

海岛生态脆弱性研究综述与展望

李荔, 马永驰

(大连理工大学公共管理系 大连 116024)

摘要:海岛资源的可持续发展研究是海洋开发与管理的重要课题。为优化配置海岛资源,促进海岛开发利用和生态环境保护的协调发展,文章对国内外海岛生态脆弱性研究的概念化过程、研究框架和评价方法进行综述,并在此基础上提出研究展望。研究表明:脆弱性的概念已由单一维度的自然系统或社会系统向2个维度的社会-生态交互系统拓展,海岛生态脆弱性的概念化过程具有同样的演进轨迹,但尚未清晰地揭示2个维度之间的多因素耦合关系;目前海岛生态脆弱性的研究框架多是已有脆弱性研究框架的延伸和拓展,尚未出现专门的研究框架;已有的生态脆弱性评价方法主要包括综合指数法、函数模型法、图层叠置法、情景分析法和系统动力学等,但缺乏适用于评价海岛生态脆弱性时空动态特征的方法;针对上述不足,未来海岛生态脆弱性研究应着重统一基本概念并构建专门的研究框架,在理清海岛生态脆弱性动态变化机制的基础上,完善评价指标体系和评价方法,并加强管理调控研究。

关键词:脆弱性;社会-生态系统;生态评价;评价方法;海岛

中图分类号:F205;X826;P741

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2018)10-0060-08

A Review and Future Agenda for Marine Island Ecological Vulnerability Research

LI Li, MA Yongchi

(Department of Public Management, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: The sustainable development of island resources is an important issue in marine development and management. In order to optimize the allocation of island resources and promote the coordinated development as well as ecological environment protection of island, this paper reviewed the conceptualization process, theoretical framework and evaluation methods of marine island ecological vulnerability research, and put forward a future research agenda. The research showed that the concept of vulnerability had been extended from a single dimension of natural system or social system to a social-ecological interaction system while the conceptualization

收稿日期:2018-04-10;修订日期:2018-09-25

基金项目:海洋公益性行业科研专项项目(201505012);大连理工大学“星海优青”人才支持计划资助项目(3009-844302)。

作者简介:李荔,硕士研究生,研究方向为危机管理和基础设施管理

通信作者:马永驰,副教授,博士,研究方向为危机管理、公共资源治理和政策

process of island ecological vulnerability had not yet clearly revealed the coupling relationships of social-ecological interaction although it followed the same trajectory of conceptualization. The research on ecological vulnerability of marine island to date mostly borrows the existing vulnerability framework, and no specific research framework for the ecological vulnerability of island has been developed. The existing assessment methods for ecological vulnerability of island include comprehensive index method, function method, raster calculating method, scenario analysis and system dynamics, but there is a lack of methods suitable for evaluating the temporal and spatial dynamic characteristics of island ecological vulnerability. The future agenda should focus on unifying basic concepts and constructing a special research framework, improving the evaluation index system and evaluation methods on the basis of making clear the mechanism of ecological vulnerability of island, and strengthening the research on vulnerability regulation.

Key words: Vulnerability, Socio-Ecological system, Ecological evaluation, Assessment methods, Island

0 引言

海岛生态系统是具有极高经济、生态和安全价值的公共资源,合理开发利用海岛及其周边海域资源是解决陆地资源短缺问题的重要途径。近年来,我国充分认识到海岛的重要价值,并积极采取措施促进海岛经济的发展,如建设陆岛交通设施、完善海岛公共服务设施和加强海岛旅游开发等^[1]。但海岛普遍具有面积较小、生态系统较封闭和生物多样性较低等特点,生态系统整体稳定性较差,一旦开发利用不当,极易造成生态系统失衡,导致资源枯竭、环境恶化、物种减少和公共利益受损等问题,严重制约海岛经济的可持续发展^[2]。为平衡海岛资源开发利用与生态环境保护,实现海岛可持续发展,有必要深入研究海岛生态脆弱性,从而提出有效的管理调控策略。

作为可持续发展和资源管理等研究领域的重要课题,生态脆弱性研究已被多个国际性科学计划和机构关注^[3]。然而海洋生态脆弱性尤其是海岛生态脆弱性的相关研究仍处于初步阶段^[4],目前尚未形成科学统一的概念体系,实证研究较少,缺乏具有针对性的研究框架和评价方法,且评价过程中往往忽视海岛生态脆弱性的动态性和空间分布的差异性。本研究系统梳理海岛生态脆弱性的相关概念、研究框架和评价方法,并提出未来研究展望,以为海岛资源的优化配置和可持续发展提供支撑。

1 脆弱性和海岛生态脆弱性

1.1 脆弱性

脆弱性(Vulnerability)的概念经历了不断演进和延伸的过程^[5]。脆弱性原指易受攻击、易受伤和易被损坏的特性^[6],主要强调因系统内部存在风险因素而导致的负面后果。20世纪60年代,脆弱性的概念被引入自然灾害研究^[7],研究者普遍认为脆弱性是系统暴露于灾害或扰动下而可能遭受损害的程度,强调系统面对不利扰动或灾害事件的结果^[8];该研究阶段主要集中于自然灾害发生的可能性,并预测其影响区域和程度等,而在一定程度上忽视社会结构和政治制度等方面对脆弱性产生的影响。部分人类生态学和政治生态学研究学者意识到这一问题,开始尝试探究社会结构、政治制度和经济状况等社会经济因素对灾害影响的作用^[7],并认为脆弱性与主体预测、处理和抵抗不利影响并从中恢复的能力有关,强调在外部风险变化中的适应性的作用^[9]。Sen等^[10]将社会制度、福利和阶层等作为重要变量,解释饥荒产生的原因,进一步佐证社会经济因素在脆弱性产生和影响方面的作用。进入21世纪,研究者对脆弱性有更深层次的认识,逐渐认识到将生态系统与社会系统割裂,单纯讨论脆弱性是不可取的,于是纷纷开始关注社会—生态耦合系统和人—地耦合系统层面的脆弱性问题^[11-12]。

脆弱性概念的演进过程,也是脆弱性研究内容

不断扩展和相关研究领域不断交互融合的过程。在此过程中,从研究单纯自然或社会系统的脆弱性,发展到研究更广泛的社会—生态耦合系统的脆弱性;从关注自然环境的脆弱性,发展到关注人在脆弱性形成和降低中的作用;从仅评价系统受到的损害,发展到评价适应性等的作用^[13]。虽然目前学界对于脆弱性并没有准确的定义,但已就脆弱性与灾害暴露性、社会群体敏感性以及与社会背景相关的应对灾害事件的各种能力具有相关性达成基本共识^[5]。

1.2 海岛生态脆弱性

《联合国海洋法公约》第一二一条将海岛定义为四面环水并在高潮时高于水面的自然形成陆地区域。海岛普遍相对独立且面积较小,地域结构简单,生物多样性较低,资源数量有限,生态系统稳定性差,受气候变化、海平面上升和人类活动等影响较大,是典型的生态脆弱区。通过梳理现阶段的相关研究,可发现研究区域主要集中于内陆^[14],对海洋和沿海生态尤其是海岛生态脆弱性的研究较少。

国外对于海岛生态脆弱性的研究较早,早期主要关注自然灾害等对海岛的影响^[15]以及海岛植被和动物群落等的脆弱性^[16]。随着学界对气候变化和海平面上升的重视,研究者开始探讨海平面上升导致的海岸土地丧失^[17]。基于海岸带综合管理小组(ICZM)和联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)的相关研究成果,气候变化和海平面上升背景下的海岛脆弱性研究大量出现^[18];如,Mimura^[19]评估汤加、斐济和萨摩亚等南太平洋海岛的脆弱性,揭示气候变化和海平面上升对其的影响,并提出应对的重点是适应而不是减缓。随着研究的不断深入,研究者开始关注自然生态因素和社会经济因素对海岛生态脆弱性的耦合作用,对小岛屿发展中国家经济的脆弱性^[20]和热带地区渔业生态系统的脆弱性^[21]等进行研究。部分研究者将组织学和心理学等理论引入海岛生态脆弱性研究,开始关注利益相关者对脆弱性的认知等因素对管理有效性的影响^[22]。此外,有研究者认识到海岛生态脆弱性存在明显的空间异质性,需提出与之相对应的适应和缓解策略^[23]。

国内对于海岛生态脆弱性的研究起步较晚,早期主要集中于海岛脆弱性的概念和影响因素等方面。如,郭晓峰等^[24]和冷悦山等^[1]将海岛生态脆弱性定义为在气候变化和海平面上升等陆海作用下以及人类活动影响下,海岛生态环境因适应而受到损害的性质;池源等^[4]将海岛生态脆弱性定义为海岛生态系统由于独特的条件和复杂的干扰而长期形成的、时空分异的、可调控的易受损性和难恢复性;孔昊等^[25]将海岛生态环境脆弱性定义为海岛生态环境系统在特定时空尺度下,相对于外界干扰和破坏所具有的敏感反应和自恢复能力。虽然研究者对海岛生态脆弱性的定义并不相同,但目前国内普遍倾向于研究海岛生态脆弱性的驱动因素,且将人类活动视为重要驱动力之一,未能体现人类个体或群体的敏感性和适应性对海岛生态脆弱性的影响。

随着“我国近海海洋综合调查与评价专项”(“908”专项)和“典型海岛生态脆弱性评估及综合调控技术与示范”等大型调查和研究项目的开展,海岛生态脆弱性的实证研究日益增多。如,马志远等^[26]从环境质量、生物生态和景观格局3个方面,选取11大类34个具体指标,构建海岛生态系统综合评价指标体系,对筛选出的45个代表性海岛进行生态系统综合评价;郭晓峰等^[27]基于生态敏感度、生态弹性度和生态压力度,构建评价指标体系,对海坛岛的生态脆弱性进行定量评价;部分研究者认识到人类活动对海岛生态脆弱性的重要影响,对经济开发区建设^[28]和旅游活动^[29]等影响下的海岛生态脆弱性进行评价。

2 海岛生态脆弱性的研究框架

20世纪90年代,以Burton等^[30]为代表的研究者提出风险—灾害模型,认为区域自然灾害是灾害事件与人类活动相互作用的产物,强调致灾因子干扰下承灾体的暴露性和敏感性,但对政治和经济等社会因素在灾害事件中的作用考虑甚少。Blaikie等^[31]提出压力—状态—响应模型,进一步探讨脆弱性的形成机理,即采用压力、状态和响应指标,描述人类活动对系统造成的负面效果、压力作用下的环境资源和社会经济状况以及系统面对压力所采

取的应对措施,但缺乏对社会—生态系统耦合关系、影响因子之间的关系和反馈作用的深入分析。地方灾害脆弱性模型^[32]综合分析特定研究区域内的自然环境和社会状况对系统脆弱性的影响,从而将生态系统和社会系统进行耦合,并落实到具体的空间区域,但过于强调内因而忽略外部变化的影响。

Turner 等^[33]在压力—状态—响应模型的基础上提出脆弱性分析模型,以社会—生态耦合系统为分析对象,认为系统脆弱性包括暴露性、敏感性

和适应力,强调外部干扰的多重性和多尺度性,突出脆弱性产生的内因和多重反馈机制。该模型是现阶段较完善的脆弱性研究框架,不仅将自然生态系统和社会经济系统有效耦合,而且体现出脆弱性产生的内因和多因素间的动态联动作用,还强调了全球、区域和局部不同空间尺度下的脆弱性研究重点,对于脆弱性分析和评价具有重要的借鉴意义(图 1)。

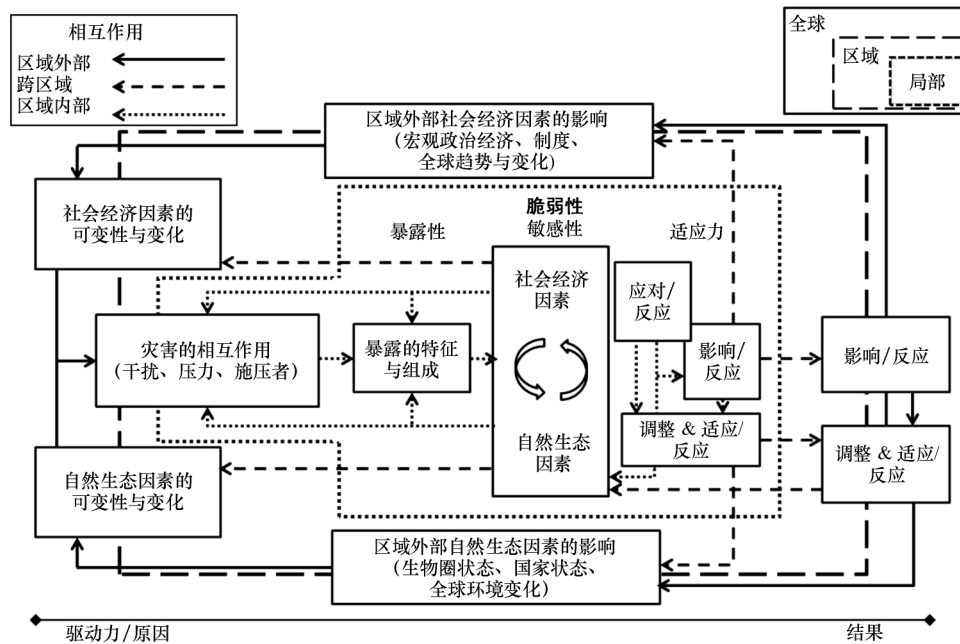


图 1 脆弱性分析模型^[33]

从整体来看,脆弱性研究框架经历了由单一因素干扰下的脆弱性分析向多重因素相互作用下的脆弱性分析转变,由自然生态系统或社会经济系统的脆弱性分析向社会—生态耦合系统的脆弱性分析转变,由静态和单向的脆弱性分析向动态和多反馈的脆弱性分析转变。目前学界还未形成针对海岛生态脆弱性的研究框架,现有研究成果多是脆弱性研究框架的延伸和拓展。因此,应促进海岛生态脆弱性研究向更科学和更系统的方向发展,在构建研究框架方面仍面临严峻挑战。

3 生态脆弱性的评价方法

生态脆弱性评价是基于社会经济条件和自然生态状况、依据相应的评价指标体系和评价方法、

对生态系统的脆弱程度做出定量或半定量的分析、描绘和鉴定^[34],是生态脆弱性研究的重点。对海岛生态脆弱性进行评价,有助于了解海岛生态脆弱性的成因及其变化规律,从而提出合理有效的资源配置方式以及保护和恢复措施,实现海岛自然生态与社会经济的协调发展。在海岛生态脆弱性的评价过程中,评价方法的选择十分重要,不同的评价方法在计算、解释和处理问题的过程中各有利弊,需根据指标和数据的特征选择合适的评价方法。目前生态脆弱性的评价方法主要包括综合指数法、函数模型法、图层叠置法、情景分析法和系统动力学。

(1)综合指数法是应用较广的生态脆弱性定量

评价方法,因其计算过程较简单、含义清晰和易于操作等优点,受到众多研究者的青睐。综合指数法对选取的指标数据进行标准化处理,并采取主观或客观赋权法确定指标权重,进而综合评价生态脆弱性。其中,主观赋权法是根据决策者的主观信息进行指标赋权的方法,主要包括专家打分法、德尔菲法和层次分析法等,尤其层次分析法在生态脆弱性评价中应用较广^[35-36];客观赋权法是根据各指标的联系程度或信息量进行指标赋权的方法,主要包括熵权法^[37]、主成分分析法^[38]和均方差权值法^[39]等。研究者越来越倾向于采用主、客观组合赋权法进行指标赋权,以弥补单纯采用某种赋权方法的不足^[40]。目前学界已就海岛生态脆弱性是复杂的社会—生态系统达成基本共识,但将复杂的系统指标化,而不忽视系统构成要素之间的相互作用关系,仍需进一步讨论。

(2)函数模型法根据对生态脆弱性的不同理解,构建相应的函数模型,一般由暴露性、敏感性、适应力和恢复力等要素构成,可较好地表达生态脆弱性的构成要素及其相互作用关系。但目前学界对于生态脆弱性的构成要素及其相互作用关系的认识尚未统一,且生态脆弱性构成要素的定量表达较困难,不同研究者对生态脆弱性构成要素的理解也不同,导致该模型的表现形式相差巨大,该评价方法研究进展较慢^[41]。

(3)图层叠置法是近年来随着遥感技术和地理信息系统等现代地理信息技术的快速发展而产生的评价方法,其主要思路为对生态脆弱性的构成要素进行图层叠置^[42]。越来越多的研究者选择采用图层叠置法评价生态脆弱性^[43-44],如 Depietri等^[45]借助该评价方法评价科隆的城市人口对热浪的脆弱性。图层叠置法可实现生态脆弱性评价结果在地图上的可视化和直观化表达,但现阶段其评价结果无法体现不同要素对于系统整体生态脆弱性的影响程度,从而对脆弱性管理调控的指导作用较小。

(4)情景分析法是基于某种现象或趋势具有持续性的假设,基于现状预测未来可能出现的情况并进行分析评价的方法,旨在描述和分析事物发展的

各种可能性,并对比不同发展路径下的状态,从而为决策提供依据^[46]。生态脆弱性评价是情景分析法的重要应用领域之一,IPCC早在1992年即将该评价方法引入生态脆弱性研究领域,以讨论温室气体排放情景下未来气候变化的脆弱性^[47]。情景分析法可较好地为生态脆弱性的管理调控提供依据,如 Arkema等^[48]通过设置保护情景、知情管理情景和发展情景3种情景,对伯利兹海岸的开发利用提出最优的管理规划。

(5)系统动力学是以系统论、信息论和控制论等理论为基础、研究系统动态复杂性的科学,强调整体考虑系统,了解系统的组成及其各部分的相互作用,在研究长期性和周期性的复杂非线性系统方面具有无可比拟的优势^[49]。目前采用系统动力学仿真方法进行海岛生态脆弱性评价和预测的文献较少,只有部分研究者有所尝试^[50-51]。在海岛生态脆弱性评价过程中,应注重海岛生态脆弱性在社会—生态系统不同演化阶段的变化过程,系统动力学建模在该领域存在充分的研究空间。

随着研究的不断深入,包括神经网络^[52]和欧氏贴进度^[53]等在内的生态脆弱性评价方法不断涌现。此外,在海岛生态脆弱性评价过程中,信息数据的获取、分析和模拟非常关键。目前国内相关研究远落后于国外,在很大程度上是由于缺乏有效的海岛信息数据。近年来遥感技术和地理信息系统等现代地理信息技术的快速发展,有利于揭示脆弱性的空间格局和识别脆弱性的热点区域,为评价海岛生态脆弱性提供良好的技术前景。将现代地理信息技术与大数据和人工智能等相结合,分析海岛生态脆弱性的时空动态特征,或将成为海岛生态脆弱性研究的重要方向之一。

4 海岛生态脆弱性研究展望

4.1 统一基本概念和构建专门的研究框架

目前国内外研究者对于脆弱性和海岛生态脆弱性等基本概念未达成共识,阻碍了相关研究的进一步发展。此外,随着研究的不断深入,海岛生态脆弱性的研究范围已从早期单纯的生态系统逐步扩展到更复杂的社会—生态系统,研究框架也应随之更加全面化和系统化。未来应统一海岛生态脆

弱性概念体系,明确海岛社会—生态系统脆弱性的构成维度和尺度,并整合影响因素和动态过程,构建具有针对性的研究框架。通过完善海岛生态脆弱性研究的理论体系,更深入地剖析海岛生态脆弱性的构成因素及其相互作用关系,进而揭示脆弱性的发生机理。

4.2 加强动态变化机制研究

尽管许多研究者在海岛生态脆弱性研究中已认识到脆弱性动态变化特征的重要性,但现有的脆弱性时间序列研究仍较少。已有的海岛生态脆弱性研究大多针对某一时间截面下指定的某些或某个海岛展开,脆弱性空间格局方面的研究较丰富,但脆弱性动态变化机制及其驱动因素动态耦合过程的研究不足。应选择典型海岛区域,加强对不同时空尺度下海岛生态脆弱性的动态变化机制研究,对于分析不同驱动因素对脆弱性的影响程度、推动脆弱性研究理论的发展以及充分发挥研究成果的实践价值具有重要作用。

4.3 完善评价指标体系和评价方法

目前海岛生态脆弱性的评价指标体系和评价方法尚未成熟,主要表现在 3 个方面:①海岛是复杂的社会—生态系统,其构成要素的相互作用关系存在复杂性和不确定性,目前仍缺乏有力的研究理论和方法支撑;②由于缺少统一的参考标准,尚未形成综合性的海岛生态脆弱性评价指标体系,现有体系大多偏重自然生态系统而轻视社会经济系统;③目前评价大多采用综合指数法,其他评价方法应用较少,且大多研究止步于脆弱性评价结果,缺乏对模型精度和结果准确性等的验证。

海岛生态脆弱性评价是海岛生态脆弱性研究的重点,应在尽量考虑系统的政治制度、社会经济和人文文化等因素的基础上,科学确定评价指标的类型和权重,形成具有可行性的海岛生态脆弱性综合评价指标体系,并根据实际需求以及指标和数据的特征选取合适的评价方法。

4.4 加强管理调控研究

海岛生态脆弱性研究的最终目的是平衡海岛资源开发利用和生态环境保护,为实施有效的管理调控提供科学依据,从而实现海岛的可持续发展。

目前研究主要集中于海岛生态脆弱性评价和驱动因素分析等方面,对于海岛生态脆弱性管理调控的研究较薄弱。近年来,威胁海岛社会—生态系统的自然灾害和公共安全事件频发,采取积极行动,提高系统应对外部干扰的能力和缓解生态脆弱性是当前面临的重要课题。应加强海岛生态脆弱性管理调控研究,建立全面、综合和系统的应对策略体系,为海岛的可持续发展提供科学的决策依据。

参考文献

- [1] 冷悦山,孙书贤,王宗灵,等. 海岛生态环境的脆弱性分析与调控对策[J]. 海岸工程,2008(2):58—64.
- [2] 孙兆明,马波,张学忠. 我国海岛可持续发展研究[J]. 山东社会科学,2010(1):110—114.
- [3] 李鹤,张平宇. 全球变化背景下脆弱性研究进展与应用展望[J]. 地理科学进展,2011(7):920—929.
- [4] 池源,石洪华,郭振,等. 海岛生态脆弱性的内涵、特征及成因探析[J]. 海洋学报,2015(12):93—105.
- [5] BIRKMANN J. Risk and vulnerability indicators at different scales: applicability, usefulness and policy implications[J]. Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards,2007,7(1):20—31.
- [6] 刘铁民. 事故灾难成因再认识:脆弱性研究[J]. 中国安全生产科学技术,2010(5):5—10.
- [7] ADGER W N. Vulnerability[J]. Global Environmental Change,2006,16(3):268—281.
- [8] SORENSEN J H, WHITE G F. Natural hazards: a cross-cultural perspective[A]//Environment and Culture[M]. Boston:Springer US,1980.
- [9] HEWITT K. The idea of calamity in a technocratic age[A]//Interpretation of Calamity: From the Viewpoint of Human Ecology[M]. Boston: Allen & Unwin,1983.
- [10] SEN M A, SEN A, SEN K. Poverty and Famines: An Essay and Entitlement and Deprivation[M]. Oxford: Oxford University Press,1982.
- [11] 马世骏,王如松. 社会—经济—自然复合生态系统[J]. 生态学报,1984,4(1):3—11.
- [12] OSTROM E. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems[J]. Science,2009,325(5939):419—422.
- [13] 方修琦,殷培红. 弹性、脆弱性和适应: IHDP 三个核心概念综述[J]. 地理科学进展,2007(5):11—22.
- [14] 田亚平,常昊. 中国生态脆弱性研究进展的文献计量分析[J]. 地理学报,2012(11):1515—1525.
- [15] WILEY J W, WUNDERLE J M. The effects of hurricanes

- on birds, with special reference to Caribbean islands[J]. Bird Conservation International, 1993, 3(4): 319-349.
- [16] HOLDGATE M W, WACE N M. The influence of man on the floras and faunas of southern islands[J]. Polar Record, 1961, 10(68): 475-493.
- [17] WOODROFFE C D. Reef-island topography and the vulnerability of atolls to sea-level rise[J]. Global & Planetary Change, 2008, 62(1): 77-96.
- [18] LEWIS J. The vulnerability of small island states to sea level rise; the need for holistic strategies[J]. Disasters, 1990, 14(3): 241-249.
- [19] MIMURA N. Vulnerability of island countries in the South Pacific to sea level rise and climate change[J]. Climate Research, 1999, 12(2): 137-143.
- [20] BRIGUGLIO L. Small island developing states and their economic vulnerabilities[J]. World Development, 1995, 23(9): 1615-1632.
- [21] MAMAUAG S S, ALINO 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.
- [22] FATORIC S, MOREN-ALEGRET R. Integrating local knowledge and perception for assessing vulnerability to climate change in economically dynamic coastal areas; the case of natural protected area Aiguamolls de l'Empordà, Spain[J]. Ocean & Coastal Management, 2013, 85(5): 90-102.
- [23] MANDAL S, SATPATI L N, CHOUDHURY B U, et al. Climate change vulnerability to agrarian ecosystem of small Island; evidence from Sagar Island, India[J]. Theoretical & Applied Climatology, 2017(1/2): 1-14.
- [24] 郭晓峰, 吴耀建, 姜尚, 等. 海岛生态脆弱性驱动机制及对策措施初探: 以平潭岛为例[J]. 海峡科学, 2009(3): 3-5.
- [25] 孔昊, 杨薇. 气候变化背景下海岛生态环境脆弱性分析及其应对措施: 以南澳岛为例[J]. 海洋开发与管理, 2016, 33(10): 72-77.
- [26] 马志远, 陈彬, 黄浩, 等. 中国海岛生态系统综合评价[M]. 北京: 海洋出版社, 2017.
- [27] 郭晓峰, 李青生. 基于 GIS 的海岛生态脆弱性评价研究与实践: 以海坛岛为例[J]. 环境保护科学, 2011, 37(5): 43-47.
- [28] 李莉. 长兴岛国家级经济技术开发区生态环境脆弱性分析[D]. 沈阳: 辽宁师范大学, 2011.
- [29] 陈金华, 郑虎. 旅游型海岛资源环境脆弱性研究: 以福建涠洲岛为例[J]. 资源开发与市场, 2014(7): 828-832.
- [30] BURTON I, KATES R W, WHITE G F. The Environment as Hazard[M]. New York: The Guilford Press, 1993.
- [31] BLAIKIE P, CANNON T, DAVIS I, et al. At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters[J]. Economic Geography, 2005, 72(4): 460-463.
- [32] CUTTER S L. Vulnerability to environmental hazards[J]. Progress in Human Geography, 1996, 20(4): 529-539.
- [33] TURNER B L, KASPERSON R E, MATSON P A, et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2003, 100(14): 8074-8079.
- [34] 靳毅, 蒙吉军. 生态脆弱性评价与预测研究进展[J]. 生态学杂志, 2011(11): 2646-2652.
- [35] 齐姗姗, 巩杰, 钱彩云, 等. 基于 SRP 模型的甘肃省白龙江流域生态环境脆弱性评价[J]. 水土保持通报, 2017(1): 224-228.
- [36] HUANG P H, TSAI J S, LIN W T. Using multiple-criteria decision-making techniques for eco-environmental vulnerability assessment; a case study on the Chi-Jia-Wan stream watershed, Taiwan[J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2010, 168(1/4): 141.
- [37] 姚雄, 余坤勇, 刘健, 等. 南方水土流失严重区的生态脆弱性时空演变[J]. 应用生态学报, 2016(3): 735-745.
- [38] 钟晓娟, 孙保平, 赵岩, 等. 基于主成分分析的云南省生态脆弱性评价[J]. 生态环境学报, 2011(1): 109-113.
- [39] 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(2): 726-739.
- [40] 夏兴生, 朱秀芳, 李月臣, 等. 基于 AHP-PCA 熵组合权重模型的三峡库区(重庆段)农业生态环境脆弱性评价[J]. 南方农业学报, 2016(4): 548-556.
- [41] 苑全治, 刘映刚, 陈力. 气候变化下陆地生态系统的脆弱性研究进展[J]. 中国人口·资源与环境, 2016(S1): 198-201.
- [42] 陈佳, 杨新军, 尹莎, 等. 基于 VSD 框架的半干旱地区社会-生态系统脆弱性演化与模拟[J]. 地理学报, 2016(7): 1172-1188.
- [43] 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.
- [44] 李莎莎, 孟宪伟, 葛振鸣, 等. 海平面上升影响下广西钦州湾红树林脆弱性评价[J]. 生态学报, 2014(10): 2702-2711.
- [45] DEPIETRI Y, WELLE T, RENAUD F G. Social vulnera-

- bility assessment of the Cologne urban area(Germany) to heat waves;links to ecosystem services[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction,2013,6:98-117.
- [46] 王祺,蒙吉军,毛熙彦.基于邻域相关的漓江流域土地利用多情景模拟与景观格局变化[J].地理研究,2014(6):1073-1084.
- [47] 姜大膀,富元海.2℃全球变暖背景下中国未来气候变化预估[J].大气科学,2012(2):234-246.
- [48] ARKEMA K K, VERUTES G M, WOOD S A, et al. Embedding ecosystem services in coastal planning leads to better outcomes for people and nature[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2015,112(24):7390-7395.
- [49] 张波,虞朝晖,孙强,等.系统动力学简介及其相关软件综述[J].环境与可持续发展,2010(2):1-4.
- [50] DOUGILL A J, FRASER E D G, REED M S. Anticipating vulnerability to climate change in dryland pastoral systems: using dynamic systems models for the Kalahari[J]. Ecology and Society,2010,15(2):1-20.
- [51] 袁朋伟,宋守信,潘显钟,等.气候变化条件下的城市脆弱性建模与仿真[J].城市发展研究,2014(1):54-60.
- [52] 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(12):2441-2450.
- [53] 马冬梅,陈大春.基于欧式贴近度的模糊物元模型在水资源脆弱性评价中的应用[J].南水北调与水利科技,2015(5):1003-1007.

(上接第 54 页内容)

- [16] 王杰,范文博.基于中欧航线的北极航道经济性分析[J].太平洋学报,2011,19(4):72-77.
- [17] 金海勤.北极航线航行经济性的模型仿真研究[D].大连:大连海事大学,2012:25-60.
- [18] 孟德宾.北极航道对全球贸易格局的影响研究[D].上海:上海社会科学院,2015:95-135.
- [19] 刘大海,马云瑞,王春娟,等.全球气候变化环境下北极航道资源发展趋势研究[J].中国人口·资源与环境,2015,25(5):6-9.
- [20] 朱明亚,平瑛,贺书锋.世界经济贸易格局视角下的北极航道战略价值分析[J].海洋开发与管理,2015,32(1):1-5.
- [21] 贺书锋,平瑛,张伟华.北极航道对中国贸易潜力的影响:基于随机前沿引力模型的实证研究[J].国际贸易问题,2013(8):3-12.
- [22] 李珍,胡麦秀.“北极航道”开通与中国及其受影响区域的贸易增长潜力分析[J].极地研究,2015,27(4):429-438.
- [23] BERKMAN P A. Governance and environmental change in the arctic ocean[J]. Science,2009,324(5925):339-340.
- [24] GAUTIER D L. Assessment of undiscovered oil and gas in the arctic[J]. Science,2009,324(5931):1175-1179.
- [25] 邹志强.北极航道对全球能源贸易格局的影响[J].南京政治学院学报,2014,30(1):101-111.
- [26] KEIL K. The arctic: a new region of conflict? The case of oil and gas[J]. Cooperation & Conflict,2014,49(2):162-190.
- [27] 肖洋.中俄共建“北极能源走廊”:战略支点与推进思路[J].东北亚论坛,2016(5):109-117.