第 39 卷第 3 期
2018 年 5 月

农业现代化研究
RESEARCH OF AGRICULTURAL MODERNIZATION

Vol. 39 No. 3
May，2018

引用格式：
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.
Chen Q, Hu Q G. The vulnerability evaluation and influencing factors of the socio-ecological system of China's marine fisheries[J]. Research of Agricultural Modernization, 2018, 39(3): 468-477.
DOI: 10.13872/j.1000-0275.2018.0024

中国海洋渔业社会—生态系统脆弱性评价及影响因素分析

陈琦，胡求光

（宁波大学商学院，浙江 宁波 315211）

摘 要：从社会—生态的复杂系统视角探究海洋渔业在多重扰动下的脆弱性问题，对于破解当前海洋渔业可持续发展困境具有重要的理论指导意义。基于"暴露性—敏感性—适应性"3 个维度，构建脆弱性评价指标体系和函数模型，同时引入障碍度模型，探究 2001—2015 年期间中国海洋渔业社会—生态系统脆弱性的变化趋势及其影响因素。结果表明：暴露性指数介于 0.3~0.7 之间，整体表现出先上涨后下降再上涨的波动趋势；敏感性指数和适应性指数则均从 0.1 增长至 0.7 左右，呈现出持续波动上涨的态势；脆弱性指数在 0.3~0.8 之间，总体表现为从水平波动到大幅下降再到缓慢增长的阶段性趋势。研究表明，暴露性的变化主要受海洋气候变化、陆源入海污染和风暴潮灾害的影响，敏感性的提高主要与社会就业依赖度、渔业资源开发强度和海水养殖开发强度的增加有关，而适应性近年来受渔民家庭收入水平、渔民生活压力状况和政府效率因素的影响较大。在此基础上，提出加强海洋气候变化基础科学研究、严格控制近海渔业资源开发强度、制定动态的适应性渔业管理制度、完善渔民社会保障体系等针对性建议。

关键词：海洋渔业社会—生态系统；脆弱性评价；障碍度模型；暴露性；敏感性；适应性

中图分类号：F326.4　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1000-0275（2018）03-0468-10

The vulnerability evaluation and influencing factors of the socio-ecological system of China's marine fisheries

CHEN Qi, HU Qiu-guang

（Business School, Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315211, China）

Abstract：Analyzing the vulnerability of marine fisheries under multiple disturbances from the perspective of the socio-ecological system is very helpful to solve the problem of sustainable development of marine fisheries in China. Based on the three dimensions of exposure, sensitivity, and adaptation, this paper constructed an evaluation index system and a functional model and applied an obstacle model at the same time to analyze the vulnerability and the influencing factors of the socio–ecological system of China's marine fisheries. Results show that from 2001 to 2015, the exposure index ranged from 0.3 to 0.7, showing a fluctuation trend of slow growth-declining-slow growth. Both sensitivity index and adaptability index increased from 0.1 to about 0.7, showing a constant increasing trend. The vulnerability index ranged from 0.3 to 0.8, showing a trend of horizontal fluctuation-deep declining-slow growth. The changes in the exposure were mainly affected by the climate change, land-based pollution and marine storm surge disasters. The sensitivity was mainly affected by employment dependence, fishery resource development strength and aquaculture development intensity. And the adaptability was mainly affected by the income level of fisherman families, the pressure of fisherman's life and the efficiency of the government. Based on the above analysis results, this paper provides the following suggestions: strengthening the basic research on marine climate change, controlling the development intensity of offshore fishery resources, formulating the adaptive fishery management system, and improving the social security system of fishermen.

Key words：the socio-ecological system of marine fisheries; vulnerability assessment; obstacle model; exposure; sensitivity; adaptation

基金项目：国家社会科学基金重大项目（16ZDA050）；宁波大学校科研基金项目（XYW18001）。
作者简介：陈琦（1990-），男，山东泰安人，博士，讲师，主要从事海洋经济管理、渔业经济和生态经济研究，E-mail: chenqi2@nbu.edu.cn, chenqikgb@163.com。
收稿日期：2018-01-08，**接受日期：**2018-03-19
Foundation item: Major Program of National Social Science Foundation of China (16ZDA050); Scientific Research Foundation of Ningbo University (XYW18001).
Corresponding author: CHEN Qi, E-mail: chenqi2@nub.edu.cn, chenqikgb@163.com.
Received 8 January, 2018; **Accepted** 19 March, 2018

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

20 世纪 80 年代以来，中国海洋渔业得到空前发展，为保障国家粮食安全、优化居民膳食结构、促进农渔民增收、建设海洋强国等做出了突出贡献。然而，海洋渔业长期粗放式的发展导致近年来渔业资源枯竭、海域养殖环境污染、渔业发展空间受限等问题日益突出，如何实现海洋渔业的绿色发展已经成为政府亟需解决的一项重要课题。习近平总书记指出：“绿色发展，就其要义来讲，是要解决好人与自然和谐共生问题”。基于绿色发展基本理念，海洋渔业所面临的可持续发展困境可视为是海洋渔业经济社会系统与自然生态系统之间发展关系失衡的结果。随着国际社会对“人—自然”复杂关系的认识程度不断加深，整合人类与自然耦合系统中的多重变量，明晰社会—生态系统中社会经济与生态环境要素的交互作用，已经成为当前应对全球气候变化、生物多样性减少、水资源短缺、物种入侵、能源和粮食安全等一系列风险胁迫的必然选择 [1]。而脆弱性作为有效刻画人类与自然耦合系统受损害程度的概念，为减轻风险的行动指导提供了一个标准化的分析框架 [2-3]。近年来，国内外学者结合社会—生态系统理论，从脆弱性视角重新审视和探究海洋渔业的可持续发展问题，在不同区域尺度下开展了广泛的海洋渔业社会—生态系统脆弱性评价研究，成为当前海洋渔业可持续发展研究的前沿和热点。

在现有的国外研究文献中，气候变化下的海洋渔业脆弱性评价一直是关注的主要焦点，研究内容涉及国家或区域尺度下的海洋渔业脆弱性 [4-8]、小型渔业脆弱性 [9-10] 和海洋渔业社区脆弱性 [11-14] 等。此外，也有学者探究了自然、人为等多重扰动因素下的海洋渔业脆弱性问题，如 Huges 等 [15] 基于粮食安全视角构建了用于评估国家层面的珊瑚礁渔业脆弱性的分析框架，并据此评估得到了 27 个主要渔业国家的脆弱性指数，Himes-Cornell 等 [16] 构建了一个快速评估相关幸福指数的验证方法，并从社会—生态系统视角对阿拉斯加的渔业社区脆弱性进行了评估分析。

总体而言，当前国际上针对海洋渔业社会—生态系统脆弱性评价的案例研究多集中在沿海发达国家，然而现实中海洋渔业脆弱性形势较为严峻的区域主要集中在发展中国家，但目前有关发展中国家海洋渔业社会—生态系统脆弱性的评价研究却尚不多见 [17]。相较之下，国内目前对生态经济复合系统脆弱性的研究才刚刚起步，研究文献主要集中在城市或农村脆弱性评估 [18-19]、旅游脆弱性评估 [20-21] 和特定地理空间的脆弱性评估 [22-24] 等方面，而针对渔业领域的研究尚属空白。鉴于此，本文在明晰海洋渔业社会—生态系统脆弱性内涵的基础上，尝试基于“暴露性—敏感性—适应性”的评估框架，选取 2001—2015 年的相关历史数据，系统评估中国海洋渔业社会—生态系统脆弱性的演变趋势，并引入障碍度模型对影响脆弱性的因素进行识别，以期借助脆弱性这一全新理论视角，为中国海洋渔业的绿色转型发展提供风险警示和决策参考。

1　海洋渔业社会—生态系统脆弱性指标体系构建

1.1　海洋渔业社会—生态系统脆弱性的内涵

依据 Ostrom [25] 提出的社会—生态系统理论框架，海洋渔业社会—生态系统可被看作是由海洋渔业生态子系统、海洋渔业社会子系统、外部关联生态系统和外部的经济、社会、政治与文化背景 4 个部分组成的相互关联、相互影响的复杂耦合系统，其中生态子系统主要包括海洋渔业资源和鱼类生境两个要素，社会子系统则包括渔民、渔业社区、渔业企业、政府等渔业开发利用者和管理者（图 1）。从影响关系层面，海洋渔业生态子系统和社会子系统两个内部子系统嵌套在了更大的生态、经济、社会、政治和文化背景之中，不仅两个内部子系统直接存在相互作用关系，而且与外部系统也存在相互关联、互动反馈的作用关系。

脆弱性是社会—生态系统本身所具有的一种属性特征。Adger 和 Kelly [26] 基于“人—自然”耦合系统的角度，将脆弱性定义为系统暴露在环境和社会变化等外部压力和扰动因素下，由于缺乏适应能力而易受损害的一种状态。此后，暴露性、敏感性和适应性等内涵要素开始得到学者的广泛认同，脆弱性逐步发展成为一个概念的集合。基于当前学者普遍认可的“暴露性—敏感性—适应性”三要素的脆弱性内涵解读方式，本文将海洋渔业社会—生态系统脆弱性定义为：海洋渔业社会—生态系统暴露在多重自然和社会因素扰动下所表现出的敏感程度及适应能力，可以看作是系统面对外部扰动的暴露性、敏感性和适应性三种关键要素共同作用的结果，在现实中主要表现为生态层面的资源衰退和环境污染以及社会层面的海洋食物供给能力下降和渔民福利减少等。具体来看，暴露性是指海洋渔业社会—生态系统遭受气候变化、海洋生态环境变化等自然生态因素扰动和过度捕捞、海洋环境污染、海岸带开发等人为社会因素扰动的程度，反映了系统在外部扰动影响下潜在损失的大小；敏感性是指海洋渔

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

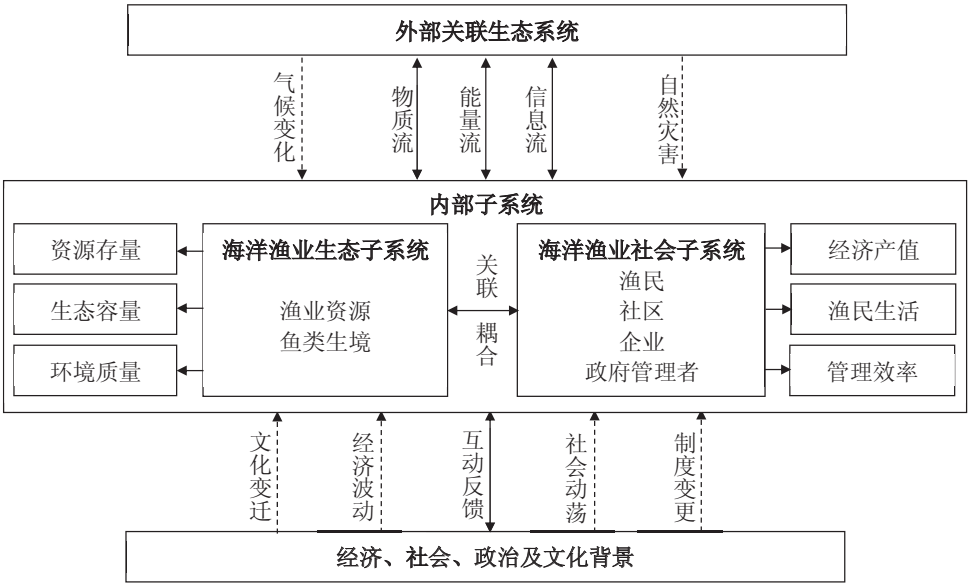

图 1 海洋渔业社会—生态系统脆弱性的内涵框架

Fig. 1 Vulnerability diagram of the social-ecological system of China's marine fisheries

业社会—生态系统在面对多种自然和社会因素扰动时易于感受的性质，反映了系统所能承受扰动的阈值；适应性是指海洋渔业社会—生态系统面对多种自然和社会因素扰动的响应与应对能力以及受损后的恢复能力，反映了系统能够抵御扰动、避免损害的程度。脆弱性与暴露性、敏感性成正比关系，而与适应性成反比关系，即暴露性和敏感性越大则脆弱性就越高，反之，适应性越大则脆弱性就越小。

1.2 脆弱性指标体系的构建

基于海洋渔业社会—生态系统脆弱性的概念内涵，借鉴 Polsky 等[27]提出的脆弱性评价框架，参考现有研究中的海洋渔业脆弱性评价指标体系构建，从暴露性、敏感性和适应性 3 个维度指标下共选取 11 个一级评价指标和 26 个二级评价指标，构建针对中国海洋渔业社会—生态系统脆弱性的评价指标体系，指标向性、含义说明和文献来源见表 1。其中，暴露性指标具体分为海洋气候变化、海洋渔业自然灾害、海洋环境污染和近海渔业生产空间压缩 4 个一级指标，敏感性因素包括海洋渔业开发强度、海洋环境承载能力和海洋渔业依赖度 3 个一级指标，适应性因素则分为海洋渔业经济发展水平、海洋渔业管理水平、水产科技水平和渔民生活幸福感 4 个一级指标。

2 研究方法

2.1 数据来源与处理

表 1 所涉及的指标数据来源于《中国统计年鉴》、《中国渔业统计年鉴》、《中国渔业年鉴》、《中国海洋统计年鉴》、《中国海洋环境质量公报》、《中国海洋灾害公报》、《海域使用管理公报》、《中国海平面公报》、《中国海洋经济统计公报》、世界银行数据库和 Sea Around Us 机构统计数据库等。

由于不同评价指标之间存在着数量级、量纲和指标性质的差异，因而需要对原始数据进行标准化处理。考虑到数据指标相对于上一级指标的指向性差异，本文选取极差标准化方法对原始数据进行处理。

当评价指标与上一级目标呈正相关，即评价指标值越大对上一级指标越有利时，指标向性为正，此时运用正向指标标准化公式：

$$M_{ij}=(X_{ij}-X_{jmin})/(X_{jmax}-X_{jmin}) \quad (1)$$

当评价指标与上一级目标呈负相关，即评价指标值越小对上一级指标越有利时，指标向性为负，此时运用正向指标标准化公式：

$$M_{ij}=(X_{jmax}-X_{ij})/(X_{jmax}-X_{jmin}) \quad (2)$$

式中：X_{ij}、X_{jmax}、X_{jmin} 和 M_{ij} 分别为第 i 研究单元第 j 指标的原始值、最大值、最小值和标准值；i=1，2，…，n。

另外，由于标准化后的数据存在零值，因此为避免对数无意义需对标准化后的数值正向平移 1 个单位：

$$Y_{ij}=M_{ij}+1 \quad (3)$$

在数据标准化的基础上，本文综合运用主观的层次分析法和客观的熵值法对中国海洋渔业社会—生态系统脆弱性评价指标的权重进行双向测度，在此基础上求得二者的平均值作为最终的指标权重值。

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　中国海洋渔业社会—生态系统脆弱性评价指标体系

Table 1　Indicators for evaluating the vulnerability of the socio-ecological system of Chia's marine fisheries

维度	一级指标	二级指标	指标符号	向性	指标含义或算法	文献来源
暴露性	海洋气候变化	海水温度增量	P1	+	当年海水温度 – 常年海水温度	[4][6][8][12]
	海洋自然灾害	赤潮灾害	P2	+	赤潮灾害面积	[7][11]
		风暴潮灾害	P3	+	风暴潮灾害面积	[7][11]
	海洋环境污染	陆源入海污染	P4	+	工业废水排海量	[28]
		养殖区污染	P5	+	海水养殖受污染面积	[15][28]
	生产空间压缩	填海造地面积	P6	+	年度填海造地面积 / 海域总面积	[15][28]
敏感性	海洋渔业开发强度	渔业资源开发强度	S1	+	营养级均衡指数（FIB）	[7][11][13]
		海水养殖开发强度	S2	+	海水养殖面积 / 海水可养殖面积	[28]
	海洋环境承载能力	人均海岸线长度	S3	–	海岸线长度 / 地区人口数量	[13]
		人均海域面积	S4	–	海域面积 / 地区人口数量	
		人均滩涂面积	S5	–	滩涂面积 / 地区人口数量	[13][29]
	海洋渔业依赖度	食物供给依赖度	S6	+	海洋水产品消费量 / 动物性食物消费量	[4][7][8][15]
		经济产值依赖度	S7	+	海洋渔业产值 / 地区生产总值	[4][7][8][15]
		社会就业依赖度	S8	+	海洋渔业从业人员 / 总就业人数	[4][7][8]
适应性	海洋渔业经济发展水平	产值状况	R1	+	海洋渔业产值增长率	[4][8]
		产业结构	R2	+	第二、三产业产值 / 总产值	[11]
		生产效率	R3	+	海洋水产品总生产量 / 海洋机动渔船总数	[11][15]
	海洋渔业管理水平	政府效率	R4	+	政府效率指数	[4][8][12][15]
		产业补贴效率	R5	+	海洋水产品年生产增量 / 海洋渔业年补贴额	
		环境治理效率	R6	+	一类水质达标率	[12]
	水产科技水平	科技资金投入	R7	+	水产科技资金投入 + 水产技术推广经费投入	[4][12][15]
		科技成果情况	R8	+	发表相关科技论文数量	[4][10]
		科技人员投入	R9	+	（科技人员 + 技术推广人员）/ 渔业从业人员总数	[10][12][14]
	渔民生活幸福感	家庭收入水平	R10	+	渔民人均纯收入额	[4][10][11][14]
		健康保障情况	R11	+	公共卫生服务投资额	[4][8][10][13]
		生活压力状况	R12	–	恩格尔系数	[4][8][10][15]

注：指标向性是以二级指标相对于暴露性、敏感性和适应性 3 类维度指标的关系而定，（+）表示存在正相关关系，（–）表示存在负相关关系。

2.2 脆弱性评价模型

依据脆弱性与相关构成因素之间的关系，参考 Morzaria-Luna 等 [14] 和 Ding 等 [8] 提出的脆弱性函数表达模式，构建中国海洋渔业社会—生态系统脆弱性的评价函数模型：

$$V=P+S-R \tag{4}$$

式中：V、P、S、R 分别表示为脆弱性指数、暴露性指数、敏感性指数和适应性指数，V 的取值范围为（-1，1），P、S、R 取值区间为（0，1）。P、S、R 分别可以通过加权求和方式得到：

$$P=\sum_{j=1}^{6} W_{pj} Y_{pij} \tag{5}$$

$$S=\sum_{j=1}^{8} W_{sj} Y_{sij} \tag{6}$$

$$R=\sum_{j=1}^{12} W_{rj} Y_{rij} \tag{7}$$

式中：W_{pj}、W_{sj}、W_{rj} 分别表示暴露性、敏感性和适应性的指标权重；Y_{pij}、Y_{sij}、Y_{rij} 分别表示暴露性、敏感性和适应性指标的标准值。

2.3 障碍度模型

为进一步识别影响中国海洋渔业社会—生态系统脆弱性的主要因素，拟引入障碍度模型对表 1 中的 26 个二级因素开展诊断分析。障碍度计算模型的公式为：

$$N_j = W_j Y_{ij} / \sum_{j=1}^{n} W_j Y_{ij} \times 100\% \tag{8}$$

式中：W_j 为第 j 项指标的权重值，Y_{ij} 为第 i 研究单元第 j 指标的标准值，N_j 为第 j 指标的障碍度。

3 中国海洋渔业社会—生态系统脆弱性评价

借助于公式（4）、（5）、（6）和（7）计算得到 2001—2015 年期间中国海洋渔业社会—生态系统的脆弱性指数、暴露性指数、敏感性指数和适应性指数（图 2）。

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

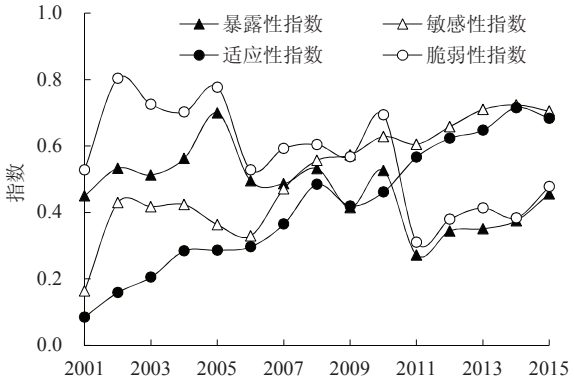

图 2 2001 — 2015 年中国海洋渔业社会—生态系统脆弱性演变趋势

Fig. 2 Evolution trend of the vulnerability of the socio-ecological system of China's marine fisheries from 2001 to 2015

3.1 暴露性分析

中国海洋渔业社会—生态系统的暴露性指数总体上呈现出“波动上涨—波动下降—波动上涨”的阶段性趋势（图 2）。2001—2005 年波动上涨阶段，暴露性指数由 0.449 9 上涨至峰值 0.699 9，海洋渔业社会—生态系统受到的外部环境扰动压力在持续增加。虽然该时期中国的海洋渔业和海洋产业处于快速发展阶段，其年产值增长率持续保持两位数的上涨速度，然而与此同时，中国海洋环境污染问题不断加剧，工业废水排放入海量从 2001 年的 8.60 亿 t 上涨至 2005 年的 15.24 亿 t。另一方面，中国两类最主要的海洋自然灾害即海洋风暴潮和赤潮灾害累计面积在该时期均呈现出持续增长的趋势，分别在 2005 年达到峰值 3.9 万 hm^2 和 270.7 万 hm^2。综上，2001—2005 年期间海洋渔业社会—生态系统面临的外部扰动压力在持续增加。

2006—2011 年波动下降阶段，暴露性指数由 2005 年的 0.699 9 下降至 2011 年的 0.271 9。进入 2006 年以后，虽然海洋气候依然保持变暖态势（海水温度较常年增量继续保持在 0.5 ℃左右），但近海海域的赤潮、风暴潮和海冰等自然灾害较上一时期呈现出显著的减少趋势。另一方面，该时期各沿海地区政府对海域污染治理的投入程度不断加强，污染废水排海量的增长趋势在一定程度上得到了有效遏制，海水养殖区污染面积则呈现出下降趋势。此外，进入 2006 年以来，国务院批准了河北、江苏、浙江和福建等多个省海洋功能区划，并对养殖用海区进行了专门的统筹安排，保障了渔业的用海需求，各行业的用海矛盾得到一定的缓解，年填海造地面积基本控制在 1.5 万 hm^2 以下。

2012—2015 年波动上涨阶段，暴露性指数由 2011 年的 0.271 9 上涨至 2015 年的 0.456 5。虽然自 2011 年国土资源部和国家海洋局出台《关于加强围填海造地管理有关问题的通知》以来，年填海造地面积得到进一步的有效控制，至 2014 年已降至 1.1 万 hm^2，但是海洋气候变暖问题和海洋环境污染问题较上一阶段呈现出一定的恶化趋势，从而导致海洋渔业社会—生态系统近些年所面临的外部扰动压力增加。综上，就近年暴露性指数的发展趋势而言，中国海洋渔业社会—生态系统未来面临的多重扰动压力有进一步增加的趋势，整体发展趋势不容乐观。

3.2 敏感性分析

中国海洋渔业社会—生态系统敏感性指数总体上呈现出显著的波动上涨趋势，从 2001 年的 0.164 1 上涨至 2015 年的 0.705 3（图 2）。具体而言，2001—2002 年期间敏感性指数出现大幅上涨，2002—2006 年期间敏感性指数出现短暂的徘徊下降趋势，此后敏感性指数除 2011 年和 2015 年出现小幅下降外，其余各年均保持上涨态势。敏感性指数的波动上涨说明中国海洋渔业社会—生态系统面对外部扰动的敏感程度在不断增加，即外部扰动对系统造成的影响程度越来越大。系统敏感程度持续上升的主要原因是近年来海洋渔业开发强度不断提升，且海域承载能力不断衰退，使得系统所能承受外部扰动的阈值不断下降，敏感性随之不断提高。

首先，近年来中国海洋渔业的开发强度不断加大。根据 Sea Around Us 机构对中国近海专属经济区渔获物平均营养级指数和营养级均衡指数的统计，进入 1997 年以后平均营养级指数继续表现出下降趋势，而营养级均衡指数则以此为拐点结束前期的上涨首次呈现出缓慢下降的态势，说明渔获量的增加不能够弥补平均营养级的下降，即表现出了“捕捞对象沿着海洋食物网向下移动”的现象，渔业资源已经进入过度开发状态。

其次，中国海水养殖面积利用率（海水养殖面积 / 海水可养殖面积）从 2005 年的 47.83% 提高到 2015 年的 89.14%，海水养殖开发强度的增幅显著，近年来已经逐步趋于饱和。另一方面，近年来，产业经济和社会人口进一步向沿海集聚，造成近海海域环境的总承载能力不断下降，进而导致系统敏感性程度进一步加强。

海洋渔业依赖度同样是影响系统敏感性程度的重要指标。从食物供给、经济产值和社会就业 3 个角度考虑海洋渔业的依赖度情况发现，中国海洋渔业经济依赖度从 2001 年的 0.91% 下降到 2015 年的 0.67%，社会就业依赖度则基本保持在 2.6%~2.7%

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

之间，而海洋渔业的食物供给依赖度（水产品消费量 / 动物性食品总消费量）则从 2001 年的 31.62% 上升至 2015 年的 36.48%。根据表 1 的指标权重值可知，海洋渔业食物供给依赖程度在三类指标中所占的权重值最大，是影响海洋渔业依赖度的最主要因素，由此可以判断 2001—2015 年期间总的海洋渔业依赖度在上升。综上，在海洋渔业开发强度、海域承载能力和海洋渔业食物供给依赖度的共同作用下，中国海洋渔业社会—生态系统敏感性指数总体呈现出不断上涨的趋势。

3.3 适应性分析

中国海洋渔业社会—生态系统脆弱性指数总体呈现出波动上涨的趋势，指数值由 2001 年的 0.085 3 上涨至 2015 年的 0.683 8（图 2）。具体来看，除 2009 年和 2015 年出现短暂下降外，其余各年份均保持上涨态势。适应性指数的变动趋势充分表明中国海洋渔业社会—生态系统总体上应对外部扰动的能力以及从扰动中恢复的能力在逐年提升。一方面，近十年来海洋渔业经济处于高速发展阶段，产值增长率多年维持在 10% 以上，与此同时海洋渔业产业结构不断优化，第三产业产值占比从 2001 年的 34.76% 上涨至 2015 年的 48.09%。

其次，从政府效率、产业补贴效率和环境治理效率 3 个角度考量中国海洋渔业管理水平：世界银行数据库给出的中国政府效率指数近年来总体上保持了上升趋势，从 2001 年的 53.7 增至 2015 年的 61.2，说明政府效率在不断优化；2001—2015 年期间海洋渔业的产业补贴效率同样取得较大提升，2015 年单位补贴额带来的产值增量与 2001 年相比扩大了 10 倍之多；以一级水质达标率为代表的环境治理效率则总体变动幅度较小，治理效率的提升尚不显著，因此海域环境治理问题依然是渔业管理中的难点。随着全国各地区“科技兴渔”战略的深入推进，海洋渔业的科技资金投入、科技人员投入以及科技成果数量均取得跨越式增长，海洋渔业科技水平不断提高，科技推广程度不断深化，为海洋渔业社会—生态系统不断适应、抵御外部扰动提供了越加坚实的技术保障 [30]。

最后，海洋渔业作为一项劳动密集型产业，渔民的生活幸福状况同样是反映社会—生态系统适应能力的重要因素指标：从收入因素来看，中国渔民人均纯收入从 2001 年的 5 571 元上涨至 2015 年的 15 594 元，扩大了近 3 倍；2001—2015 年期间国家对公共卫生的投入增幅显著，资金投入绝对数扩大了 10 倍之多；与此同时，农村渔户的恩格尔系数从 2001 年的 47.7% 下降至 2015 年的 37.1%，表明渔民生活质量有了较大幅度的提高。综上所述，2001—2015 年期间，在海洋渔业经济、科技、管理和渔户生活质量等多重因素不断优化发展的共同推动下，中国海洋渔业社会—生态系统的适应能力总体上呈现出不断提高的趋势。

3.4 脆弱性分析

中国海洋渔业社会—生态系统脆弱性指数的变动趋势与暴露性指数较为相近，表现出一定的阶段性特征（图 2），由此说明海洋渔业脆弱性程度变化主要受变化幅度相对较大的暴露性因素的影响。在 2001—2010 年期间脆弱性指数保持在 0.5~0.8 区间内的水平波动，2011 年脆弱性指数出现较大幅度的下降，此后表现出缓慢波动上涨趋势。以 0.5 的脆弱性指数作为强脆弱性和弱脆弱性的临界点，就长期的演变趋势而言，海洋渔业社会—生态系统脆弱性整体上经历了由强脆弱性向弱脆弱性转变的过程。

在 2010 年以前海洋渔业社会—生态系统脆弱性指数总体保持在 0.5 以上，脆弱性程度相对较高，其中 2002 年脆弱性指数达到峰值 0.803 9，随后脆弱性指数基本维持在 0.7 和 0.6 左右波动。具体而言，2001—2010 年期间海洋渔业社会—生态系统的暴露性程度总体较高，暴露性指数基本维持在 0.5 以上，与此同时敏感性指数由 2001 年的 0.164 1 大幅上涨至 2010 年的 0.628 5，而相比较而言系统适应能力虽然在该时期也表现出不断提升的趋势，但仍无法抵消长期的高暴露性和快速增长的敏感性所带来的压力，从而导致系统在较长一段时期内处于高脆弱性的状态。

2011 年中国海洋渔业社会—生态系统暴露性指数出现较大幅度下降，同时敏感性指数同样呈现出小幅下降，而适应性指数则继续保持增长态势，在此背景下系统脆弱性指数迎来较为显著的阶段性拐点，从 2010 年的 0.693 7 下降至 2011 年的 0.310 8。应当注意的是，进入 2011—2015 年期间脆弱性指数再次表现出缓慢上涨趋势，至 2015 年已经达到 0.478 0，说明近年来海洋渔业社会—生态系统的脆弱性态势不容乐观，未来若不能及时提升系统适应能力将面临进一步恶化的趋势。

4 中国海洋渔业社会—生态系统脆弱性的影响因素分析

依据公式（8），以障碍度 Ni ≥ 5% 作为筛选主要影响因素的标准，从历年的指标障碍度测算结果

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

中进一步分别识别出 3 个主要的暴露性指标、3 个主要的敏感性指标和 4 个主要的适应性指标，并进行排序处理，结果见表 2。

4.1 暴露性影响因素

从暴露性因素排序可知，2001—2002 年期间影响中国海洋渔业社会—生态系统暴露性程度的首要因素分别为海水温度增量、养殖区污染程度和填海造地面积（表 2）。进入 2003 年以后，随着国家对填海造地的管控力度不断加大，填海造地面积的障碍度逐年下降，不再是暴露性的主要影响因素。而与此同时，陆源入海污染量、风暴潮灾害程度等因素的障碍度不断增加，逐步成为主要的暴露性影响因素，其中陆源入海污染量在 2008—2013 年期间障碍度排序连续保持第一位，说明在此期间中国陆源入海污染对海洋渔业的可持续发展造成严重威胁。

另一个障碍度较为突出的暴露性影响因素是海水温度增量，以 5% 的障碍度为划分标准，海水温度增量的出现次数和频率分布达到了 14 次和 93.33%。除个别年份外，海水温度增量均是影响暴露性程度的前 3 位主要因素，但当前中国对于海洋气候变化对海洋渔业造成的扰动影响关注和重视程度还较少。实际上，近年来气候变化对包括海洋渔业资源在内的海洋生态系统的影响已经成为国际社会关注的焦点，欧盟、美国、英国等在制定国家海洋中长期战略时均将这一问题列为重点研究方向，同时 FAO 也在不断呼吁重视气候变化对渔业可持续发展的影响 [31]。因此，未来有必要深入开展有关气候变化对中国海洋渔业资源影响的基础性研究，进而探寻应对气候变化的海洋渔业适应性管理对策。

4.2 敏感性影响因素

从敏感性因素排序来看，2010 年以前，食物供给、经济产值和社会就业等海洋渔业依赖度因素的

表 2 中国海洋渔业社会—生态系统脆弱性的主要障碍因素

Table 2 Main obstacle factors of the vulnerability of the socio-ecological system of China's marine fisheries

年份	项目	暴露性因素排序			敏感性因素排序			适应性因素排序			
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	4
2001	因素	P1	P5	P6	S7	S8	S1	R1	R3	R6	R4
	障碍度	39.81	24.08	17.79	54.84	26.31	18.85	74.89	11.58	7.89	5.65
2002	因素	P1	P5	P6	S6	S7	S8	R1	R4	R12	R2
	障碍度	40.06	22.82	21.10	29.74	29.67	26.36	56.26	10.58	10.05	6.84
2003	因素	P1	P4	P3	S8	S6	S7	R6	R1	R2	R4
	障碍度	27.00	20.68	20.58	29.32	27.56	25.68	22.94	18.71	16.44	16.42
2004	因素	P1	P3	P4	S7	S8	S2	R1	R4	R2	R9
	障碍度	28.21	26.17	25.69	33.97	29.43	9.06	40.05	18.05	13.53	5.27
2005	因素	P4	P3	P2	S7	S2	S8	R1	R6	R2	R12
	障碍度	33.75	28.83	21.29	42.35	12.76	10.92	26.80	18.67	16.66	8.41
2006	因素	P1	P4	P3	S7	S6	S8	R2	R12	R6	R4
	障碍度	25.74	24.52	21.34	25.18	19.11	15.21	18.76	17.51	13.64	12.08
2007	因素	P1	P4	P3	S6	S8	S5	R2	R4	R5	R12
	障碍度	38.52	37.92	11.00	43.43	20.14	9.72	16.36	15.84	14.05	13.49
2008	因素	P4	P1	P3	S6	S8	S5	R5	R1	R6	R2
	障碍度	51.18	25.35	17.98	39.40	20.62	9.38	23.47	13.93	11.17	11.02
2009	因素	P4	P1	P3	S6	S8	S1	R12	R2	R1	R4
	障碍度	32.23	31.78	17.47	25.90	17.41	11.05	16.90	14.15	13.90	10.90
2010	因素	P4	P5	P2	S6	S8	S2	R12	R8	R2	R1
	障碍度	29.41	21.03	16.85	28.20	14.36	13.70	15.61	13.48	12.74	12.08
2011	因素	P4	P5	P3	S6	S1	S2	R12	R1	R2	R4
	障碍度	57.99	11.61	11.08	22.57	17.96	14.66	14.02	12.64	10.24	9.58
2012	因素	P4	P1	P5	S6	S2	S1	R12	R5	R2	R10
	障碍度	29.51	23.69	23.47	20.01	14.67	14.18	14.99	14.12	9.75	9.55
2013	因素	P4	P1	P2	S1	S6	S2	R12	R7	R10	R2
	障碍度	39.67	30.46	12.15	20.45	18.47	15.55	17.16	12.50	12.06	9.38
2014	因素	P1	P4	P5	S1	S6	S2	R4	R12	R10	R9
	障碍度	39.87	33.78	8.54	22.20	19.46	15.10	14.45	13.01	11.07	9.34
2015	因素	P1	P4	P5	S6	S1	S2	R12	R10	R9	R7
	障碍度	39.12	35.85	19.04	22.90	18.39	15.70	16.25	14.47	11.94	10.9

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

障碍度均较高，是影响中国海洋渔业社会—生态系统敏感性程度的首要因素，说明在此期间海洋渔业在保障国家粮食安全、促进沿海区域经济发展和提高沿海区域就业率等方面发挥的作用越加显著，进而推动了系统敏感性程度的不断上涨。随着海洋渔业开发程度不断加深，渔业资源开发强度和海水养殖开发强度的障碍度持续快速增长，进入 2011 年以后逐步取代了经济产值依赖度和社会就业依赖度，成为除社会就业依赖度以外的另外两个主要影响因素。因此，未来必须合理控制海洋渔业的开发强度，缓解资源环境压力，以降低海洋渔业社会—生态系统的敏感性程度。

需要注意的是，在控制、降低海洋渔业开发强度的过程中，必然导致现实中更多的渔民面临失业的现实问题，而社会就业依赖度作为长期以来影响敏感性的一个主要因素，同样是不可忽视的重要一环。由此可知，未来做好“失海”渔民的转产转业工作是缓解系统敏感性的关键。

4.3 适应性影响因素

适应性因素排序结果表明，在 2001—2008 年期间，产值状况、产业结构、政府效率等反映海洋渔业经济、管理发展水平的因素障碍度普遍较高（表 2），即对海洋渔业社会—生态系统适应能力的影响程度较大。进入 2008 年以后，除政府管理效率因素外，海洋渔业产值状况、产业结构等经济类因素的障碍度逐步下降，至 2013 年以后不再是主要的影响因素，而与此同时渔民家庭收入水平、渔民生活压力状况等社会因素的障碍度不断增加，逐步成为影响系统适应性的首要因素。由此说明，随着海洋渔业经济产值增速和产业结构调整逐步趋稳，海洋渔业的经济发展水平对系统适应能力的贡献程度逐步降低，不再是制约系统适应水平的首要因素。

2008 年以后，特别是进入 2014 年以来，反映渔民生活幸福感的社会类因素成为影响系统适应性的主要因素，说明在当前海洋渔业资源环境约束压力下，如何确保海洋渔民的收入水平持续增长、提高海洋渔民的生活质量水平，是实现系统适应性能力进一步提升的关键。

5 结论与政策建议

5.1 结论

从暴露性、敏感性和适应性 3 个维度，考察 2001—2015 年期间中国海洋渔业社会—生态系统的脆弱性演化规律发现，受海洋气候变化、陆源入海污染以及风暴潮灾害的影响，系统暴露性呈现出从增长到下降再到增长的波动变化趋势，与脆弱性的变化表现出一定程度的相似性，说明总体而言来自自然和社会的多重外部扰动依然是脆弱性形成的主要驱动因素。因此，未来有针对性地制定适应扰动变化的海洋渔业发展策略，将是有效降低脆弱性程度的重要选择。

近年来中国海洋捕捞和海水养殖开发强度依然不断增长，导致海洋渔业社会—生态系统敏感性程度持续增长，也是导致脆弱性上涨的重要原因。同时，海洋渔业社会就业依赖度对系统敏感性的影响较为显著，从侧面表明当前渔民转产转业工作依然面临较大压力。

从适应性角度来看，渔民家庭收入水平、渔民生活压力状况和政府管理效率是影响海洋渔业社会—生态系统适应能力的 3 个关键因素。基于此，未来一方面要探索在资源环境约束背景下稳步提升渔民收入的有效途径，着力解决部分“失海”渔民的生活压力问题。另一方面，应积极借鉴国外先进的海洋渔业适应性管理经验，逐步打破中国传统静态的至上而下式渔业管理模式，推进渔业管理制度改革，提升渔业管理效率。

5.2 政策建议

第一，加强海洋气候变化的基础性科学研究，系统监测和评估气候变化对中国近海渔业资源及生态环境的扰动影响，为实现海洋渔业的适应性管理提供科学数据支撑。当前可通过开展有关海洋气候变化的国际合作，充分学习和借鉴国外发达国家先进的科学技术以及应对气候变化的渔业管理经验，重点发展与气候变化相关的自然生态与人文社会的交叉学科研究，在此基础上制定适应气候变化的海洋渔业发展战略。

第二，进一步控制近海渔业资源和环境的开发强度，拓展远洋捕捞和离岸深水养殖新空间，从而提高系统面对外部扰动的承受阈值，缓解系统敏感程度。一方面，要加快对“三无”渔船的治理工作，严格执行近海捕捞“零增长”制度，同时要加强对远洋捕捞业的引导和扶持，重点开发南极磷虾等潜力品种，积极拓展海洋渔业资源的新空间。另一方面，要加快引导海水养殖由近岸滩涂、浅海向离岸深水拓展，重点是大力发展离岸深水网箱、远海养殖工船、深水底播和立体生态养殖，缓解近岸滩涂和近海浅水养殖压力。

第三，转变传统的静态“万能药”式渔业管理理念，制定不断适应外部扰动的动态适应性管理制度，提高海洋渔业管理效率。首先，通过政府适度

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的权利下放，充分调动、协调渔民、渔业企业、渔业社区、渔业行业协会、环境保护机构（环保主义者）和渔业科学家等其他各方参与到渔业管理实践之中，确保本地的资源生态、经济社会等知识信息在渔业管理实践中的融合，提高管理制度的科学性。其次，加强对渔业管理政策实施效果的定期监测和评估，从而对既定管理方案进行反馈与调整，以及时适应系统的外部扰动变化，实现对脆弱性的有效控制。

第四，加大渔业转产转业的政策扶持，完善渔业社会保障制度，着力提高渔民的生活质量水平。首先，借助资金补贴、技术支持、技能培训和社会保险等多种形式，保障渔民在转产转业中的合法利益，解决好资源环境约束下的渔民生计问题。其次，积极推动渔业扶贫工作，加快现代渔业技术的推广和普及，引导贫困渔区渔民结合当地的资源环境优势，发展经济效益高的特色休闲渔业和生态渔业。最后，加快渔区的基础设施建设，从文化、卫生、医疗和教育等多个层面完善渔业社会保障制度。

参考文献：

[1] Liu J, Mooney H, Hull V, et al. Systems integration for global sustainability[J]. Science, 2015, 347(6225): 963-973.

[2] Adger W N. Vulnerability[J]. Global Environmental Change, 2006, 16(3): 268-281.

[3] 李鹤 , 张平宇 , 程叶青 . 脆弱性的概念及其评价方法 [J]. 地理科学进展 , 2008, 27(2): 18-25.
Li H, Zhang P Y, Cheng Y Q. Concepts and assessment methods of vulnerability[J]. Progress In Geography, 2008, 27(2): 18-25.

[4] Allison E H, Perry A L, Badjeck M, et al. Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries[J]. Fish & Fisheries, 2009, 10(2): 173-196.

[5] Naim S M, Hidalgo J Z, Arroyo A M. Vulnerability to climate change of marine and coastal fisheries in México[J]. Atmósfera, 2011, 24(1): 103-123.

[6] Barange M, Merino G, Blanchard J L, et al. Impacts of climate change on marine ecosystem production in societies dependent on fisheries[J]. Nature Climate Change, 2014, 4(3): 7285-7289.

[7] Jacinto M R, Songcuan A J G, Yip G V, et al. Development and application of the fisheries vulnerability assessment tool (Fish Vool) to tuna and sardine sectors in the Philippines[J]. Fisheries Research, 2015, 161: 174-181.

[8] Ding Q, Chen X, Hilborn R, et al. Vulnerability to impacts of climate change on marine fisheries and food security[J]. Marine Policy, 2017, 83: 55-61.

[9] Pranovi F, Caccin A, Franzoi P, et al. Vulnerability of artisanal fisheries to climate change in the Venice Lagoon[J]. Journal of Fish Biology, 2013, 83(4): 847-864.

[10] Shaffril H A M, Hamzah A, D"Silva J L, et al. Individual adaptive capacity of small-scale fishermen living in vulnerable areas towards the climate change in Malaysia[J]. Climate & Development, 2017, 9(4): 313-324.

[11] Lee B D, Kim B T, Cho Y S, et al. A study on vulnerability assessment to climate change in regional fisheries of Korea[J]. Journal of Fisheries Business Administration, 2011, 42(1): 57-70.

[12] 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.

[13] Mamauag S S, Aliño P M, Martinez R J S, et al. A framework for vulnerability assessment of coastal fisheries ecosystems to climate change—Tool for understanding resilience of fisheries (VA–TURF)[J]. Fisheries Research, 2013, 147(10): 381-393.

[14] Morzaria-Luna H N, Turk-Boyer P, Moreno-Baez M. Social indicators of vulnerability for fishing communities in the Northern Gulf of California, Mexico: Implications for climate change[J]. Marine Policy, 2014, 45(2): 182-193.

[15] Hughes S, Yau A, Max L, et al. A framework to assess national level vulnerability from the perspective of food security: The case of coral reef fisheries[J]. Environmental Science & Policy, 2012, 23(5): 95-108.

[16] Himes-Cornell A, Maguire C, Kasperski S, et al. Understanding vulnerability in Alaska fishing communities: A validation methodology for rapid assessment of indices related to well-being[J]. Ocean & Coastal Management, 2016, 124: 53-65.

[17] Mcclanahan T R, Cinner J E, Maina J, et al. Conservation action in a changing climate[J]. Conservation Letters, 2008, 1(2): 53-59.

[18] 程钰 , 任建兰 , 徐成龙 . 资源衰退型城市人地系统脆弱性评估——以山东枣庄市为例 [J]. 经济地理 , 2015, 35(3): 87-93.
Cheng Y, Ren J L, Xu C L. The vulnerability assessment and obstacles about man-land system of resources-recession city—A case study of Zaozhuang City in Shandong Province[J]. Economic Geography, 2015, 35(3): 87-93.

[19] 杨新军 , 张慧 , 王子侨 . 基于情景分析的西北农村社会—生态系统脆弱性研究——以榆中县中连川乡为例 [J]. 地理科学 , 2015, 35(8):952-959.
Yang X J, Zhang H, Wang Z Q. Vulnerability assessment of rural social-ecological system based on scenario analysis: A case study of Zhonglianchuan Town in Yuzhong County[J]. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(8): 952-959.

[20] 李锋 , 万年庆 , 史本林 , 等 . 基于“环境—结构”集成视角的旅游产业脆弱性测度——以中国大陆 31 个省区市为例 [J]. 地理研究 , 2014, 33(3): 569-581.
Li F, Wan N Q, Shi B L, et al. The vulnerability measure of tourism industry based on the perspective of “environment-structure” integration: A case study of 31 provinces in mainland China[J]. Geographical Research, 2014, 33(3): 569-581.

[21] 陈佳 , 杨新军 , 王子侨 , 等 . 乡村旅游社会—生态系统脆弱性及影响机理——基于秦岭景区农户调查数据的分析 [J]. 旅游学刊 , 2015, 30(3): 64-75.
Chen J, Yang X J, Wang Z Q, et al. Vulnerability and influence mechanisms of rural tourism socio-ecological systems: A household survey in China’s Qinling mountain area[J]. Tourism Tribune, 2015, 30(3): 64-75

[22] 李平星 , 樊杰 . 基于 VSD 模型的区域生态系统脆弱性评价——以广西西江经济带为例 [J]. 自然资源学报 , 2014, 29(5): 779-

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

788.
Li P X, Fan J. Regional Ecological vulnerability assessment based on VSD Model: A case study of Xijiang river economic belt in Guangxi[J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29(5): 779-788.

[23] 余中元 , 李波 , 张新时 . 湖泊流域社会生态系统脆弱性及其驱动机制分析——以滇池为例 [J]. 农业现代化研究 , 2014, 35(3): 329-334.
Yu Z Y, Li B, Zhang X S. Vulnerability and responsive mechanism of social ecosystems of limnological watershed—The Dianchi lake case[J]. Research of Agricultural Modernization, 2014, 35(3): 329-334.

[24] 王娅 , 周立华 , 魏轩 . 基于社会—生态系统的沙漠化逆转过程脆弱性评价指标体系 [J]. 生态学报 , 2018, 38(3): 829-840.
Wang Y, Zhou L H, Wei X. An evaluation index system of vulnerability of the desertification reversion process based on the socio-ecological systems theory[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(3): 829-840.

[25] Ostrom E. A general framework for analyzing the sustainability of social-ecological systems[J]. Science, 2009, 325(5939): 419-422.

[26] Adger W N, Kelly P. M. Social vulnerability to climate change and the architecture of entitlements[J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 1999, 4(3/4): 253-266.

[27] Polsky C, Neff R, Yarnal B. Building comparable global change vulnerability assessments: The vulnerability scoping diagram[J]. Global Environmental Change, 2007, 17(3/4): 472-485.

[28] Halpern B S, Walbridge S, Selkoe K A, et al. A global map of human impact on marine ecosystems[J]. Science, 2008, 321(5895): 948-952.

[29] Maina J, Kithiia J, Cinner J, et al. Integrating social–ecological vulnerability assessments with climate forecasts to improve local climate adaptation planning for coral reef fisheries in Papua New Guinea[J]. Regional Environmental Change, 2015, 16(3): 1-11.

[30] 郑凌燕 , 汪浩瀚 . 沿海地区渔业经济投入产出及地区异质性分析 [J]. 农业现代化研究 , 2016, 37(2): 325-331.
Zheng L Y, Wang H H. Study on the regional heterogeneity of input and output of coastal fisheries in China[J]. Research of Agricultural Modernization, 2016, 37(2): 325-331.

[31] 蔡榕硕 , 齐庆华 . 气候变化与全球海洋 : 影响、适应和脆弱性评估之解读 [J]. 气候变化研究进展 , 2014, 10(3): 185-190.
Cai R S, Qi Q H. Key points on impact assessment of climate change on the ocean and related adaptation from the IPCC working group II fifth assessment report[J]. Advances in Climate Change Research, 2014, 10(3): 185-190.

（责任编辑 ：童成立）

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net