DOI:10.19789/j.1004-9398.2019.04.010

海平面上升情景下沿海地区发展脆弱性评价*

焦 嫚** 张栋杨

(河海大学理学院,江苏 南京 211100)

摘要: 为了揭示海平面上升情景下中国沿海地区发展的脆弱性和地区之间的不平衡性,通过分析海平面上升对沿海地区资源环境和社会经济影响机理,定义了沿海发展脆弱性内涵,构建了沿海发展脆弱性评价指标体系,利用投影寻踪聚类模型实现对沿海地区发展脆弱性的综合评价. 实证分析结果表明: 上海市和广东省属于高脆弱,江苏省和山东省为较高脆弱地区,浙江省、天津市、海南省和辽宁省为中等脆弱,河北省、广西壮族自治区和福建省为低脆弱. 最后,通过对沿海各地区脆弱性影响因子的分析,提出针对性的沿海地区发展建议: 加强对海洋科技的投入和海洋生态环境的保护,提升海洋经济发展效率以及增强基础设施建设等工作对于提升沿海地区应对能力具有积极作用.

关键词: 海平面上升; 沿海地区; 脆弱性评价; 投影寻踪; 综合评价

中图分类号: P72; X43

0 引 言

政府间气候变化专门委员会(IPCC)在第五次气候变化评估报告中指出,19世纪以来,全球海平面在持续上升[1]. 国家海洋局发布的《2014年中国海平面公报》显示,自1980—2014年,中国沿海海平面上升速率为3.0 mm/年,高于全球平均水平. 全球海平面上升将促进风暴潮、咸潮入侵、土壤盐渍化等海洋灾害的发生[2],导致海水倒灌、耕地退化、港口淤塞等问题,进而严重影响沿海地区的自然资源和生态环境、造成人员伤亡,基础设施破坏和经济损失[3-4]. 中国沿海地区是人口聚集、国民经济和社会发展高度集中的区域[5],海平面上升的灾害效应在沿海地区表现得最为突出.

沿海地区发展系统既包括处于自然状态的资源系统和环境系统,也包括复杂的经济系统和社会系统. 各子系统在独立存在并发挥一定功能的同时,又通过物质、能量和信息的交换和转换,相互作用和影响,形成一个层级复杂、多因子影响的耦合系统,共同对海平面上升的扰动作用做出响应. 学界虽然关于沿海地区发展的脆弱性开展了一些研究,但研究视角大多局限于自然、社会和经济等单一领域[6-10],缺乏系统性研究,鲜有针对海平面上升对沿海"资源—环境—社会—经济"4个系统的整体耦合影响的研究.

目前对沿海地区脆弱性定量评价的研究方法有: 李博等[9]采用集对分析法和脆弱性评估相结合的方法,对辽宁沿海地区人海关系地域系统脆弱性进行评价; 彭飞等[10]选取了敏感性和应对能力两方面的指标,运用BP神经网络方法对沿海地区经济系统脆弱性进行了时空分异研究; 方佳毅等[11]通过主成分分析法得到影响社会脆弱性的因子为: 城镇化水平、经济条件和医疗水平等; 石勇等[12]考虑到自然灾害的不确定性和样本样小等问题,引入模糊综合评价方法对沿海地区的水灾风险进行评价. 常见综合评价方法还有加权求和法和层次分析法等. 这些方法各具有特色和缺陷,其中,主成分分析法(PCA)必须满足大样本条件,评价结果随着样本的改变而改变; 其余的多种方法的评价结果依赖于权重的确定,而权重的确定过程难以避免主观色彩. 投影寻踪聚类(PPC)技术则通过智能算法寻找最佳投影方向,将高维、非正态的指标数据投影到低维空间,具有科学性、直观性、稳健性和实用性强等优点.

文章以海平面上升对中国沿海地区(不包括中

收稿日期: 2018-07-13

* 国家社科基金重大项目"海平面上升对我国重点沿海区域发展影响研究"(15ZDB170)

** 通信作者: jiaoman05@outlook.com

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

国的港澳台地区)的资源、环境、经济和社会四个子系统的整体耦合影响为研究视角,运用投影寻踪聚类模型对沿海地区发展的脆弱性进行综合评价分析,旨在揭示目前中国沿海地区发展的脆弱性和地区之间的不平衡性,以期为应对海平面上升情景下中国的沿海地区的可持续发展提供参考.

1 内涵辨析与指标体系构建

1.1 沿海地区发展脆弱性内涵

海平面上升带来的影响是多尺度、多层次的,它将不同程度地影响到沿海地区发展的方方面面.海平面上升带来的滨海滩涂、建设用地遭受淹没以及土壤盐渍化问题,造成土地资源损失;海水倒灌、咸潮入侵等导致地下水、滨海湖泊河流水质被污染,导致沿海地区可利用淡水资源的短缺[13],同时,城镇内自排水的范围将进一步缩小,增加城市内涝的可能;在海平面上升的影响下,滨海湿地、海草等生态环境系统遭受严重威胁,将减弱其对海洋灾害的防御作用;海平面上升引起的波浪作用增强、潮位抬高,将使得码头、港区道路、及仓储设施等受淹频率增加,经济发展基础条件逐渐恶化,海洋产业生产能力减弱,造成部分产业被迫转移以及涉海就业人数减少,导致城市发展受到阻滞;海平面上升影响下,沿海地区遭受咸潮等海洋灾害的频率增加,直接影响居民生活用水安全,危及生命健康,不利于人口发展及人口现代化的目标实现;海平面上升加剧了海岸侵蚀,破坏沿海地区公共设施,迫使沿海地区加大防灾减灾等公共服务的资金与物质投入.综上所述,沿海地区的资源、环境、经济和社会等均暴露在海平面上升带来的风险之中,这将直接导致沿海地区发展因耐抗性、稳健性不足而变得更加脆弱.

IPCC 第三次评估报告将脆弱性定义为一个自然或社会的系统容易遭受来自气候变化持续危害的范围或程度.在本研究中,海平面上升背景下沿海发展脆弱性是指在海平面上升及由此引致的各类海洋灾害强度及频度不断增加的扰动下,海岸带资源、环境、经济和社会子系统,由于自身性质差异,对其干扰表现出的敏感性以及缺乏应对能力从而使各系统的正常功能发生变化的一种性质.在海平面上升背景下沿海地区发展的脆弱性结构分为扰动性、敏感性和应对性 3 个属性.其中,扰动性反映由于气候因素和人类行为所导致的海平面相对上升,由此引致的海洋灾害发生频率增加和海水质量下降等问题,从而对沿海地区的自然环境和社会经济的正常发展带来的干扰;敏感性是资源、环境、经济和社会 4 个承灾体系统的固有属性特征,是脆弱性产生的原因和基础,各承灾体系统的组成、结构和功能上的差异会使其针对海平面上升这一缓发性灾害具有不同性质和程度的反应;应对性指在海平面上升的情况下,沿海地区为维持社会经济的正常发展而应对海平面上升所带来干扰的能力,体现为社会系统中的社会管理能力、经济系统中的经济发展水平等.

1.2 指标体系构建

在海平面上升情景下,海岸带由于其自然和社会经济环境的复杂性,影响其脆弱性的因素也复杂多样,并且各因素之间又相互影响,相互制约,共同影响沿海发展脆弱性的强弱.文章根据海平面上升情景下沿海发展脆弱性的内涵,通过专家咨询法,从扰动性、敏感性和应对性 3 个方面构建指标体系(见表 1).

2 研究区域与研究方法

2.1 研究区域概况

研究区域为中国沿海地区(不包括中国的港澳台地区),从北到南依次为:辽宁省、河北省、天津市、山东省、江苏省、上海市、浙江省、福建省、广东省、广西壮族自治区、海南省(见图 1).沿海地区地理条件优越,资源丰富,交通便利,是我国社会经济发展的重要领域.2015 年,11 个沿海省、市、自治区的生产总值占国内生产总值的 57.92%,人均生产总值为66 431.49 元,是全国平均水平的 1.33 倍.极高的生产力发展水平和丰富的就业机会吸引大批人口向沿海地区流动,2015 年,我国沿海地区人口总数为 5.95 亿人,占全国总人口的 43.3%,人口基数大且分布集中.

2.2 研究方法

2.2.1 沿海发展脆弱性评价模型构建

文章选取的样本值为 11 个沿海地区的多元统计数据,采用 Shapiro-Wilk 方法对指标值进行多元正态分布的检验[14],正态性检验结果表明,在 5% 显著性水平下,沿海省份平均海拔、平均侵蚀海岸长度、人均淡水资源量、经济密度、社会保障和就业支出占财政支出比重和海洋类型自然保护区建设面积各个指标数据正态性的 p 值均小于 0.05,均

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　沿海地区发展的脆弱性评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标属性	指标解释
脆弱性	扰动性	海平面高度/mm[a]	+	反映海平面上升的扰动情况
		沿海省份平均海拔/m	−	反映自然地理状况对海平面上升扰动的影响
		平均侵蚀海岸速度/(m·a^{-1})	+	
	敏感性	人均淡水资源量/m^3	−	反映资源环境系统的敏感性
		海洋生产总值占 GDP 比重/%	+	反映经济系统的敏感性
		经济密度/(万元·km^{-2})	+	
		涉海就业人数/万人	+	反映社会系统的敏感性
		人口密度/(人·km^{-2})	+	
	应对性	海洋科研机构 R&D 经费收入/亿元	−	反映海洋科研投入能力
		市政公共设施建设固定资产投资/亿元	−	反映公共事物管理能力
		社会保障和就业支出占财政支出比重/%	−	反映地区社会保障系统的稳定性
		植被覆盖率/%	−	
		海洋类型自然保护区建设面积/km^2	−	反映区域资源环境系统恢复能力

注: [a] 海平面高度为较常年平均海平面变化值,常年平均海平面由沿海省市区的海洋环境监测站 1993—2011 年潮位数据计算得出 "+"效益型指标 "−"成本型指标

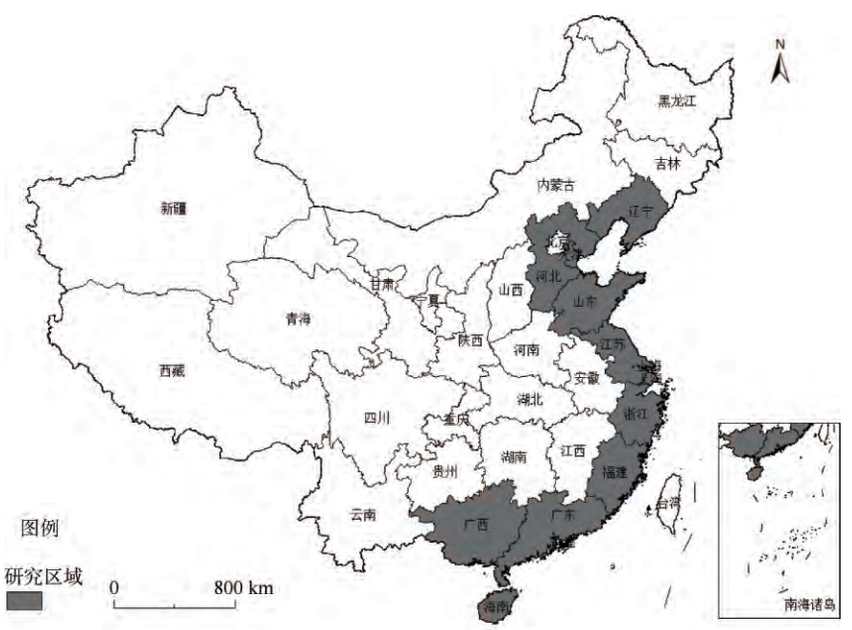


图 1　研究区位置图

拒绝原假设,即样本数据不服从多元正态分布. 因此,文章选取的样本为高维非正态数据,投影寻踪聚类模型是处理高维非正态数据的有效综合评价方法之一. 投影寻踪是将高维数据向低维空间投影,通过找到反映数据结构特征的最优投影,实现由分析低维空间的投影特性分析高维数据特征的目的,是处理多指标问题的统计方法. 其具体思路是将影响问题的多因素指标通过投影寻踪模型得到反映其综合指标特性的最优投影特征值,然后建立投影特征值与因变量的对应关系,通过分析一维投影值来对样本做出更加合理的分级和评价.

适用于投影寻踪模型降维处理并进行沿海地区发展的综合评价.

设样本集为 $\{x_{ij} \mid i = 1,2,\cdots,n; j = 1,2,\cdots,p\}$,其中 x_{ij} 是第 i 个样本的第 j 个指标值,n 表示样

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

本个数,p 为指标数目,投影寻踪评价模型的建立步骤如下.

(1) 构造投影目标函数.

令 $\vec{a}=(a_1,a_2,\cdots,a_p)$ 为 p 维指标投影的方向向量,可理解为各个指标的权重. 则第 i 个样本的一维投影值

$$z(i)=\sum_{j=1}^{p}a_jx_{ij}. \tag{1}$$

根据 Friedman[15] 等提出投影寻踪聚类模型的基本思想,构造投影目标函数

$$Q(a)=S_z\times D_z, \tag{2}$$

其中,

$$S_z=\left(\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(z(i)-E(z))^2\right)^{1/2}, \tag{3}$$

$$D_z=\sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{n}(R-r_{i,k})\cdot u(R-r_{i,k}), \tag{4}$$

式中,$E(z)$ 为所有投影点 $z(i)$ 的均值,R 为局部密度窗口半径,样本 i 和 k 各指标投影值之间的距离为 $r_{i,k}=|z(i)-z(k)|$,$u(R-r_{i,k})$ 是单位阶跃函数,当 $R\geqslant r_{i,k}$ 时取 1,否则取 0.

(2) 优化投影目标函数.

当各个样本的指标值确定时,投影目标函数 $Q(a)$ 的值由局部密度窗口半径 R 和投影方向向量 a 决定. 其中,R 值是模型中决定投影方向向量 a 的唯一参数,R 的选取原则包括两个方面:①窗口内的投影点个数不能过于稀少,否则样本滑动平均时偏差太大.②窗口内的投影点个数不能随着样本个数 n 的增大而增加太多. 由此,文章选用楼文高等[16] 提出的方案:R 取适度中间值,$r_{\max}/5\leqslant R\leqslant r_{\max}/3$. 不同的投影方向向量 a 反映不同的数据结构,最佳投影方向就是最大可能暴露高维数据结构和特征的投影方向,可通过求解投影目标函数最大化问题来估计最佳投影方向,即

$$\max Q(a)=S_zD_z, \tag{5}$$

$$\text{s.t.}\ \sum_{j=1}^{p}a^2(j)=1,\ -1\leqslant a_j\leqslant 1.$$

这是一个以 $\{a(j)\mid j=1\sim p\}$ 为优化变量的高维的、复杂的、非线性优化问题,选用合适的最优化算法和编制正确的、可靠和有效的程序,是求得真正的全局最优解的关键. 正交遗传算法(OBGA)具有性能稳定、计算精度高、收敛速度快,且能有效地避免算法“早熟”现象发生等优点[17],因此,文章采用正交遗传算法求解上述最优化问题.

2.2.2 数据无量纲化处理

为避免各指标因量纲不同对评价结果的影响,需要对数据进行无量纲化处理. 常用的一种数据无量纲化处理方法为极值处理法[18],针对效益型和成本型指标,处理方式如下:

效益型指标

$$x_{ij}^{*}=\frac{x_{ij}-\min x_j}{\max x_j-\min x_j}, \tag{6}$$

成本型指标

$$x_{ij}^{*}=1-\frac{x_{ij}-\min x_j}{\max x_j-\min x_j}. \tag{7}$$

3 实证分析

3.1 数据来源

考虑到指标数据可及性和完整性,文章选取 2015 年沿海省份(直辖市,自治区)相关数据反映指标水平值. 其中,海平面高度数据来自《2015 年中国海平面公报》;沿海省份平均海拔来自于 11 个沿海省级行政区的《统计年鉴》;平均侵蚀海岸长度来源于《2015 年中国海洋灾害公报》;人口密度、社会保障支出占财政支出比重、经济密度、植被覆盖率指标数据来自于沿海省份《统计年鉴》(2015 年);海洋生产总值占 GDP 比重、涉海就业人数、海洋科研机构 R&D 经费收入、海洋类型自然保护区建设面积数据来自《中国海洋统计年鉴》(2015 年);市政公共设施建设固定资产投资数据来源于《中国城市建设统计年鉴》(2015 年).

3.2 结果

采用 MATLAB2013 编程,将规格化的样本数据导入基于正交遗传算法(OBGA)的 PPC 程序,选定模型参数为:种群规模 $N=200$,选择概率 $p_r=0.1$,变异概率 $p_m=0.3$,窗口半径 $R=r_{\max}/4$,得到了目标函数最优值为 4.031,此时的最佳投影方向为

$$a=(0.414,-0.145,0.134,0.506,0.069,0.223,0.170,0.372,-0.472,-0.097,-0.007,-0.123,0.250).$$

投影向量 a 中各个分量的平方和大小则反映了扰动性、敏感性和适应性中的各个指标对于沿海地区发展脆弱性的影响程度,平方和越大,表明指标对脆弱性的影响越大. 将最佳投影方向向量 a 代入式(1),计算得出 11 个沿海地区的投影值,如表 2 所示.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　沿海地区发展脆弱性投影值

地区	投影值	地区	投影值	地区	投影值
辽宁	0.438	江苏	0.916	广东	1.150
河北	0.328	上海	1.197	广西	0.259
天津	0.680	浙江	0.659	海南	0.566
山东	0.797	福建	0.321		

目前,国内外关于城市发展脆弱性的分类标准尚未达成一致,文章根据沿海地区发展脆弱性值的测算结果,采用自然断点法将 11 个沿海地区发展脆弱性划分为低脆弱、中等脆弱、较高脆弱和高脆弱四类,如表 3 所示,四类脆弱性取值区间构成了沿海地区发展脆弱性评价标准.

表 3　沿海地区发展的脆弱性评价标准

脆弱性值	脆弱性等级	脆弱性程度
(0,0.33]	Ⅰ级	低脆弱
(0.33,0.68]	Ⅱ级	中等脆弱
(0.68,0.92]	Ⅲ级	较高脆弱
(0.92,∞)	Ⅳ级	高脆弱

投影值越大,表明该地区发展脆弱性越大,对应的脆弱性等级可能越高. 为了揭示沿海地区发展脆弱性的空间差异,利用 ArcGIS 绘制中国沿海地区发展脆弱性分类的空间演示图,见图 2.

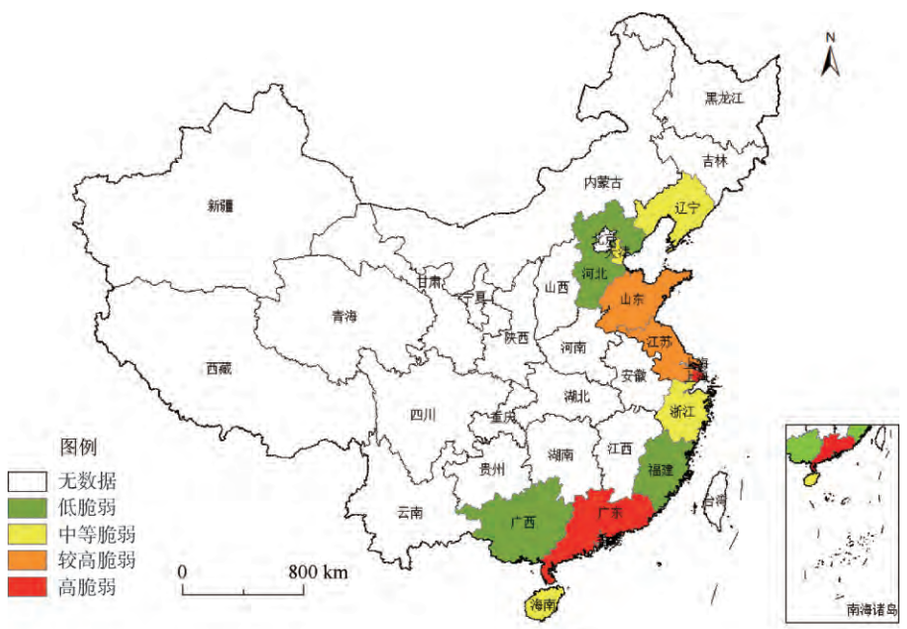


图 2　中国沿海地区发展脆弱性等级空间分布

根据表 3 和图 2 的脆弱性综合评价结果,2015 年中国沿海 11 个地区发展脆弱性差异明显,其中,处于低脆弱地区有河北省、福建省、广西壮族自治区,中等脆弱的地区为辽宁省、浙江省、海南省和天津市四个省级行政区,江苏、山东两省为较高脆弱状态,上海、广东两个地区则处于高脆弱状态. 2015 年,上海市和江苏省相对海平面高度分别为 105 和 107 mm,较中国沿海整体海平面高度分别高出 16.7% 和 18.9% 点,然而两个地区地势低平,其平均海拔仅为沿海 11 个地区平均海拔的 17% 和 26%,海岸受侵蚀速度较快,造成土地流失、沿岸基础设施和工程被摧毁,因此上海市和江苏省受海平面上升的扰动性较强. 由于上海市和广东省均为中国经济发达地区,经济密度高,由此带来丰富的就业机会吸引了大批劳动力的流入,人口密集,同时海洋产业生产总值占 GDP 比重达 20% 以上,涉海就业人数多,因此在海平面上升情景下,经济和社会系统敏感性更强. 山东省海洋经济发展较早,海洋经济为其经济增长的重要来源,海平面上升为海洋产业发展以及地区经济的增长造成较大干扰. 同时,2015 年,山东省人均淡水资源为 171.02 m^3,仅为全国人均淡水资源的 8%,水资源匮乏,因此在海平面上升情景下,山东省资源系统和经济系统敏感性较强. 海南省海洋生产总值占地区生产总值比重为 28%,居沿海地区首位,其中滨海旅游业占海洋生产总值比重达 55%. 2015 年海南省人均

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

GDP 为40 818元,较沿海地区平均水平低 40.8%,整体经济发展水平不高,经济密度低,人口密度仅为沿海地区整体人口密度的 62%,涉海就业人数少,同时人均淡水资源丰富,因此在海平面上升的干扰下,其资源、经济和社会系统的敏感性较低.

4 结论与建议

文章通过分析海平面上升对沿海地区发展的影响机理,提出了沿海地区发展脆弱性的内涵,尝试从扰动性、敏感性和应对性三个方面构建了沿海地区发展脆弱性评价指标体系. 运用投影寻踪模型,通过正交遗传算法对模型进行求解,得到各指标的最优权重,实现从低维空间剖析高维数据空间的目的,完成对沿海各地区发展脆弱性的等级划分,并利用 ArcGIS 进行区域脆弱性差异分析,得出以下结论:

(1) 沿海各地区发展脆弱性差异明显,长江三角洲地区发展脆弱性最高,环渤海地区发展脆弱性最低. 其中,上海市和广东省处于高脆弱状态,江苏省和山东省为较高脆弱,辽宁省、天津市、浙江省和海南省为中等脆弱,河北省、福建省和广西壮族自治区为低脆弱状态.

(2) 沿海地区发展脆弱性受各地区资源、环境、经济和社会四个子系统面对海平面上升的干扰表现出的敏感性和应对能力的影响. 经济发展水平越高,人口分布越集中,海洋产业生产总值占 GDP 比重越大的地区其敏感性较强,脆弱性程度较高. 在发展脆弱性水平为高脆弱和较高脆弱的四个地区中,江苏省和上海市平均海拔较低,受海平面上升的干扰性最强; 上海市和广东省的经济系统和社会系统敏感性强; 山东省的资源系统和经济系统敏感性较强.

在海平面上升情景下,沿海地区不同省、市、自治区发展脆弱性程度存在差异,文章针对不同脆弱性状态下的各个沿海地区,根据沿海地区发展脆弱性的内涵,从应对性角度提出几点建议:

(1) 针对沿海发展脆弱性程度高和较高的地区,其经济发展水平和劳动力素质较高,应当加强对海洋科研机构的投入,提升海洋科技水平. 一方面保证对海平面高度及海洋灾害进行实时监控和预测的准确性,构建科学、合理的海平面上升情景下沿海地区的应对和化解机制,防患于未然; 另一方面,其海洋科技的发展和应用对于提升沿海其它地区的应对能力具有借鉴和促进作用.

(2) 针对沿海发展中等脆弱性地区,以浙江省和海南省为例,其海洋渔业、矿产资源丰富,应当加强对海洋生态环境的保护,加强海洋类型自然保护区建设,进而提升在海平面上升情景下区域资源和环境系统的恢复能力.

(3) 针对沿海发展低脆弱性的地区,其海洋经济发展水平较低,应当提升海洋经济发展效率,鼓励创新型、环保型产业发展,同时,应当加强地区基础设施建设,提升公共事务管理能力和社会保障水平,促进经济、社会、资源和环境系统的协调稳定发展.

参 考 文 献

[1] Working Group Ⅰ of IPCC. Climate change 2013: the physical science basis [R]. New York: Cambridge University Press, 2013.

[2] 刘克修,袁文亚,骆敬新,等. 海平面上升: 悄然发生的海洋灾害 [J]. 海洋信息,2012(3): 31 - 39.

[3] 石先武,国志兴,张尧,等. 风暴潮灾害脆弱性研究综述 [J]. 地理科学进展,2016,35(7): 889 - 897.

[4] 刘洋. 全球气候变化对长三角河口海岸地区社会经济影响研究 [D]. 上海: 华东师范大学,2014.

[5] 谢守红,周驾易. 中国县级市社会发展水平评价及空间差异分析 [J]. 人口与发展,2014,20(2): 17 - 22.

[6] 闫白洋. 海平面上升叠加风暴潮影响下上海市社会经济脆弱性评价 [D]. 上海: 华东师范大学,2016.

[7] 郑雪梅,王怡,吴小影,等. 近 20 年福建省沿海与内陆城市高温热浪脆弱性比较 [J]. 地理科学进展,2016,35(10): 1197 - 1205.

[8] 刘佳,周长晓,韩欢乐. 旅游经济系统脆弱性测度及其时空演化特征: 以山东省沿海地区为例 [J]. 经济与管理评论,2015,31(3): 139 - 147.

[9] 李博,杨智,苏飞. 基于集对分析的大连市人海经济系统脆弱性测度 [J]. 地理研究,2015,34(5): 967 - 976.

[10] 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,

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2015,37(12):2441 -2450.

[11] 方佳毅,陈文方,孔锋,等. 中国沿海地区社会脆弱性评价[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2015,51(3):280 -286.

[12] 石勇,许世远,石纯,等. 沿海区域水灾脆弱性及风险的的初步分析[J]. 地理科学,2009,29(6):853 -857.

[13] WANG L, HUANG G, ZHOU W, et al. Historical change and future scenarios of sea level rise in Macau and adjacent waters[J]. Advances In Atmospheric Sciences,2016, 33 (4):462 -475.

[14] 白至东,郑术蓉,姜丹丹. 大维统计分析[M]. 北京: 高等教育出版社,2012:343 -384.

[15] JEROME H F, JOHN W T. A projection pursuit algorithm for exploratory data analysis[J]. IEEE Transaction on Computers,1974,C-23(9):881 -890.

[16] 楼文高,熊聘,冯国珍,等. 影响投影寻踪聚类建模的关键因素分析与实证研究[J]. 数理统计与管理,2017,36(5):783 -801.

[17] 陈理国,蔡之华. 改进的正交遗传算法及其在函数优化中的应用[J]. 计算机工程与设计,2008(13):3413 -3415 +3418.

[18] 易平涛,李伟伟,郭亚军. 线性无量纲化方法的结构稳定性分析[J]. 系统管理学报,2014,23(1):104 -110.

The Vulnerability Assessment on the Development of the Coastal Area in the Context of Sea Level Rise

JIAO Man　ZHANG Dongyang

(School of Science,Hehai University,Nanjing Jiangsu　211100)

Abstract: In order to reveal the fragility of Chinese coastal areas and the imbalance among regions in the sea level rise scenario, the vulnerability of coastal development has been defined by analysing the impacting mechanism of sea level rise on the resources, environment, socio-economic of coastal areas, a vulnerability assessment index system of coastal development has been constructed, and the projection pursuit clustering model had been used to achieve the comprehensive assessment on the vulnerability of coastal development. The empirical analysis shows that, Shanghai and Guangdong provinces have the highest level of vulnerability, Jiangsu and Shandong provinces have higher level of vulnerability, Zhejiang, Tianjin, Hainan and Liaoning provinces are moderately vulnerable, and the vulnerability of Hebei Province, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Fujian Province is low fragile. Through the analysis of the impact factor of the vulnerability of coastal development,pertinent suggestions for coastal development were proposed: strengthening the investment in marine science and technology and the protection of the marine ecological environment, improving the efficiency of marine economic development, and strengthening infrastructure construction have a positive effect on improving the response capacity of coastal areas.

Keywords: sea level rise; coastal area; vulnerability assessment; projection pursuit; comprehensive assessment

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net