

安全与环境学报

Journal of Safety and Environment

ISSN 1009-6094, CN 11-4537/X

《安全与环境学报》网络首发论文

题目: 东海海洋生态环境治理绩效及其影响因子探测分析
作者: 李加林, 陈慧霖, 龚虹波, 李东霖, 辛欣, 杨凯杰
DOI: 10.13637/j.issn.1009-6094.2021.0240
收稿日期: 2021-03-03
网络首发日期: 2021-06-07
引用格式: 李加林, 陈慧霖, 龚虹波, 李东霖, 辛欣, 杨凯杰. 东海海洋生态环境治理绩效及其影响因子探测分析. 安全与环境学报.
<https://doi.org/10.13637/j.issn.1009-6094.2021.0240>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

东海海洋生态环境治理绩效及其影响因子探测分析

李加林^{1, 2, 3}, 陈慧霖¹, 龚虹波⁴, 李东霖⁵, 辛欣¹, 杨凯杰¹

(1. 宁波大学地理科学与旅游文化学院, 宁波 315211; 2. 宁波大学东海研究院, 宁波 315211; 3. 宁波陆海国土空间利用与治理协同创新中心, 宁波 315211; 4. 宁波大学法学院, 宁波 315211; 5. 宁波市发展规划研究院)

摘要: 以东海为例, 利用熵权 TOPSIS 模型与地理探测器, 探究 2007—2016 年东海海洋生态环境治理绩效的时空演变特征及成因, 揭示其成因背后的发生机理及调控措施。结果表明: (1) 2007—2011 年东海海洋生态环境治理绩效呈平稳增长, 2011—2016 年为加速增长。上海市 2007—2016 年海洋生态环境治理绩效均呈加速增长型, 浙江省和福建省 2007—2011 年呈震荡-下降型, 2011—2016 年为上升型。(2) 2007—2011 年东海区及两省一市海洋生态环境压力状况具有高位回落与低位上升交替的特征, 海洋生态环境状况 2007—2011 年缓慢向好转变; 2011—2016 年加速向好增长, 响应层变化趋势与东海区总体特征对应。(3) 人口密度与就业、科技创新能力、经济发展结构等人文因素与水质状况、近海与海岸生态状况、海水可养殖面积等自然资源承载要素的交互性解释力极高, 是驱动人地关系地域变化的重要因子, 对海洋生态环境治理绩效也极具解释力。(4) 上海市对东海区海洋环境优化具有牵引性作用。浙江省与福建省减轻沿海压力、优化沿岸景观生态的同时需借鉴上海市经验, 加强海域生产与管理的科技创新、强化正向干扰与响应。“两省一市”既要整体上将政策措施有效联合, 也要对局部海域重点优化。

关键词: 环境学; 环境治理绩效; P-S-R; 熵权 TOPSIS; 地理探测器; 东海区

中图分类号: X321; X22

文献标志码: A

DOI:10.13637/j.issn.1009-6094.2021.0240

生态环境治理绩效是治理主体通过治理过程解决环境问题所产生的最终影响^[1-2], 不仅包括环境方面的成绩、效果, 还包括政府、企业等群体的管理活动在经济和社会方面所产生的绩效^[2]。区域环境治理绩效评价从区域的尺度评价治理主体对区域生态环境整治和恢复的影响程度, 受多因子交互性影响, 其治理成效关乎生态系统自我调节、自我恢复的程度, 危及生态系统的稳定性和健康性^[3]。生态环境治理绩效评价可以揭示不同主体干预下环境结构和功能状况的时空动态变化, 益于从管理学与环境科学的角度探寻生态环境修复目标与环境现状之间的差距^[2,5]。因此对区域生态环境治理绩效评估尤为重要, 特别是沿海区域生态环境治理绩效。中国沿海区域作为经济增长的一极, 在城镇化建设快速驱动下, 人类活动改变了沿海经济—生态系统的动态变化, 加剧了生态环境的恶化^[4]; 对其生态环境治理绩效进行科学有效地评估和时空演化研究, 有助于推动经济—生态系统向和谐的人地关系演化, 促进绿水青山与金山银山的建设。

近年来, 国内外生态环境治理绩效评估在企业环境绩效研究的基础上向综合环境治理绩效评估发展^[3, 5-7]。2006 年章恒全等^[7]首次从区域视角建立指标评价体系对城市水环境治理绩效进行测度, 为省域、流域、县域、局部单元等^[5-9]不同维度下环境治理与保护奠定了基础。研究内容涉及环境投入—产出效率^[5-7]、政府环境治理投资效率^[5-6]、治理绩效水平评估^[7-10]、影响因素分析^[6-9, 11]等方面。研究方法主要是基于 CD 生产函数回归^[10-11]、SFA^[11]为主的参数法和以 DEA 模型^[6-9]、Malmquist 模型^[6]、Tobit 回归模型^[11]、TOPSIS 模型^[7]为主的非参数法; 由于非参数法不需要估计参数, 定量化研究较为客观, 故成为主流研究方法^[6-8]。2012 年金荣学等^[9]首次运用 DEA 模型评价我国地方政府环境治理支出效率并提出了具体建议。就影响因子分析, 1995 年 Gene M. Grossman 利用全球环境监测系统收集的数据, 首次分析各种环境指标与人均收入水平之间的关系, 指出经济增长带来环境初期恶化后便是关键性的改进阶段^[10]。随后国内相关研究进一步表明环境治理绩效与国内生产总值、工业污染源治理投资、第三产业占比、人均 GDP 等呈正相关^[5-8], 与环保从业人员数、人口密度、授权专利数、水利环境等呈反相关^[9, 11]。总体而言, 环境治理绩效的研究成果不断丰富。但目前区域环境治理绩效的研究多集中于省域、局部单元等陆域地区^[4-8], 针对沿海地域海洋生态环境治理绩效的评估尚有不足。同时, 已有的研究从社会经济、投入-产出等单因子方面探究环境治理绩效影响因子的成果颇多^[8-11], 缺乏不同因子交互影响下的定量研究。因此, 本研究拟采用熵权 TOPSIS 模型, 对东海区近 10 年海洋生态环境治理绩效进行时空演变研究, 并结合地理探测器分析海洋生态环境治理绩效多因子交互协同下的发生机理, 提出相应的调控思路, 以期对东海海洋生态环境治理与保护提供参考依据。

收稿日期: 2021-03-03

基金项目: 国家自然科学基金 (71874091, 41976209)

第一作者: 李加林, 教授, 博士生导师, 研究方向为海岸带开发与资源环境研究。E-mail: nbj2001@163.com

通讯作者: 龚虹波, 教授, 博士生导师, 主要从事海洋生态环境治理研究, Email: ghb19@163.com

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

东海区介于 117°11'E - 122°08'E, 23°37'N - 31°46'N 之间, 行政区主要包括上海市、浙江省和福建省, 海域面积 77 万 km²[12]; 岸线曲折、漫长; 海洋资源丰富, 海域生产力水平高, 人类活动和海洋开发利用强度大[12-13]; 陆源、海域等污染物使得海洋生态系统面临巨大压力, 海域生态环境保护难度增大, 海洋生态系统的健康发展受损[14-15]。在海洋生态环境保护条例和海域使用管理条例颁布下, 东海区两省一市推进海洋生态环境在线监测能力和海洋站监测能力等方面建设, 促进海域生态环境修复与生态文明发展。但各省市海域环境现状和压力具有地域差异, 环境保护措施实施和管理的响应程度各异, 海洋生态环境管理和环境业绩协调程度不均衡, 沿海海洋生态环境治理仍面临较大压力。

1.2 评价体系模型与数据来源

为客观全面地反映东海海洋生态环境治理绩效水平, 结合指标选取的可获取性、适应性、科学性和完整性; 参考已有的环境治理绩效水平评估研究[3-9、16]和国家发展改革委制定的《绿色发展指标体系》和《生态文明建设考核目标体系》; 结合东海区海洋经济与生态环境现状; 构建了基于压力—状态—响应 (P-S-R) 模型的海洋生态环境治理绩效指标评价体系 (如表 1)。

表 1 海洋环境治理绩效评价指标体系

Table 1 Performance evaluation index system of Marine environmental governance

目标层	准则层	指标层	指标解释	指标类型	X
海洋 环境 绩效 指 标 体 系	压力 (P)	沿海人口密度 (万人/平方公里)	表征人口经济 压力	-	X ₁
		沿海货运量比重 (%)		-	X ₂
		涉海就业人员 (万人)		-	X ₃
		沿海人均水资源利用量 (立方米/人)	表征资源与生 态环境压力	+	X ₄
		人均岸线长度 (公里/万人)		+	X ₅
		沿海人均海洋捕捞产量 (吨/万人)		-	X ₆
		工业废水直接入海量 (万吨)		-	X ₇
		沿海区域工业废弃物倾倒丢弃量 (万吨)		-	X ₈
	状态 (S)	海洋生产总值占沿海地区生产总值比重 (%)	表征经济发展	+	X ₉
		海洋生产总值一产业比重 (%)		-	X ₁₀
		海洋产业结构高度化水平		+	X ₁₁
		人均海洋 GDP (万元/人)		+	X ₁₂
		风暴潮直接经济损失 (亿元)		-	X ₁₃
		沿海区域地表水与地下水重复利用量 (亿立方米)	表征资源利用 与生态环境	+	X ₁₄
		单位海水养殖面积产量 (吨/千公顷)		+	X ₁₅
		海水达到二类水质以上所占的比重 (%)		+	X ₁₆
		近海与海岸湿地面积 (千公顷)		+	X ₁₇
	响应 (R)	海洋科研教育管理服务业比重 (%)	表征教育管理 与科技	+	X ₁₈
		海洋科研机构 R&D 人员 (人)		+	X ₁₉
		海洋科技创新能力 (件)		+	X ₂₀
		沿海工业废水处理量 (万吨)	表征环境治理 与保护	+	X ₂₁
		沿海一般工业废弃物综合利用量 (万吨)		+	X ₂₂
		沿海保护区面积 (平方千米)		+	X ₂₃
		海洋与海岸自然生态系统保护区个数 (个)		+	X ₂₄
		海洋基础建设中政府投资 (千元)		+	X ₂₅
		沿海滨海观测台站 (个)		+	X ₂₆

环境信访办结率 (%)	表征环境管理	+	X_{27}
海域使用管理 (万元)	水平	+	X_{28}

1.3 研究方法

1.3.1 熵权 TOPSIS 模型

熵权 TOPSIS 模型是对传统 TOPSIS 评价法的改进, 将传统的熵权法与 TOPSIS 模型相结合, 客观地评价指标的动态变化和规律, 能有效避免因部分或整体数据差异过小导致的分析评价困难, 克服主观因素^[17]。本文通过熵权 TOPSIS 研究东海区 2007—2016 年海洋生态环境治理绩效水平的动态变化。步骤如下^[17]:

(1) 若评价对象有 m 个, 评价指标有 n 个, 则海洋生态环境治理绩效判断矩阵为:

$$X = (X_{ij})_{m \times n} (i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

(2) 对海洋生态环境治理绩效评价指标体系的正负向指标无量纲化:

$$\text{正向指标: } X(i, j) = (X^*(ij) - X_{\min}(j)) / (X_{\max}(j) - X_{\min}(j)) \quad (2)$$

$$\text{负向指标: } X(i, j) = (X_{\max}(j) - X^*(ij)) / (X_{\max}(j) - X_{\min}(j)) \quad (3)$$

其中 $X_{\min}$ 为评价指标的最小值; $X_{\max}$ 为评价指标的最大值。

(3) 计算信息熵:

$$H_j = -K \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (4)$$

$$\text{其中: } P_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{i=1}^m X'_{ij}}; K = \frac{1}{\ln m}$$

(4) 计算指标权重:

$$W_j = \frac{1 - H_j}{\sum_{i=1}^n (1 - H_j)} \quad (5)$$

$$\text{式中: } W_j \in [0, 1], \text{ 且 } \sum_{i=1}^n W_j = 1$$

(5) 计算加权矩阵:

$$R = (r_{ij})_{m \times n} \quad (6)$$

$$\text{其中: } r_{ij} = W_j \cdot X'_{ij} (i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

(6) 确定最优解 S_j^+ 与最劣解 S_j^-

$$\begin{aligned} S_j^+ &= \max(r_{1j}, r_{2j}, r_{3j}, \dots, r_{nj}) \\ S_j^- &= \max(r_{1j}, r_{2j}, r_{3j}, \dots, r_{nj}) \end{aligned} \quad (7)$$

(7) 确定最优解 d_i^+ 与最劣解 d_i^- 的欧氏距离:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (s_j^+ - r_{ij})^2}$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (s_j^- - r_{ij})^2} \quad (8)$$

(8) 计算环境治理绩效综合值 C_i

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (9)$$

环境治理绩效的综合值 $C_i \in [0-1]$ ，值越大表明海洋生态环境治理绩效水平越高，反之亦然。

1.3.2 地理探测器分析法

地理探测器主要分析各因素层方差与总方差之间的关系，通过空间异质性揭示研究对象背后的驱动力，其核心思想是：假设自变量对因变量具有影响，则两者空间分布具有相似性，反之则具有分异性^[18-20]。地理探测器可分为因子探测、交互作用探测、生态探测和风险区探测^[20]，本文主要利用因子探测器和交互探测器揭示东海海洋生态环境治理绩效水平背后的驱动力。

(1) 因子探测：探测自变量对因变量解释程度的空间分异，用 q 值进行度量，其表达式为^[22]：

$$q = 1 - \frac{1}{N\sigma^2} \sum_{h=1}^l N_h \sigma_h^2 \quad (10)$$

式中 N 为研究区样本数， σ^2 为东海海洋生态环境治理绩效指标的方差， N_h 和 σ_h^2 为层 h 的样本数和方差；其中 $0 \leq q \leq 1$ ， q 越大表明指标对东海海洋生态环境治理绩效水平的解释力越大。

(2) 交互作用探测：评估任意两个不同指标交互作用时是否会增强或减弱对东海海洋生态环境治理绩效水平的解释力^[19-20]。具体方法是将因子 X_i 与因子 X_j 的交互情况与单因子下因子 X_i 、因子 X_j 的解释力进行比较，当 $q(X_i \cap X_j) < \min(q(X_i), q(X_j))$ 时，为非线性减弱；当 $\min(q(X_i), q(X_j)) < q(X_i \cap X_j) < \max(q(X_i), q(X_j))$ 时，为单因子非线性减弱；当 $q(X_i \cap X_j) > \max(q(X_i), q(X_j))$ 为双因子增强；当 $q(X_i \cap X_j) = q(X_i) + q(X_j)$ 为相互独立；当 $q(X_i \cap X_j) > q(X_i) + q(X_j)$ 为非线性增强^[20-22]。

2 结果分析

2.1 东海海洋生态环境治理绩效分析

2.1.1 环境治理绩效总体分析

根据东海海洋生态环境治理绩效指标评价体系，建立东海区 2007—2016 年海洋生态环境治理绩效的判断矩阵，结合熵权 TOPSIS 计算海洋生态环境治理绩效的总体贴适度及各分层下的贴适度，并绘制动态变化趋势图（图 1）。

图 1-A 表明东海海洋生态环境治理绩效水平总体呈上升趋势，增长率达 36%，2007—2011 年为平稳增长型，2011—2016 年为加速增长型。2007—2011 年东海区将海洋经济发展放在突出位置，对海洋生态环境的治理处于初步探索的阶段，海域污染治理、海洋资源环境建设投入不足，加之长三角等区域特大污染事故和大型风暴潮带来的直接经济损失较为严重，环境治理绩效不显著。2011—2016 年随着海洋保护意识的逐渐增强，近岸海域污染防治逐渐进入攻坚阶段，开始以陆海统筹、分区分类为基本原则，改善近岸海域水质、保护海洋生态健康，海洋生态环境治理绩效明显增长。

从区域分析，上海市 2007—2016 年均属于加速增长型，增长率高达 45%，受 2016 年长江口大量入海排污量影响，无机氮和活性磷酸盐严重超标，致使 2016 年环境治理绩效总体下降，但其成效仍然显著。浙江省和福建省 2007—2011 年为震荡型，总体呈下降趋势，波动显著；2011—2016 年为上升型，其中 2011—2013 年加速上升型，2013—2016 年为稳定上升型，这与两省面临的社会经济压力、海洋污染状况及相关整治力度密切相关。

2.1.2 不同准则层下海洋生态环境的动态演化

由东海区海洋生态环境压力状况图(图 1-B)可知,上海市人口经济、资源与生态环境的压力总体偏大,这与上海市经济、科技发展水平密切相关。近年来,各省市根据自身现状,结合全国海洋经济发展“十二五”、“十三五”规划,制定合理战略,推动东海社会经济向高质量发展,一定程度平衡了经济发展与资源环境的压力。因此东海区人口经济、资源与环境的压力略有下降,但仍具有高位回落与低位上升的交替现象,浙江省、福建省在时间序列上也具有这样的特征。

由东海区海洋生态环境状态状况(图 1-C)可知,海洋经济高质量发展在一定程度上改善了资源环境的压力,环境状况持续向好。东海区及两省一市的海洋生态环境现状以 2011 年为分界点,2007—2011 年为缓慢增长型,其中福建省与浙江省具有小幅高位回落的现象;2011—2016 年为加速增长型,但增速仍具差异性,海域受重大渔业水域污染事故、台风风暴潮的影响等,使得东海区海洋生态环境现状总体呈震荡现象。

由东海区海洋生态环境响应状况(图 1-D)可知,响应层的变化趋势与海洋生态环境治理绩效的总体特征具有对应性。表明在缓解海洋生态环境污染压力、维护海洋生态系统良好运行的基础上,社会各界群体从生态环境治理与保护方面所做出的努力程度对海洋生态环境治理与修复具有关键性作用。

由此可见,东海海洋生态环境治理绩效受压力—状态—响应的共同作用。压力层与状态层在一定程度具有反向关系,特征不显著,但对海洋生态环境治理成效仍具影响;响应层与总体绩效水平特征对应,相关性显著。

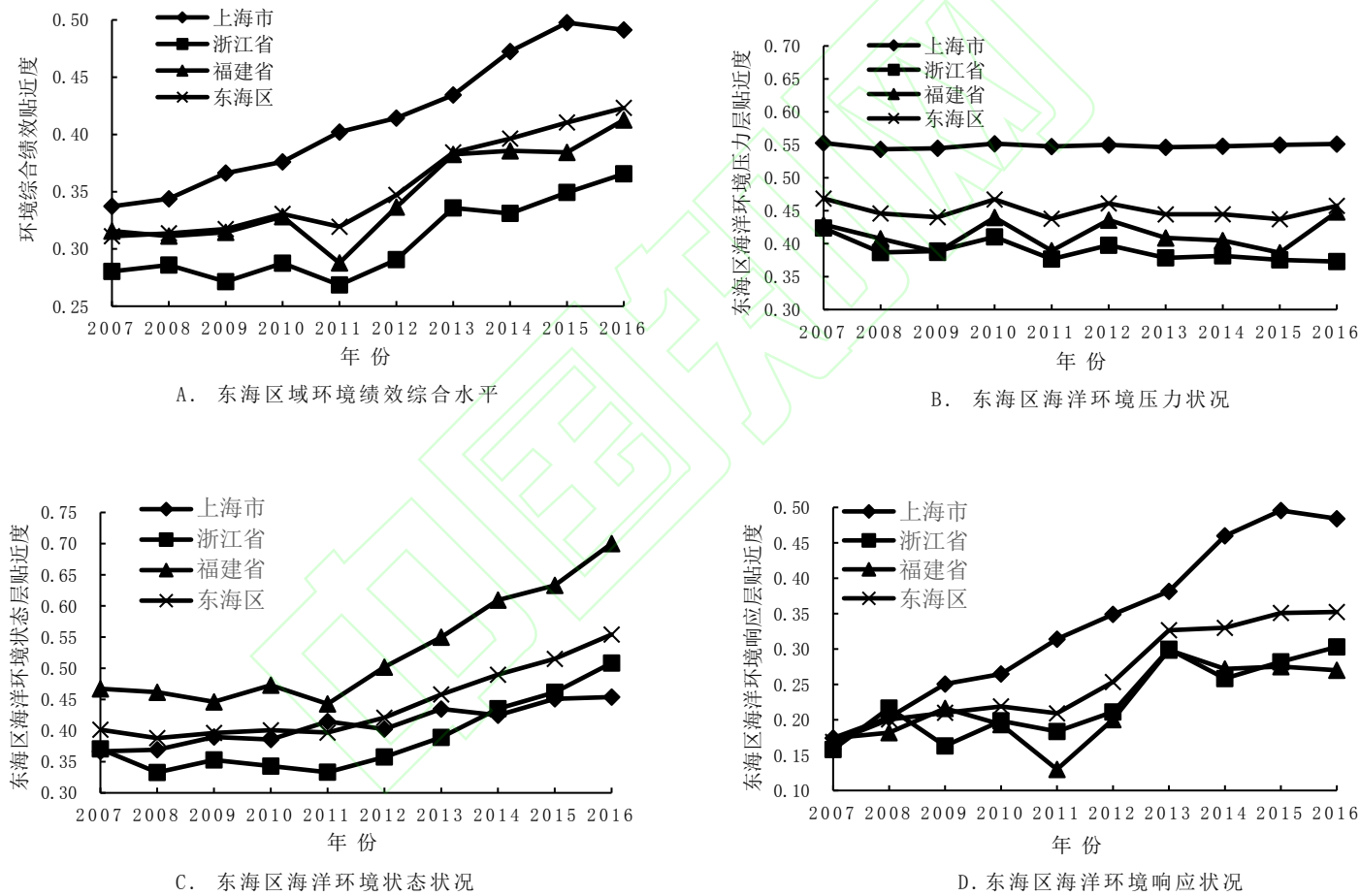


图 1 2007—2016 年东海海洋生态环境治理绩效变化情况

Fig.1 changes in performance of Marine environmental governance in the east China sea from 2007 to 2016

2.2 环境治理绩效影响因子探测分析

2.2.1 东海区海洋生态环境治理绩效影响因子探测

因子探测结果下,压力层(图 2-A)各指标均值达最大,为 0.677。该层中影响较大的因子是涉海就业人员(X_3)、人均岸线长度(X_5)、沿海货运量比重(X_2)、沿海人口密度(X_1),为人口经济压力,对海洋生态环境治理绩效的影响程度达 80%。生态资源压力的影响程度较小,解释力偏低,但仍高于状态层、响应层下的最低值。表明海洋生态环境治理的成效与

区域所面临经济与生态环境压力密切相关，在社会经济发展压力与环境保护之间寻求平衡点对维持海洋生态系统长期稳定地发展至关重要。

状态层（图 2-B）各指标极化现象显著。其中，近海与海岸湿地面积（ X_{17} ）、人均海洋 GDP（ X_{12} ）、海洋产业结构高度化水平（ X_{11} ）等因子解释力达 80%以上，这些因子通过作用于海洋经济生态系统对海洋生态恢复与环境治理产生重要影响。风暴潮直接经济损失（ X_{13} ）、海水达到二类水质以上所占的比重（ X_{16} ）在单因子探测下的解释力在 30%以下，与该层解释力高的因子之间的差距加大。

响应层（图 2-C）中解释力较大的因子为海洋科研机构 R&D 人员（ X_{19} ）、沿海工业废水处理量（ X_{21} ）、海洋科技创新能力（ X_{20} ）、海洋基础建设中政府投资（ X_{25} ）；表明海洋生态环境治理中政府机构管理者、科学研究者等群体在资金、技术、教育、制度建设等方面投入具有举足轻重的作用。解释力较低的因子主要是海洋与海岸自然生态系统保护区个数（ X_{24} ）、环境信访办结率（ X_{27} ）。

东海海洋生态环境治理绩效解释力较大的因子主要分布于状态层、压力层，解释力较小的因子主要分布于压力层，响应层各因子的影响程度都普遍偏大。表明在社会经济压力较大、生态环境状态不佳的双重压力下，想在短期内修复海洋生态环境的难度较大。在产业经济结构优化的情况下，即使面临一定的人口经济与生态压力，但海洋生态环境治理成效仍较明显。值得注意的是各分层解释力较低的因子，在单因子分析下往往被忽略，但这些因子仍具潜在因子的可能性；仅说明只考虑单一的某一要素时，对海洋生态环境治理成效的影响不显著。

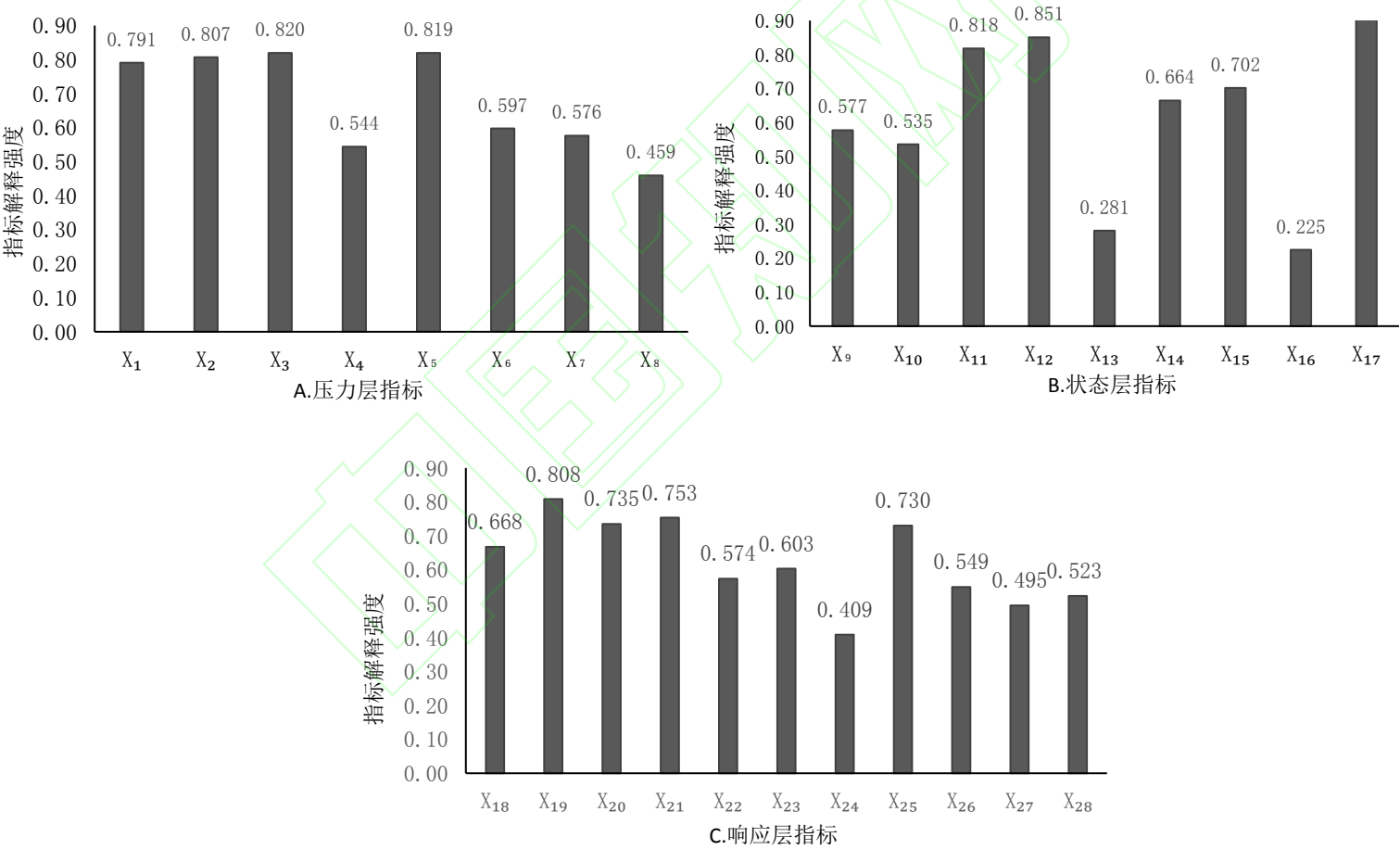


图2 单因子探测结果分析

Fig.2 Analysis of Single Factor Detection Results

2.2.2 东海海洋生态环境治理绩效影响因子交互探测

海洋生态环境治理受经济优化程度、资源利用状况等多方面影响，具有区域性、多样性、复杂性，因此不能忽视多个因子间的交互作用，尤其是解释力较低的单因子。本研究利用交互性地理探测器，探讨压力层、状态层、响应层内及各层间的交互关系（表 2—表 7）。表中对角线值表示单因子下的影响程度，*表示两个因子之间呈非线性增强，其余均为双因子增强。由此可见，影响东海海洋生态环境治理绩效的因子均为增强关系，不存在独立性及减弱关系。

表 2 压力层各因子交互关系

Table 2 Interaction of factors in pressure layer

X	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
X_1	0.791							
X_2	0.906	0.807						
X_3	0.947	0.963	0.820					
X_4	0.932	0.928	0.937	0.544				
X_5	0.900	0.926	0.922	0.961	0.819			
X_6	0.855	0.954	0.918	0.856	0.878	0.597		
X_7	0.950	0.964	0.966	0.941	0.944	0.935	0.576	
X_8	0.966	0.981	0.940	0.900	0.947	0.906	0.862	0.459

压力层因子交互下（表 2）沿海货运量比重（ X_2 ）与沿海区域工业废弃物倾倒丢弃量（ X_8 ）的交互解释力高达 0.981，沿海人口密度（ X_1 ）与沿海区域工业废弃物倾倒丢弃量（ X_8 ）交互解释力为 0.966，涉海就业人员（ X_3 ）与工业废水直接入海量（ X_7 ）交互解释力为 0.965。状态层因子交互下（表 3）海洋产业结构高度化水平（ X_{11} ）与海水达到二类水质以上所占的比重（ X_{16} ）的交互解释力为 0.975，海水达到二类水质以上所占的比重（ X_{16} ）与近海与海岸湿地面积（ X_{17} ）的交互解释力为 0.984，人均海洋 GDP（ X_{12} ）与海水达到二类水质以上所占的比重（ X_{16} ）的解释力为 0.979。响应层因子交互下（表 4）海洋基础建设中政府投资（ X_{25} ）与沿海滨海观测台站（ X_{26} ）的解释力为 0.988，海洋科研机构 R&D 人员（ X_{19} ）与海洋基础建设中政府投资（ X_{25} ）的交互解释力为 0.983。这表明沿海产业经济结构化发展、人口状况、工业产业排污状况、沿海海洋生态环境状况、政府和科研机构等群体对海洋生态环境的投资力度之间具有极强的关联性与交互性。沿海产业经济向高结构化方向进行转化，一方面将吸引更多的从业人员，促进产业经济等方面的发展与货物运输；另一方面也会使得污染物、废弃物等方面的入海排放量增加，若政府、研究人员等加大对海洋生态环境的研究投入与修复，则海洋生态环境的治理成效也会相对显著。

表 3 状态层各因子交互关系

Table 3 Interaction of factors in the state layer

X	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	X_{17}
X_9	0.577								
X_{10}	0.889	0.535							
X_{11}	0.971	0.942	0.818						
X_{12}	0.957	0.957	0.956	0.851					
X_{13}	0.859	0.749	0.973	0.961	0.281				
X_{14}	0.899	0.814	0.957	0.916	0.914	0.664			
X_{15}	0.957	0.744	0.963	0.934	0.820	0.803	0.702		
X_{16}	0.8998*	0.8062*	0.997	0.979	0.8289*	0.851	0.809	0.225	
X_{17}	0.976	0.937	0.975	0.967	0.972	0.946	0.923	0.984	0.918

表 4 响应层各因子交互关系

Table 4 Interaction of factors in the response layer

X	X_{18}	X_{19}	X_{20}	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	X_{25}	X_{26}	X_{27}	X_{28}
X_{18}	0.668										
X_{19}	0.972	0.808									
X_{20}	0.973	0.955	0.735								
X_{21}	0.966	0.962	0.930	0.754							
X_{22}	0.882	0.963	0.971	0.895	0.574						
X_{23}	0.903	0.925	0.939	0.955	0.756	0.603					
X_{24}	0.880	0.906	0.864	0.898	0.950	0.925	0.409				
X_{25}	0.956	0.983	0.970	0.892	0.829	0.851	0.963	0.730			
X_{26}	0.941	0.941	0.909	0.975	0.977	0.980	0.833	0.988	0.549		

X_{27}	0.861	0.936	0.945	0.863	0.786	0.827	0.878	0.868	0.890	0.495	
X_{28}	0.936	0.928	0.915	0.865	0.783	0.727	0.853	0.919	0.952	0.834	0.523

多因子作用下对环境治理绩效的影响更为显著。在压力层与状态层、状态层与响应层、压力层与响应层的交互下，本文筛选出解释力高于 96%的交互因子（表 5），由表可知这些因子的交互作用明显高于单层下指标的交互作用。响应层与压力层、状态层的交互程较高，在各层中的均值也偏大，分别为 0.914、0.912，这揭示了政府等社会各界群体对东海海洋生态环境治理、保护和管理的必要性与潜在性。其中，海水达到二类水质以上所占的比重（ X_{16} ）与海洋科技创新能力（ X_{20} ）、沿海区域地表水与地下水重复利用量（ X_{14} ）与海洋基础建设中政府投资（ X_{25} ）、沿海货运量比重（ X_2 ）与海洋科技创新能力（ X_{20} ）、人均岸线长度（ X_5 ）与沿海滨海观测台站（ X_{26} ）、涉海就业人员（ X_3 ）与海水达到二类水质以上所占的比重（ X_{16} ）的交互性解释力高达 99%，分别为 0.998、0.994、0.992、0.991、0.990。这些因子大部分与单因子、层内交互性解释力较高的因子相对应，说明这些因子对海洋生态环境治理绩效影响显著。小部分因子如海水达到二类水质以上所占的比重（ X_{16} ）等为层内低值，但与其他因子交互的解释力均较高，故因子交互性作用更能挖掘影响环境治理绩效的潜在因子。

表 5 海洋环境治理绩效各分层因子交互作用探测结果

$X_i \cap X_j$	交互值	$X_i \cap X_j$	交互值	$X_i \cap X_j$	交互值
$X_1 \cap X_{11}$	0.972	$X_6 \cap X_{26}$	0.975	$X_{11} \cap X_{22}$	0.967
$X_1 \cap X_{26}$	0.987	$X_7 \cap X_9$	0.975	$X_{11} \cap X_{26}$	0.964
$X_2 \cap X_{11}$	0.978	$X_7 \cap X_{11}$	0.975	$X_{12} \cap X_{18}$	0.973
$X_2 \cap X_{13}$	0.965	$X_7 \cap X_{12}$	0.961	$X_{12} \cap X_{26}$	0.987
$X_2 \cap X_{14}$	0.965	$X_7 \cap X_{13}$	0.963*	$X_{12} \cap X_{27}$	0.978
$X_2 \cap X_{20}$	0.992	$X_7 \cap X_{17}$	0.981	$X_{13} \cap X_{26}$	0.971*
$X_2 \cap X_{26}$	0.984	$X_7 \cap X_{19}$	0.971	$X_{14} \cap X_{19}$	0.975
$X_3 \cap X_9$	0.980	$X_7 \cap X_{22}$	0.968	$X_{14} \cap X_{25}$	0.994
$X_3 \cap X_{16}$	0.990	$X_7 \cap X_{25}$	0.968	$X_{14} \cap X_{26}$	0.965
$X_3 \cap X_{21}$	0.980	$X_7 \cap X_{26}$	0.960	$X_{15} \cap X_{25}$	0.966
$X_3 \cap X_{26}$	0.987	$X_8 \cap X_{12}$	0.966	$X_{15} \cap X_{26}$	0.964
$X_3 \cap X_{27}$	0.966	$X_8 \cap X_{17}$	0.979	$X_{15} \cap X_{27}$	0.973
$X_4 \cap X_{20}$	0.975	$X_8 \cap X_{21}$	0.980	$X_{16} \cap X_{20}$	0.998*
$X_4 \cap X_{26}$	0.982	$X_8 \cap X_{27}$	0.982	$X_{17} \cap X_{20}$	0.987
$X_5 \cap X_{11}$	0.964	$X_9 \cap X_{19}$	0.978	$X_{17} \cap X_{21}$	0.970
$X_5 \cap X_{17}$	0.963	$X_9 \cap X_{20}$	0.977	$X_{17} \cap X_{22}$	0.966
$X_5 \cap X_{22}$	0.972	$X_9 \cap X_{25}$	0.977	$X_{17} \cap X_{24}$	0.971
$X_5 \cap X_{25}$	0.977	$X_9 \cap X_{26}$	0.965	$X_{17} \cap X_{25}$	0.976
$X_5 \cap X_{26}$	0.991	$X_{10} \cap X_{26}$	0.969	$X_{17} \cap X_{26}$	0.975
$X_5 \cap X_{27}$	0.965	$X_{11} \cap X_{21}$	0.978	$X_{17} \cap X_{27}$	0.975

3 讨论

3.1 东海区海洋环境治理绩效中地理探测器发生机理

从人地关系的角度分析，驱动人地关系地域变化的主要因子对东海海洋生态环境管理绩效也起着关键作用。人地关系系统中，“人”、“地”内部或彼此之间存在多种反馈，在一定条件下通过非线性作用，产生协同或相干现象^[21]。人类社会发展中，产业经济发展、科技水平、人口状况等因子正向或反向作用于海洋生态环境系统，对海洋生态环境治理绩效也极具解释力。人类活动对自然环境、自然资源进行着可控性与非可控性开发，实现其产出价值，与“地”之间形成双向互动关系^[21-22]。东海海洋生态环境系统的状况始于这种人地关系系统结构的变化，关键要素和系统结构决定了海洋生态环境的治理与恢复程度。当系统压力超过平衡状态，海洋生态环境的耗散结构受损，最终影响海洋生态环境治理绩效。近海与海岸湿地面积、人均岸线长度、海水达到二类水质以上所占的比重等自然资源状况下降将造成海域承载力降低；若超出海域可控能力则对生态环境造成严重影响，环境治理难度也大大增加。因此，“人”、“地”之间的关系及要素变化对东海海洋生态环境治理绩

效水平及其空间分异具有重要影响。综合来看,人口密度与就业情况、工业排污状况、科技创新能力、经济发展结构等人文因素与水质状况、近海与海岸生态状况、岸线长度、海水可养殖面积等自然资源要素的交互是东海海洋生态环境治理绩效的重要驱动力。地理探测器中因子与交互性因子探测能较好地进行佐证和分析,故采用地理探测器进行定量分析更具合理性。

多因子交互下,压力层与响应层无论是层内还是层间交互性较高的均为单因子下解释力较大的因子,而状态层层内或层间交互性较高却与状态层解释力较低的因子相联系。原因在于政府机构管理者、科学研究者等在资金、技术、教育、制度建设等方面投入状况直接影响海洋生态系统经济和资源压力的平衡关系,进而影响海洋生态环境治理;但海洋生态环境系统属于非线性的耗散结构^[23],当非可控自然灾害和经济、人口等方面压力超过一定限度,系统平衡性则会受损,人为干预难以在短期内恢复海洋生态环境原有的生态价值。故交互性较高的因子多与状态层解释力较低的因子相联系。

3.2 东海区海洋生态环境治理调控思路

从区域发展整体性分析,东海区“两省一市”对海洋环境治理绩效均具有显著性影响,关键年份省市起伏变化在一定程度上引起整体环境治理绩效波动。但是从“两省一市”看,上海市综合环境治理绩效水平、压力-状态-响应(P-S-R)不同分层下都明显高于浙江省与福建省;上海市环境治理绩效综合水平与各分层变化趋势在一定程度上与东海区整体变化具有趋同性。由此可见,东海区海洋环境治理绩效中上海市具有牵引性作用。海洋环境治理绩效进一步优化过程中,浙江省与福建省在减轻人类过度活动所造成的区域压力、优化沿海与沿岸各类景观生态的同时,需借鉴上海市海洋环境治理相关经验,加强沿岸海域生产与管理的科技创新力、适当强化正向干扰和响应力度。一方面,东海区各省市在政策强化、响应措施上应从区域整体出发,将各省市进行有效联合,结合“3S”技术,建立海域生态环境数据库并进行实时研究与动态监测;加强多学科如生态学、环境科学、地理学、经济学等方面的研究,提升海洋生态环境治理与管控的强度,加强海水水质、近海与沿岸生态环境、政府投资建设、产业经济发展等方面的建设,强化因子的双向推动作用,构建以政府和企业为主体的东海区海域生态环境终身追究责任制度、环境损害赔偿责任制度、生态环境修复责任制度,从而提升海洋生态环境治理绩效水平。另一方面,东海区“两省一市”应有重点对区域海洋环境进行优化,在人口、经济、资源压力对海域环境状态产生较多负反馈的区域,建立沿海及沿岸生态激励与补偿机制,对海域环境造成的正面或负面影响进行激励或收费补偿;在沿海沿岸排污量较大区域应减少政府、企业、群众等群体对海域环境所造成的不经济行为。

3.3 研究展望

目前,关于环境治理绩效的研究取得了诸多显著成效,但较少涉及海岸带、海洋领域环境治理绩效的相关研究。本文以东海区为例,对海洋环境治理绩效及其影响因素展开研究,找出影响海洋环境治理绩效的重要因子、交互性较强的因子,有助于从整体把握东海区海洋经济发展与生态环境之间的主要矛盾,为精准化、多样化、差异化治理与优化东海区海洋生态环境提供了一定的参考。海洋环境治理绩效主体涉及政府、企业、教育科研工作者、普通大众等,但由于数据搜集获取及定量化度量具有一定难度,因此响应层下对公众参与情况进行了适当剔除。未来研究,可从东海区乡镇、县域、地级市等不同尺度出发,探究不同尺度下海洋环境治理绩效的空间分异特征,讨论在“两省一市”技术、政策等方面支撑下不同尺度环境治理绩效影响因子及其交互性是否与本研究具有趋同性或者相似性,从而为区域海洋环境治理提供相关优化思路。

4 结论

本文结合熵权 TOPSIS 测度东海区 2007—2016 年海洋生态环境治理绩效时空演变的基础上,采用地理探测器揭示东海海洋生态环境治理绩效水平的影响因子及空间分异机制,得出了如下结论:

(1) 东海海洋生态环境治理绩效水平总体呈上升趋势,2007—2011 年为平稳增长型,2011—2016 年为加速增长型。上海市海洋生态环境治理绩效 2007—2016 年均属于加速增长型,2016 年总体略有下降,但其成效仍然显著。浙江省和福建省 2007—2011 年为震荡型,总体呈下降趋势,波动显著;2011—2016 年为上升型,其中 2011—2013 年加速上升型,2013—2016 年为稳定上升型。不同时期的变化特征与两省面临的社会经济压力、海洋污染状况及相关整治力度密切相关。

(2) 东海区、浙江省、福建省海洋生态环境压力状况高位回落与低位上升的趋势交替进行。东海区及两省一市的海洋生态环境现状以 2011 年为分界点,2011 年前为缓慢增长期,福建省与浙江省具有小幅高位回落的现象;2011—2016 年为加速增长期,但增速仍具差异性。海洋生态环境响应状况的变化趋势与海洋生态环境治理绩效总体特征具有对应性。

(3) 人口密度与就业情况、工业排污状况、科技创新能力、经济发展结构等人文因素与水质状况、近海与海岸生态状况、岸线长度、海水可养殖面积等自然资源要素交互的解释力极高。这些因子大多与单因子、层内交互性解释力较高的因子

相对应,对海洋生态环境治理绩效具有显著性影响。部分因子如海水达到二类水质以上所占比重等为层内低值,但与其他因子交互的解释力均较高,表明多因子交互作用能有效挖掘影响环境治理绩效解释力较低的潜在单因子。

参考文献:

- [1] ZHOU Fengqi(周冯琦), CHENG Jin(程进), CHEN Ning(陈宁), et al. Assessment Report on the Performance of Environmental Governance in the Yangtze River Economic Belt(长江经济带环境治理绩效评估报告)[M].Shanghai: Academy of Social Sciences Press ,2016:1-35.
- [2] WANG K,Yu S,Zhang W. China's regional energy and environmental efficiency: A DEA window analysis based dynamic evaluation[J]. Mathematical and Computer Modelling,2013,58(5):1117-1127.
- [3] GONG Hongbo(龚虹波),CHEN Jinyang(陈金阳),CHEN Huilin(陈慧霖), et al. Research review: Environmental governance performance evaluation[J].Journal of Ningbo University (Natural Science and Engineering)(宁波大学学报(理工版)),2021,34(01):102-109.
- [4] LI Jialin(李加林), GONG Hongbo(龚虹波), JIANG Yizhi(姜忆湄), et al. East China Sea Sustainable Development Research report— Coastal Zone and Gulf Resources and Environment Evolution Volume(中国东海可持续发展研究报告——海岸带与海湾资源环境演化卷)[M].Beijing: Ocean Press ,2020.
- [5] LU Zifang(卢子芳), DENG Wenmin(邓文敏), ZHU Weiwei(朱卫未). Dynamic Evaluation of Ecological Environment Governance Performance in China:Based on DEA-BCC Model and Total Factor Productivity Index [J].China Forestry Economy(中国林业经济),2020(02):1-5.
- [6] ZHENG Shangzhi(郑尚植), GONG Fang(宫芳).Research on efficiency measurement of local government environmental governance investment—empirical analysis based on DEA and Malmquist index [J]. Lingnan Journal (岭南学刊) ,2015,2:100-104.
- [7] ZHANG Hengquan(章恒全), WANG Xuhua(王旭华), XIE Dan(谢丹). Evaluation of Urban Water Environment Governance Performance Based on Fuzzy Hierarchy Analysis [J]. Statistics and decision(统计与决策),2006(22):60-62.
- [8] GUO Guofeng(郭国峰),ZHENG Zhaofeng(郑召锋). Assessment on Efficiency of Environmental Pollution Control in Henan Province based on DEA Model[J].Economic questions(经济问题),2009(01):48-51.
- [9] JIN Rongxue(金荣学), ZHANG Di(张迪). Research on the Efficiency of Environmental Protection Expenditures by Provincial Governments in China [J]. Economic Management(经济管理),2012,34(11):152-159.
- [10] BARTZ S, KELLY L D. Economic growth and the environment: Theory and facts[J]. Resource and Energy Economics, 2007, 30(2) : 115-149.
- [11] FAN Shengyue(樊胜岳), ZHOU Ning(周宁), LIU Wenwen(刘文文), et al. The Influence of Farmers' Livelihood Capital and Livelihood Type on the Performance of Non-Point Source Pollution Control Project: A Case Study of Qilu Lake Watershed in Yunnan Province[J].Ecological economy(生态经济),36(03):201-207.
- [12] LI Jialin(李加林), TIAN Peng(田鹏), SHAO Shuyao(邵姝遥), et al. East China Sea Coastline Dataset[J].Journal of Global Change Data & Discovery(全球变化数据学报),2019,3(03):252-258+362-368.
- [13] FENG Baixiang(冯佰香), LI Jialin(李加林), GONG Hongbo(龚虹波), et al. Study on ecological damage characteristics and compensation standard of aquaculture project based on recovery capacity and impact cycle: A case study of the famous aquaculture area of Shuihutu in Xiangshan county[J].Journal of Natural Resources(自然资源学报),2019,34(04):745-758.
- [14] TONG Chen(童晨),LI Jialin(李加林),YE Mengyao(叶梦姚), et al. The effects of landscape pattern change on ecosystem services value in the coastal zone of the East China Sea[J].Journal of Zhejiang University(Science Edition)(浙江省大学学报(理学版)),2020,47(04):492-506+520.
- [15] LI Jialin(李加林),TIAN Peng(田鹏),SHAO Shuyao(邵姝遥), et al. The change of continental coastline and its development utilization intensity in the East China Sea[J].Journal of Natural Resources(自然资源学报),2019,34(09):1886-1901.
- [16] MANGI S C, ROBERTS C M, RODWELL L D. Reef fisheries management in Kenya: Preliminary approach using the driver–pressure–state–impacts–response (DPSIR) scheme of indicators[J].Ocean & Coastal Management,2007,50(5-6): 463-480.
- [17] JIANG Gui-yan(蒋贵彦),YUN Ying-xia(运迎霞),REN Li-jian(任利剑), et al. Spatial-temporal discrimination and the related obstacle factor diagnosis for the valley cities urban eco-security in China west based on the improved TOPSIS method[J].Journal

of Safety and Environment (安全与环境学报),2020,20(01):342-351.

- [18] WANG J F, LI X H, CHRISTAKOS G, et al. Geographical de-tectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region, China[J].International Journal of Geographical Information Science,2010,24(1):107-127.
- [19] WANG J F, HU Y. Environmental health risk detection with GeogDetector[J].Environmental Modelling & Software,2012,33:114-115.
- [20] WANG Jinfeng (王劲峰), XU Chengdong (徐成东). Geodetector: Principle and prospective [J]. Acta Geographica Sinica (地理学报), 2017, 72(1): 116-334.
- [21] WU Chuanjun(吴传钧). A Study of Geographical Core—Geographical System of Human-Earth Relations[J].Economic Geography(经济地理), 1991(03):1-6.
- [22] LU Dadao(陆大道), GUO Laixi(郭来喜). Man-earth areal syetem—the core of geographical study——on the geographical thoughts and academic contributions of academician WU Chuanjun[J].Acta Geographica Sinica (地理学报),1998(02):3-11.
- [23] WANG Jia(王佳). Study on the Early-Warning of the Tourism Environmental Carrying Capacity in Coastal Areas in China(我国沿海地区旅游环境承载力预警研究)[D].Qingdao: Ocean University of China ,2014.

Detection and analysis of Marine environmental governance performance and its influencing factors in the East China Sea

LI Jia-lin^{1,2,3}, CHEN Huilin¹, GONG Hongbo⁴, LI Dong-lin⁵, XIN Xin¹, YANG Kai-jie¹

(1.School of Geographic Science and Tourism Culture, Ningbo University, Ningbo 315211, China; 2. Donghai Institute, Ningbo University, Ningbo 315211, China; 3. Cooperative Innovation Center for Land and Sea Land Space Utilization and Governance, Ningbo 315211, China; 4. School of Law, Ningbo University, Ningbo 315211, China; 5 Ningbo Development Planning Institute)

Abstract: The present paper takes the East China Sea as the case study sampling area based on the PSR model, the TOPSIS method and geographic detector. We have chosen 28 factors to build up P-S-R evaluation index system to measure the marine ecological environmental governance performance during 2007-2016 and reveal the occurrence mechanism behind the cause and put forward to regulatory measures regulation measures. The results indicate that:(1)From 2007 to 2011, the performance of Marine ecological and environmental governance in the sea area showed steady growth, and accelerated growth from 2011 to 2016. The performance of Marine ecological environment governance showed an accelerated growth type from 2007 to 2016 in Shanghai ,Zhejiang and Fujian showed an oscillation-decline pattern from 2007 to 2011, and an upward pattern from 2011 to 2016.(2)From 2007 to 2011, the pressure of Marine ecological environment the sea area and the two provinces and one city alternately showed the characteristics of high decline and low rise, the state layer and the corresponding layer fluctuate and rise. In a word, there were an inverse relationship between the pressure layer and the state layer, but the response layer corresponded to the characteristics of the overall performance level, and the three factors acted on the performance of Marine environmental governance together.(3)Population density and employment, hi-tech innovation capacity, the structure of the economic development of humanity elements and water quality condition, offshore and coastal ecological status, seawater breeding area of natural elements of interactivity explanatory power are too high, which factors are an important driver of the sea area Marine ecological environmental governance performance.(4)Shanghai plays a leading role in the Marine environment optimization of in the sea area. In order to reduce the coastal pressure and optimize the coastal landscape ecology, Zhejiang and Fujian should learn the experience from Shanghai, strengthen the technological innovation of Marine production and management, and strengthen the positive disturbance and response. Shanghai, Zhejiang and Fujian should not only effectively combine policies and measures on the whole, but also focus on optimizing local sea areas

Keywords: environmentalology; environmental governance performance; P-S-R; Entropy Weight TOPSIS; Geographic Detector; East China Sea Area

CLC number:X321; X22

Document code: A

Article ID: 10.13637/j.issn.1009-6094.2021.0240