

陆源生态压力下环渤海地区海洋生态安全时空 演变及影响因素

狄乾斌^{1,2}, 银海杏¹, 侯智文², 於哲¹, 孟庆义¹

(1.教育部人文社科重点研究基地“辽宁师范大学海洋可持续发展研究院”, 辽宁 大连 116029; 2.辽宁师范大学 地理科学学院, 辽宁 大连 116029)

摘要: 海洋生态安全是人类与海洋和谐共存、实现海洋经济可持续发展的基本保障。本文基于 2010—2021 年的数据, 通过构建指标体系和 InVEST 模型测算环渤海地区海洋生态安全指数, 评估其时空演变, 并运用 GTWR 模型分析影响因素及其空间异质性。结果显示: ① 环渤海地区海洋生态安全状况呈阶段性上升, 从比较安全级提升至非常安全级; ② 海洋生态安全水平呈现“东西部高、中南部低”的空间格局, 差异明显; ③ GTWR 模型表明, 涉海湿地面积是关键正向驱动因素; 海洋科技人才比例和城镇化进程对山东省影响显著, 而天津市则更多受涉海湿地面积和城市空气质量达标率影响。

关键词: 海洋生态安全; 环渤海地区; 时空演变; 影响因素

中图分类号: X82

文献标识码: A

文章编号: 1007-6336(2025)04-0606-09

Spatiotemporal evolution and influencing factors of marine ecological security in the Bohai Rim region under terrestrial ecological pressure

DI Qianbin^{1,2}, YIN Haixing¹, HOU Zhiwen², YU Zhe¹, MENG Qingyi¹

(1.Key Research Base of Humanities and Social Sciences of Ministry of Education, Institute of Marine Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China; 2.School of Geography Science, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

Abstract: Marine ecological security is the fundamental guarantee for the harmonious coexistence between humans and the ocean, as well as for achieving the sustainable development of the marine economy. Based on data from 2010 to 2021, the marine ecological security index of the Bohai Rim region was calculated by constructing an indicator system and the InVEST model, assessing its spatiotemporal evolution, and analyzing influencing factors and their spatial heterogeneity using the GTWR model. The results show that: ① The marine ecological security status of the Bohai Rim region has shown a phased improvement, rising from a relatively safe level to a very safe level; ② The ecological security level exhibits a spatial pattern of “higher in the east and west, lower in the central and south,” with significant regional differences; ③ The GTWR model indicates that the area of coastal wetlands is a key positive driving factor; the proportion of marine science and technology professionals and urbanization progress have a significant impact on Shandong Province, while Tianjin is more influenced by the area of coastal wetlands and the urban air quality compliance rate.

收稿日期: 2024-11-19, 修订日期: 2025-02-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(42476244); 大连市社科联(2024dlskzd129); 辽宁省教育厅高等学校基本科研项目课题资助(LJ212410165020)

作者简介: 狄乾斌(1977—), 男, 山东滕州人, 教授, 博士, 主要从事海洋经济地理、海洋生态等研究, E-mail: dqbwmn@163.com

通信作者: 於哲(1992—), 男, 讲师, 博士, 主要从事海洋生态、区域发展与规划研究, E-mail: yuzhe@lnnu.edu.cn

Key words: marine ecological security; Bohai Rim region; spatiotemporal evolution; influencing factors

海洋生态安全是生态安全的重要组成部分,是推动人类和海洋长期保持和谐共存、实现海洋经济协调和可持续发展的基本保障^[1]。2023年7月,全国生态环境保护大会上提出“构建从山顶到海洋的保护治理大格局,加强海洋和海岸带国土空间管控”^[2]。2024年《中国的海洋生态环境保护》指出,保护海洋生态环境关乎美丽中国和海洋强国建设^[3]。随着海洋开发力度加大,近海渔业资源枯竭、污染和灾害频发等问题日益突出^[4],保护海洋生态已成为关乎我国生态安全的核心议题^[5-6]。科学准确判断环渤海地区的海洋生态安全及其演变规律,是加快建设绿色可持续发展的海洋生态环境、推进海洋强国建设的重要基础保障。

早期围绕海洋生态安全的研究主要集中于内涵界定^[7-10],尽管学术界尚未形成统一定义,但核心强调海洋生态系统或生命系统在外界干扰下仍能维持相对稳定的状态。从研究视角看,国外学者大多从海洋环境与资源两个方向展开研究^[11-14],如SG Bolam等探讨海岸线疏浚物处理引发的生态环境变化, JT Kildow等分析海洋灾害的影响并提出对策;另一类研究则结合法制、地缘、经济及水产品等领域^[15-17]。海洋生态安全评价方面,研究对象类型包括海岸带^[18]、海岛^[19]、(滨海)城市^[20]等。鉴于海洋的连续性与海陆不可分割性^[21],研究需注重海陆统筹。

国内外相关研究成果丰富,但多数研究仅通过面板数据构建指标体系测算海洋生态安全水平,评价方法单一,且缺乏对时空分布及现状的深入探讨。本文结合面板数据与遥感数据^[22],以环渤海四省市为研究对象,基于DPSIR模型构建海洋生态安全健康评价指标体系,并利用InVEST模型的生境质量模块测算生态服务指数与生态风险指数,评估环渤海地区海洋生态安全水平。通过多元线性回归模型和时空地理加权回归模型分析影响因素的相对重要性及时空异质性,以期环渤海地区生态环境保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 海洋生态安全理论机制

1.1.1 海洋生态安全服务

海洋生态系统为人类既提供生产生活资料,也提供多种生态服务,如碳蓄积与碳汇、调节气候、涵养水源及生物多样性等^[23]。生态安全的海洋系统,是人类能直接或间接从中获得巨大生态、经济价值的系统,是生态服务功能完整体现或发挥作用的系统。实现海洋生态安全的目标之一是通过维持与改善海洋生态系统服务功能来保护人类的生存环境。

1.1.2 海洋生态安全健康

海洋生态安全健康主要描述海洋生态系统自身稳定和持续状态,研究海洋生态系统及其组分受到人类社会干扰后自身的活力和组织结构,并在一段时间后能从被胁迫的状态恢复如初^[24]。因此,海洋生态安全健康需要选用能够表征社会经济影响为主要特征的参数,体现海洋生态安全的安全状况。生态安全的海洋系统是健康的生态系统,生态安全健康研究是海洋生态安全研究的主要内容之一。

1.1.3 海洋生态安全风险

海洋生态安全风险主要关注生态系统所遭受的外部威胁,如气候变化、环境变化以及自然灾害等,属于生态安全的负面指标,生态风险的程度在一定程度上反映了生态系统的安全状况。生态风险研究的目的在于通过及时实施风险管理措施,将生态风险降至最低甚至为零,最终实现生态安全^[25]。因此,生态风险是评估海洋生态系统安全性的一个关键因素。

1.1.4 三者的耦合机制

海洋生态安全服务、健康和风险之间存在复杂的耦合关系。海洋生态安全服务是生态系统为人类提供生态和经济价值的基础,其功能直接影响生态系统健康和可持续发展。海洋生态安全健康反映了生态系统的稳定性和恢复能力,是生态服务持续提供的前提。海洋生态安全风险则表征了生态系统受胁迫的程度,直接影响其健康和服务功能。海洋生态安全服务、健康与风

险之间存在耦合关系。健康的生态系统能高效提供生态服务,而服务功能的增强又反哺生态健康;但生态风险会打破这种正向循环,导致服务退化与生态失衡。同时,生态服务的过度开发会加剧风险,风险的累积又进一步削弱服务功能,形成恶性循环。

综上所述,海洋生态安全服务、健康和风险相互交融,共同构成海洋生态安全的核心。海洋

生态安全包括两方面:一是海洋生态系统自身的健康程度,可通过近岸海域一、二类水质面积、涉海湿地面积和海洋自然保护区面积等指标评价;二是其在人类社会压力下的安全程度,通过InVEST模型测算生态风险指数和干扰下的生态服务指数来体现^[26]。基于生态安全服务、健康和风险的综合评价,判断区域海洋生态安全状况,如图1所示。

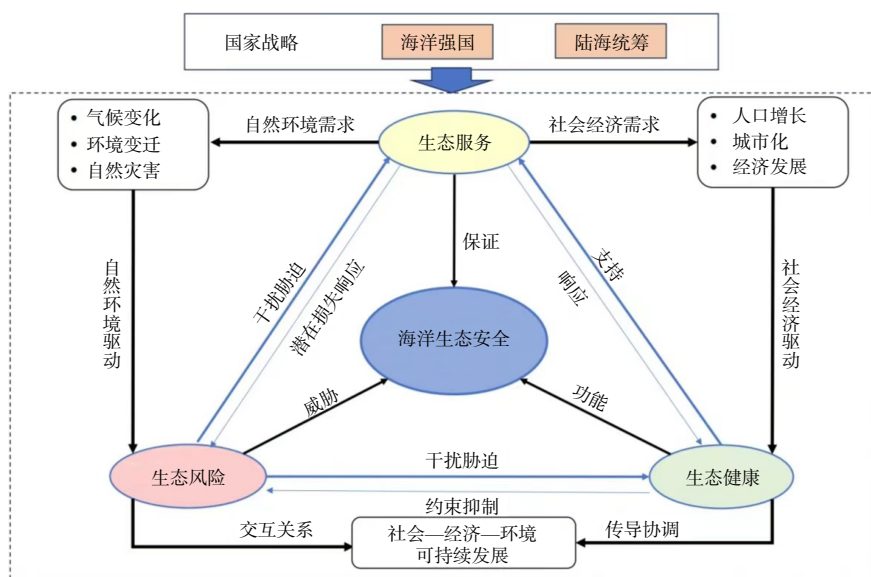


图1 海洋生态安全构成

Fig. 1 Components of marine ecological security

1.2 研究方法

1.2.1 海洋生态安全健康评价指标体系构建

参考相关学者的设定^[27],本研究构建基于DPSIR模型的海洋生态安全健康评价指标体系(表1)。D反映经济、人口发展及城市化进程的变化,是海洋生态发生变化的潜在原因,间接影响系统健康状况;P描述海洋资源的利用、污染物排放情况,是造成海洋生态变化的直接原因;S是在前两者的共同作用下,反映海洋生态系统的当前健康状况,指标包括海洋生态系统的结构完整性、生物多样性水平、水质状况等;I描述海洋生态系统的健康变化对社会和经济产生的反馈效应;R是指人类社会采取各种措施以弥补、减轻以上四个方面带来的影响。为消除指标之间不同量纲和数量级的约束,采用极差法对海洋生态安全各指标 x_{ij} 进行处理。采用区间层次分

析法和熵权法组合赋权的方式确定综合权重 $W = \alpha W_i + (1 - \alpha) W_j$, α 取0.5。

1.2.2 InVEST模型

InVEST模型是通过评估环境中的胁迫因子和景观敏感度来计算生境质量。本研究主要基于InVEST中的Habitat Quality模块对研究区的生境风险指数和质量指数进行评估^[28]。用生境退化程度来表示海洋生态安全风险指数,公式如下:

$$ERI = D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_R} \frac{W_r}{\sum_{r=1}^R W_r} r_y i_{rxy} \beta_x S_{jr} \quad (1)$$

式中: R 为胁迫因子数量; W_r 为每个威胁因子的权重; r_y 为威胁因素的强度; β_x 为栖息地的抗干扰水平; S_{jr} 为不同栖息地对不同威胁因素的相对敏感性。 ERI 值越接近1,表明海洋生态安全风险越高。

表 1 基于 DPSIR 模型的海洋生态安全健康评价指标体系

Tab.1 Marine ecological safety and health evaluation index system based on the DPSIR model

目标层	准则层	指标层	指标取向	权重
环渤海地区海洋生态安全健康评价	驱动力D	人均GDP	+	0.043
		城镇化率	-	0.041
		人口自然增长率	-	0.058
		第三产业增长率	+	0.052
	压力P	单位海洋生产总值废水排放量	-	0.064
		单位海洋生产总值废物排放量	-	0.046
		沿海地区风暴潮直接经济损失	-	0.071
		人口密度	-	0.051
	状态S	涉海湿地面积	+	0.026
		海水养殖面积	-	0.051
		近岸海域一、二类水质海域面积占比	+	0.037
		海洋科技人员占涉海人员比重	+	0.077
	影响I	海洋科技课题情况	+	0.071
		海洋自然保护区面积	+	0.038
		海洋产业占GDP比重	+	0.067
		城市空气质量达标率	+	0.023
	响应R	沿海地区卫生基本情况	+	0.018
		近岸海域海水观测站数量	+	0.043
		每万人在校人数	+	0.072
		财政支出占GDP比重	+	0.051

海洋生态安全服务指数则使用生境质量指数公式:

$$ESI = Q_{xj} = H_j \times \left[1 - \frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z + k^z} \right] \quad (2)$$

式中: H_j 为土地利用类型的生境适宜度; k 为半饱和常数, 默认为 0.05; z 为归一化常量, 设定为 2.5。

本研究参照 InVEST 模型用户使用手册, 选择耕地、建设用地作为威胁源, 并确定了不同威胁因子对生境质量影响的最远距离以及权重(表 2 和表 3)。

表 2 研究区威胁因子及权重			
Tab.2 Threat factors and weights in the study area			
威胁因子	最大影响距离	权重	衰退类型
耕地	0.5	0.2	线性
建设用地	5.0	0.5	指数

1.2.3 综合指数法

对各指标数据进行无量纲化处理, 计算得出

海洋生态安全健康指数(EHI)。将海洋生态安全指数作为反映海洋生态安全的量化值, 通过综合指数法来计算, 计算公式如下:

$$MESI = \sqrt[3]{EHI \times (1 - ERI) \times ESI} \quad (3)$$

式中: $MESI$ 为海洋生态安全指数; EHI 为海洋生态安全健康指数; ERI 为海洋生态安全风险指数; ESI 为海洋生态安全服务指数。

1.2.4 时空地理加权回归模型

GTWR 是考虑时间和空间两种维度的回归

表 3 生境适宜度及其对不同胁迫因子的敏感度			
Tab.3 Habitat suitability and its sensitivity to different stressors			
土地利用类型	生境适宜度	敏感度	
		耕地	建设用地
耕地	0.3	0.0	0.5
林地	1.0	0.4	0.6
灌木林	0.8	0.3	0.4
水域	0.9	0.4	0.5
湿地	1.0	0.6	0.7
建设用地	0.0	0.0	0.0

模型,能刻画影响因素对不同区域的影响程度,是研究空间异质性的工具^[29]。公式如下:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i, t_i) + \sum_{k=1}^p (\beta_k(u_i, v_i, t_i) x K_{ik}) + \varepsilon_i \quad (4)$$

式中: y_i 指 $MESI$; x 指 $MESI$ 的各影响因素; i 为样本地区, u 、 v 、 t 分别为样本地区经度、纬度、时间; $\beta_0(u_i, v_i, t_i)$ 为截距, 为第 k 个驱动因子对第 i 个 $MESI$ 影响的回归系数; k 为影响因素的序号, p 为影响因素个数; ε_i 为随机扰动项。

1.2.5 数据来源及处理方法

本研究中的“环渤海地区”涉及天津、河北、山东、辽宁,研究时间为 2010—2021 年,所需的数据来源于《中国海洋统计年鉴》《中国环境统计年鉴》以及各省级行政区发布的官方统计年鉴和公报,缺失数据采用多重插补法进行估计处理。本研究所使用的土地利用覆盖数据来源于 Globe Land 30,空间分辨率为 30 m。

依据前文,海洋生态安全健康基于 DPSIR 模型构建指标体系,海洋生态安全风险和海洋生态安全服务则利用 InVEST 模型进行测度,最后将无量纲化后的各指标数据及其权重按照综合公式进行计算,最终得到环渤海地区海洋生态安全的综合指数,用以进行环渤海地区海洋生态安全水平的时空演变研究,从指标体系中选取影响因子对海洋生态安全影响因素的时空异质性进行探索。

2 结果与分析

2.1 环渤海地区海洋生态安全时空演变分析

2.1.1 海洋生态安全时序变动分析

环渤海地区海洋生态安全指数整体呈上升趋势,从 2010 年 0.77 增至 2021 年 0.82(图 2),具有阶段性特征,分为下降、缓慢上升和稳中向好三个阶段,呈先降后升态势。2010—2013 年处于下降阶段,主要由于“十一五”期间生态安全问题频发,区域过度追求经济增长而忽视生态保护,导致单位海洋生产总值的废水和废物排放量增速显著,生态安全水平下降。2014—2018 年,随着国家对海洋生态问题的重视及政策推动(如《环渤海地区合作发展纲要》的发布),涉海湿地面积、海洋自然保护区面积和海洋产业占 GDP 比重显著增加,生态安全指数进入稳

定上升阶段。2019 年受新冠疫情影响,第三产业增长率和海洋产业占 GDP 比重下降,生态安全水平略有波动,但随后几年稳步回升。

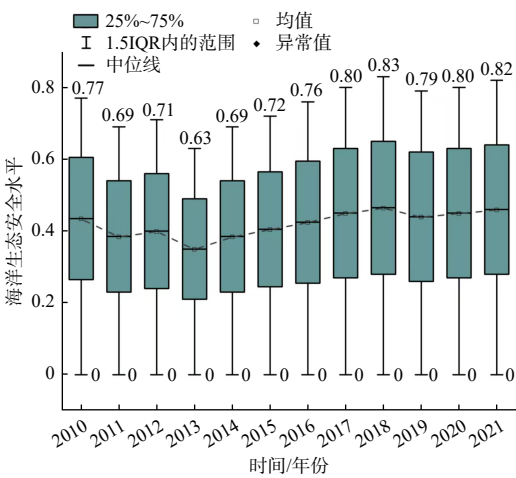


图 2 海洋生态安全水平时序变动
Fig. 2 The temporal variation of marine ecological security levels

2.1.2 海洋生态安全空间特征及演进分析

利用 ArcGIS 10.8 将环渤海地区海洋生态安全测度值划分为五级(表 4),并对 2010—2021 年的数据进行空间可视化(图 3)。空间分析表明,海洋生态安全水平呈现显著分异特征:高值区分布稀疏,集中于辽宁省东部、河北省北部及西部;低值区广泛分布于华北平原中部,形成大面积低值集聚区。整体而言,区域海洋生态安全水平仍需系统性提升。

表 4 海洋生态安全分级					
Tab.4 Marine Ecological Safety Classification					
安全等级	I	II	III	IV	V
安全指数	(0, 0.2]	(0.2, 0.4]	(0.4, 0.6]	(0.6, 0.8]	(0.8, 1.0]

研究区海洋生态安全水平呈现“东西部高、中南部低”的空间异质性特征,双高值区集中于辽宁省东部及河北省北部与西部。时序分析表明:2010 年恶化级与敏感级区域呈高聚集性,临界安全级零星分布于辽宁省东侧、河北北部及西部过渡带;2015 年恶化级范围外扩,临界安全级面积缩减,高低值区交界带低值化趋势显著,整体安全水平下降;2017 年首次出现非常安全级区域;至 2021 年,等级跃迁现象突出,辽宁省

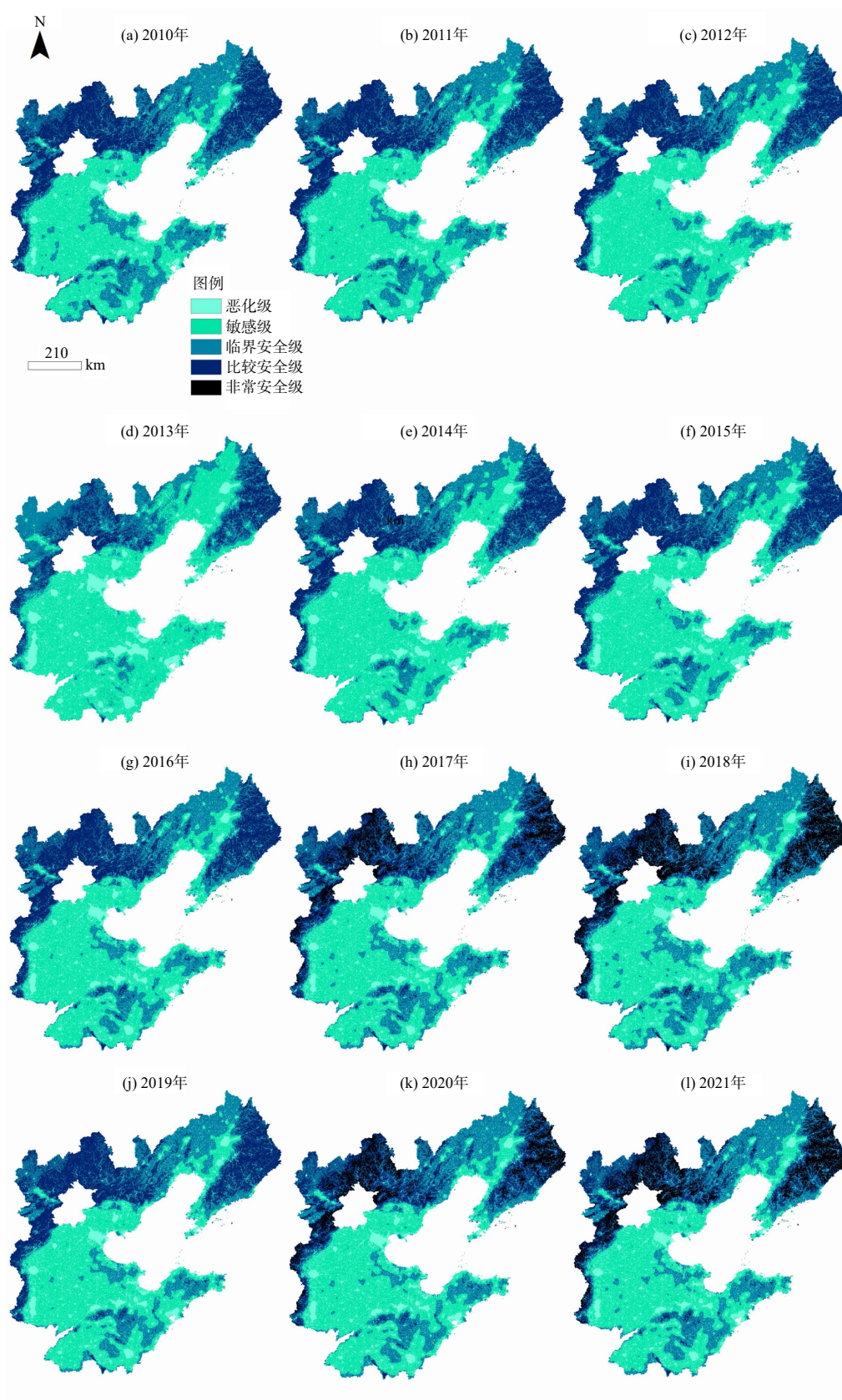


图3 海洋生态安全指数空间演变

Fig. 3 Spatial evolution of the marine ecological security index

东侧及河北北部与西部临界安全级、比较安全级区域显著提升,低值区碎片化收缩,恶化级与敏感级范围内安全等级结构持续优化。

2.1.3 海洋生态安全转化趋势分析

2010—2015年,临界安全级主导转移方向为敏感级,转移面积最大且变化稳定(图4)。敏感级与比较安全级转移面积适中,恶化级基本维持原等级;等级降级转移占绝对优势,导致生态安全水平下降。2015—2021年,比较安全级主导转移,仅小部分转为临界安全级;敏感级主要转入临界安全级,恶化级转移微弱;临界安全级转移活跃且多向更高等级转化,推动生态安全水平稳中向好。空间转移方向与时空演进特征分析结论一致。

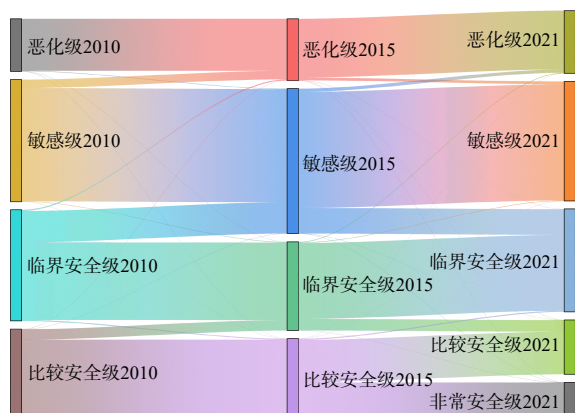


图4 海洋生态安全水平内部空间转移

Fig. 4 Spatial shifts within the level of marine ecological security

2.2 海洋生态安全影响因素分析

运用多元回归分析方法识别影响环渤海地区海洋生态安全指数的主导因子^[30]。标准差结果排名前4位的指标能够较好地反映研究对象之间的主要差异,具有较高的区分度和代表性。分别是:涉海湿地面积(X_1)反映研究区域湿地保护情况;城镇化率(X_2)反映目前经济开发对研究区域的空间占用程度;海洋科技人员占涉海人员的比重(X_3)表征研究区域内高质量人才的投入能力;城市空气质量达标率(X_4)反映研究区域内对城市环境的治理情况与重视程度。

通过统计分析软件SPSS,使用线性回归分析法对以上变量进行分析。模型调整后 R^2 为

0.733,证明该模型的拟合程度相当高,自变量与所挑选的因变量之间存在着良好的相关性。德宾-沃森检验值为2.182,说明海洋生态安全指数其残差服从独立性。且 p 值为 $0.00 < 0.01$, F 值为33.279,通过了显著性水平检验,说明该模型显著性极高,具有统计学意义。

X_1 的系数 $\beta_1=1.256$,说明环渤海地区涉海湿地面积每增加1000 ha,海洋生态安全水平约增长1.256。 X_2 的系数 $\beta_2=-0.012$,说明城镇化率每增加1个百分点,海洋生态安全水平约减少0.012。 X_3 和 X_4 的系数均为0.001,说明海洋科技人员占涉海人员的比重和城市空气质量达标率每增加1个百分点,海洋生态安全的水平约增加0.001。

2.3 环渤海地区海洋生态安全影响因素时空异质性分析

基于GTWR模型回归系数均值分布(表5),海洋生态安全水平的影响因素呈显著的时空异质性。

(1)涉海湿地面积对区域海洋生态安全指数具有正向促进作用,其中天津市作为高值区表现突出。该市因湿地面积大且分布集中,通过持续实施四大湿地保护修复工程及严格监管措施,有效提升了湿地生态功能完整性,证实涉海湿地保护对区域生态安全具有关键提升作用。

(2)城镇化率对环渤海地区海洋生态安全指数的影响呈负向作用,其中山东省的回归系数最大。作为研究区域内人口最多的省份,山东省城镇化进程的加速可能导致沿海湿地退化和栖息地丧失,削弱海洋生态系统稳定性。同时,城镇化引发的工业与人口聚集增加了污染物排放,导致水质下降,进一步加剧了海洋生态安全风险。

(3)海洋科技人员占涉海人员比重对环渤海地区海洋生态安全指数具有显著正向影响,山东省受该因素影响最为突出。山东省依托崂山实验室、中国海洋大学等科研平台及雄厚的人才储备,形成显著的知识溢出效应,推动区域海洋科技水平的整体提升。同时,通过政策支持与产学研合作,促进海洋科技成果转化和产业结构优化。这种人才与政策的协同效应,使山东省在海洋生态安全方面表现尤为显著,进而带动环渤海

表 5 回归系数均值分布
Tab.5 Distribution of the mean of regression coefficients

影响因素	回归系数范围($\times 10^{-3}$)	空间分布特征
涉海湿地面积	0.02 ~ 0.17	山东<辽宁<河北<天津
城镇化率	-13.67 ~ -8.64	天津<河北<辽宁<山东
海洋科技人员占涉海人员比重	0.938 ~ 1.182	天津<河北<辽宁<山东
城市空气质量达标率	0.499 ~ 0.990	河北<山东<辽宁<天津

地区生态安全指数的提升。

(4)城市空气质量达标率对环渤海地区海洋生态安全指数的作用呈现正向影响。城市空气质量达标率这一数据直接反映出环渤海各省城市的环境治理状况,其中天津市的城市空气质量达标率最低,由表 5 可知,该因素对天津市的影响作用最大。这直接说明了天津市在治理生态环境时,需注意对城市“三废”污染治理。

3 结论

(1)海洋生态安全指数总体呈上升的趋势,海洋生态安全等级整体上从比较安全级到非常安全级,海洋生态安全整体水平偏高且总体呈先下降后上升的趋势。

(2)环渤海地区的海洋生态安全水平存在明显的空间分布差异,存在双高值区,一处为辽宁省东侧,另一处为河北省北部、西部,且呈现“东西部高、中南部低”的空间格局。

(3)涉海湿地面积是影响海洋生态安全水平的最大因素且有正向驱动作用,涉海湿地面积和城市空气质量达标率对天津市的影响最为显著;而山东省则受海洋科技人员占涉海人员比重和城镇化率的影响最明显。

参考文献:

[1] 易爱军. 我国海洋生态安全问题探讨 [J]. 环境保护, 2018, 46(11): 55-58.

[2] 韩增林, 仝燕波, 王 耕. 中国海洋生态安全时空分异及演化趋势研究 [J]. 地理科学, 2022, 42(07): 1166-1175.

[3] 袁红英. 发展海洋经济推进建设海洋强国的理论脉络与实践路径 [EB/OL]. (2024-03-07)[2024-09-20]. https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/ztzl/NEW_srxxgcjjpjjsx/jjsxyjqk/sxlt/dt/202403/t20240307_1364685.html.

[4] 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(03): 302-314.

[5] 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(01): 29-37.

[6] 张广帅, 于永海, 王权明, 等. 渤海生态保护的形势、挑战与对策建议 [J]. 环境保护, 2022, 50(12): 27-30.

[7] 倪 冉, 关洪军. 海洋生态安全与海洋经济高质量发展协同演化及交互响应 [J]. 统计与决策, 2023, 39(21): 127-131.

[8] 丁德文, 徐惠民, 丁永生, 等. 关于“国家海洋生态环境安全”问题的思考 [J]. 太平洋学报, 2005, 13(10): 60-64.

[9] 杨振蛟, 姜自福, 罗玲云. 海洋生态安全研究综述 [J]. 海洋环境科学, 2011, 30(2): 287-291.

[10] 曹洪军, 孙继辉, 武晓雯. 基于海洋生态安全的“海洋命运共同体”构建研究 [J]. 江苏海洋大学学报(人文社会科学版), 2021, 19(06): 1-11.

[11] BOLAM S. G, REES H L, SOMERFIELD P, et al. Ecological consequences of dredged material disposal in the marine environment: a holistic assessment of activities around the England and Wales coastline[J]. Marine Pollution Bulletin, 2006, 55,52(4): 415-426.

[12] KILDOW J. T and MCILGORM A. The importance of estimating the contribution of the oceans to national economies[J]. Marine Policy, 2009, 34(3): 367-374.

[13] BORJA Á, ELLIOTT. Marine monitoring during an economic crisis: the cure is worse than the disease[J]. Marine Pollution Bulletin, 2013, 68(1/2): 1-3.

[14] GAO L H, NING J, BAO W L T Y, et al. A study on the marine ecological security assessment of Guangdong-Hong Kong-Macao Great Bay Area[J]. Marine Pollution Bulletin, 2022, 176: 113416.

[15] 吕丹丹. 海洋生态安全现代化治理体系的构建分析 [J]. 法制与社会, 2021(11): 134-135.

[16] 付媛丽, 史春林. 东北亚海洋生态安全合作治理及中国参与 [J]. 国际研究参考, 2021(03): 15-22+54.

[17] 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(02): 409-418.

[18] 张 婧. 胶州湾海岸带生态安全研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.

[19] 张 玉. 基于 DPSIR 框架的旅游海岛生态安全评价: 以长海县海岛为例 [D]. 大连: 大连理工大学, 2014.

- [20] 狄乾斌, 韩雨汐, 曹 可. 基于 PSR 模型的中国海洋生态安全评价研究 [J]. 海洋开发与管理, 2014, 31(7): 87-92.
- [21] 厉丞烜, 张朝晖, 陈力群, 等. 我国海洋生态环境状况综合分析 [J]. 海洋开发与管理, 2014, 31(3): 87-95.
- [22] 龚佳丽, 李红波, 杨和平. 生态安全格局与生态脆弱性视角下的武汉城市圈国土空间生态修复区识别与分类 [J]. 地理科学, 2024, 44(10): 1809-1817.
- [23] 王根绪, 程国栋, 钱 鞠. 生态安全评价研究中的若干问题 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(9): 1551-1556.
- [24] 赵有益, 龙瑞军, 林慧龙, 等. 草地生态系统安全及其评价研究 [J]. 草业学报, 2008, 17(2): 143-150.
- [25] Pan NH, Du QQ, Guan QY, et al. Ecological security assessment and pattern construction in arid and semi-arid areas: A case study of the Hexi Region, NW China[J]. Ecological Indicators, 2022, 138: 108797.
- [26] 汤 旭, 宋 璇, 曾玉林, 等. 长江经济带森林生态安全评价及时空演变研究 [J]. 生态学报, 2021, 41(5): 1693-1704.
- [27] 陆保一, 明庆忠, 史鹏飞, 等. 基于 DPSIR-SBM 框架的旅游生态安全时空动态及影响路径: 以云南省为例 [J]. 地理与地理信息科学, 2023, 39(6): 134-142.
- [28] 严 莉, 曹广超, 康利刚, 等. 基于 InVEST 模型的共和县生态环境质量时空变化及驱动因素 [J]. 干旱区研究, 2024, 41(2): 314-325.
- [29] 陈小龙, 狄乾斌, 梁晨露, 等. “双碳”目标下减污降碳与经济高质量发展的协同机理与实证探讨: 以中国沿海城市群为例 [J/OL]. 世界地理研究, 1-16(2024-03-10)[2025-02-14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1626.P.20240308.1650.006.html>.
- [30] 吕雅诗, 刘 敏, 闫旭纲. 汾河流域旅游生态安全时空格局演变与影响因素 [J]. 地域研究与开发, 2023, 42(5): 87-93.
- (本文编辑: 曲丽梅)

~~~~~

(上接第 605 页)

- [26] 艾娇燕, 郑剑武, 刘高煊. 基于 GF-LSTM 和 GAN 网络的小样本集人工水体溶解氧浓度预测 [J]. 安全与环境学报, 2021, 21(01): 426-434.
- [27] 徐 浩, 刘怀利, 瞿 暄. 基于孤立森林的取水数据异常值检测 [J]. 水电能源科学, 2024, 42(09): 29-32+59.
- [28] 李双营. 辽东湾入海河流污染物通量特征及来源分析 [D]. 大连: 大连理工大学, 2022.
- [29] 苏 莹. 山东省入海污染物分配容量计算: 精准化近海三维水质数值模拟数学规划法 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- [30] YUAN S, XU N, CHEN Y, et al. Analysis of the influences of seawater freezing and melting on the water quality of sea surface based on monitoring data[J]. International Journal of Offshore and Polar Engineering, 2021, 31(4): 429-434.
- ( 本文编辑: 胡莹莹 )