

DOI: 10.5846/stxb201807161531

李博, 金校名, 杨俊, 韩增林, 苏飞. 中国海洋渔业产业生态系统脆弱性时空演化及影响因素. 生态学报, 2019, 39(12): - .

Li B, Jin X M, Yang J, Han Z L, Su F. Spatio-temporal evolution and influencing factors for marine fisheries industry ecosystem vulnerability in China. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(12): - .

# 中国海洋渔业产业生态系统脆弱性时空演化及影响因素

李 博<sup>1,\*</sup>, 金校名<sup>1</sup>, 杨 俊<sup>1</sup>, 韩增林<sup>1</sup>, 苏 飞<sup>2</sup>

1 辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心, 大连 116029

2 浙江工商大学旅游与城乡规划学院, 杭州 310018

**摘要:** 海洋强国战略以及蓝色农业计划的实施亟需加强海洋渔业可持续发展。以脆弱性为切入点, 采用三轴图法剖析中国海洋渔业产业结构, 从敏感性、应对能力两方面构建海洋渔业产业生态系统脆弱性指标体系, 运用 Topsis 法和障碍度模型分析 2001—2015 年中国海洋渔业产业生态系统脆弱性时空演变特征及其影响因素。结果表明: ① 2001—2015 年中国海洋渔业产业结构单一且长期处于初级阶段; ② 时间维度上, 以 2008 年为节点中国海洋渔业产业生态系统脆弱性呈现由小幅波动向大幅提升转变的阶段性特征; ③ 空间维度上, 中国海洋渔业产业生态系统脆弱性空间分布呈现南高北低的集群化特点, 依据系统脆弱性等级演变轨迹将中国海洋渔业产业生态系统脆弱性划分为“U”型、“线性上升”型、“波浪”型、“平稳”型脆弱性演化结构; ④ 增强海洋渔业近海海域环境整改力度、优化海洋渔业产业结构、发展远洋渔业、加强海洋灾害预警、引进先进科技设备和优秀专业人才是降低中国海洋渔业产业生态系统脆弱性的有效措施。

**关键词:** 海洋渔业; 产业生态系统; 脆弱性; 时空演化; 中国

## Spatio-temporal evolution and influencing factors for marine fisheries industry ecosystem vulnerability in China

LI Bo<sup>1,\*</sup>, JIN Xiaoming<sup>1</sup>, YANG Jun<sup>1</sup>, HAN Zenglin<sup>1</sup>, SU Fei<sup>2</sup>

1 Study Center of Marine Economy and Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

2 School of Tourism & Urban-Rural Planning, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China

**Abstract:** The implementation of maritime power strategies requires further enhancement of the development of marine fisheries economy. In this paper, using vulnerability as the breakthrough point, the marine fisheries industrial structure in China was analyzed using a 3-axis graph. The vulnerability index system of the marine fisheries industry from two aspects, sensitivity and response capacity were constructed. Then, temporal and spatial evolution characteristics and influencing factors of the marine fisheries industry ecosystem vulnerability in China during 2001—2015 was analyzed using the Topsis method and the obstacle degree. The results showed that: ① During 2001—2015, the marine fisheries industrial structure in China was single and in the primary stage for a long period. ② In the time dimension, using 2008 as a node, the vulnerability of China's marine fisheries industry ecosystem exhibited a phased transition from a small fluctuation to a large increase. ③ Regarding the spatial dimension, the spatial distribution of the marine fisheries industry vulnerability in China exhibited clustering characteristics, being high in the south and low in the north according to the evolution trajectory of system vulnerability. The industry ecosystem vulnerability of marine fisheries in China was divided into “U” type, “liner

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571127, 41501182); 辽宁省财政厅项目(18C021)

收稿日期: 2018-07-16; 网络出版日期: 2018-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: libo\_ok@126.com

rise” type, “wave” type, and “stable” type of vulnerability evolution structure. ④Through the analysis of the obstacle degree of the system, it was found that strengthening the environmental rectification of the coastal waters on marine fisheries, optimizing the marine fisheries industrial structure, further promoting the development of the pelagic fishery, strengthening the early warning signals of marine disasters, and introducing advanced scientific, technological equipment, and qualified professionals would reduce the marine fisheries industry ecosystem vulnerability in China.

**Key Words:** marine fisheries; industry ecosystem; vulnerability; spatio-temporal evolution; China

伴随着“十三五”发展规划中海洋强国战略的提出,海洋经济发展已经成为带动整个国家经济发展的重要支柱,而海洋渔业作为蓝色农业的重要支撑,是海洋经济发展的基础。中国依靠 7% 的耕地养活了 22% 的人口,在大农业范围内,中国陆地农业在一定程度上达到饱和状态,而开发海洋农业则成为现代化农业发展的突破口。海洋渔业资源作为现代化农业发展的一部分,成为了维护中国粮食安全的新途径。“三农问题”的背景下,加强对海洋渔业资源的合理利用和发展海洋渔业可以解决渔民脱贫问题。同时为响应“建设社会主义新农村”的战略任务,将海洋渔业资源开发与海洋渔业二、三产业融合发展,从而促进城镇化和新农村建设。但目前海洋渔业资源衰退和生境破坏现象并未得到根本性改变,中国海洋渔业依旧面临发展方式粗放、海域污染严重等诸多严峻挑战,由此海洋渔业发展过程中的脆弱性问题日益突显。脆弱性是全球变化和可持续发展研究的核心问题之一<sup>[1-3]</sup>,有关脆弱性评估、脆弱生态环境的可持续性管理等研究逐渐成为全球性研究热点<sup>[4-10]</sup>。该研究起源于 20 世纪 60 年代末期的自然灾害研究<sup>[11]</sup>,发展于 20 世纪 80 年代初期的粮食安全中的权利理论研究<sup>[12]</sup>,近年来 MAB、IGBP、IHDP 等国际性科学计划均涉及到脆弱性研究,加速了各界学者对其研究的进程<sup>[13-15]</sup>。

国外对于海洋渔业脆弱性研究已由单一扰动因素向多重扰动因素转化。Himes—Cornell 等<sup>[16]</sup>从社会生态系统视角对阿拉斯加的渔业社区脆弱性进行评析;Allison 等<sup>[17]</sup>构建了脆弱性模型,评价全球 132 个国家的海洋渔业在面对气候变化影响下的经济脆弱性;Cinner 等<sup>[18]</sup>通过环境暴露、生态敏感性、生态恢复潜力、社会敏感度以及社会适应能力 5 个要素评价肯尼亚 12 个珊瑚礁渔业的社会生态系统脆弱性;M.K.Das 等<sup>[19]</sup>根据敏感性、暴露性和适应能力之间的函数关系建立了脆弱性指数,评价了气候变化下印度西孟加拉邦 13 个县的内陆渔业的脆弱性。国内研究多以海洋渔业资源可持续利用及海洋渔业转型研究为主。在海洋渔业资源可持续利用方面:孙康等<sup>[20]</sup>从时、空角度分别阐明海洋渔业资源可持续利用特征的具体表象;唐议等<sup>[21]</sup>认为中国海洋捕捞业整体趋于稳定,通过规范捕捞制度有利于促进海洋渔业资源可持续发展;褚晓琳<sup>[22]</sup>认为应将预警原则纳入到中国海洋渔业资源的可持续利用之中;在海洋渔业转型方面:同春芬<sup>[23]</sup>明晰了中国海洋渔业产业结构;耿爱生<sup>[24]</sup>指出海洋劳动力转型是海洋渔业转型的重要部分;杨林<sup>[25]</sup>提出海洋渔业产业结构亟需优化转型,实现海洋渔业经济效益和生态效益相结合,避免出现产业同构。相比于国外,国内主要是针对海洋渔业面对气候冲击时的脆弱性进行了度量<sup>[26]</sup>。

鉴于此,本文尝试构建中国海洋渔业产业生态系统脆弱性研究框架,以中国沿海地区(不包括港澳台地区)为例,运用三轴图法揭示中国海洋渔业产业结构演化规律,表明中国海洋渔业产业生态系统脆弱性显著。采用 Topsis 法和障碍度评价模型,揭示中国海洋渔业产业生态系统脆弱性的时空演化特征及其影响因素,以期为中国海洋渔业可持续发展提供方向指导。

## 1 中国海洋渔业经济现状

2001—2015 年中国海洋渔业生产总值占比海洋经济生产总值逐步下降,由 2001 年的 10.1% 下降至 2015 年的 6.7%,表明海洋产业结构不断调整升级,进一步反映了中国海洋渔业产业的优势减弱,对海洋经济发展的贡献率逐步降低。

### 1.1 中国海洋渔业产业结构呈现左旋演进模式

根据三轴图法的原理<sup>[27]</sup>,利用海洋渔业三次产业结构重心运动轨迹来描述海洋渔业产业结构演化过程。选取中国海洋渔业三次产业分别占海洋渔业经济总 GDP 比重为基准数据,建立仿射坐标系,绘制中国海洋渔业产业结构演变路径(见图 1)。

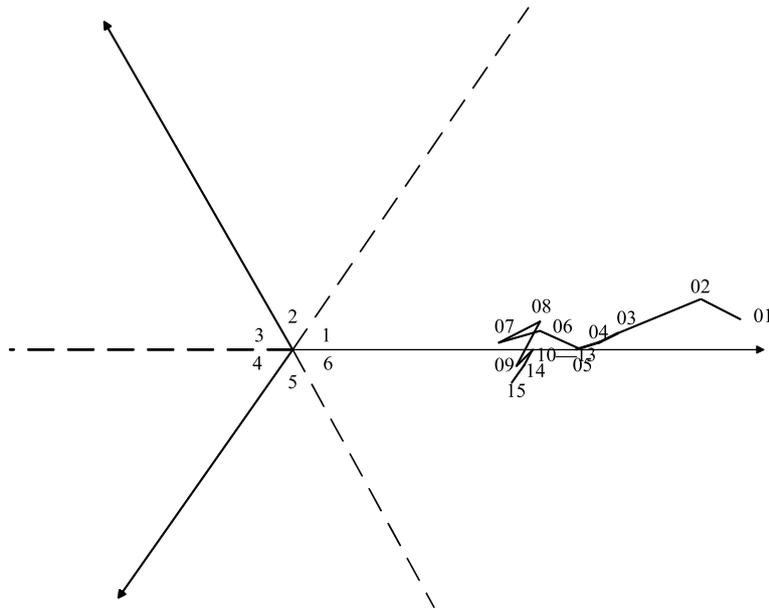


图 1 中国海洋渔业三次产业结构演进轨迹

Fig.1 Trajectory of three industrial structure of marine fisheries in China

1—6:仿射坐标轴以及两轴角的角平分线把平面分为六个区域分别记作区域 1—6;01—15:为 2001—2015 年 15 年内各年份

(1)2001—2015 年,中国海洋渔业产业结构演变呈现左旋演进模式。演进轨迹由第一象限向第六象限过度,三次产业结构正在从“一二三”逐步向“一三二”模式转变。表明中国海洋渔业产业正由初级阶段向低级阶段正向发展,发展势头良好,但转型速度较为缓慢。

(2)在中国“十五”和“十一五”期间,海洋渔业产业保持“一二三”初级化的发展模式,自“十二五”起海洋渔业产业结构发生变化,海洋渔业第三产业比重逐渐提高,但仍以海洋渔业第一产业为主导,产业同构现象明显,并伴随以粗放式经营为主进行生产作业,集约化和现代化养殖水平较低;海洋渔业二、三产业占比较小,中国海洋渔业产业高度化程度较低,对于海洋水产加工业、建筑业以及海洋渔业流通和服务业发展相对迟缓,核心科技支撑力不足,缺乏水产品精深加工,渔民过度依赖海洋资源对转产转业观念还未提升,相关产业融合度低,造成海洋渔业产业结构配比不合理。因此,急需加强海洋渔业产业结构由初、低级阶段向中、高级阶段转变。

(3)从脆弱性角度来看,2001—2015 年中国海洋渔业产业结构以捕捞业和养殖业为主造成海洋渔业劳动力、技术和资金等各种生产要素过度集中,并直接影响了海洋渔业二、三产业的劳动力、技术和资金等生产要素的投入,阻碍了海洋渔业的高级化发展。同时海洋渔业过度集中于第一产业,造成海洋资源衰退、生境破坏、海洋渔业生物多样性减少等问题,迫使中国海洋渔业产业生态系统脆弱性加大。

## 2 海洋渔业产业生态系统脆弱性识别与指标体系构建

### 2.1 海洋渔业产业生态系统脆弱性识别

海洋渔业产业生态系统是基于海洋渔业可持续发展需求,解决海洋渔业产业发展与环境、资源之间的矛盾而提出的,旨在参照自然系统的物质循环和能量流动模式,重塑现有产业经济模式,从资源的高效利用、减少废弃物的排放等方式获取经济效益与生态效益的统一。该系统由海洋渔业产业子系统及海洋渔业环境子

系统构成<sup>[28]</sup>(见图 2)。海洋渔业产业子系统是以海洋渔业资源开发、利用为核心,包括海洋捕捞业、海水养殖业以及以海洋捕捞业及海水养殖业延伸出的上下游产业。海洋渔业环境子系统包括海洋渔业生态环境和社会环境;海洋渔业生态环境指海洋生物资源总体及其生长环境,海洋渔业生态环境与海洋渔业生物之间存在相互影响及作用,一定程度上关系到海洋鱼类的生存、发育、繁殖、死亡、补充、行动、分布及资源盛衰;海洋渔业社会环境指以海洋渔业产业为基础进行生产或生活的人们所形成的具有海洋特色的道德标准、思想观念、教育、法律、政策、科技等社会性要素。

中国海洋渔业发展中存在的脆弱性问题逐渐突显。这种脆弱性除了来自于系统自身内部结构先天的不稳定性和敏感性之外,更主要的是来自于外界的压力和干扰使系统遭受损害而发生不可逆变化。前者为结构性脆弱性,后者为胁迫性脆弱性。中国沿海地区由于受到海洋资源、结构、体制和市场等方面的约束,面临着可持续发展的综合性问题,海洋渔业资源过度开发导致资源枯竭、生态破坏甚至是环境灾害。长期以来,过度依赖海洋渔业资源而形成的单一化产业结构,多样性经济结构未成熟,缺乏培育海洋渔业产业竞争优势的外部条件,导致海洋渔业产业生态系统的结构性脆弱。在经济全球化背景下,技术进步和产业结构升级,使海洋渔业开发与利用面临较大的外部竞争压力,威胁着沿海地区经济的稳定性和持续性,导致沿海地区海洋渔业产业生态系统的脆弱性显著升高<sup>[29]</sup>。

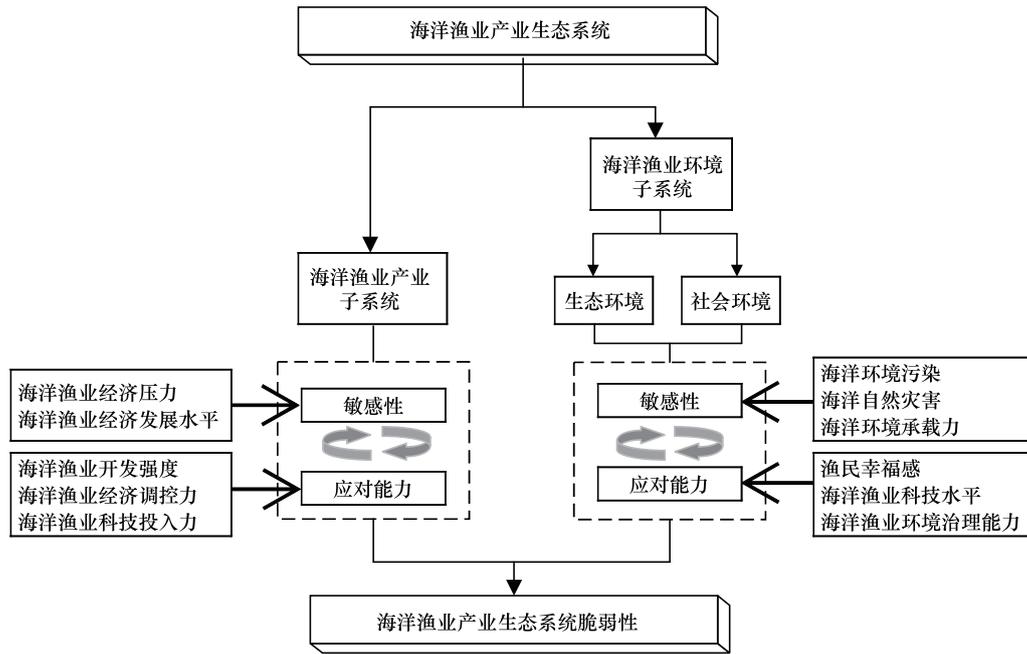


图 2 中国海洋渔业产业生态系统脆弱性逻辑框架

Fig.2 The framework of marine fisheries industry ecosystem vulnerability of China

### 2.2 脆弱性指标体系构建

依据中国海洋渔业产业生态系统内涵,以 Gallopín<sup>[30]</sup>提出的敏感性—应对能力 (Sensitivity—Response capacity)作为脆弱性评估框架,选取 12 个一级指标和 23 个二级指标,构建中国海洋渔业产业生态系统脆弱性的评价指标体系(见表 1)。

### 2.3 数据来源

鉴于数据的可获取性,将 2001—2015 年作为研究的时间序列,数据来源于《中国统计年鉴》<sup>[31]</sup>(2001—2015 年),《中国海洋统计年鉴》<sup>[32]</sup>(2001—2015 年),《中国渔业统计年鉴》<sup>[33]</sup>(2001—2015 年),《中国区域经济统计年鉴》<sup>[34]</sup>(2001—2015 年),《近岸海域环境质量公报》(2001—2015 年),《中国海洋灾害公报》(2001—2015 年)。其中部分数据通过相关公式进行二次转化,如下:

表 1 中国海洋渔业产业生态系统脆弱性评价指标体系及权重

Table 1 Index system and indicator weights for China marine fisheries industry ecosystem vulnerability

	一级指标 First level index	二级指标 Second level index	指标解释与性质 Index meaning	权重 Weighting		
敏感性 Sensitivity	海洋渔业产业子系统	海洋渔业资源	人均海洋捕捞产量/t	反映海洋渔业产业经济对资源的敏感性 (+)	0.066	
		海洋渔业经济压力	海洋灾害损失/亿元	反映灾害对海洋渔业经济的破坏性 (+)	0.035	
0.687	海洋渔业经济子系统	海洋渔业经济发展水平	海洋渔业经济生产总值占 GDP 比重/%	反映海洋渔业经济对 GDP 的贡献度 (-)	0.068	
			人均海洋渔业生产总值/(元/人)	反映海洋渔业经济发展现状 (-)	0.032	
	海洋渔业环境子系统	海洋环境污染	近岸海域一、二水质占比/%	反映适合海洋渔业生存自然环境 (-)	0.099	
			工业直排入海废水量/万 t	反映海洋环境污染现状 (+)	0.031	
		海洋自然灾害	风暴潮灾害面积/万 hm <sup>2</sup>	反映海洋渔业产业对自然环境的敏感性 (+)	0.025	
			赤潮灾害面积/km <sup>2</sup>		0.041	
		海洋环境承载力	人均海域面积/(万 hm <sup>2</sup> /万人)	反映人均海洋渔业资源基础占有量 (-)	0.046	
			人均滩涂面积/(万 hm <sup>2</sup> /万人)		0.072	
			人均海岸线长度/(km/万人)		0.049	
应对能力 Response capacity	海洋渔业产业子系统	海洋渔业开发强度	海水养殖面积/hm <sup>2</sup>	反映海水养殖能力 (-)	0.028	
			海水产品产量/t	反映海水产品产量变化 (-)	0.008	
		海洋渔业经济调控力	海洋机动渔船年末拥有量/艘	反映海洋渔业产业设备投入能力 (-)	0.084	
			海洋渔业产业资本收益率/%	反映海洋渔业产业的发展能力 (-)	0.010	
		海洋渔业科技投入	海洋渔业二、三产业贡献率/%	反映海洋渔业产业结构优化性 (-)	0.043	
			海洋渔业科研经费投入/万元	反映海洋渔业产业科技效率 (-)	0.053	
		海洋渔业环境治理力	海洋渔业工业固体废物处置量/吨	反映海洋渔业自然环境处理水平 (-)	0.014	
	0.313	海洋渔业环境子系统	海洋渔业科技水平	水产科研机构科技活动人员本科以上学历人员比重/%	反映海洋渔业产业科研能力 (-)	0.034
			渔民幸福感	海洋渔业人均纯收入/(元/人)	反映地区渔民家庭的居民平均收入水平 (-)	0.043
			海洋渔业就业人员/人	反映发展海洋渔业产业形成的就业能力 (-)	0.045	
			沿海省市医疗机构数量/个	反映沿海地区社会福利投入水平 (-)	0.058	
		恩格尔系数	反映沿海地区渔民生活压力情况 (+)	0.014		

①表中符号“+”表示该指标为正向指标,符号“-”为负向指标。②近岸海域一、二水质占比:近岸海域一、二类水质是适宜海洋鱼类生长繁殖等环境条件,受工业化和生活污水过量排放导致海域中氮、磷、盐等营养物质超标,加剧水域中细菌病毒滋生进而致使海水富营养化和赤潮等灾害发生,同时还伴有石油类等化学污染物影响海洋鱼类生存环境

(1) 海洋渔业产业资本收益率 = 海洋渔业产业年增加值 / 海洋渔业产业年产值 × 100%;

(2) 海洋渔业二、三产业贡献率 = (海洋渔业第二产业产值 + 海洋渔业第三产业产值) / 海洋渔业经济总产值 × 100%;

(3) 恩格尔系数 = 各地区食品总支出 / 各地区消费总支出;

(4) 海洋渔业工业固体废物处置量 = 工业固体废物治理量 × (海洋渔业经济总产值 / 国民经济总产值)。

### 3 中国海洋渔业产业生态系统脆弱性评价

#### 3.1 中国海洋渔业产业生态系统脆弱性评价模型

依照海洋渔业产业生态系统脆弱性内涵,结合敏感性—应对能力评估框架,利用函数表达式分别从该框架下的两个构成要素分析:系统面对扰动的敏感性因素(S)和系统面对扰动产生的应对能力(R)。二者对脆

弱性产生的效用是非均等的,计算公式如下:

$$V_i = (W_1 \times S_i) / (W_2 \times R_i) \quad (1)$$

式中,  $V_i$  为中国海洋渔业产业生态系统脆弱性指数;  $S_i$  为中国海洋渔业产业生态系统敏感性指数;  $R_i$  为中国海洋渔业产业生态系统应对能力指数;  $W_1$  为敏感性指数权重;  $W_2$  为应对能力指数权重。

### 3.2 评价方法

由于脆弱性影响要素与脆弱性之间存在复杂的非线性关系,而 Topsis 法<sup>[35]</sup>(Technique for order preference by similarity to an ideal solution)是一种有效的多目标决策方法,旨在基于对原始数据矩阵进行标准化之后确定各指标的最优解和最劣解,进而通过各评价指标与最优解和最劣解的欧式距离,从而得到评价对象与最优值的贴近程度作为最终评价结果依据,并结合熵值法<sup>[36]</sup>将已确定的权重赋予到敏感性和应对能力指标下,最终测算出 2001—2015 年中国海洋渔业产业生态系统脆弱性程度。

### 3.3 结果分析

将 2001—2015 年中国海洋渔业产业生态系统脆弱性指数的平均值(AVG)=1.70 和标准差(SD)=0.51,利用均值标准差分类统计法<sup>[37]</sup>,计算得出当脆弱性指数(V)处在 0~1.19 为低脆弱性;处在 1.19~1.70 为中等脆弱性;处在 1.70~2.21 为较高脆弱性;处在大于 2.21 时为高度脆弱性。并以此作为中国海洋渔业产业生态系统脆弱性评价标准,采用自然断裂法,选取 2001 年、2005 年、2010 年和 2015 年为代表节点,借助 ArcGIS 10.2 将中国海洋渔业产业生态系统脆弱性空间演化趋势可视化。

#### 3.3.1 时间演化特征

2001—2015 年中国海洋渔业产业生态系统脆弱性指数呈现阶段性变化(见图 3)。

(1)2001—2008 年,中国海洋渔业产业生态系统脆弱性指数在 16.5 左右。受 20 世纪 90 年代末期大规模海洋捕捞影响所致,中国海洋渔业资源受损,生态环境受到严重威胁,敏感性程度较高,由此国家提出实施海洋渔业捕捞“零增长”及“负增长”计划,积极有效地缓解了海洋捕捞强度。同时该阶段海洋渔业对海洋经济贡献度较高,沿海地区劳动力对海洋渔业依赖程度较强,必然注重对海洋渔业的调控力,削弱了由于灾害频发和环境污染所致的高敏感性因素,使系统脆弱性处于平稳阶段。

(2)2008—2011 年,中国海洋渔业受国际金融危机严重冲击的滞后性影响,长期处于低迷状态,且频繁受赤潮灾害的扰动,年均灾害损失高达 131.3 亿元。与此同时,国家将海洋经济发展重点从海洋渔业中转移,使

海洋渔业占海洋经济比重下调均至 7.2%,相应的应对能力指数开始出现大幅下滑,导致系统整体脆弱性指数回弹,表现为由 2008 年的 15.9 上升至 2015 年的 21.5,达到峰值。

(3)2011—2012 年,正值“十二五”发展的初期,政府加强对海洋渔业产业宏观调控力,优化海洋养殖布局,控制海洋捕捞量,推动海洋渔业设备更新,使应对能力指数保持平稳且略有小幅上扬,海洋渔业产业生态系统脆弱性明显回落。

(4)2012—2015 年,中国在海洋渔业产业生态系统的应对能力方面又出现新一轮降低。期间,全国重点监测区的河口、海湾、滩涂湿地、珊瑚礁、红树林等地区多处于亚健康或不健康状态,引发海洋渔业产业生态系统结构比例失衡,导致其脆弱性成为继 2008 年之后的又一个新的增长拐点。表明近年来中国海洋渔业产业生态系统整体发展态势不容乐观,未来若不能及时降低敏感性要素,提升应对能力,最终会使整个系统脆弱性

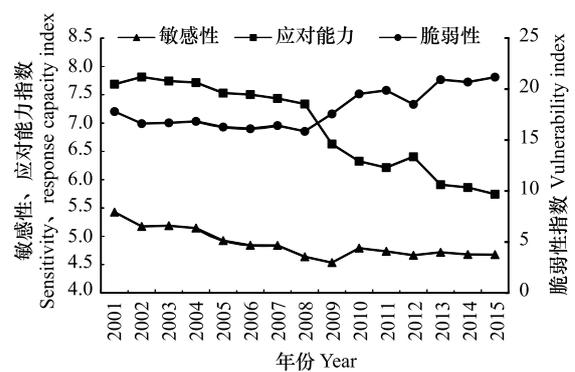


图 3 2001—2015 年中国海洋渔业产业生态系统脆弱性、敏感性、应对能力指数变化

Fig. 3 The trends of vulnerability, sensitivity and response capacity of marine fisheries industry ecosystem from 2001 to 2015

面临进一步恶化态势。

### 3.3.2 空间演化特征

中国海洋渔业产业生态系统脆弱性等级空间分布整体呈现南高北低的集群化特点。以上海为界南北划分明显,上海以北地区海洋渔业产业生态系统脆弱性低于上海以南地区的系统脆弱性;其次,中国海洋渔业产业生态系统脆弱性较高地区多集中于浙江、福建、广东三省,由于这些省份均为中国海洋渔业捕捞大省,海洋渔业外贸依存度较高且产业结构较为丰富,所在海域受自然灾害影响次数较为频繁等方面影响所致。总体来看,中国海洋渔业产业生态系统脆弱性整体处于中等和高度脆弱性之间,而低脆弱性只存在个别年份的个别省市,说明中国海洋渔业产业发展亟需进一步协调改进。

根据 2001—2015 年中国海洋渔业产业生态系统脆弱性等级在 ArcGIS 10.2 中的演变轨迹,划分为 4 种脆弱性空间演化结构:“U”型脆弱性结构,“线性上升”型脆弱性结构,“波浪”型脆弱性结构以及“平稳”型脆弱性结构(见图 4)。

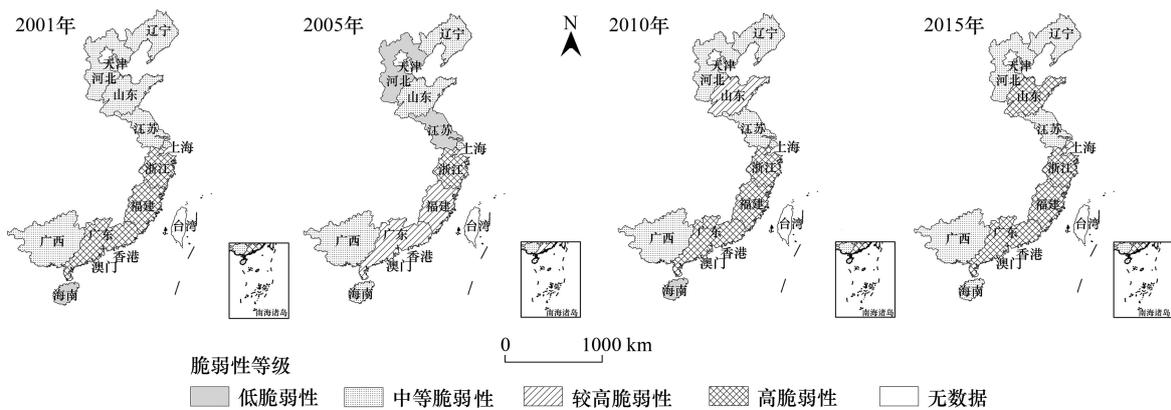


图 4 2001—2015 年中国海洋渔业产业生态脆弱性等级空间分布

Fig.4 Vulnerability degree distribution of the marine fisheries industry ecosystem in China from 2001—2015

(1)在“U”型脆弱性结构省份中,河北省、江苏省属于中—低—中型脆弱性;福建省、广东省属于高—较高—高型脆弱性。

河北省作为《全国海洋发展规划》中明确规定的五个开发区之一,位于环渤海的核心,以较强的科技辐射力使得河北省在海洋渔业产业生态系统脆弱性中一直保持中等较低水平。2005 年,河北省海洋渔业总产量为 99 万吨,比 2000 年增长 22.3%,丰富的海洋渔业资源使河北省养殖业成为该省海洋渔业增产增效的主力。但随着近几年的经济发展,港口建设,石油开发,工业废物排放使近岸海域遭受污染,近海生态系统失衡使得海洋捕捞业、养殖业发展缓慢,导致近期系统的脆弱性有所上升;江苏省海洋资源禀赋有限,沿海生态环境承载力下降制约了海洋渔业可持续发展,但江苏省不断提升海洋渔业科技水平,缓和了江苏省海洋渔业发展因内外部扰动而带来的脆弱性增长。2015 年,江苏省设立省科技攻关专项,为海洋渔业深化发展奠定基础;福建省近 15 年来随着海洋经济转型的深入,不断加强临海工业建设,发展海洋交通运输业,一定程度上冲击了海洋渔业养殖空间,沿海渔民“失海”现象突显。同时海洋污染排放导致近海渔业病虫害滋生,赤潮灾害面积 2010 年突增至 2475 平方公里,破坏海洋渔业资源的再生性;广东省对南珠进行长期高密度开发,导致海洋渔业资源严重枯竭,渔获物以小型化、低值化为主。作为风暴潮影响的高发地带,加之近海海域水体污染未得到有效改善,造成海洋生物多样性的破坏,2005 年后恶化趋势仍持续蔓延。以及从事海洋渔业作业人员素质低下,缺乏综合性科研队伍等多重因素共同导致广东省海洋渔业产业生态系统脆弱性居高不下。

(2)在“线性上升”型脆弱性结构省份中,山东省属于中—较高—高线性上升型脆弱性,上海市属于中—较高线性上升型脆弱性。

山东省因当地经济对于海洋渔业依赖程度高,年均海洋捕捞量高达 248 万吨。资源开发逐年加大致使近

海海域污染严重,部分海洋功能区环境质量欠佳并伴有灾害扰动,加重海洋生态资源承受力。2009年,渤海共出现4次油污污染事件,4次赤潮面积达5279平方公里,对于捕捞产量大省的山东造成了较大损失,使得系统脆弱性呈现不断攀高趋势;上海市在“十五”至“十二五”期间不断加强污染源治理,海洋生态环境和资源多样性得到有效保护,但其海洋渔业产业发展受地理条件制约,海岸带滩涂面积近年来呈递减趋势,可开发的空间资源逐年退减,长江入海口污水排放仍未得到根本性遏制,虽然科技实力雄厚,但海洋渔业科技人才与机构仍显匮乏,多重因素共同作用使得上海海洋渔业产业生态系统脆弱性由中等向较高脆弱性转变。

(3)在“波浪”型脆弱性结构省份中,海南省属于低—中—低—中型脆弱性。

受地理环境因素影响,海南省海洋渔业资源丰富,自然环境良好使其海洋渔业产业生态系统脆弱性处于较低水平。2013年《国务院关于促进海洋渔业持续健康发展的若干意见》令海南省海洋渔业产业发展方向定位为控制内海,拓展外海,发展远洋。但相关技术人才的匮乏及单一的海洋渔业产业结构使海南省在海洋渔业发展上面临瓶颈,同时在政策方针的指导下海南省不断尝试探索新型海洋渔业产业生态发展方向,所面临的敏感性和应对能力在不断磨合,因此系统脆弱性呈现波浪式演变结构。

(4)在“平稳”型脆弱性结构省份中,辽宁省、天津市、广西省均展现为“平稳”型中等脆弱性;浙江省呈现“平稳型”高度脆弱性。

辽宁省和天津市受自然灾害影响程度较低并在环渤海地区加大压缩捕捞强度。2006年,辽宁省借助与国家海洋局签订的《关于共同推进辽宁沿海经济带“五点一线”发展战略的实施意见》,加紧转变海洋渔业产业结构发展现状,截至2012年,全省海洋养殖与海洋捕捞比值为67.3:32.7,产业结构趋于优化。同时政府加大对二者海洋自然保护区和种质资源保护区的建设力度以降低海洋渔业产业生态系统敏感性。但二者处于中等脆弱性,原因在于辽宁省海洋渔业科技发展水平低下,科研成果转化率低,且处于以劳动密集型为主的粗放式海洋渔业经济发展模式。天津市在快速发展城镇化的同时破坏近岸水域环境,一定程度影响了海洋鱼类栖息地;广西省海洋渔业经济发展缓慢且总量小,受灾害影响程度低,内外扰动因素变化程度不明显,但产业结构以传统型海洋渔业为主,先进水产开发技术投入力薄弱及海洋环境保护力度不足使其长期处于中等脆弱性;浙江省海洋渔业产业生态系统一直处在高度脆弱性状态。70%以上沿岸海域呈现富营养化,生态环境极为脆弱。作为中国海洋渔业捕捞大省,年均海洋捕捞量居全国首位,浙江省对海洋生物资源过度开发致使海洋渔业资源日趋贫瘠,同时缺乏灾害预警及防护措施无法对抗高频次的海洋灾害干扰,更加加重该省海洋渔业产业生态系统脆弱性。

#### 4 中国海洋渔业产业生态系统脆弱性影响因素分析

为进一步探究中国海洋渔业产业生态系统脆弱性的主要影响因素,以降低系统脆弱性来提高海洋渔业的可持续发展,引入了障碍度分析,障碍度即阻碍降低系统脆弱性的影响因素。对表1中的23个二级指标进行分析。其中障碍度模型计算的公式如下:

$$E_i = w_i p_i / \sum_{i=1}^n w_i p_i \times 100\% \quad (2)$$

式中,  $W_i$  为第  $i$  项指标的权重值,  $P_i$  为第  $i$  项指标的标准化值,  $E_i$  为第  $i$  项指标对中国海洋渔业产业生态系统脆弱性的影响程度。根据公式(2)得出2001—2015年中国沿海各省市海洋渔业产业生态系统脆弱性的障碍度值,并从中分别筛选出前3位影响因子,最终得出2001—2015年内中国海洋渔业产业生态系统脆弱性的主要影响因素(见图5)。2001—2015年中国海洋渔业产业生态系统脆弱性主要影响因素多集中在敏感性层面,尤其偏重于海洋渔业环境子系统。其中,系统脆弱性变化一方面受其自然因素作用,如海洋地貌受地壳运动而引发突变,气候变迁导致水文变动,绵长的海岸线、狭长的海域环境易使沿海地区遭受风暴潮等海洋自然灾害的侵蚀,加之大气中氮、磷等元素透过大气干湿沉降进入海洋造成海洋水体表面出现富营养化、赤潮等威胁着中国海洋渔业生物多样性延续和海洋渔业产业发展;另一方面,受其人为因素影响,如人类对海洋生物的不合理捕捞致使鱼类年龄结构、生长周期被破坏进而加剧鱼类资源衰竭,工业化废水和高密度人口聚集地生

生活污水的过量排入海,使得大量营养物质迅速滋生造成海域水体污染,以及大批量的“围海”活动、高强度的海洋开发和海洋工程兴建使近岸滩涂等资源被迫压缩导致海洋鱼类生境破坏。由此,海洋渔业产业的发展与鱼类生存所依赖的空间环境因素关联度较大,未来发展方向应当有所侧重。

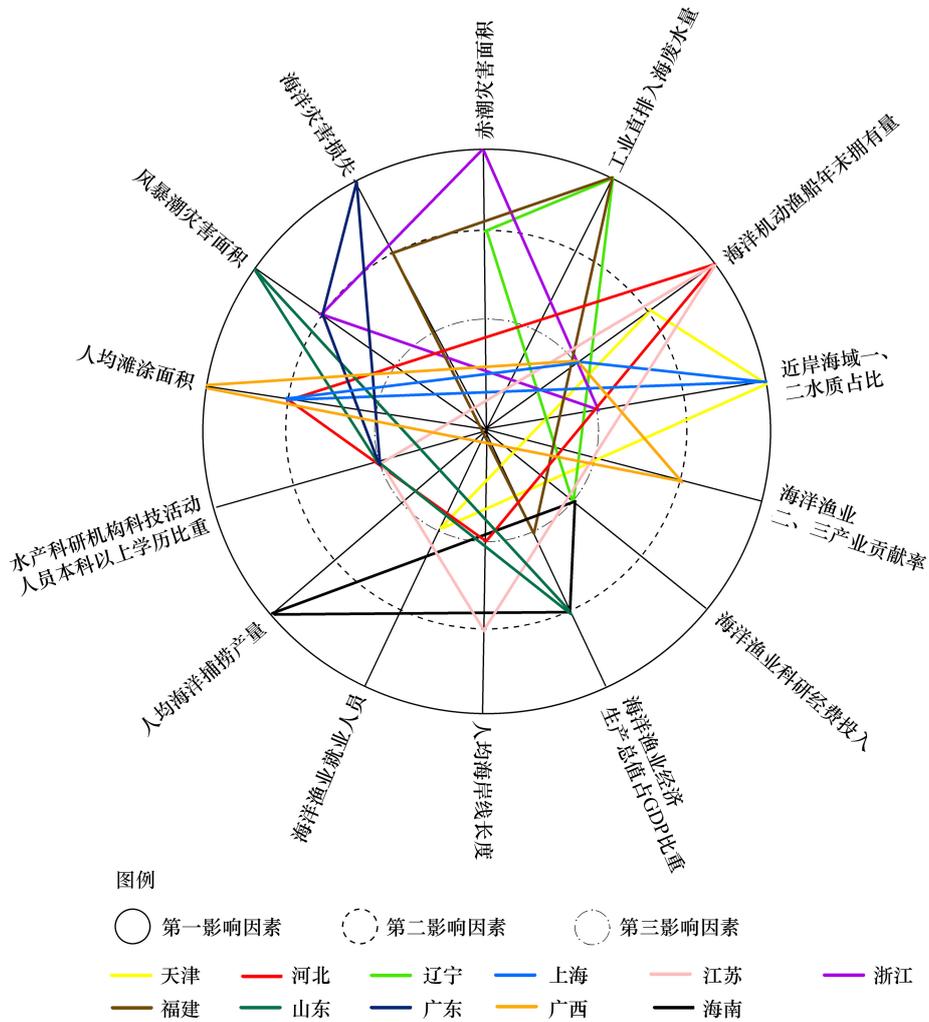


图 5 2001—2015 年中国海洋渔业产业生态系统脆弱性主要影响因素

Fig.5 Major influencing factors of the marine fisheries industry ecosystem vulnerability in China during 2001 to 2015

(1)天津市、上海市在分别响应“京津冀协同发展”,“长江经济带”等战略,不断提升经济发展速度的同时,更要兼顾生态效益,将关注焦点投向近海海域环境治理工作中。2001—2015 年内,上海市近海海域一、二水质占比均在 5%左右,环境质量低下是导致两个地区海洋渔业产业生态系统面临脆弱性的主要原因,所以亟需加强入海口污染源监测;天津市在不断调整海洋生态环境保护的同时要加强引进海洋渔业产业科技人才和逐步完善技术推广体系,提高科技成果转化率,走科技含量高且污染少的绿色、循环发展之路。

(2)辽宁省、福建省应不断减少工业污染入海排放量,实施清洁生产。辽宁省作为中国重工业发展的重要基地,工业废水残渣二次清洁急需大力贯彻落实,以免影响鱼种繁殖生长等环境。福建省在控制近岸污染排放的同时兼顾把握海洋灾害预警调控,以降低系统外部胁迫性扰动。

(3)河北省、江苏省应优化对海洋渔业产业的设施设备投入力,为谋求海洋经济绿色发展,进行机动渔船供给侧结构性改革,以清洁型机动渔船取代高耗能渔船。同时提升海洋渔业从业人员的技术水平,引进专业化科研队伍和先进的科研设施来为渔民提供系统化服务。

(4)山东省、浙江省、广东省海洋灾害影响较为显著,要增强其海洋灾害检测与防护预警工作,避免因灾

害对海洋渔业产业造成经济损失。

(5) 广西省在加快推进城市化进程中需降低涉水工程对近海海域和滩涂资源的挤占,着力保护水生生物的栖息地,拓宽传统海洋渔业生长空间,积极推进海洋渔业产业转型,促进海洋渔业三产融合。

(6) 海南省应利用其丰富的海洋自然资源条件,缩减对近岸海域水产资源的捕捞强度,增加对海洋渔业资源开发利用的广度和深度,并提升渔民养殖技术。同时,将目光投向发展远洋渔业,加强对远洋渔业统筹规划,从而进一步促进海洋渔业产业多元化。

## 5 结论与讨论

本文界定海洋渔业产业生态系统脆弱性的内涵,构建敏感性—应对能力的脆弱性评价模型,分别从海洋渔业产业子系统和海洋渔业环境子系统建立 4 个方面的评价指标体系。运用三轴图法判定中国海洋渔业产业所处阶段,并将熵值法、Topsis 法以及障碍度模型相结合,揭示中国海洋渔业产业生态系统脆弱性时空演化及影响因素。结论如下:

(1) 2001—2015 年中国海洋渔业产业结构单一且长期处于初级阶段。近年来,海洋渔业产业结构正由“一二三”逐步向“一三二”模式转变,由初级化向低级化正向发展,发展势头良好,但转型速度缓慢。

(2) 时间维度上,2001—2015 年中国海洋渔业以 2008 年为转折点,产业生态系统脆弱性呈现由小幅波动向大幅提升转变的阶段性特征。

(3) 空间维度上,中国海洋渔业产业生态系统脆弱性表现为南高北低的集群化特点。依据系统脆弱性等级演变轨迹将海洋渔业产业生态系统脆弱性划分为“U”型、“线性上升”型、“波浪”型、“平稳”型脆弱性演化结构。中国海洋渔业产业生态系统脆弱性较高的地区主要集中于浙江、福建、广东三省,其发展态势不容乐观;辽宁省、天津市、河北省、江苏省、广西省、海南省海洋渔业产业生态系统脆弱性多表现为中等脆弱性,照比浙江、福建,广东三省整体向好。山东省在系统脆弱性中呈现逐步增强的发展趋势,上海市则表现为由中等脆弱性向较高脆弱性的线性上扬,如不加强二省的海洋渔业产业生态系统脆弱性预警,未来极有可能进一步恶化。

(4) 通过筛选中国海洋渔业产业生态系统脆弱性影响因素,有针对性地提出了未来中国海洋渔业可持续发展的建议与措施。不断提高海洋环境整改力度,优化海洋渔业产业结构,大力发展远洋渔业,提升海洋渔业科技人才投入力等应成为未来中国海洋渔业可持续发展方向发展的目标导向。

通过探讨海洋渔业产业生态系统脆弱性的问题,为中国海洋渔业可持续发展提供了一个新的研究视角。由于海洋渔业产业生态系统脆弱性研究还处于起步阶段,对相关指标还需进一步筛选。此外,中国海洋渔业产业生态系统脆弱性预警分析及中国海洋渔业产业生态系统适应性研究将成为未来主要研究重点与方向。

### 参考文献(References):

- [ 1 ] Jin J, Wang Q. Assessing ecological vulnerability in western China based on Time-Integrated NDVI data. *Journal of Arid Land*, 2016, 8(4): 533-545.
- [ 2 ] Cutter S L, Finch C. Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(7): 2301-2306.
- [ 3 ] Moss R H, Brenkert A L, Malone E L. *Vulnerability to Climate Change: A Quantitative Approach*. Richland, WA: Pacific Northwest National Laboratories, 2001.
- [ 4 ] Kates R W, Clark W C, Corell R, Hall J M, Jaeger C C, Lowe I, McCarthy J J, Schellnhuber H J, Bolin B, Dickson N M, Faucheux S, Gallopin G C, Grübler A, Huntley B, Jäger J, Jodha N S, Kasperson R E, Mabogunje A, Matson P, Mooney H, Moore III B, O'Riordan T, Svedin U. *Environment and development: sustainability science*. *Science*, 2001, 292(5517): 641-642.
- [ 5 ] Turner II B L, Kasperson R E, Matson P A, McCarthy J J, Corell R W, Christensen L, Eckley N, Kasperson J X, Luers A, Martello M L, Polsky C, Pulsipher A, Schiller A. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2003, 100(14): 8074-8079.

- [ 6 ] 徐广才, 康慕谊, 贺丽娜, 李亚飞, 陈雅如. 生态脆弱性及其研究进展. 生态学报, 2009, 29(5): 2578-2588.
- [ 7 ] 王宁, 张利权, 袁琳, 曹浩冰. 气候变化影响下海岸带脆弱性评估研究进展. 生态学报, 2012, 32(7): 2248-2258.
- [ 8 ] 李博, 苏飞, 杨智, 韩增林, 彭飞. 基于脆弱性视角的环渤海地区人海关系地域系统时空特征及演化分析. 生态学报, 2018, 38(4): 1436-1445.
- [ 9 ] 刘燕华, 李秀彬. 脆弱生态环境与可持续发展. 北京: 商务印书馆, 2001.
- [ 10 ] 张平宇, 李鹤, 佟连军, 刘继生, 王士君, 修春亮. 矿业城市人地系统脆弱性—理论·方法·实践. 北京: 科学出版社, 2011.
- [ 11 ] Timmerman P. Vulnerability, Resilience and the Collapse of Society: A Review of Models and Possible Climatic Applications [ D ]. Toronto, Canada: Institute for Environmental Studies, University of Toronto, 1981.
- [ 12 ] Vogel C. Vulnerability and global environmental change. LUCC Newsletter, 1998, 3(2): 15-19.
- [ 13 ] Bohle H G. Vulnerability and criticality: Perspectives from social geography. IHDP Update, 2001, 2(1): 3-5.
- [ 14 ] McCarthy J J, Canziani O F, Leary N A, Dokken D J, White K S. IPCC (2001) Climate change 2001: Impacts, Adaption, Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the IPCC. Journal of Environmental Quality, 2007, 37(6): 2407.
- [ 15 ] Ojima D, Moran E, McConnell W, Stafford S M, Laumann G, João M, Young B. Global Land Project Science Plan and Implementation Strategy. Stockholm: IGBP Secretariat, 2005.
- [ 16 ] Himes-Cornell A, Maguire C, Kasperski S, Hoelting K, Pollnac R. Understanding vulnerability in Alaska fishing communities: a validation methodology for rapid assessment of indices related to well-being. Ocean & Coastal Management, 2016, 124: 53-65.
- [ 17 ] Allison E H, Perry A L, Badjeck M C, Adger W N, Brown K, Conway D, Halls A S, Pilling G M, Reynolds J D, Andrew N L, Dulvy N K. Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries. Fish and Fisheries, 2009, 10(2): 173-196.
- [ 18 ] Cinner J E, McClanahan T R, Graham N A J, Daw T M, Maina J, Stead S M, Wamukota A, Brown K, Bodin Ö. Vulnerability of coastal communities to key impacts of climate change on coral reef fisheries. Global Environmental Change, 2012, 22(1): 12-20.
- [ 19 ] Das M K, Srivastava P K, Rej A, Mandal M L, Sharma A P. A framework for assessing vulnerability of inland fisheries to impacts of climate variability in India. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2016, 21(2): 279-296.
- [ 20 ] 孙康, 周晓静, 苏子晓, 张华. 中国海洋渔业资源可持续利用的动态评价与空间分异. 地理科学, 2016, 36(8): 1172-1179.
- [ 21 ] 唐议, 邹伟红, 胡振明. 基于统计数据的中国海洋渔业资源利用状况及管理分析. 资源科学, 2009, 31(6): 1061-1068.
- [ 22 ] 褚晓琳. 试论预警原则与中国海洋渔业资源的可持续利用. 资源科学, 2010, 32(2): 366-371.
- [ 23 ] 同春芬, 夏飞. 供给侧改革背景下我国海洋渔业面临的问题及对策. 中国海洋大学学报: 社会科学版, 2017, (5): 26-29.
- [ 24 ] 耿爱生, 同春芬. 海洋渔业转型框架下的海洋渔民转型问题研究. 安徽农业科学, 2012, 40(10): 6199-6201, 6203-6203.
- [ 25 ] 杨林, 苏昕. 产业生态学视角下海洋渔业产业结构优化升级的目标与实施路径研究. 农业经济问题, 2010, 31(10): 99-105.
- [ 26 ] 丁琪. 全球海洋渔业资源可持续利用及脆弱性评价[ D ]. 上海: 上海海洋大学, 2017.
- [ 27 ] 张耀光, 刘锴, 王圣云. 关于我国海洋经济地域系统时空特征研究. 地理科学进展, 2006, 25(5): 47-56.
- [ 28 ] 李博, 张志强, 苏飞, 韩增林. 环渤海地区海洋产业生态系统适应性时空演变及影响因素. 地理科学, 2017, 37(5): 701-708.
- [ 29 ] 李博. 辽宁沿海地区人海经济系统脆弱性评价. 地理科学, 2014, 34(6): 711-716.
- [ 30 ] Gallopín G C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. Global Environmental Change, 2006, 16(3): 293-303.
- [ 31 ] 国家统计局. 中国统计年鉴(2001—2015年). 北京: 中国统计出版社, 2001-2015.
- [ 32 ] 国家海洋局. 中国海洋统计年鉴(2001—2015年). 北京: 海洋出版社, 2001-2016.
- [ 33 ] 农业部渔业管理局. 中国渔业统计年鉴(2001—2015年). 北京: 中国农业出版社, 2002-2015.
- [ 34 ] 国家统计局国民经济综合统计司. 中国区域经济统计年鉴(2001—2014年). 北京: 中国统计出版社, 2003-2015.
- [ 35 ] 洪惠坤, 廖和平, 魏朝富, 李涛, 谢德体. 基于改进 TOPSIS 方法的三峡库区生态敏感区土地利用系统健康评价. 生态学报, 2015, 35(24): 8016-8027.
- [ 36 ] 王富喜, 毛爱华, 李赫龙, 贾明璐. 基于熵值法的山东省城镇化质量测度及空间差异分析. 地理科学, 2013, 33(11): 1323-1329.
- [ 37 ] 覃雄合, 孙才志, 王泽宇. 代谢循环视角下的环渤海地区海洋经济可持续发展测度. 资源科学, 2014, 36(12): 2647-2656.