使海洋生态环境质量下降。党的十八大以来,北部经济区积极响应“生态文明建设”的战略决策,为地区海洋生态环境的提升提供重要保障。

4.1.2 重心迁移分析

为进一步展现环渤海地区海洋生态环境质量演变情况,借助重心迁移模型,利用ArcGIS 10.7软件对2008—2018年环渤海地区全局及地区层面重心转移情况进行分析(图4)。

通过图4a和4e可以发现,2008年海洋生态环境质量重心位于渤海海域($38^{\circ}43'N$, $120^{\circ}10'E$)。从移动方向来看,2008—2018年环渤海地区海洋生态环境质量重心整体上呈“东北—西南—东北”方向分布。其中,2008—2010年重心向南部经济区方向移动,2012—2014年向西部经济区方向移动,2014—2018年向北部经济区方向移动,2018年重心位置落在2008年东北方向。从移动距离来看,2014—2016年移动了7.859 km,为研究时间内移动距离最长,其次是2008—2010年,移动距离为7.465

km,2010—2012年移动最短,为3.281 km,研究期内重心移动总距离为29.221 km,总位移为11.406 km。海洋生态环境质量重心的西移、北移说明近年来西部经济区和北部经济区海洋生态环境相对于南部经济区有着较为明显的改善,这种现象以北部经济区尤为明显。

三大经济区内部海洋生态环境质量重心移动有着较为明显的差异。①2008年,西部经济区重心位于唐山市境内($39^{\circ}23'N$, $117^{\circ}58'E$),以2008年重心为初始点,2008—2018年海洋生态环境质量重心呈“东北—西南—东北—西南—东北”移动(图4b),波动性明显,重心均落在唐山市境内。其中,总移动距离为23.999 km,总位移为1.911 km,2018年重心位置落在2008年东北方向。究其原因,主要是受北部(秦皇岛、唐山)和南部(天津、沧州)的当年海洋生态环境质量影响较大。如2012年,秦皇岛和唐山海洋生态环境质量由四级提升至三级,因此重心明显向东北方向移动;到2014年,天津和沧州由五级提升到三级,重心则向西南方向大幅移动。②2008年,南部经济区海洋生态环境质量重心位于青岛市境内($36^{\circ}52'N$, $119^{\circ}44'E$),以2008年重心为初始点,2008—2018年海洋生态环境质量重心呈“西北—东南—东北”方向移动(图4c),重心均落在青岛市。2008—2018年总移动距离为23.866 km,总位移为7.148 km,2018年重心位于2008年东北方

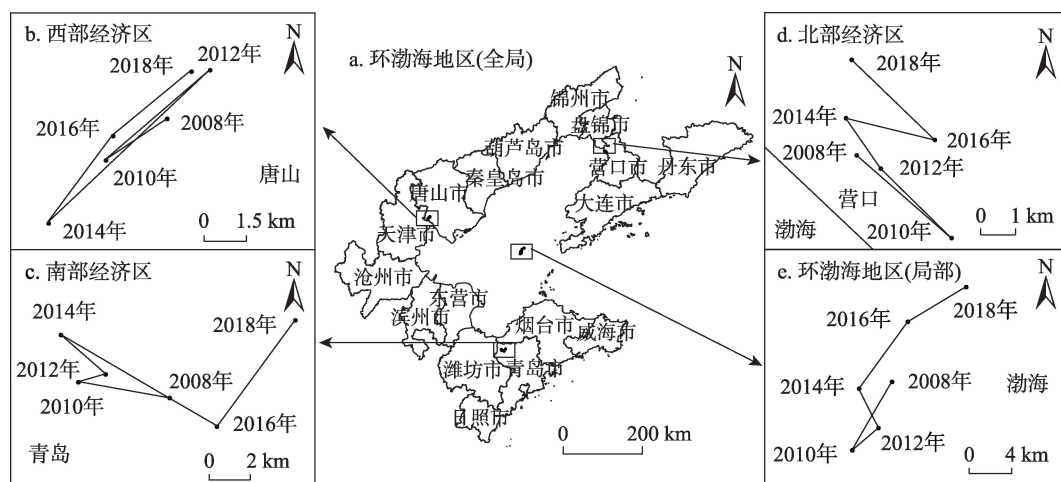


图4 2008—2018年环渤海地区海洋生态环境重心及其转移轨迹演变

Figure 4 Center of gravity of marine ecological environment and its spatial trajectory in the Bohai Rim region, 2008-2018

2022年8月

向。2007年起,浒苔绿潮灾害在东部爆发使海洋生态环境重心呈明显西移的趋势。近年来,随着各级政府治理经验不断丰富,且地处西部的黄河口和莱州湾海域海洋生态环境破坏程度开始加深,重心逐渐开始东移。③2008年,北部经济区海洋生态环境质量重心位于营口市境内($40^{\circ}35'N$, $122^{\circ}10'E$),以2008年重心为初始点,2008—2018年海洋生态环境质量重心呈“西北—东南—西北—东南—西北”移动(图4d),波动性明显,重心均落在营口市境内。2008—2018年总移动距离为14.26 km,2018年重心落在2008年北侧,二者直线距离为2.776 km,说明北部经济区的营口、盘锦等北部沿海城市海洋生态环境质量相较于南部城市有着较大的改观,早在2006年,北部经济区就对双台子河口滨海湿地、鲅鱼圈近岸海域等区域加强保护并提出了政策性建议,使得近年来北部经济区海域尤其是辽东湾、锦州湾沿岸海域海洋生态环境质量提升明显。

4.2 海洋生态环境质量影响因素识别

在进行影响因素分析前,首先要验证环渤海地区海洋生态环境质量是否存在空间效应,若存在空间效应,则需进一步进行模型检验以选择最合适的模型。因此,本文先对海洋生态环境质量进行空间自相关检验,后进行模型检验,最后对海洋生态环境质量影响因素进行效应分析。

4.2.1 空间自相关分析

通过表3可以看出,2008—2018年环渤海地区

海洋生态环境质量的全局Moran's I 指数值均大于0, Z 值大于1.65, P 值小于0.05,说明海洋生态环境质量具有正的空间相关性,且均通过了5%显著水平下检验。因此,环渤海地区海洋生态环境质量具有较为显著的集聚特征。

4.2.2 模型检验

由表4可知,空间误差模型和空间滞后模型的LM检验及LM稳健性检验均通过显著性检验;空间杜宾模型的Wald检验和LR检验均通过了显著性检验,即拒绝可以简化的原假设,表明空间杜宾模型不可简化为空间滞后模型或空间误差模型,因此选用空间杜宾模型;Hausman统计量为193.72且显著($P=0.000$),因此选择固定效应模型合适。进一步,时间固定效应、个体固定效应及双固定效应的拟合度分别为0.587、0.018、0.026,因此选择时间固定效应模型。

4.2.3 影响因素的全局效应分解

由表5的模拟结果可知,科技水平($B1$)、科技投入($B2$)、环境规制($C5$)、生活水平($D3$)与对环渤海地区海洋生态环境质量产生了显著的正向影响;工业化水平($A2$)、农业污染($C1$)、废水排放($C2$)、碳排放量($C4$)和劳动力结构($D2$)则对海洋生态环境质量存在显著负向抑制;环境规制($C5$)则对海洋生态环境质量有着明显的正向溢出效应;而工业化水平($A2$)、废水排放($C2$)、碳排放量($C4$)和劳动力结构($D2$)则对于海洋生态环境质量存在负向的溢出影

表3 2008—2018年环渤海地区海洋生态环境质量全局Moran's I 指数

Table 3 Global Moran's I index of marine ecological environment quality in the Bohai Rim region, 2008-2018

年份	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
I	0.039	0.042	0.087	0.104	0.109	0.119	0.115	0.104	0.063	0.047	0.068
Z	1.653	1.724	2.528	2.814	2.877	3.158	2.973	2.838	2.079	1.800	2.229
P	0.049	0.042	0.006	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.019	0.036	0.013

表4 空间计量模型选择检验

Table 4 Tests of spatial econometric models

模型	LM检验	Wald检验	LR检验	SDM模型效应选择	
SLM模型	24.882(0.000)	247.11(0.000)	84.76(0.000)	时间固定效应	0.587
SEM模型	10.537(0.001)	308.48(0.000)	83.41(0.000)	个体固定效应	0.018
稳健SLM模型	15.110(0.000)			双固定效应	0.026
稳健SEM模型	14.764(0.002)			Hausman统计量	193.72(0.000)

注:括号内数值为 P 值。

表5 环渤海地区空间杜宾模型模拟结果

Table 5 Estimation results of the spatial Durbin model in the Bohai Rim region

子系统	变量	回归系数	滞后变量	回归系数	其他检验值	
A 经济	lnA1	0.0402(0.51)	WlnA1	0.4128(0.93)	Log L	384.0723
	lnA2	-0.0028***(-2.92)	WlnA2	-0.0095*(-1.92)	ρ	0.2638***
	lnA3	0.0098(1.15)	WlnA3	-0.0169(-1.34)	R ²	0.587
B 科技	lnB1	0.0109**(2.23)	WlnB1	0.0386(0.94)		
	lnB2	0.0009*(1.81)	WlnB2	0.0006(1.62)		
	lnB3	0.0007(0.92)	WlnB3	0.0050(1.04)		
C 陆域环境	lnC1	-0.0026**(-2.51)	WlnC1	-0.0036(-0.66)		
	lnC2	-0.0912**(-2.47)	WlnC2	-0.0433*(-1.90)		
	lnC3	0.1141(1.55)	WlnC3	0.4158(1.13)		
	lnC4	-0.0023***(-3.49)	WlnC4	-0.0044*(-1.84)		
	lnC5	0.1047*(1.75)	WlnC5	0.1602*** (3.19)		
D 社会	lnD1	-0.0009(-1.06)	WlnD1	-0.0031(-1.19)		
	lnD2	-0.0035***(-4.50)	WlnD2	-0.0088***(-2.95)		
	lnD3	0.0187*(1.78)	WlnD3	0.0119(0.21)		

注:***、**、*分别代表在1%、5%、10%水平下显著,括号里数值为t值,下同。

响。由此不难发现,环境规制对于海洋生态环境的正向影响最大,而废水排放则在诸多海洋生态环境的威胁因素中位居首位(绝对值最大)。因此,如何提升海洋环境规制效率并降低陆源废水排放对海洋生态环境的影响成为了环渤海地区海洋生态环境向好发展的首要目标。

由于SDM模型在回归过程中考虑到了邻近地区相关变量对海洋生态环境质量的影响,且环渤海

地区各区域在经济、科技、陆域环境和社会等方面有较大差异,需进一步对模拟结果进行效应分解。因此,先从环渤海地区层面对全局影响效应进行分解,再从三大经济区层面进行分区分解。由表6可知,各影响因素对环渤海地区海洋生态环境质量的影响程度及显著性不同,且相同因素对于海洋生态环境质量影响的直接效应和间接效应也存在着较大的差异性。具体来看:

表6 环渤海地区全样本空间杜宾模型效应分解

Table 6 Effect decomposition of the spatial Durbin model in full sample space in the Bohai Rim region

子系统	变量	直接效应	间接效应	总效应
A 经济	A1	0.0293(0.40)	0.2791(0.93)	0.3084(0.90)
	A2	-0.0027***(-2.72)	-0.0057*(-1.71)	-0.0083**(-2.16)
	A3	0.0051(0.58)	-0.0029(-1.18)	0.0022(1.25)
B 科技	B1	0.0096**(2.03)	0.0211(0.80)	0.0307(1.08)
	B2	0.0007*(1.76)	0.0004(1.63)	0.0011(1.41)
	B3	0.0005(0.74)	0.0035(1.15)	0.0040(1.22)
C 陆域环境	C1	-0.0025***(-2.84)	-0.0017(-0.47)	-0.0042(-1.04)
	C2	-0.0870**(-2.31)	-0.0651**(-2.02)	-0.1521*(-1.78)
	C3	0.1064(1.53)	0.2511(0.98)	0.3575(1.31)
	C4	-0.0022***(-3.48)	-0.0024*(-1.91)	-0.0046*(-1.65)
	C5	0.1364*(1.86)	0.1125*** (3.18)	0.2489*** (3.04)
D 社会	D1	-0.0008(-1.18)	-0.0020(-1.02)	-0.0028(-1.34)
	D2	-0.0033***(-4.20)	-0.0049**(-1.98)	-0.0081***(-2.72)
	D3	0.0202*(1.90)	-0.0123(-0.31)	0.0079(0.19)

2022年8月

(1)经济子系统中:①经济发展的直接效应和间接效应均为正且不显著。经济基础优势较为明显,可以带来更多资金投入生态环境保护中来,但从另一个角度来看,经济快速发展过程中,也常常对海洋生态环境带来一些负面影响。②工业化水平的直接效应和间接效应均为负且显著。环渤海地区位于辽中南工业区、京津唐工业区腹地,工业基础雄厚,高耗能高污染企业集聚加剧产业间竞争的同时,也加速对于海洋资源与能源的开发利用,从而影响沿海地区生态环境。③产业结构的直接效应为正但不显著,间接效应为负且不显著。经过改革开放40多年来对于产业结构的不断优化,区域海洋产业结构趋于合理,但产业同构化造成以发展滨海旅游产业为代表的大连、青岛等城市海洋第三产业集聚化严重,加大了滨海旅游等资源的压力。

相对于经济较弱的沿海地区,经济较强的“增长极”拥有更优的产业基础与营商环境,对外吸引能力更强,并可以有效带动地区产业集聚。但在经济增长的初期,高耗能、高污染工业企业的集聚使得沿海地区环境污染产生较强的溢出效应,对海域及周边经济较弱地区产生影响,且影响范围不断扩大。当“增长极”积累到一定资本后,通过一系列经济政策,促进产业结构优化,并努力推动循环经济,加大地区科技投入,以吸引高技术投资,从而寻求地区经济高质量发展。在此过程中,“增长极”的外部吸引能力更强,因此拥有更多资本投入到海洋生态环境保护中,海洋环境明显改善;而经济较弱地区的外部吸引能力则较弱,易造成经济发展滞缓,从而对海洋环境治理的投入不足,污染形势依然严

峻。由此可见,经济水平的明显差别带来了地区经济增长与海洋生态环境之间的“马太效应”(图5)。

(2)科技子系统中:①科研水平的直接效应显著为正,间接效应为正但不显著。科技水平的提升吸引更多人才流入,推动地区科技水平发展,进而拥有更多科技人才投入到海洋生态环境保护中来。京津冀城市群、辽中南城市群、山东半岛城市群等概念的提出加强了区域间科技合作,但这种合作大多还基于陆域间,缺乏涉海联动。②科技投入的直接效应显著为正,间接效应为正但不显著。科技投入表明各级政府对于科技发展的支持力度。随着“海洋强国”等一系列涉海战略的颁布,各级政府海洋科技力量的重视程度日趋加深,对海洋生态环境有一定的改善。但目前大部分科技投入还基于海洋资源的二次开发与深度利用,有关海洋高新技术的投入还有待提高。③科技产出的直接效应和间接效应均为正但不显著。长时间内,环渤海地区海洋科学研究大多针对海洋资源开发与规划,研究较为单一且产出质量有限、产出效率较低,因此不显著。

(3)陆域环境子系统中:①农业污染的直接效应显著为负,间接效应为负但不显著。由于长时间农用化肥使用导致氮、磷等元素在土壤中难以被分解,经过不断沉积,对陆域水环境产生较为严重的影响,进一步对海洋水环境、海洋水生生物造成影响。②废水排放的直接效应和间接效应均显著为负。工业废水和生活污水的过度排放一直是海洋生态环境重要的威胁之一,环渤海地区亦是如此。废水排放量每上升10%,环渤海地区海洋生态环境质量将下降0.870%,并使周边地区海洋生态环境质

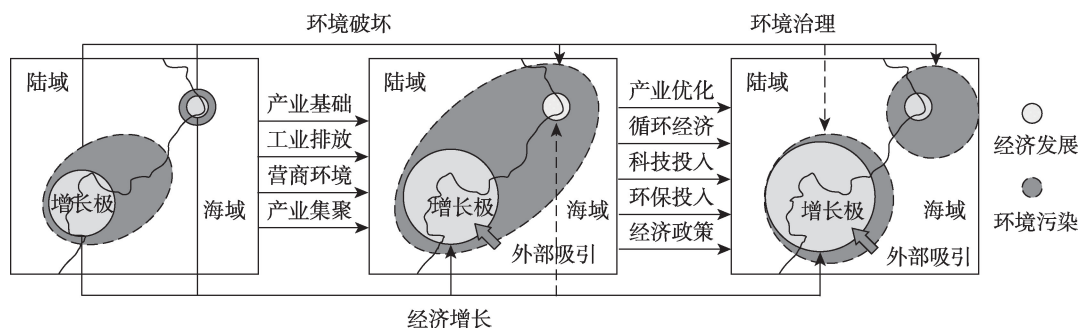


图5 环渤海地区海洋环境与经济增长关系演化

Figure 5 Evolution of the relationship between marine environment and economic growth in the Bohai Rim region

量下降0.651%。③生态优化的直接效应和间接效应均为正但不显著。陆域生态优化对于海洋生态环境的影响存在长期的过程,且沿海地带的生态优化对于生态系统的影响是复杂的,因此效应不显著。④碳排放量的直接效应和间接效应均显著为负。碳排放量的不断增多使海洋酸化问题严重,导致海洋生物多样性显著下降,进而影响海洋生态环境。过量的碳排放极有可能通过迁移影响周边地区,进而引发海洋生态环境污染等问题。⑤环境规制的直接效应和间接效应均显著为正。随着管理部门对于涉海政策的落实和环保意识的加深,各级政府都对环境治理问题高度重视。因此,环保投入的不断增多对海洋生态环境改善明显。

(4)社会子系统中:①城市化水平的直接效应和间接效应均为负但不显著。人口迁移和转化过程中带来城市化水平的变化,给区域生态环境带来了巨大的压力,但陆域人口转化对于海洋资源、环境的影响有明显的滞后性,因此不显著。②劳动力结构的直接效应和间接效应均显著为负。地区海洋第一产业主要形式仍为滨海渔业及滨海资源开发,不合理的资源开发带来环境污染与破坏,第一产业从业人员占比不断增加则加速了资源的开发程度,带来的环境污染与破坏也更严重。③生活水平的直接效应为正且显著,间接效应为负但不显

著。随着生活水平的提高,人们对于高质量生活环境的需求也更加迫切,环境保护意识进一步深化,有助于优化海洋生态环境。

通过上述分析可知,陆域生态环境变化对海洋生态环境变化起到至关重要的作用,且陆域环境污染存在着向海转移的趋势,尤其是海陆交汇地带的作用更加明显,但对海洋生态环境影响因素的空间作用程度及空间集聚(或溢出)效应存在不确定性(图6a)。通过进一步分析发现,在社会发展初期,陆域要素可以满足人类正常生产生活,因此海陆间交流较少,环境要素多受陆域(或海域)单一层面影响。随着海陆交互作用日趋频繁,海陆联系更加紧密,在多要素长期积累的影响下,陆域环境对海洋生态环境影响的溢出效应明显,加速了海洋生态环境的恶化。随着生产效率的不断提升,要素间联系逐渐多元化,且在要素投入过程中,逐步确立起高效能、低污染、可持续的发展模式,使得污染流动显著降低,海洋生态环境逐渐好转(图6b)。

4.2.4 影响因素的分区效应分解

通过环渤海地区三大经济区影响因素的空间杜宾模型结果进行效应分解(表7),得出以下结果:

(1)西部经济区:①经济子系统:经济发展(A1)的间接效应显著为正,工业化水平(A2)的直接效应和间接效应显著为负,产业结构(A3)的直接效应显著为正,其他效应不显著。随着京津冀一体化政策

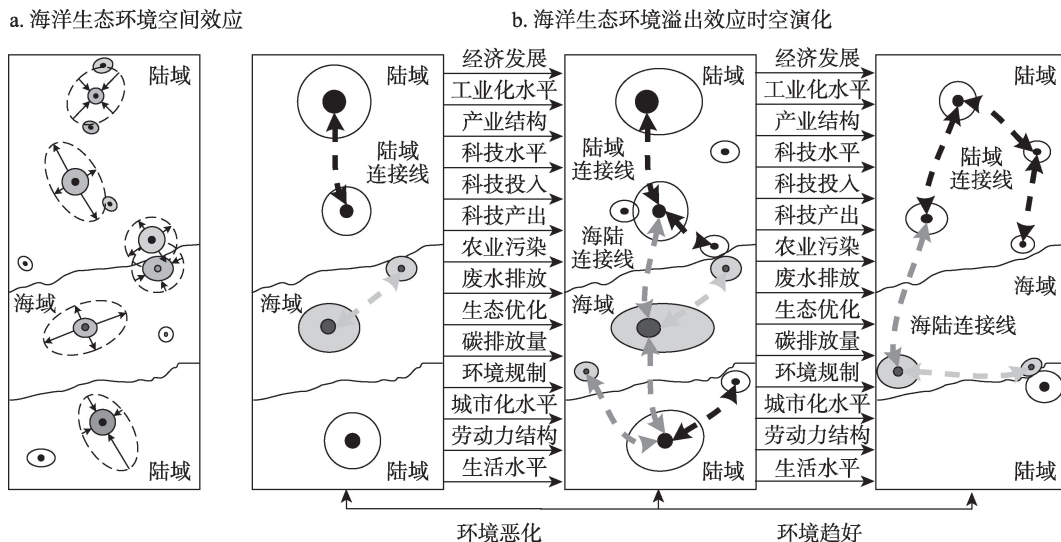


图6 环渤海地区海洋环境空间效应及时空变化格局

Figure 6 Spatial effect and spatial-temporal change patterns of marine environment in the Bohai Rim region

2022年8月

表7 三大经济区样本空间杜宾模型的效应分解

Table 7 Effect decomposition of spatial Durbin model in sample spaces of the three economic regions

子系统	变量	西部经济区		南部经济区		北部经济区	
		直接效应	间接效应	直接效应	间接效应	直接效应	间接效应
A 经济	A1	0.5392 (1.10)	1.6541* (1.68)	0.8146*** (4.56)	-0.7170 (-1.48)	0.4595 (1.30)	1.7253 (1.23)
	A2	-0.0102* (-1.71)	-0.0252* (-1.92)	-0.0007 (-0.31)	0.0063 (0.95)	-0.0032* (-1.87)	-0.0143* (-1.79)
	A3	0.7180** (2.29)	1.3195 (1.39)	-0.2373 (-1.53)	1.0358*** (2.91)	-0.1296 (-1.15)	0.5260 (1.22)
B 科技	B1	0.0020 (0.11)	0.0284 (0.74)	0.0118*** (2.75)	0.0421 (0.65)	-0.0250 (-0.42)	-0.4049 (-1.43)
	B2	0.0021*** (3.72)	0.0045*** (3.26)	0.0002 (1.16)	0.0005 (1.31)	-0.0000 (-0.25)	-0.0004 (-0.59)
	B3	0.0094*** (2.62)	0.0140 (1.53)	0.0076*** (2.71)	-0.0039 (-0.57)	0.0018 (1.06)	0.0082 (1.26)
C 陆域环境	C1	-0.0172** (-1.99)	0.0233 (0.93)	-0.0061** (-1.99)	0.0033 (0.46)	-0.0227 (-1.25)	0.0088 (0.43)
	C2	0.0980 (1.46)	-0.2498** (-2.07)	-0.0071 (-0.31)	-0.0607** (-2.09)	-0.0685** (-2.18)	-0.0669*** (-2.86)
	C3	-0.4965 (-0.66)	-0.5298 (-0.43)	0.6297** (2.31)	0.3252 (0.41)	0.0945** (1.98)	0.2803 (0.91)
	C4	-0.0027** (-2.45)	-0.0095 (-0.80)	-0.0097* (-1.85)	-0.0085** (-2.28)	-0.0092*** (-3.07)	-0.0003 (-0.02)
	C5	0.2763*** (4.26)	0.5392*** (3.24)	0.0328** (2.17)	-0.0244 (-0.49)	0.1130** (2.01)	-0.0832 (-0.52)
D 社会	D1	-0.1097** (-1.97)	0.0288 (1.36)	-0.0005 (-0.12)	-0.0116** (-2.00)	-0.0027** (-2.25)	0.0028 (0.73)
	D2	-0.0276 (-1.06)	-0.0144 (-0.90)	-0.0026** (-2.08)	0.0141 (0.20)	-0.0034* (-1.89)	-0.0172** (-2.41)
	D3	0.1703*** (3.46)	0.1800* (1.75)	0.0277 (1.43)	-0.0703 (-1.09)	0.0063 (0.29)	0.0242 (0.22)

的落实,使西部经济区突破行政区划进行经济发展和产业优化,并进一步推动海洋生态环境高效发展。但首钢等企业迁移到沿海地区也使工业化水平对海洋生态环境产生一定外溢性影响。②科技子系统:科技投入(B2)的直接效应和间接效应、科技产出(B3)的直接效应显著为正,其他不显著。近年来,国家对于京津冀地区的重视程度不断加深,由此带来了较多的科技投入,并驱动地区海洋科技发展,使科技产出效率持续增加。③陆域环境子系统:农业污染(C1)、碳排放量(C4)的直接效应显著为负,废水排放(C2)的间接效应显著为负,环境规制(C5)的直接效应和间接效应均显著为正,其他不显著。西部经济区是中国大气污染最严重的地区之一,过量的碳排放阻碍陆海间碳循环过程,给海

洋生态环境带来巨大压力。此外,在农业发展进程中,过量农药化肥的使用带来土壤重金属集聚,滦河、海河等携带的污染物入海和陆域入海排污口排污严重影响造成近岸地区发生赤潮等污染,因此,“治海”就要先“治陆”。随着近年来海洋环境治理投资增多,海洋生态环境有所改善。④社会子系统:城市化水平(D1)直接效应显著为负,生活水平(D3)的直接效应和间接效应均显著为正。西部经济区人口基数较大,在城市化提升过程中对于资源、环境的需求更大,迫使人类向海要地,海洋生态环境受到一定程度的威胁。此外,西部经济区近年来发展迅速,居民生活水平显著提高,使人们的消费观、价值观不断提升,消费模式逐步向绿色消费转变,有利于提升海洋生态环境质量。

(2)南部经济区:①经济子系统:经济发展(A1)的直接效应、产业结构(A3)的间接效应显著为正。青岛、烟台等城市经济发展水平较高,可以有更多资金投入到海洋生态环境保护中来。近年来,南部经济区努力推动区域间产业协同,产业结构更加合理的同时,也避免了资源浪费,根据空间杜宾模型模拟结果,产业结构水平每提升10%,周边地区海洋生态环境质量提升10.358%,溢出效应明显。②科技子系统:科技水平(B1)、科技产出(B3)的直接效应显著为正,其他不显著。南部经济区海洋高级科研人员占到全国50%以上,处于全国前列,由此拥有更多专业人才针对海洋生态环境问题进行研究并提出相应对策、建议。③陆域环境子系统:农业污染(C1)的直接效应、废水排放(C2)的间接效应显著为负,生态优化(C3)和环境规制(C5)的直接效应显著为正,碳排放量(C4)的直接效应和间接效应均显著为负,其他不显著。南部经济区所处的山东省是中国的人口大省和产粮大省,人类生活需求量的增大导致农业面源污染量和碳排放量增多,尤其是经肥料、农药等污染过的废水直接排入海洋,导致近岸海域海水富营养化严重,且受废水排放等影响,极易发生海水污染。作为海洋强省,近年来,南部经济区各级政府不断加大环保资金投入与政策支持,努力推动海洋生态环境优化,以创造绿色可持续发展的海洋生态环境。④社会子系统:城市化水平(D1)间接效应显著为负,劳动力结构(D2)直接效应显著为负,其他不显著。伴随着城市化水平的提升和劳动力结构的优化,青岛、烟台等城市发展迅猛,形成增长极;而莱州湾生态监控区受围填海工程等因素的影响,海洋生态环境质量多年处于不健康状态,在区域发展中明显处于不利地位^[22]。因此,城市发展速度越快,“两极化”的趋势也越明显。

(3)北部经济区:①经济子系统:工业化水平(A2)直接效应和间接效应均显著为负,其他效应均不显著。北部经济区是中国传统的老工业基地,以矿产开发、石油化工代表的传统工业集聚明显,对海洋生态环境影响较大。此外,北部经济区近年来经济发展较为滞缓,产业结构不稳定。因此,其他效应不明显。②科技子系统:均不显著。北部经济区技术密集型产业发展滞后,加之东北地区人口净

流出严重,尤其是大量技术性人才的流失造成地区科技发展严重滞缓。③陆域环境子系统:废水排放(C2)的直接效应和间接效应均显著为负,碳排放量(C4)的直接效应显著为负,生态优化(C3)和环境规制(C5)的直接效应显著为正,其他不显著。高耗能、高污染工业的发展带来过量的碳排放及废水排放对环渤海地区海洋生态环境影响显著,且辽东湾的封闭性导致废水排放对于海洋生态环境的溢出性明显,随着各级部门生态环境投资的增多、生态优化力度的增强,海洋生态环境有一定的改善。④社会子系统:城市化水平(D1)直接效应显著为负,劳动力结构(D2)直接效应和间接效应显著为负,其他不显著。北部经济区早期城市化水平较高,城市空间不断向海域扩展,且涉海劳动力结构较为单一,劳动力大多为资源指向型,在资源禀赋有限的情况下,加速对于海洋资源的开发,由此对海洋生态环境的影响更加显著。

5 结论与政策建议

5.1 结论

本文采用熵权TOPSIS方法对环渤海地区海洋生态环境质量进行评价,借助重心迁移模型刻画海洋环境质量重心迁移路径,并利用空间杜宾模型对地区海洋生态环境质量影响因素进行识别,得出以下结论:

(1)2008—2018年间,环渤海地区海洋生态环境整体呈向好状态,偶有波动。一、二级水平城市数量由无增加到12个,其中,海洋生态环境水平最优的城市为威海,最差的为沧州。分地区来看,西部经济区、南部经济区、北部经济区海洋生态环境质量最好的城市分别为秦皇岛、威海和大连。从重心迁移方向来看,环渤海地区整体向西再向北移动,2014—2016年重心移动最明显;西部经济区沿“西南—东北”向移动,且两经济区重心移动波动性明显;南部经济区重心先向西北移动,再向东南移动,最后向东北移动;北部经济区重心沿“西北—东南”向移动。

(2)从环渤海地区区域整体来看,环境规制对于海洋生态环境的提升效果最明显,存在着显著的直接效应和间接效应;此外,科技水平、科技投入、生活水平均对海洋生态环境存在着正向的直接效

2022年8月

应;工业化水平、废水排放、碳排放量和劳动力结构对海洋生态环境产生阻碍,且存在显著的直接效应和间接效应;农业污染则对海洋生态环境存在负向直接效应。

(3)分区域来看:①西部经济区产业结构、科技投入、科技产出、环境规制、生活水平直接提升海洋生态环境水平,经济发展、科技投入、环境规制、生活水平间接提升海洋生态环境水平,工业化水平、农业污染、碳排放量、城市化水平直接对海洋生态环境造成阻碍,而工业化水平和废水排放则间接破坏海洋生态环境质量。②南部经济区经济发展、科技水平、科技产出、生态优化、环境规制直接提升海洋生态环境水平,产业结构间接提升海洋生态环境水平,农业污染、碳排放量、劳动力结构直接破坏海洋生态环境,而废水排放、碳排放量、城市化水平则间接对海洋生态环境造成阻碍。③北部经济区生态优化和环境规制直接推动地区海洋生态环境发展,工业化水平、废水排放、碳排放量、城市化水平、劳动力结构则直接阻碍海洋生态环境,工业化水平、废水排放、劳动力结构则间接对海洋生态环境产生影响。

5.2 政策建议

本文通过对环渤海地区海洋生态环境评价及其影响因素的研究,发现地区整体海洋生态环境水平虽逐年上升,但偶有不稳定现象发生,且区域整体与区域内部各经济区影响因素的异质性显著。针对当前研究,提出以下政策建议:

(1)从区域整体来看:①发展海洋经济的同时,推动发展高质量低污染企业,以减少工业污染对于海洋生态环境的影响。同时,在稳定产业结构的基础上,积极推动海洋产业结构多元化发展,尤其是开展有关海洋高新技术的发展。②努力提升海洋科技创新能力,加大有关创新投入。此外,鉴于科技产出的直接效应和间接效应均不显著的问题,应尝试加大科技产出效率,加强地区间科技合作。③着力加强环境规制,提高环境保护投资水平。继续提升废水排放标准,严格控制未经处理的废水直排入河、入海。同时,减少农化肥的使用,并进一步控制过量的碳排放问题。④不断优化劳动力结构,努力将劳动力由原有的传统第一产业转化到新型

第一产业或其他海洋产业。此外,努力提升居民生活水平,以实现海洋生态环境可持续发展。

(2)分地区来看:①西部经济区坚定落实京津冀一体化政策,在区域发展过程中淡化行政概念,提升居民环保意识,发展绿色海洋经济,不断优化产业结构,并努力提高科技投入、产出水平,以实现区域协调、稳定发展。针对陆域环境的一系列问题,应着力解决“治海”先“治陆”的问题。②南部经济区在发展经济的同时,应促进区域联动,避免区域发展“两极化”现象,并加强黄河口、莱州湾及重点河口、海湾的环境监测并严格控制陆源污染物排放。此外,在继续提升科技水平的同时,加强南部经济区的科技辐射效应,带动周边地区科技发展,以实现区域高质量发展。③北部经济区应继续提升生态优化和环境规制水平,严格控制高污染排放问题,优化人口结构,摒弃单一的传统海洋产业发展模式,寻求发展多元化海洋产业。针对科技子系统各因素对于海洋生态环境影响均不显著的问题,应采取响应措施缓解人口流失问题,并积极加强人才引进的力度。

参考文献(References):

- [1] 盖美, 聂晨, 柯丽娜. 环渤海地区经济-资源-环境系统承载力及协调发展[J]. 经济地理, 2018, 38(7): 163-172. [Gai M, Nie C, Ke L N. Carrying capacity and coordinated development of ERE system in the coastal area of Bohai Sea[J]. Economic Geography, 2018, 38(7): 163-172.]
- [2] 人民网. 世界海洋日, 感受习近平建设海洋强国的“蓝色信念”[N/OL]. (2020-06-07) [2021-12-12]. <http://politics.people.com.cn/n1/2020/0607/c1001-31738010.html>. [Peoples Network. On World Ocean Day, Feel Xi Jinping's 'Blue Faith' in Building a Maritime Power[N/OL]. (2020-06-07) [2021-12-12]. <http://politics.people.com.cn/n1/2020/0607/c1001-31738010.html>.]
- [3] 孙才志, 李博, 郭建科, 等. 改革开放以来中国海洋经济地理研究进展与展望[J]. 经济地理, 2021, 41(10): 117-126. [Sun C Z, Li B, Guo J K, et al. Progress and prospect of China's marine economic geography since the Reform and Opening-up[J]. Economic Geography, 2021, 41(10): 117-126.]
- [4] 中国政府网. 中共中央、国务院关于全面加强生态环境保护 坚决打好污染防治攻坚战的意见[N/OL]. (2018-06-24) [2021-12-12]. http://www.gov.cn/zhengce/2018-06/24/content_5300953.htm. [The Chinese Government Website. Opinions of the CPC Central Committee and the State Council on Comprehensively

- Strengthening Ecological Environment Protection and Resolutely Fighting the Tough Battle of Pollution Prevention and Control [N/OL]. (2018-06-24) [2021-12-12]. <http://www.gov.cn/zhengce/> 2018-06/24/content_5300953.htm.]
- [5] 雷磊, 高秋香, 杨晨. 中国海域使用演变特征及发展趋势分析[J]. 资源科学, 2017, 39(11): 2030-2039. [Lei L, Gao Q X, Yang C. The variations and trend analyses of sea area use in China[J]. Resources Science, 2017, 39(11): 2030-2039.]
- [6] Gissi E, Manea E, Mazaris A D, et al. A review of the combined effects of climate change and other local human stressors on the marine environment[J]. The Science of the Total Environment, 2021, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142564.
- [7] 韩婕妤. 中国近岸海域环境质量演变及驱动因素研究[J]. 资源开发与市场, 2019, 35(9): 1133-1137. [Han J Y. Study on evolution and driving factors of ecological environment in China's coastal waters[J]. Resource Development and Market, 2019, 35(9): 1133-1137.]
- [8] 杜元伟, 王一凡, 孙浩然. 不确定环境下海洋牧场生态安全评价: 以荣成市国家级海洋牧场示范区为例[J]. 资源科学, 2021, 43(10): 2055-2067. [Du Y W, Wang Y F, Sun H R. Ecological security evaluation of marine ranching under uncertainty: A case study of national marine ranching demonstration zones in Rongcheng[J]. Resources Science, 2021, 43(10): 2055-2067.]
- [9] Okafor-Yarwood I. The effects of oil pollution on the marine environment in the Gulf of Guinea: The Bonga Oil Field example[J]. Transnational Legal Theory, 2018, 9(3): 254-271.
- [10] Singh A, Mee L. Examination of policies and MEAs commitment by SIDS for sustainable management of the Caribbean Sea[J]. Marine Policy, 2008, 32(3): 274-282.
- [11] Kenny A J, Jenkins C, Wood D, et al. Assessing cumulative human activities, pressures, and impacts on North Sea benthic habitats using a biological traits approach[J]. ICES Journal of Marine Science, 2018, 75(3): 1080-1092.
- [12] Ghamkhar R, Boxman S E, Main K L, et al. Life cycle assessment of aquaculture systems: Does burden shifting occur with an increase in production intensity?[J]. Aquacultural Engineering, 2021, DOI: 10.1016/j.aquaeng.2020.102130.
- [13] Tenaw D, Beyene A D. Environmental sustainability and economic development in sub-Saharan Africa: A modified EKC hypothesis [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2021, DOI: 10.1016/j.rser.2021.110897.
- [14] Easman E S, Abernethy K E, Godley B J. Assessing public awareness of marine environmental threats and conservation efforts[J]. Marine Policy, 2018, 87: 234-240.
- [15] 刘学海. 渤海近岸水域环境污染状况分析[J]. 环境保护科学, 2010, 36(1): 14-18. [Liu X H. Analysis on environment situation of coastal areas of Bohai Sea[J]. Environmental Protection Science, 2010, 36(1): 14-18.]
- [16] Hassan I A, Younis A, Al Ghamdi M A, et al. Contamination of the marine environment in Egypt and Saudi Arabia with personal protective equipment during COVID-19 pandemic: A short focus[J]. Science of the Total Environment, 2022, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152046.
- [17] 吴好婷, 白佳玉. 基于可持续发展目标的海洋资源综合立法[J]. 资源科学, 2022, 44(2): 401-413. [Wu Y T, Bai J Y. Integrated legislation of marine resources based on the sustainable development goals[J]. Resources Science, 2022, 44(2): 401-413.]
- [18] 盖美, 何亚宁, 柯丽娜. 中国海洋经济发展质量研究[J]. 自然资源学报, 2022, 37(4): 942-965. [Gai M, He Y N, Ke L N. Research on the development quality of China's marine economy[J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(4): 942-965.]
- [19] 王泽宇, 程帆. 中国海洋环境规制效率时空分异及影响因素[J]. 地理研究, 2021, 40(10): 2885-2896. [Wang Z Y, Cheng F. Spatio-temporal differentiation and influencing factors of China's marine environmental regulation efficiency[J]. Geographical Research, 2021, 40(10): 2885-2896.]
- [20] 潘静云, 章柳立, 李挚萍, 等. 陆海统筹背景下我国海洋生态修复制度构建对策研究[J]. 海洋湖沼通报, 2022, 44(1): 152-159. [Pan J Y, Zhang L L, Li Z P, Study on the establishment of marine ecological restoration system in China[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2022, 44(1): 152-159.]
- [21] 范海梅, 蒋晓山, 纪焕红, 等. 长江口及其邻近海域生态环境综合评价[J]. 生态学报, 2019, 39(13): 4660-4675. [Fan H M, Jiang X S, Ji H H, et al. Integrated evaluation of the marine ecological environment in the Yangtze River Estuary and its adjacent area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(13): 4660-4675.]
- [22] 杨湘艳, 余静. 基于贝叶斯网络的海洋生态环境状况评价: 以山东省为例[J]. 海洋通报, 2021, 40(4): 473-480. [Yang X Y, Yu J. Assessment of marine ecological environment based on Bayesian networks: A case study of Shandong Province[J]. Marine Science Bulletin, 2021, 40(4): 473-480.]
- [23] 陈曼, 甘臣林, 梅昀, 等. 农户生计视角下农地流转绩效评价及障碍因子诊断: 基于武汉城市圈典型农户调查[J]. 资源科学, 2019, 41(8): 1551-1562. [Chen M, Gan C L, Mei Y, et al. Farmland transfer performance and obstacles from the perspective of farmers' livelihood: Based on rural household survey of greater Wuhan Metropolitan Area[J]. Resources Science, 2019, 41(8): 1551-1562.]
- [24] 罗海平, 邹楠, 胡学英, 等. 1980-2019年中国粮食主产区主要粮食作物气候生产潜力与气候资源利用效率[J]. 资源科学, 2021, 43(6): 1234-1247. [Luo H P, Zou N, Hu X Y, et al. Climatic potential productivity and resources utilization efficiency of major grain crops in the main grain production areas of China, 1980-2019[J]. Resources Science, 2021, 43(6): 1234-1247.]

2022年8月

- [25] 盖美, 秦冰, 郑秀霞. 经济增长动能转换与绿色发展耦合协调的时空格局演化分析[J]. 地理研究, 2021, 40(9): 2572–2590. [Gai M, Qin B, Zheng X X. The evolution of the spatiotemporal pattern of the coupling and coordination between economic growth kinetic energy conversion and green development[J]. Geographical Research, 2021, 40(9): 2572–2590.]
- [26] 朱玉鑫, 姚顺波. 基于生态系统服务价值变化的环境与经济协调发展研究: 以陕西省为例[J]. 生态学报, 2021, 41(9): 3331–3342. [Zhu Y X, Yao S B. The coordinated development of environment and economy based on the change of ecosystem service value in Shaanxi Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(9): 3331–3342.]
- [27] 田立涛, 王少剑. 珠三角地区科技创新与生态环境的耦合协调发展研究[J]. 生态学报, 2022, 42(15): 6381–6394. [Tian L T, Wang S J. Coupling and coordinated development between technological innovation and ecological environment in the Pearl River Delta region[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(15): 6381–6394.]
- [28] 李华, 高强, 丁慧媛. 中国海洋经济发展的生态环境响应变化及影响因素分析[J]. 统计与决策, 2020, 36(20): 114–118. [Li H, Gao Q, Ding H Y. Analysis of ecological environment response changes and influencing factors of China's marine economic development[J]. Statistics and Decision, 2020, 36(20): 114–118.]
- [29] 宋强敏, 孙才志, 盖美. 基于非期望超效率模型的辽宁沿海地区海洋生态效率测算及影响因素分析[J]. 海洋通报, 2019, 38(5): 508–518. [Song Q M, Sun C Z, Gai M. Calculation of marine ecological efficiency and analysis of influencing factors in coastal areas of Liaoning based on unexpected super efficiency model[J]. Marine Science Bulletin, 2019, 38(5): 508–518.]
- [30] 汪永生, 李宇航, 揭晓蒙, 等. 中国海洋科技-经济-环境系统耦合协调的时空演化[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(8): 168–176. [Wang Y S, Li Y H, Jie X M, et al. Coupling between marine technology, economy and environment systems in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2020, 30(8): 168–176.]
- [31] 王晓辰, 韩增林, 彭飞, 等. 中国海洋科技创新效率发展格局演变与类型划分[J]. 地理科学, 2020, 40(6): 890–899. [Wang X C, Han Z L, Peng F, et al. Development pattern and typical zone of marine scientific and technological innovation efficiency in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(6): 890–899.]
- [32] 王芳, 季健, 秦海鸥, 等. 技术创新对环境污染影响的空间分析: 基于研发投入视角[J]. 生态经济, 2021, 37(7): 196–205. [Wang F, Ji J, Qin H O, et al. Spatial analysis of the impact of technological innovation on environmental pollution: Based on the perspective of R&D investment[J]. Ecological Economy, 2021, 37(7): 196–205.]
- [33] 郑晓奇, 陈锡超, 岳中刚, 等. 海洋可持续发展目标在中国的推进、机遇和挑战[J]. 环境污染与防治, 2021, 43(4): 521–526. [Zheng X Q, Chen X C, Yue Z G, et al. The implementation, opportunity and challenge of marine sustainable development goals in China[J]. Environmental Pollution & Control, 2021, 43(4): 521–526.]
- [34] 王焰新, 甘义群, 邓娅敏, 等. 海岸带海陆交互作用过程及其生态环境效应研究进展[J]. 地质科技通报, 2020, 39(1): 1–10. [Wang Y X, Gan Y Q, Deng Y M, et al. Land-ocean interactions and their eco-environmental effects in the coastal zone: Current progress and future perspectives[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2020, 39(1): 1–10.]
- [35] 王晓杰, 谢金玲, 袁一鑫. 鱼类对海洋升温与酸化的响应[J]. 生态学报, 2022, 42(2): 433–441. [Wang X J, Xie J L, Yuan Y X. Response of fish to ocean warming and acidification[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(2): 433–441.]
- [36] 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 M, Zhan Y R. Spatial evolution of marine ecological efficiency and its influential factors in China coastal regions[J]. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39(4): 616–625.]
- [37] 高乐华, 高强. 中国海洋生态经济系统协调发展预警机制研究[J]. 山东社会科学, 2018, (2): 123–128. [Gao L H, Gao Q. Research on early warning mechanism of coordinated development of marine eco-economic system in China[J]. Shandong Social Sciences, 2018, (2): 123–128.]
- [38] 杨洋, 黄庆旭, 章立玲. 基于DMSP/OLS夜间灯光数据的土地城镇化水平时空测度研究: 以环渤海地区为例[J]. 经济地理, 2015, 35(2): 141–148. [Yang Y, Huang Q X, Zhang L L. The spatial-temporal measurement on the land urbanization level using DMSP/OLS nighttime light data: A case study of Bohai Rim[J]. Economic Geography, 2015, 35(2): 141–148.]
- [39] 刘纘延, 王吉明, 赵祖龙, 等. 威海市海洋生态文明建设探索与实践[J]. 海洋开发与管理, 2021, 38(5): 53–58. [Liu Z Y, Wang J M, Zhao Z L, et al. The exploration and practice of the construction of marine ecological civilization in Weihai[J]. Ocean Development and Management, 2021, 38(5): 53–58.]

Assessment of marine ecological environment and identification of influencing factors in the Bohai Rim region

GAI Mei^{1,2}, YUE Peng^{1,2}, YANG Qingfei^{1,2}

(1. Institute of Marine Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China; 2. University Collaborative Innovation Center of Marine Economy High-Quality Development of Liaoning Province, Dalian 116029, China)

Abstract: Marine environmental protection is an important task and mission for promoting sustainable marine development and building national strength in the marine area. In this study, based on the entropy weight TOPSIS method, the marine ecological environment quality in the Bohai Rim region was assessed, the spatial and temporal characteristics of marine ecological environment quality were examined with the help of the center of gravity model, and the spatial Durbin model was used to identify the marine ecological environment impact factors in the Bohai Rim region. The following conclusions are drawn: (1) There is a significant spatial autocorrelation in the quality of marine ecological environment in the Bohai Rim region, showing an overall upward trend and occasional fluctuations, but the spatial heterogeneity is significant. The southern economic zone has higher quality and the western economic zone has lower quality. The center of gravity of marine ecological environment quality as a whole was moving westward and then northward, and there are obvious differences in the movement of the center of gravity within each economic zone. (2) From the perspective of overall regional effect, the intensity of direct contributions to the marine ecological environment is ranked as follows: environmental regulation > living standards > science and technology development level > science and technology input > 0 > carbon emissions > agricultural pollution > industrialization level > labor structure > wastewater discharge. The spillover effect on other regions is ranked as environmental regulation > 0 > carbon emissions > labor structure > industrialization level > wastewater discharge. (3) The effects of various influencing factors in different economic zones varied. The industrial structure, science and technology input, science and technology output, environmental regulation, and living standards of the western economic zone have improved the level of marine ecological environment; The economic development, science and technology development level, science and technology output, ecological optimization, and environmental regulation of the southern economic zone have significantly improved the quality of marine ecological environment; Ecological optimization and environmental regulation in the northern economic zone promoted the development of regional marine ecological environment. The research provides some theoretical support for the marine ecological environment protection of coastal provinces and cities in the Bohai Rim region.

Key words: assessment of marine ecological environment; identification of influencing factors; influencing mechanism; spatial Durbin model; center of gravity transfer model; Bohai Rim region