

DOI: 10.20098/j.cnki.1001-5132.2023.1028

海南省海洋渔业生态-经济系统脆弱性及其影响因素分析

曹威威^{1,2}, 孙才志³

(1. 洛阳师范学院 地理与旅游学院, 河南 洛阳 471934; 2. 海南大学 应用科技学院, 海南 儋州 571737;

3. 辽宁师范大学 海洋可持续发展研究院, 辽宁 大连 116029)

摘要: 根据 1998—2019 年海南省海洋渔业统计数据, 基于暴露性、敏感性、适应性三个维度, 运用熵权法构建海南省海洋渔业生态-经济系统脆弱性评价指标体系, 探讨海南省海洋渔业生态-经济系统脆弱性时间变化趋势及其影响因素。结果表明: (1) 研究期内海南省海洋渔业生态-经济系统脆弱性经历了先升后降的变化历程, 2008 年以后系统脆弱性波动下降, 处于中度脆弱阶段, 但 2016 年以后系统脆弱性有上升趋势; (2) 人类渔业活动对海洋渔业生态系统造成的压力持续增加导致研究期内系统暴露性持续上升, 经济社会对海洋渔业依赖性减弱有效改善了系统敏感性, 抗干扰能力和恢复能力的增强使系统适应性持续提升; (3) 海洋渔业捕捞和养殖活动、经济和社会对海洋渔业依赖程度与科技支撑能力是影响系统脆弱性的重要指标, 其中, 海洋渔业经济社会依赖程度和科技水平的提升是海南省海洋渔业生态-经济系统脆弱性的关键影响因素。

关键词: 海洋渔业生态-经济系统; 脆弱性; “暴露-敏感-适应”评估模型; 障碍度模型; 海南省
中图分类号: F062.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-5132 (2024) 04-0048-08

海洋渔业生态-经济系统是典型的复合型“人-海”关系地域系统, 是自然地理生态环境与人类社会经济系统互相交织、作用而构成的具有多重复杂性、不稳定性和环环相嵌等特性的耦合系统^[1]。面对海洋渔业开发强度、经济调控、科技水平及投入、渔民自身幸福感、渔业环境治理、海洋环境污染及承载力、海洋自然灾害等内外部因素影响, 海洋渔业生态-经济系统表现出一定的脆弱性。2012 年, 党的十八大首次将“海洋强国”上升为国家战略, 并要求加快推进海洋经济高质量发展。海南省是我国海洋渔业经济大省, 渔业经济总产值持续增长。但同时, 近年来海南省海洋渔业正面临着资源衰退、渔业环境污染、自然灾害频繁、产业结构不均衡等问题, 海洋渔业生态-经济系统的可持续发展遭遇重大挑战^[2]。2018 年 4 月 13 日, 习近平总书记在庆祝海南建省办经济特区 30 周年大会上的讲话指出, “要坚定走人海和谐、合作共赢的发展道路”“着力推动海洋经济向质量效益型转变”^[3]。在

此背景下, 开展海南省海洋渔业生态-经济系统脆弱性研究对于促进区域海洋经济高质量发展具有重要意义。

人海关系地域系统脆弱性是当前海洋可持续发展研究的重要课题^[4-5]。脆弱性是生态-经济系统可持续发展的重要影响因素, 此概念最早来源于自然灾害领域, 后被引入复杂系统理论研究中, 主要用于反映系统在外环境扰动下的受损程度^[5-6]。Allison 等^[7]于 2009 年将脆弱性概念引入渔业发展评价中, 并对全球渔业开展脆弱性评价。此后, 众多学者从全球、国家的宏观尺度和区域微观尺度出发, 针对全球气候大变化背景下的海洋渔业生态-经济系统开展了脆弱性方面的研究。如 Cinner 等^[8]从社会-生态系统角度对美国阿拉斯加地区的渔业社区脆弱性进行了研究和评价, Thiault 等^[9]从时间、空间角度构建了一个自然生态和经济社会双重作用和影响下的小型海洋渔业脆弱性评价体系。近年来, 国内学者也开始关注海洋渔业生态-经济

收稿日期: 2023-10-26.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 海南省哲学社会科学 2020 年规划课题成果 (HNSK(QN)20-12)。

第一作者: 曹威威, 博士/副教授, 主要研究方向: 区域资源环境. E-mail: cwwjy5032@163.com

系统脆弱性。如陈琦等^[10]从暴露性、敏感性、适应性三个维度对海洋渔业社会-生态系统脆弱性进行了系统分析,并构建了 ISM 模型解释和识别三个维度影响因素之间错综复杂的作用关系网络;童磊等^[11]基于海洋渔业产业的生态系统脆弱性基本概念及其特点,从敏感性与应对能力两个角度对海洋渔业产业生态系统的脆弱性进行了分析和评估;高源等^[4]以“暴露度-敏感性-应对能力”作为评估框架,组织构建了海洋渔业生态系统脆弱性的评估框架和体系。学者们开展了较多海洋渔业脆弱性评价体系及定量评估的研究,鲜有从理论和实证双重角度开展海洋渔业生态-经济系统脆弱性的评估框架和评价体系研究,并系统分析海洋渔业生态-经济系统脆弱性的影响因素。基于此,本研究从人海关系视角构建海南省海洋渔业生态-经济系统脆弱性评价指标体系,并引入障碍度模型分析其脆弱性变化趋势及影响因素,以期对海南省海洋渔业可持续发展提供指导。

1 数据与研究方法

1.1 研究区概况

海南省是我国最南端省份,海域面积广阔,管辖南海海域面积约为 $200 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。海南省海洋渔业资源丰富,具有海洋渔场广、品种多、生长快和鱼汛期长等特点,是全国发展热带海洋渔业的理想之地。海南主要海洋经济鱼类达 40 余种,可供人工养殖的浅海滩涂约 $2.50 \times 10^4 \text{ hm}^2$,养殖经济价值较高的有鱼、虾、贝、藻类等 20 多种,为发展其渔业经济奠定了优良的自然基础^[12]。海洋渔业在海南农业生产中占有重要地位,是关系民生的重要产业。根据 2022 年海南统计年鉴统计数据,2021 年,海南省海水产品产值达到 391.98 亿元,占农业产值 19.46%;海水产品产量为 12.738 Mt,占水产品总产量的 77.62%。其中,海水捕捞产量 10.008 Mt,海水养殖产量 2.730 Mt,分别占海水产品产量的 78.57%和 21.43%。

1.2 研究方法

1.2.1 数据标准化处理

不同指标的数据由于数量级和单位有所不同而在数据呈现上存在较大差异,因此我们对统计数据进行了标准化处理。其中,对于暴露性及敏感性

指标数据采用正向标准化处理,对适应性指标数据采用负向标准化处理。标准化公式如下:

正向指标:

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min\{X_j\}}{\max\{X_j\} - \min\{X_j\}}, \quad (1)$$

负向指标:

$$X'_{ij} = \frac{\max\{X_j\} - X_{ij}}{\max\{X_j\} - \min\{X_j\}}, \quad (2)$$

式中: X'_{ij} 为指标标准化数值; X_{ij} 为第 i 年第 j 项指标的原始数值; $\max\{X_j\}$ 与 $\min\{X_j\}$ 分别是评价年份中第 j 项指标的最大值和最小值,为避免受到 0 和 1 的边界值干扰,将指标最大值增大 10%,将最小值缩小 10%。

1.2.2 指标体系构建

脆弱性是在海洋渔业生态-经济系统内部人类活动与资源环境相互作用过程中,人海关系结构稳定程度的表现,是人海关系平衡状态的表征。海洋渔业生态-经济系统外部环境变化与人类经济社会活动扰动是脆弱性形成驱动因素,即系统暴露性;在海洋渔业生态-经济系统中,人类经济、社会和生态子系统对海洋渔业的依赖程度决定了系统在面对暴露性扰动时的响应程度,即系统敏感性;当系统敏感性因素对环境胁迫做出响应时,人类会通过科技进步和生态管理等方式加强对自身活动和生态环境的治理,一方面约束了人类自身的环境行为,另一方面又改善了资源环境承载能力,以此构建应对胁迫性和敏感性因素影响的适应性机制,即系统适应性。暴露性、敏感性、适应性交互作用共同决定了海洋渔业生态-经济系统的脆弱性。基于此,本文从暴露性、敏感性、适应性三个维度构建海南省海洋渔业生态-经济系统脆弱性评价指标体系,由此评价海洋渔业生态-经济系统的脆弱程度,并识别影响因素及其影响机制。其中,使用海洋自然灾害表征系统外部干扰强度,使用渔业生产力投入强度、渔业捕捞资源利用强度、渔业养殖资源利用强度表征系统人类渔业活动对渔业资源环境的内部胁迫,外部干扰和内部胁迫共同构成系统暴露性指标;区域渔业产值占地区生产总值比重、单位渔业产值占用的渔业生态足迹以及社会就业中渔业从业人员的比重分别表示渔业经济、生态和社会依赖程度,构成了系统敏感性指

标;人均渔业收入、单位渔业足迹产出的渔业产值、渔业科技投入分别表示渔业的社会满足能力、生态产出能力和科技支撑能力,构成系统适应性指标.由此构建了海洋渔业生态-经济系统脆弱性评价指标体系,以评价该系统的脆弱程度,并用以识别影响因素及其影响机制(表1).

为客观反映各指标影响力,利用熵权法确定各评价指标权重,具体步骤如下.

第一步,计算各指标比重:

$$Y_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{i=1}^n X'_{ij}}, \quad (3)$$

式中: Y_{ij} 为第 i 年第 j 项指标所占比重.

第二步,计算各指标的信息熵:

$$E_j = -(\ln n)^{-1} \times \sum_{i=1}^n (Y_{ij} \times \ln Y_{ij}), \quad (4)$$

式中: 当 $Y_{ij} = 0$ 时, $Y_{ij} \times \ln Y_{ij} = 0$; E_j 为第 j 项指标的信息熵, $0 \leq E_j \leq 1$, 具体结果见表1.

第三步,利用熵权法确定各评价指标权重:

$$W_j = \frac{1 - E_j}{m - \sum_{j=1}^m E_j}, \quad (5)$$

式中: W_j 为第 j 项指标的权重; m 为指标数量.

1.2.3 脆弱性评价方法

目前脆弱性评价主要有综合指数法、模糊数学法、BP神经网络、集对分析等方法.其中,综合指数法是社会领域常用的脆弱性评价方法^[13-15],在经济-社会-生态系统的脆弱性评价中被广泛应用^[16-17].因此,在对系统脆弱性评价中,采用综合

指数法模型能够较好反映系统因子作用关系.根据脆弱性模型基本原理,从系统暴露性(pressure)、敏感性(sensitivity)和适应性(recovery)三方面评价系统脆弱性,公式如下:

$$\begin{aligned} P_i &= \sum_{j=1}^4 W_{p,j} Y_{p,ij}, \\ S_i &= \sum_{j=1}^3 W_{s,j} Y_{s,ij}, \\ R_i &= \sum_{j=1}^3 W_{r,j} Y_{r,ij}, \end{aligned} \quad (6)$$

式中: P_i 为系统暴露性,即系统面对的内外压力指数; S_i 为敏感性,即对系统各类因素的依赖程度; R_i 为适应性,即面对内外不稳定因素冲击,系统保持稳定和恢复的能力; $W_{p,j}$ 、 $W_{s,j}$ 、 $W_{r,j}$ 分别表示暴露性、敏感性和适应性三个维度中各指标的权重; $Y_{p,ij}$ 、 $Y_{s,ij}$ 、 $Y_{r,ij}$ 分别表示暴露性、敏感性和适应性指标的归一化值.暴露性、敏感性和适应性交织构成了复杂的非线性系统,其中,暴露性和敏感性双重作用和相互影响成为系统脆弱的影响力指数.参考学者对生态系统脆弱性研究成果^[18],脆弱性函数表达式为:

$$V_i = f(P_i, S_i, R_i) = f(E_i, R_i), \quad (7)$$

式中: V_i 为系统脆弱性; E_i 为影响力指数.脆弱性程度计算公式为:

$$V_i = \frac{E_i + R_i}{2}, \quad (8)$$

$$E_i = \left(\frac{4P_i S_i}{(P_i + S_i)^2} \right)^2, \quad (9)$$

其中, V_i 取值范围为[0,1], V_i 值越大,系统脆弱性越

表1 海洋渔业生态-经济系统脆弱性评价指标体系

维度	具体指标	向性	指标内涵或算法	熵权法权重
暴露性(P)	海洋自然灾害(P_1)	+	直接经济损失(万元)	0.222 1
	渔业生产力投入强度(P_2)	+	机动渔船吨位(t)	0.255 3
	渔业捕捞资源利用强度(P_3)	+	FIB 指数	0.261 7
	渔业养殖资源利用强度(P_4)	+	海水养殖面积(hm ²)	0.260 9
敏感性(S)	渔业经济依赖程度(S_1)	+	渔业产值/GDP(%)	0.347 4
	渔业生态依赖程度(S_2)	+	渔业生态足迹/渔业产值(hm ² ·万元 ⁻¹)	0.277 9
	渔业社会依赖程度(S_3)	+	渔业从业人数/总就业人数(%)	0.374 7
适应性(R)	社会满足能力(R_1)	-	人均渔业收入(元)	0.305 7
	渔业生态产出能力(R_2)	-	渔业产值/渔业足迹(万元·hm ⁻²)	0.322 2
	科技支撑能力(R_3)	-	科学研究、技术服务业人员数量(人)	0.372 1

强. 参考前人研究成果^[18-19], 按照等间距法进行分级, 将其分为微度脆弱、轻度脆弱、中度脆弱、重度脆弱和极度脆弱等 5 个等级(表 2).

1.2.4 障碍度模型

为进一步衡量脆弱性评价体系中各指标对系统整体脆弱性的影响, 利用障碍度模型综合评价脆弱性指标和各维度的影响程度, 并分析各类影响因子障碍度的变化情况, 以研究长时间序列下各类因子在渔业资源环境系统演化过程中的作用. 障碍度模型计算公式如下^[20]:

$$N_{ij} = \frac{(1 - Y_{ij}) \times W_j}{\sum_{j=1}^m (1 - Y_{ij}) \times W_j} \times 100\%, \tag{10}$$

式中: N_{ij} 为第 i 年第 j 指标的障碍度; W_j 为第 j 项指标的权重值; Y_{ij} 为第 i 年第 j 指标的标准值.

1.3 数据来源

本文研究数据主要来源于 1998—2019 年《海南省海洋渔业统计年报》和《海南省统计年鉴》, 其中, FIB 指数参考孙才志等^[21]研究成果进行计算, 考虑到研究年份数据的连续性和可获得性, 将水生植物、海豹等水生哺乳类动物、贝类以及分类不详的其他水生动物产品去除, 最终确定了 29 类渔获物. 渔获物平均营养级来源于“Fishbase”数据库 (<https://www.fishbase.de/report/ISSCAPP/ISSCAPPSearchMenu.php>). 基于李继龙等^[22]研究成果, 根据营养级高低将渔获物大致分解为三个等级: 低营养级渔获物(2.00~2.89)、中营养级渔获物(2.90~3.49)、高营养级渔获物(3.50~4.00). 此外, 原始数据中 2003 年带鱼产量有缺失, 故采用相邻年份均

值法处理, 即取上年与下年产量的平均值.

2 结果分析

2.1 海南海洋渔业生态-经济系统脆弱性评价结果分析

2.1.1 影响力指标评价

系统脆弱性影响力指标由暴露性和敏感性组成, 代表系统面临的内外部压力和对主要因子的依赖程度, 因为暴露性、敏感性与脆弱性呈正向关系, 由此得出影响力指标越大, 则系统脆弱性风险越高. 根据式(9)和(6), 分别计算影响力指数、暴露性指数和敏感性指数(图 1). 从影响力指数变化来看(图 1(a)), 整体上呈先升后降发展趋势. 1998—2007 年, 影响力指数呈阶段性上升, 影响力从 0.149 7 上升至 0.998 6, 接近于 1; 2007 年以后, 除个别年份略有上升外, 基本处于下降趋势, 最低降至 2016 年的 0.233 7, 2017 年以后有回升态势. 从暴露性指数的结果来看(图 1(b)), 海南海洋的渔业生态-经济系统面临的内外扰动因素作用强度自 1998 年以来波动增长, 并在 2014 年达到研究期内最大值. 1998 年, 暴露性指数仅为 0.030 8, 基本可忽略不计, 而 2014 年达到 0.738 3. 从时序变化来看, 1998—2000 年期间, 暴露性指数均低于 0.2. 2001—2007 年, 各年均保持在 0.2~0.5 水平之间, 且持续增长, 表明相较 2001 年之前, 人类活动强度增加. 2008—2014 年, 暴露性指数波动上升, 2008 年为 0.366 5, 2014 年达到 0.738 3, 上升 101.45%, 表明此阶段系统面临的压力增加, 并在 2014 年达到极值. 2014 年以后, 暴露性指数有所下降, 人类

表 2 海南海洋渔业生态-经济系统脆弱性分级标准

等级	脆弱性	脆弱性程度	系统特征
I	$V_i \leq 0.2$	微度脆弱	系统状态稳定, 无生态异常现象, 结构和功能合理完善, 承受压力和敏感性弱, 抗干扰能力和自我恢复能力强
II	$0.2 < V_i \leq 0.4$	轻度脆弱	系统状态较稳定, 存在潜在生态异常现象, 结构和功能较为完善, 承受压力和敏感性较小, 抗干扰能力和自我恢复能力较强
III	$0.4 < V_i \leq 0.6$	中度脆弱	系统状态不太稳定, 并存在少量生态异常现象, 组织结构和自然功能可基本维持, 但承受压力逼近生态阈值, 对各类干扰敏感性中等, 自我修复能力相对较弱
IV	$0.6 < V_i \leq 0.8$	重度脆弱	系统状态不稳定, 存在较多生态异常现象, 结构和功能出现退化, 承受压力较大, 对各类干扰敏感性较强, 受损后自我恢复难度较大
V	$0.8 < V_i$	极度脆弱	系统状态非常不稳定, 存在大面积生态异常现象, 系统组织结构和自然功能承受压力极大, 且消退严重, 对产生的各类干扰敏感性极强, 受损后自我修复难度极大

活动的胁迫程度降低,但 2015—2019 年,年均暴露性指数为 0.606 8,系统暴露性水平仍维持在较高水平。从敏感性指数数据演变来看(图 1(c)),海南海洋渔业生态-经济系统敏感性整体呈先上升后下降趋势,1998—2005 年,从 0.252 7 升至 0.758 7,上升了 200.24%,2006—2019 年,从 0.522 4 下降至 0.133 1,下降了 74.52%。从时序变化来看,2006 年以前,敏感性指数稳定上升;2006—2009 年,呈现波动下降变化特征,且下降幅度较大;同样 2010—2016 年呈逐渐下降趋势;2016 年以后也进一步下降,但波动特征明显减弱。

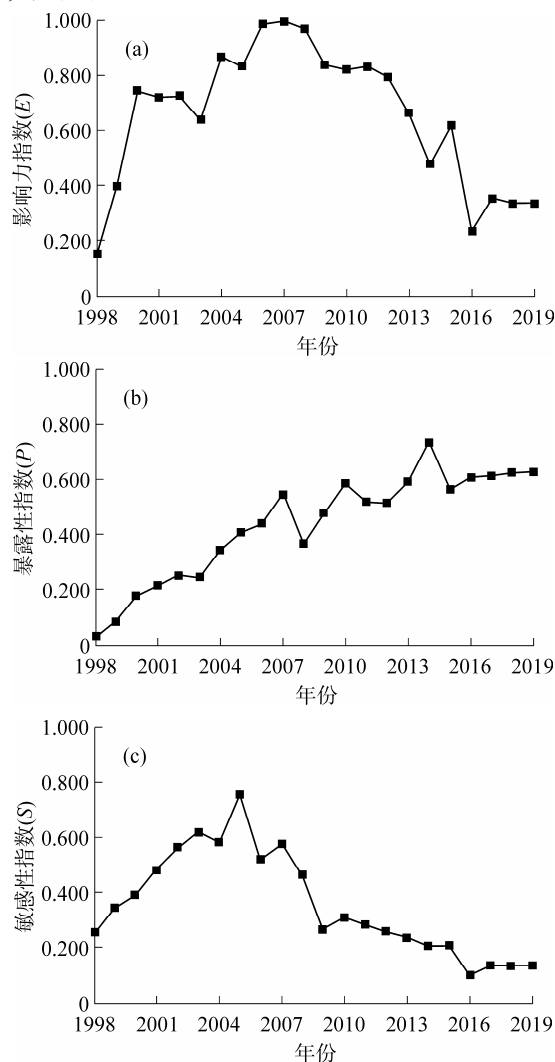


图1 海南海洋渔业生态-经济系统暴露性、敏感性和影响力指数变化

2.1.2 适应性指标评价

适应性与脆弱性呈负向关系,适应性指标值越大,代表系统应对干扰的能力和恢复能力越大,

系统脆弱性程度就越低。为表征脆弱性指数,在计算时对适应性指标做负向标准化处理,但为阐释的直观性,在适应性指标评价中对其正向处理(图 2)。从适应性指数变化来看,系统适应性在研究期有了极大提升。1998 年,适应性指数仅为 0.086 4,2019 年升至 0.809 0,期末约是期初的 9.36 倍,表明系统整体抗干扰能力和恢复能力得到大幅增强。从阶段变化特征来看:1998—2002 年,适应性指数极低,各年均低于 0.2,5 a 平均值为 0.113 9,增长趋势并不明显;2002—2008 年,适应性指数波动上升,从 2002 年 0.133 6 上升至 2008 年的 0.587 4,适应性快速提高;2009—2019 年,适应性指数除 2016、2017 年有过小幅下降,其余年份保持上升趋势,年均适应性指数为 0.661 4,从 2009 年 0.511 6 升至 2019 年 0.808 9,上升了 58.11%,年均增长率为 5.81%。

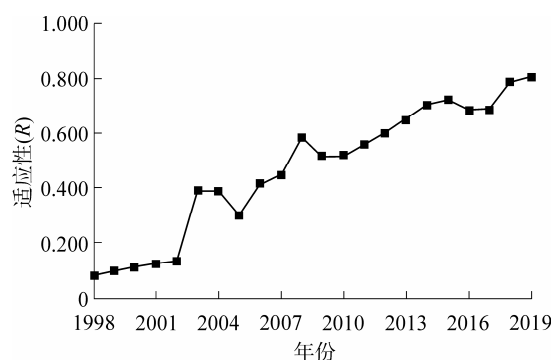


图2 适应性指数变化

2.1.3 脆弱性评价

根据暴露性-敏感性-适应性模型,利用式(8)计算最终的系统脆弱性指数,并根据表 2 划分脆弱性程度(图 3)。从脆弱性指数变化来看,1998—2019 年经历了先升后降的变化历程,也体现了人类活动影响下人海复合系统属性的变化特征。1998—2004 年,脆弱性指数呈阶段性上升,经历了 1998 年微度脆弱、1999 年轻度脆弱、2000—2003 中度脆弱和 2004 年重度脆弱四阶段,脆弱性指数从 0.118 1 上升至 0.631 7。2005 年脆弱性短暂恢复至中度脆弱。2006—2008 年,脆弱性急剧升高,增至研究期内最大值,处于重度脆弱阶段。2008 年以后,海南省开始实施海南国际旅游岛战略,产业结构明显转型,对海洋渔业依赖减弱,海洋生态环境保护意识增强,脆弱性指数开始波动下降,从 2008 年

的 0.780 1 降至 2016 年的 0.461 8, 为此段时间内的最低值. 数据表明, 2008 年以后的海南省海洋渔业生态-经济系统稳定性和抗风险能力得到一定增强, 但直到 2016 年, 系统仍处于中度脆弱性阶段, 系统结构和功能需要进一步恢复完善, 抗干扰能力和自我恢复能力有待进一步增强. 值得注意的是, 2016 年以后脆弱性有上升趋势, 这可能与海洋经济的快速发展有关, 海洋捕捞和海水养殖强度的增

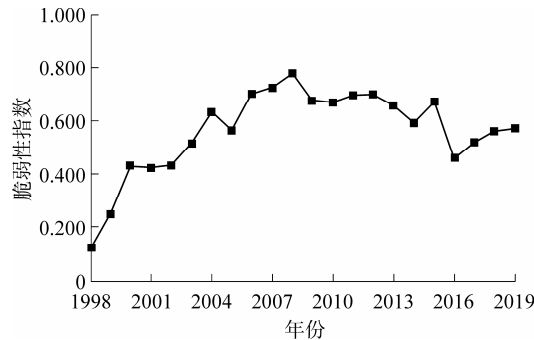


图 3 海南海洋渔业生态-经济系统脆弱性指数变化

加对海洋渔业生态环境带来较大压力, 导致脆弱性上升.

2.2 海南海洋渔业生态-经济系统脆弱性影响因素分析

根据式(10)计算各指标障碍度(表 3). 从 22 a 来的各指标障碍度平均值看, 在脆弱性维度中, 暴露性(P)、敏感性(S)和适应性(R)维度障碍度平均值分别为 33.42%、33.41%和 33.17%. 在整个研究时间段内, 暴露性指数自 1998 年障碍度波动下降, 2014 年降至 32.19%, 2014 年后又有小幅提升, 2019 年增至 33.19%; 敏感性指数的障碍度逐步增长, 从 1998 年 32.68%, 增加至 2019 年 34.71%; 适应性指数障碍度呈阶段性变化, 1998 年为 33.53%, 1999—2005 年有所增加, 增加至 35.20%, 其后总体呈逐渐下降趋势, 降至 2019 年的 32.10%.

暴露性维度中, 渔业捕捞资源利用强度(P_3)和渔业养殖资源利用强度(P_4)障碍度较高. 研究期内

表 3 海南海洋生态经济系统脆弱性指标障碍度 %

年份	P_1	P_2	P_3	P_4	S_1	S_2	S_3	R_1	R_2	R_3	P	S	R
1998	7.52	8.60	8.89	8.77	11.37	9.00	12.31	10.32	10.62	12.60	33.79	32.68	33.53
1999	7.54	8.64	8.93	8.68	11.27	9.08	12.21	10.34	10.65	12.66	33.79	32.56	33.65
2000	7.20	8.71	8.92	8.66	11.19	9.18	12.30	10.38	10.70	12.75	33.49	32.67	33.84
2001	7.55	8.66	8.87	8.60	11.05	9.22	12.18	10.38	10.71	12.78	33.68	32.45	33.87
2002	7.60	8.66	8.85	8.60	11.02	9.27	12.03	10.40	10.75	12.83	33.71	32.31	33.98
2003	7.65	8.77	9.03	8.68	11.11	9.38	12.02	10.51	10.88	11.98	34.13	32.50	33.37
2004	7.72	8.74	8.81	8.64	11.17	9.39	12.12	10.51	10.90	12.01	33.90	32.68	33.42
2005	7.62	9.00	9.24	8.98	11.67	5.47	12.83	10.96	11.73	12.50	34.83	29.97	35.20
2006	7.70	8.63	8.73	8.57	11.17	9.43	12.38	10.50	10.89	11.99	33.64	32.98	33.38
2007	7.81	8.57	8.60	8.58	11.29	9.50	12.20	10.50	10.95	12.02	33.56	32.99	33.46
2008	7.63	8.63	8.68	8.95	11.58	9.55	12.18	10.31	10.78	11.70	33.89	33.31	32.80
2009	7.11	8.58	8.64	8.80	11.76	9.47	12.64	10.24	10.84	11.93	33.12	33.88	33.00
2010	6.39	8.55	8.73	8.93	11.95	9.62	12.52	10.30	10.88	12.13	32.60	34.09	33.31
2011	6.95	8.54	8.68	8.84	11.93	9.59	12.50	10.15	10.77	12.06	33.01	34.01	32.98
2012	7.68	8.28	8.62	8.76	11.84	9.57	12.56	10.00	10.68	12.01	33.34	33.98	32.68
2013	6.98	8.45	8.68	8.77	11.90	9.67	12.77	9.97	10.71	12.10	32.88	34.34	32.77
2014	6.12	8.41	8.77	8.88	12.03	9.82	13.03	9.95	10.75	12.23	32.19	34.88	32.94
2015	7.76	8.24	8.62	8.72	11.84	9.66	12.82	9.78	10.57	11.99	33.34	34.32	32.34
2016	7.54	8.20	8.60	8.66	12.03	9.58	12.97	9.74	10.71	11.97	33.00	34.58	32.42
2017	7.58	8.26	8.65	8.56	12.14	9.60	12.76	9.76	10.71	11.98	33.05	34.50	32.45
2018	7.65	8.27	8.72	8.48	11.93	9.76	13.02	9.78	10.26	12.13	33.12	34.71	32.16
2019	7.79	8.16	8.71	8.53	11.99	9.76	12.96	9.77	10.22	12.10	33.19	34.71	32.10
均值	7.41	8.52	8.77	8.71	11.60	9.30	12.51	10.21	10.76	12.20	33.42	33.41	33.17

海洋渔业机动渔船总吨位从 1.899 Mt 持续增长到 5.635 Mt, 增长了 196.74%; 海洋渔业产量从 0.658 Mt 增加到 13.501 Mt, 增长了 1951.82%, 海洋渔业捕捞和养殖活动占用渔业资源的强度构成了暴露性的重要来源。敏感性维度中, 渔业经济依赖程度(S_1)和渔业社会依赖程度(S_3)障碍度较高, 表明经济社会对渔业经济的依赖程度是敏感性的主要原因。研究期内渔业产值占地区生产总值比重和渔业从业人数占总就业人数比重都经历了先升后降的过程, 研究期末渔业产值比重从期初 8.42% 降至 6.79%, 渔业从业人数比重从期初 3.76% 降至 3.44%, 整体上经济社会对海洋渔业的依赖度显著降低, 系统敏感性缓解。适应性维度中, 渔业生态产出能力(R_2)和科技支撑能力(R_3)障碍度较高, 表明渔业对社会发展的满足能力和渔业科技的进步对系统适应能力产生影响较大。研究期内人均渔业收入持续增长, 从期初的 3 948 元增长到 15 066 元, 科学研究、技术服务业人员数量从期初 10.99 万人增加到 18.12 万人, 整体系统适应能力显著增强。

在具体指标障碍度中, 排序在前三位指标依次为渔业社会依赖程度(S_3)、科技支撑能力(R_3)、渔业经济依赖程度(S_1), 三者平均值分别为 12.51%、12.20%、11.60%, 三项指标占总比重 36.31%。上述数据表明, 渔业社会依赖程度和科技支撑能力是海南省海洋渔业生态-经济系统脆弱性的关键影响因素。一方面, 随着海洋捕捞和海水养殖规模的扩张, 海南省经济社会发展对海洋渔业高度依赖, 增强了系统敏感性; 另一方面科技支撑能力的提升, 提高了系统生态经济运行效率, 有利于改善渔业活动对生态环境的影响, 提高系统的适应性。

3 结论

本文在对海洋渔业生态-经济系统脆弱性界定基础上, 从暴露性、敏感性、适应性三个维度建立了海洋渔业生态-经济系统脆弱性评价指标体系, 同时利用脆弱性评价模型评估了 1998—2019 年海南海洋渔业生态-经济系统脆弱性演变过程, 并采用障碍模型分析了影响其脆弱性的主要因素。

(1) 海南省海洋渔业生态-经济系统脆弱性经历了先升后降的变化历程。1998—2008 年脆弱性逐渐增强, 达到重度脆弱阶段。2008—2016 年随着海

南国际旅游岛战略实施, 海南产业结构转型, 对海洋渔业生态压力减轻, 脆弱性波动下降。但需要关注的是, 受海南经济社会发展水平和渔业科技支撑要素制约, 海南省海洋渔业生态-经济系统脆弱性仍然较强, 且在 2016 年以后有上升趋势。

(2) 系统暴露性是海南省海洋渔业生态-经济系统脆弱性的主导因素。研究期内呈持续上升趋势, 表明人类渔业活动对海洋渔业生态系统造成的压力持续增加。敏感性和适应性对系统脆弱性起着重要作用。敏感性整体呈先上升后下降趋势, 表明人类经济社会对海洋渔业依赖性减弱; 适应性在研究期内持续提升, 表明系统的整体抗干扰能力和恢复能力得到大幅增强。

(3) 海洋渔业捕捞和养殖活动、经济和社会对海洋渔业依赖程度、海洋渔业科技支撑能力分别是暴露性、敏感性和适应性的重要指标。其中, 海洋渔业经济社会依赖程度和科技水平的提升是海南省海洋渔业生态-经济系统脆弱性的关键影响因素。

参考文献:

- [1] 张萌萌, 王帅, 傅伯杰, 等. 社会-生态网络方法研究进展[J]. 生态学报, 2021, 41(21):8309-8319.
- [2] 崔振昂, 侯月明, 赵若思, 等. 海南临高海岸带典型生态环境问题与对策研究[J]. 海洋开发与管理, 2023(7): 70-76.
- [3] 习近平. 在庆祝海南建省办经济特区 30 周年大会上的讲话[R/OL]. (2018-04-13)[2023-06-12]. <http://cpc.people.com.cn/n1/2018/0414/c64094-29925838.html>.
- [4] 高源, 王钧丹. 环渤海地区海洋渔业生态系统脆弱性的时空演变及影响因素分析[J]. 经济论坛, 2020(4): 95-102.
- [5] 潘晗, 李博. 中国沿海地区人海关系地域系统脆弱性时空分异与影响因素研究[J]. 资源开发与市场, 2018, 34(12):1662-1668.
- [6] 陈琦, 胡求光. 中国海洋渔业社会: 生态系统脆弱性评价及影响因素分析[J]. 农业现代化研究, 2018, 39(3): 468-477.
- [7] ALLISON E H, PERRY A L, BADJECK M C, et al. Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries[J]. Fish and Fisheries, 2009, 10(2):173-196.
- [8] CINNER J E, MCCLANAHAN T R, GRAHAM N A J, et al. Vulnerability of coastal communities to key impacts of climate change on coral reef fisheries[J]. Global Environmental Change, 2012, 22(1):12-20.

- [9] THIAULT L, MARSHALL P, GELCICH S, et al. Space and time matter in social-ecological vulnerability assessments[J]. *Marine Policy*, 2018, 88:213-221.
- [10] 陈琦, 徐源. 我国海洋渔业社会-生态系统脆弱性影响因素分析: 基于 ISM 模型[J]. *科技与管理*, 2019, 21(1): 21-26, 32.
- [11] 童磊, 林惠慧, 罗佳琪, 等. 浙江省海洋渔业产业生态系统脆弱性及障碍因素分析[J]. *浙江海洋大学学报(自然科学版)*, 2021, 40(5):430-438.
- [12] 高学明, 陈丹丹. 海南省渔业经济增长方式实证分析[J]. *当代农机*, 2021(1):56-59.
- [13] 彭飞, 富宁宁, 张琦琦, 等. 海洋地缘环境系统构建及其脆弱性解析[C]//2019 年中国地理学会经济地理专业委员会学术年会摘要集, 2019:47.
- [14] 彭飞, 韩增林, 杨俊, 等. 基于 BP 神经网络的中国沿海地区海洋经济系统脆弱性时空分异研究[J]. *资源科学*, 2015, 37(12):2441-2450.
- [15] 马慧强, 廉倩文, 论宇超, 等. 基于 BP 神经网络的旅游经济系统脆弱性省际空间分异[J]. *资源科学*, 2019, 41(12):2248-2261.
- [16] 乔青, 高吉喜, 王维, 等. 生态脆弱性综合评价方法与应用[J]. *环境科学研究*, 2008, 21(5):117-123.
- [17] 张学玲, 余文波, 蔡海生, 等. 区域生态环境脆弱性评价方法研究综述[J]. *生态学报*, 2018, 38(16):5970-5981.
- [18] 魏晓旭, 赵军, 魏伟, 等. 中国县域单元生态脆弱性时空变化研究[J]. *环境科学学报*, 2016, 36(2):726-739.
- [19] 李永化, 范强, 王雪, 等. 基于 SRP 模型的自然灾害多发区生态脆弱性时空分异研究: 以辽宁省朝阳县为例[J]. *地理科学*, 2015, 35(11):1452-1459.
- [20] FAN Y P, FANG C L. Evolution process and obstacle factors of ecological security in western[J]. *Ecological Indicators*, 2020, 117:106659.
- [21] 孙才志, 曹威威, 肖春柳. 长山群岛海洋渔业资源的平均营养级变化特征[J]. *海洋通报*, 2019, 38(1):87-95.
- [22] 李继龙, 曹坤, 丁放, 等. 基于渔获物统计的中国近海鱼类营养级结构变换及其与捕捞作业的关系[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(1):109-119.

Study on the vulnerability and its impact factors of marine fishery eco-economic system in Hainan Province

CAO Weiwei^{1,2}, SUN Caizhi³

(1.School of Geography and Tourism, Luoyang Normal University, Luoyang 471934, China;

2.School of Applied Science and Technology, Hainan University, Danzhou 571737, China;

3.Institute of Marine Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

Abstract: Based on the statistical data of marine fisheries in Hainan Province from 1998 to 2019, the vulnerability assessment index system of marine fishery eco-economic system in Hainan Province was constructed by using entropy weight method based on three dimensions of exposure, sensitivity and adaptability. The time change trend and influencing factors of vulnerability of marine fishery eco-economic system in Hainan Province were discussed. The results show that: (1) During the study period, the vulnerability of marine fishery eco-economic system in Hainan Province experienced a process of first increasing and then decreasing. After 2008, the vulnerability fluctuation of the system decreased, and it was in the moderate vulnerable stage, but the system vulnerability showed an upward trend after 2016. (2) The increasing pressure on the marine fishery ecosystem caused by human fishery activities led to a continuous increase in the exposure of the system during the study period. The weakening of economic and social dependence on marine fishery effectively improved the sensitivity of the system, and the enhancement of anti-interference ability and resilience improved the adaptability of the system. (3) Marine fishing and aquaculture activities, economic and social dependence on marine fisheries, scientific and technological support capacity are essential indicators affecting the vulnerability of the system. Among them, economic and social dependence on marine fisheries and the improvement of scientific and technological level are the key influencing factors of the vulnerability of the marine fishery eco-economic system in Hainan Province.

Key words: marine fishery eco-economic system; vulnerability; exposure-sensitivity-adaptation evaluation model; obstacle model; Hainan Province

(责任编辑 章践立)