

黄河三角洲人地系统脆弱性演化特征及其影响因素

刘 凯, 任建兰, 张宝雷*

(山东师范大学 地理与环境学院/“人地协调与绿色发展”山东省高校协同创新中心, 中国山东 济南 250358)

摘 要:人地系统是地理学研究核心和理论基石,黄河三角洲人地系统是进行脆弱性研究的典型人文—自然复合系统。在VSD框架下建立以暴露—敏感性—适应性为准则层、以自然要素和人文要素为要素层的评价指标体系,运用脆弱性评价模型和集对分析法对1995—2016年黄河三角洲人地系统脆弱性演化特征进行实证评价,并且归纳分析脆弱性演化的影响因素。研究表明:暴露指数整体呈现上升趋势,敏感性指数经历先下降后上升的变化后进入相对平稳阶段,适应性指数经历先下降后上升的变化;黄河三角洲人地系统脆弱性演化具有明显的阶段性特征,经历“上升、下降、上升”的过程;黄河三角洲人地系统脆弱性是自然因素和人文因素综合作用的结果,自然因素是黄河三角洲人地系统脆弱性的基础性因素,人文因素在自然因素基础上进一步加剧黄河三角洲人地系统的脆弱性。根据研究结果从自然环境保护和人类活动调整两方面提出降低黄河三角洲人地系统脆弱性的对策建议。

关键词:人地系统脆弱性;敏感型;土壤盐碱化;生态环境;高效生态;资源承载力;黄河三角洲

中图分类号:K901 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-8462(2019)06-0198-07

DOI:10.15957/j.cnki.jjdl.2019.06.022

Evolution Characteristics and Influence Factors of Human-Land System Vulnerability in Yellow River Delta

LIU Kai, REN Jianlan, ZHANG Baolei

(School of Geography and Environment/Collaborative Innovation Center of Human-Nature and Green Development in
Universities of Shandong, Shandong Normal University, Jinan 250358, Shandong, China)

Abstract: Human-land system is a complex open system that composes of natural environment and human activity and it is geography's research core and theory footstone. Vulnerability is an important research content of sustainability science. Because of the new research trend of natural science and social science integration under the background of sustainable development, human-land system vulnerability becomes a hot issue of theory and practice research. As a kind of ecological vulnerable human-land system, it has a strong interaction between natural factors and human factors, Yellow River Delta can be seen as typical region that can reflect the vulnerability and human-nature complex system. This paper establishes evaluation index system of human-land system vulnerability in Yellow River Delta from the perspectives of exposure-sensitivity-adaptive capacity, natural elements and human elements based on the frame of vulnerability scoping diagram, empirically evaluates its evolution characteristics in 1995-2016 using vulnerability evaluation model and set pair analysis, and analyzes its influence factors by linear regression analysis. The results show that: 1) Exposure index is on the rise as a whole, sensitivity index is gradually moving into the stationary phase after the process of going down first and then rising, adaptive capacity index increased firstly and then decreased. 2) Human-land system vulnerability evolution in Yellow River Delta has the obvious stage characteristics and goes through a process of increase-decrease-increase. Yellow River Delta's ecological environment is vulnerable and its carrying capacity to economic and social development is limited, so Yellow River Delta's development and construction need be careful. 3) Influence factors of human-land system vulnerability in Yellow River Delta include natural causes and human causes, natural causes are its fundamental factors, human causes can furtherly make it worse based on natural causes. According to the research results, this paper puts forward some suggestions to reduce it from two aspects of natural environment protection and human activities.

Key words: human-land system vulnerability; sensitivity; soil salinization; eco-environment; high-efficient ecological; resources carrying capacity; Yellow River Delta

收稿时间:2018-08-07;修回时间:2019-02-19

基金项目:山东省社会科学规划青年项目(18DJJ01);山东省高等学校人文社会科学研究计划项目(J18RA179);国家自然科学基金项目(41571525)

作者简介:刘凯(1988—),男,山东聊城人,博士,讲师。主要研究方向为人地系统与区域可持续发展。E-mail:liukaidsnu@163.com。

※通讯作者:张宝雷(1979—),男,山东临沂人,博士,副教授,硕士生导师。主要研究方向为GIS应用与生态环境监测。E-mail:blzhangsd@163.com。

脆弱性滥觞于自然灾害研究^[1],最早是与“风险”相联系的术语。随着研究不断深入,脆弱性逐渐演变为包含“风险”、“暴露”、“敏感性”、“弹性”、“适应性”和“恢复能力”在内的概念集合^[2],并且其研究领域逐渐由自然科学扩展到人文社会科学,比如早期多为资源脆弱性^[3]、生态环境脆弱性^[4]研究,发展为城市脆弱性^[5]、社会脆弱性^[6]、经济脆弱性^[7]、生计脆弱性^[8]成为脆弱性研究的重要方面。随着“人类世”概念提出,人文因素在全球变化过程中的作用受到重视,而脆弱性在分析人类与环境交互作用机理、调控方面具有特殊优势,所以逐渐成为可持续性科学的重要研究内容^[9],目前已是联合国国际减灾战略、联合国政府间气候变化专门委员会、国际全球环境变化人文因素计划、地球系统科学联盟、未来地球计划等多个研究组织或计划的研究主题。人地系统是地理学研究核心和理论基石^[10-11],伴随可持续发展背景下学科交叉融合成为国际研究新趋势,不仅人地系统作为地理学研究核心的地位进一步强化,而且生态学、环境学、社会学、经济学、管理学等学科也逐渐重视人类与环境耦合系统研究^[12]。脆弱性为人地系统研究提供了独特视角和新的思维方式^[13],人地系统是脆弱性研究的基本单元^[14],人地系统脆弱性成为学术界研究的理论前沿以及服务于区域发展的实践途径。

根据脆弱性内涵^[15-16],可以把人地系统脆弱性定义为暴露于风险中的人地系统,由于自身的敏感性特征以及缺乏对风险的适应能力而受到的负面影响或损害状态。国外人地系统脆弱性研究开展较早,形成了压力—释放模型(PAR)^[17]、可持续生计框架^[18]、地方—风险模型^[19]、BBC框架^[20]、Vulnerability scoping diagram(VSD)评估框架^[21]、人—环境耦合系统模型^[22]等研究框架与模型,基于自然灾害、气候变化、土地利用变化等情景条件对沿海城市^[23]、干旱地区^[24]、社会—生态系统^[25]、贫困地区^[26]、生态脆弱地区^[27]等典型地区的人地系统脆弱性进行了实证研究,研究表明脆弱性在不同地区呈现不同特点,已成为制约人地系统可持续发展的重要因素或潜在因素。国内人地系统脆弱性评价主要在两种思路下进行:一种是利用VSD评估框架将脆弱性分为暴露—敏感性—适应性三个准则或敏感性—适应性两个准则进行评价,例如陈佳等、周苏娥等、哈斯巴根等在VSD框架下分别评价了陕西省榆林市社会—生态系统脆弱性、甘肃省河西地区自然—社会系统脆弱性、陕西省太白县人地系统脆

弱性^[28-30]。另一种是从人文和自然要素集成角度将人地系统脆弱性分解为经济脆弱性—社会脆弱性—生态环境脆弱性进行综合评价,例如李博等、程钰等分别研究了环渤海地区人海关系脆弱性、沿海城市人地系统脆弱性、资源衰退型城市人地系统脆弱性^[31-33]。尽管人地系统脆弱性研究的重要程度在国内已经得到普遍认可,研究成果数量呈现上升趋势,但是受到上述两种不同思路的影响,在人地系统脆弱性评价过程中要素和指标选择存在一定分歧,影响到评价结果在具有目标多维、过程耦合、尺度复合特征人地系统中的决策应用,需要在建立评价指标体系时实现二者进一步整合。从河口三角洲脆弱性研究来看,已有研究多关注三角洲的生态环境脆弱性^[34-36],从人文要素与自然要素耦合的角度对于三角洲人地系统脆弱性的研究尚不多见。因此,本研究尝试将VSD评估框架和经济脆弱性—社会脆弱性—生态环境脆弱性评价思路进行结合,在VSD框架下建立以暴露—敏感性—适应性为准则层、以自然要素和人文要素为要素层的评价指标体系,以受到人文和自然因素双重扰动的黄河三角洲为研究对象,运用脆弱性评价模型结合集对分析法分析1995—2016年黄河三角洲人地系统脆弱性演化特征,并且进一步归纳总结黄河三角洲人地系统脆弱性演化的影响因素,一方面,有助于丰富人地系统脆弱性研究内容,完善人地系统脆弱性理论体系,另一方面,为黄河三角洲人地协调发展、规避人地系统脆弱性提供参考与借鉴。

1 研究区概况

黄河三角洲是中国第二大河口三角洲,位于黄河入海口、渤海和黄淮海平原的交接地带,海、陆、河等不同介质之间存在强烈的相互作用,导致黄河三角洲自然地理环境的边缘效应显著,并且存在一系列生态问题,主要表现在:风暴潮危害大、发生频率较高,严重制约到工农业生产;淡水资源严重缺乏,并且水质差、含盐量高,人均水资源量常年低于320 m³/人,低于山东省和全国平均水平,虽然有黄河流经,但是因引水量有国家分配指标要求而实际可利用量较小;因黄河携带大量泥沙不断在此沉积而后备土地资源丰富,但是土壤盐分重、土地盐碱化程度高,盐碱地不仅发展农业耗水量大,而且森林覆盖率低、城市绿化种植难度高。特殊的自然地理环境导致黄河三角洲对经济发展与建设的承载能力有限,高强度的人类开发方式导致黄河三角洲

的生态与环境问题进一步加剧:黄河三角洲石油资源丰富,拥有中国第二大油田胜利油田,依托资源优势发展石油化工产业以及能源产业和橡胶产业,导致环境污染问题严重,境内的重要河流及过境河流均属污染河流;随着城镇化不断发展,原本荒芜的黄河三角洲城市建设步伐加速,对耕地和湿地造成较大破坏;由于人口不断集聚,工农业用水量增加,部分地区因地下水开采过度而产生大面积地下漏斗区。在复杂的人类活动和自然地理环境的相互作用下,黄河三角洲人地系统脆弱性现象十分显著,具有抗干扰能力弱、自我修复能力差、时空波动性强、环境异质性高的脆弱性特点。黄河三角洲面积的93%位于东营市,综合考虑研究区域一致性和行政区划完整性,本文把东营市作为研究区域。

2 指标体系与研究方法

2.1 指标体系

评价指标体系由目标层、准则层、要素层、指标层4级构成(表1),黄河三角洲人地系统脆弱性是目标层,参考已有文献^[22,28],把暴露(exposure)、敏感性(sensitivity)、适应性(adaptive capacity)作为黄河三角洲人地系统脆弱性的三个基本准则层,围绕这三个准则分别选取自然要素和人文要素下的21个指标,指标的正向和负向性质表示其对准则层所产生正向还是负向影响,指标权重运用熵值法计算得出。

暴露是黄河三角洲人地系统暴露于压力或风险中而受到的胁迫程度。黄河三角洲人地系统生态环境脆弱,降水量年际变化较大,容易形成旱灾,导致河流水源补给不足,春季气温回升过快容易导致土壤盐碱化,自然灾害导致农作物减产,因此暴露的自然要素主要选取年降水量、春季均温、农作物受灾面积3项指标,年降水量、春季均温数据来源于《东营统计年鉴》,农作物受灾面积数据来源于东营市民政局历年自然灾害灾情统计表。人文要素的压力主要考虑人口规模扩大和土地开发强度增大对于人地系统带来的强大干扰,选取城市人口密度、建成区面积比重2项指标,数据来源于《东营统计年鉴》。

敏感性是黄河三角洲人地系统受到胁迫后自身的改变和受影响程度,取决于系统自身的稳定性。在自然要素方面,主要考虑黄河三角洲受胁迫后产生的生态与环境问题,选取盐碱地面积比重、单位工业产值废水排放量、人均水资源量、湿地面积分别反映土地盐碱化、环境污染、水资源短缺、湿地生态系统产生的敏感性,其中人均水资源量和湿地面积为负向指标。废水排放量和水资源量数据来源于《东营统计年鉴》。盐碱地面积和湿地面积数据在1995、2001、2006、2011、2016年5月遥感影像基础上结合地形图、土壤图和植被图进行解译,利用ArcGIS软件提取各类盐碱地和湿地信息得到,中间年份数据通过取平均数递推得到。在人文要

表1 黄河三角洲人地系统脆弱性评价指标体系
Tab.1 Evaluation index system of Human-land system vulnerability in Yellow River Delta

| 目标层 | 准则层 | 要素层 | 指标层(单位) | 性质 | 权重 |
|--------------|-----|------|----------------------------|----|--------|
| 黄河三角洲人地系统脆弱性 | 暴露 | 自然要素 | 年降水量(mm) | — | 0.0460 |
| | | | 春季均温(℃) | + | 0.0447 |
| | | | 农作物受灾面积(ha) | + | 0.0453 |
| | 敏感性 | 人文要素 | 城市人口密度(人/km ²) | + | 0.0518 |
| | | | 建成区面积比重(%) | + | 0.0451 |
| | | | 盐碱地面积比重(%) | + | 0.0459 |
| | | 自然要素 | 单位工业产值废水排放量(t/万元) | + | 0.0488 |
| | | | 人均水资源量(m ³ /人) | — | 0.0459 |
| | | | 湿地面积(ha) | — | 0.0468 |
| | | | 第三产业增加值比重(%) | — | 0.0449 |
| | | | 经济增长速度(%) | — | 0.0459 |
| | | | 原油产量(万t) | + | 0.0436 |
| | 适应性 | 自然要素 | 城市居民恩格尔系数(%) | + | 0.0453 |
| | | | 人工造林面积(ha) | + | 0.0496 |
| | | | 人均供水量(m ³ /人) | + | 0.0529 |
| | | | 环保支出占财政支出比重(%) | + | 0.0550 |
| | | | 建成区绿化覆盖率(%) | + | 0.0470 |
| | | | 人均财政收入(元) | + | 0.0519 |
| | | 人文要素 | 人均GDP(元) | + | 0.0494 |
| | | | 人均粮食产量(kg) | + | 0.0444 |
| | | | 城市居民人均可支配收入(元) | + | 0.0496 |

素方面,敏感性与系统自身经济社会发展水平息息相关,在产业结构方面,通常服务业比农业和工业对生态环境产生的影响更小,因此选取第三产业增加值比重作为敏感性的负向指标,表示产业结构优化后人地系统产生的敏感性将减小;通过经济增长速度反映经济变动与发展情况,尤其反映近年来经济下行压力增大背景下应对新常态能力,故经济增长速度为负向指标;黄河三角洲石油资源丰富,但是过于依赖石油资源不利于产业结构转型升级,并且对生态环境造成较大的负面影响,所以原油产量是正向指标;城市居民恩格尔系数反映居民生活水平,进一步可以反映社会发展水平以及社会稳定程度,由于恩格尔系数越大表明居民生活水平越低,从而一定程度上导致敏感性增加,所以此项指标对于敏感性而言是正向指标。敏感性中人文要素的四个指标数据均来源于《东营统计年鉴》。

适应性是黄河三角洲人地系统受到胁迫和自身发生改变后所具有的应对、调整、适应能力。在自然要素方面,基于应对生态环境问题、提高生态环境质量采取的措施,选取人工造林面积、人均供水量、环保支出占财政支出比重、建成区绿化覆盖率4项指标,数据来源于《东营统计年鉴》。在人文要素方面,强调经济发展和社会进步对于暴露和敏感性的应对和适应,选取人均财政收入、人均GDP、人均粮食产量、城市居民人均可支配收入等4项均量指标,反映系统遭受扰动后的恢复能力以及未来发展的可持续性,数据来源于《东营统计年鉴》。

2.2 研究方法

2.2.1 脆弱性评价模型

在脆弱性的准则层中,暴露、敏感性与脆弱性呈正比,适应性与脆弱性呈反比^[16]。把黄河三角洲人地系统脆弱性解释为暴露、敏感性和适应性的函数,用函数模型法构建黄河三角洲人地系统脆弱性评价模型,可以直观反映脆弱性与暴露、敏感性和适应性之间的关系,公式如下:

$$VI = f(EI, SI, AI) = (EI \times SI) / AI \quad (1)$$

式中:VI、EI、SI、AI分别表示黄河三角洲人地系统脆弱性、暴露、敏感性和适应性指数。

2.2.2 集对分析法

集对分析法(Set Pair Analysis)是对确定性和不确定性问题进行同异反定量分析的方法,运用集对分析法可以计算21个指标的得分,详细步骤见参考文献^[37]。

得到21个指标的得分之后,运用加权求和法

得到三个准则层得分,公式如下:

$$EI/ SI/ AI = \sum_{j=1}^n W_j Y_{ij} \quad (2)$$

式中:W_j是各指标的权重;Y_{ij}是各指标的得分;n是各准则层指标的数量。

3 黄河三角洲人地系统脆弱性演化特征

根据上述指标体系和研究方法,可以得到黄河三角洲人地系统要素层以及暴露、敏感性、适应性和脆弱性评价结果(图1、图2)。

黄河三角洲人地系统的暴露指数整体呈现上升趋势,从1995年的1.85上升到2016年的3.18,反映出黄河三角洲人地系统受到风险胁迫的程度在逐渐上升。从自然要素来看,年降水量存在较大起伏,1998—2002年农作物受灾面积出现一个明显上升趋势,2010年以来春季均温逐渐波动上涨,这些是暴露指数升高的直接原因,从根本上来讲是黄河三角洲在全球变化背景下遭受外界不利扰动增强的结果。从人文要素来看,城市人口密度和建成区面积比重均整体呈现提高趋势,对属于生态脆弱型的黄河三角洲人地系统带来较大的人为扰动。

黄河三角洲人地系统的敏感性指数演化过程可以分为三个阶段:1995—1999年由4.41上升到4.88,2000—2011年由4.68下降到3.35,2012—2016年处于相对平稳阶段。自然要素的敏感性经历了明显的上升、下降、上升的变化趋势,说明黄河三角洲人地系统的自然环境子系统并不稳定,可以影响到系统整体的稳定性,这也是黄河三角洲生态环境脆弱的集中表现。人文要素的敏感性由1995年的2.52下降到2006年的1.78,2007—2016年维持在1.80,说明经济社会发展面对外部扰动已经可以处于相对稳定的状态。

黄河三角洲人地系统的适应性指数经历了先下降后上升的过程:1995—1999年由3.26下降到2.80,2000—2016年由2.87上升到4.89。自然要素的适应性指数持续处于波动状态,既说明黄河三角洲生态环境子系统面临的压力和胁迫较大,也说明其应对压力和胁迫的能力有待提高。人文要素的适应性指数由1995年的0.87上升到2016年的3.38,说明黄河三角洲经济社会子系统对于压力的适应和应对能力在逐渐提高,但是后期增长趋势明显放缓。提高黄河三角洲人地系统的适应性尤其需要提高自然要素的适应性。

黄河三角洲人地系统脆弱性指数演化过程呈

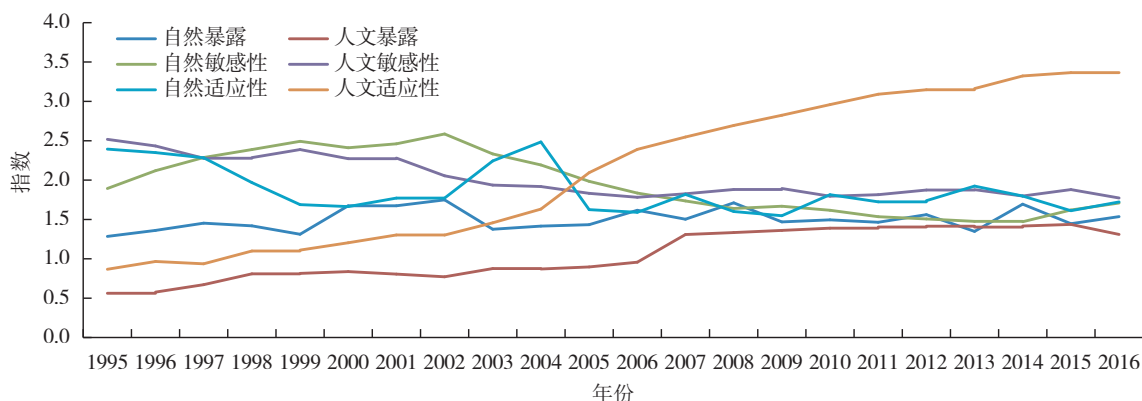


图1 黄河三角洲人地系统脆弱性要素层评价结果

Fig.1 The evaluation results of human-land system vulnerability in Yellow River Delta at factor level

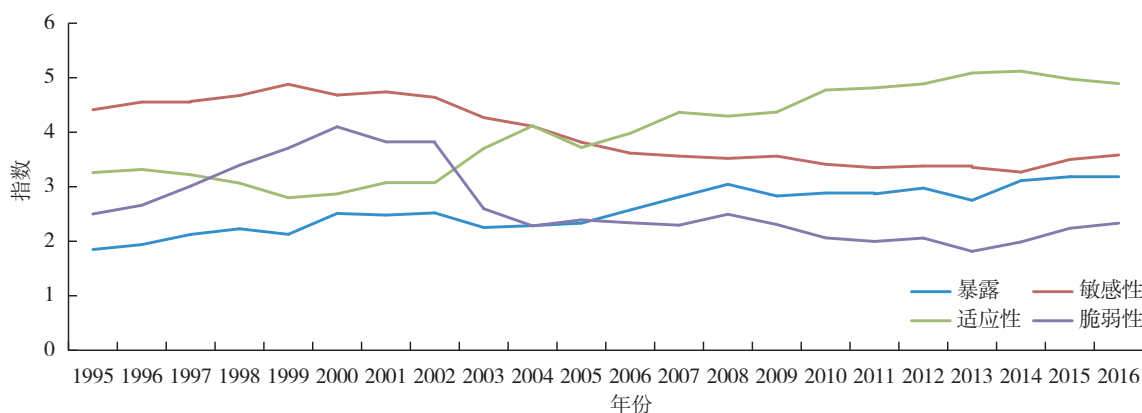


图2 黄河三角洲人地系统脆弱性评价结果

Fig.2 The evaluation results of human-land system vulnerability in Yellow River Delta

现出明显的阶段性特征:1995—2000年呈现上升趋势,由2.50上升到4.10;2001—2012年呈现波动下降趋势,由3.82下降到2.06;2013—2016年呈现上升趋势,由1.81上升到2.33。在1990年代后期“海上山东”建设和黄河三角洲开发两大跨世纪工程带动下,黄河三角洲经济快速发展,城市建设占用耕地和未利用地造成生态破坏;依托胜利油田推动工业化,石油化工产业带来严重的环境污染;传统发展观下的粗放发展模式,不注重资源节约集约利用,造成资源消耗量过大。在强烈人类活动影响下导致生态环境更加脆弱,导致暴露和敏感性指数上升,适应性指数下降,因此1995—2000年脆弱性指数呈现上升趋势。进入21世纪,在可持续发展理念下对早期传统工业化和城镇化模式进行反思以及认识到生态环境问题已经制约经济社会发展之后,黄河三角洲开始大力进行生态建设与保护,尤其注重湿地和水源地保护,促进生态服务功能得到提高;在经济发展方面,弱化对石油经济的依赖,注重产业结构升级和循环经济发展。在经济与生态协调推进工作带动下,虽然暴露指数仍然处于上升

趋势,但是敏感性指数逐渐下降,适应性指数逐渐提高,促进2001—2012年脆弱性指数开始波动下降。2009年底黄河三角洲高效生态经济区上升为国家战略后,产业结构进一步优化升级,经济效率进一步提高,但是政策带动下的投资明显增多,人口进一步集聚、城市建设用地进一步扩张,进一步加大了人类活动强度,但是对生态环境产生的正向效应并没有相应的明显提高,导致2013—2016年暴露指数继续上升、敏感性指数有所上升、适应性指数有所下降,从而导致黄河三角洲人地系统脆弱性再次呈现上升趋势。

4 黄河三角洲人地系统脆弱性影响因素

通过分析黄河三角洲人地系统脆弱性的演化过程和演化特征可以归纳出,黄河三角洲人地系统脆弱性是自然因素和人文因素综合作用的结果,同时导致黄河三角洲既面临生态环境脆弱性问题,也面临经济社会脆弱性问题,生态环境脆弱性和经济社会脆弱性交织耦合进一步导致人地系统脆弱性问题更加明显。

自然因素是黄河三角洲人地系统脆弱性的基础性因素。特殊的地理位置和自然环境导致黄河三角洲处于不稳定的状态,因而进一步导致黄河三角洲人地系统中的自然要素长期暴露于负面扰动之中,同时制约到人文要素正常运行,比如黄河三角洲因海陆相互作用尤其是风暴潮灾害导致近海岸生态系统受到破坏、农业发展遭受损失;生态环境问题复杂多样,不仅导致黄河三角洲属于典型的生态脆弱型人地系统,而且进一步造成黄河三角洲人地系统中自然要素的敏感性成为影响脆弱性的重要因素,比如水资源短缺问题和水污染问题不仅限制了生态环境承载力提高,而且导致生产和生活用水受到影响;生态环境先天基础脆弱,不仅加剧了生态环境问题的复杂性,导致黄河三角洲人地系统中自然要素的适应性难以提高,而且加大了生态建设和生态修复的难度,比如土壤盐碱化问题既是生态脆弱性的原因,也是农业发展和城市绿化受限的原因^[36,38]。

人文因素在自然因素基础上进一步加剧了黄河三角洲人地系统的脆弱性。资源开发带动下的高强度人类活动模式导致原本受到人类活动影响较小的黄河三角洲开始受到越来越多的人类活动扰动,因而黄河三角洲人地系统中的人文要素暴露程度不断上升;石油开采和油田建设过程中的石油泄漏和土地开发等问题导致原有生态系统的完整性受到影响;依托资源优势形成重工业为主导产业的产业结构模式,不仅环境污染和资源消耗问题难以解决,而且产业结构难以转型升级,人文要素的敏感性问题影响到资源型城市可持续发展;为了服务油田发展、加快黄河三角洲开发而设立东营市,城镇化进一步发展,人口逐渐集聚,但是由于石油和油田的特殊性,在经济社会发展过程中同时存在城乡、经济、人口、行政管理、发展战略等一系列“二元”对立特征。在人文因素影响下,黄河三角洲不仅经济社会发展面临诸多脆弱性问题,而且人文因素导致生态环境脆弱性问题更加严重,进一步导致黄河三角洲人地系统脆弱性问题更加复杂^[37]。

5 对策建议

为降低黄河三角洲人地系统脆弱性、实现黄河三角洲人地系统可持续发展,从自然环境保护和人类活动调整两方面提出对策建议。

“绿水青山就是金山银山”已经在国内形成共识,和东部沿海其他区域相比,本底脆弱的生态环

境导致黄河三角洲形成“绿水青山”的局面更加困难,由于依靠自然环境自身的调整难以在短时间内改变脆弱的生态环境,需要重视黄河三角洲的自然环境保护工作,尤其是黄河三角洲上升为国家开发战略以后脆弱性反而呈现上升趋势,因此更加需要高度重视自然环境保护,树立“以保护为主、在保护中发展、保护就是发展”的开发与建设思路。在生态建设方面,通过维护黄河三角洲独具特色的生态系统保护生物多样性,通过保护黄河入海口湿地以及有限的淡水资源提高生态系统服务功能,综合利用工程技术措施、农艺技术措施、生物措施进行盐碱地改良,因地制宜多种植紫穗槐、侧柏、白柳等耐盐碱树木,提高林木覆盖率和建成区绿化覆盖率。在环境保护方面,针对特殊的环境问题重点控制油区和石油化工产业的水污染、大气污染和土壤污染,制定严格的油区环境保护标准和污染物排放总量控制标准。在资源利用方面,通过限制发展高耗水行业、发展节水灌溉农业实现水资源节约利用,有序推进后备土地资源开发利用,通过严格管理避免矿产资源流失。生态建设、环境保护和资源利用的一系列措施可以降低敏感性,从而有助于进一步降低人地系统脆弱性。

黄河三角洲是国内首个以“高效生态”为发展定位的区域,也是山东省第一个上升为国家战略的区域,上升为国家战略之后大规模开发建设与脆弱的生态环境之间的矛盾具有一定的不可调和性,导致人地系统脆弱性上升。因此,对黄河三角洲的开发建设需要回归“高效生态”的定位,根据“人”与“地”协调、“人”根据“地”发展的理念调整人类活动,根据经济与生态协调的要求建立包括农业、工业和服务业在内的高效生态、环境友好的产业体系。在高效生态农业方面,避免大规模粗放开发未利用地,在现有耕地基础上加大中低产田改造力度,进行集约化高效经营;充分利用海洋资源和近海滩涂,进一步挖掘生态渔业潜能;在高效生态工业方面,在已有主导产业和支柱产业基础上推进集群发展建设生态化工园区,延伸石油化工产业链,推进清洁生产,以石化产业为突破口减少工业污染;在高效生态服务业方面,依托独具特色的生态系统和生态资源,突出黄河入海口、滨海休闲旅游特色,依托生态旅游业带动服务业发展。并且需要依据自然环境的承载能力发展社会事业,实现教科文卫事业协调发展,避免城市无序蔓延扩张,注重空间布局合理优化、城市建设集约有序。通过经济

社会发展回归“高效生态”理念,使经济社会发展与生态环境相适应,从而促进黄河三角洲人地系统脆弱性降低。

参考文献:

- [1] Janssen M A, Schoon M L, Ke W M, et al. Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change[J]. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 240 – 252.
- [2] Smit B J, Wandel. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability[J]. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 282 – 292.
- [3] 邓慧平, 赵明华. 气候变化对莱州湾地区水资源脆弱性的影响[J]. *自然资源学报*, 2001, 16(1): 9 – 15.
- [4] 赵雪雁, 巴建军. 河西地区生态环境脆弱性评价与生态环境建设对策研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2002, 12(6): 79 – 82.
- [5] 李海玲, 马蓓蓓, 薛东前, 等. 丝路经济带背景下我国西北地区城市脆弱性的空间分异与影响因素[J]. *经济地理*, 2018, 38(2): 66 – 73.
- [6] 黄晓军, 王晨, 胡凯丽. 快速空间扩张下西安市边缘区社会脆弱性多尺度评估[J]. *地理学报*, 2018, 73(6): 1 002 – 1 017.
- [7] 孙才志, 覃雄合, 李博, 等. 基于WSBM模型的环渤海地区海洋经济脆弱性研究[J]. *地理科学*, 2016, 36(5): 705 – 714.
- [8] 苏飞, 应蓉蓉, 李博. 生计脆弱性研究热点与前沿的可视化[J]. *地理科学*, 2016, 36(7): 1 073 – 1 080.
- [9] Kates R W, Clark W C, Corell R, et al. Environment and development: Sustainability science[J]. *Science*, 2001, 292(5 517): 641 – 642.
- [10] 吴传钧. 论地理学的研究核心——人地关系地域系统[J]. *经济地理*, 1991, 11(3): 1 – 6.
- [11] 樊杰. “人地关系地域系统”是综合研究地理格局形成与演变规律的理论基石[J]. *地理学报*, 2018, 73(4): 597 – 607.
- [12] Kates R W. What kind of a science is sustainability science? [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108(49): 19 449 – 19 450.
- [13] Speranza C I, Wiesmann U, Rist S. An indicator framework for assessing livelihood resilience in the context of social-ecological dynamics[J]. *Global Environmental Change*, 2014, 28(1): 109 – 119.
- [14] 李博, 苏飞, 杨智, 等. 脆弱性视角下辽宁沿海地区人海关系地域系统特征演化及可持续发展模式[J]. *地域研究与开发*, 2017, 36(4): 32 – 36.
- [15] Turner B L, Matson P A, McCarthy J J, et al. Illustrating the coupled human-environment system for vulnerability analysis: three case studies[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2003, 100(14): 8 080 – 8 085.
- [16] Adger W N. Vulnerability[J]. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 268 – 281.
- [17] Wisner B, Blaikie P M, Cannon T, et al. At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters(2nd ed) [M]. London: Routledge, 2004.
- [18] Chambers R, Conway G R. Sustainable rural livelihoods: practical concepts for the 21st century[C]//IDS. IDS discussion Paper: 296. Brighton: Institute of Development Studies, 1992.
- [19] Cutter S L. The vulnerability of science and the science of vulnerability[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2003, 93(1): 1 – 12.
- [20] Bogardi J, Birkmann J. Vulnerability assessment: the first step towards sustainable risk reduction [C]//Malzahn D, Plapp T. Disaster and society—from hazard assessment to risk reduction. Berlin: Logos Verlag Berlin: 75 – 82, 2004.
- [21] Polsky C, Neff R, Yarnal B. Building comparable global change vulnerability assessments: The vulnerability scoping diagram[J]. *Global Environmental Change*, 2007, 17(34): 472 – 485.
- [22] 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): 8 074 – 8 079.
- [23] Yi Li, Martin Kappas, Yangfan Li. Exploring the coastal urban resilience and transformation of coupled human-environment systems[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018(195): 1 505 – 1 511.
- [24] Marcel Kok, Matthias Lüdeke, Paul Lucas, et al. A new method for analysing socio-ecological patterns of vulnerability[J]. *Regional Environmental Change*, 2016, 16(1): 229 – 243.
- [25] Lina Maria Berrouet, Jenny Machado, Clara Villegas-Palacio. Vulnerability of socio-ecological systems: A conceptual framework[J]. *Ecological Indicators*, 2018, 84(1): 632 – 647.
- [26] Pramod K S, Abhishek N. Livelihood vulnerability assessment to climate variability and change using fuzzy cognitive mapping approach[J]. *Climatic Change*, 2014, 127(3-4): 474 – 491.
- [27] Yuei-An Liou, Kim Nguyen A, Ming-Hsu Li. Assessing spatio-temporal eco-environmental vulnerability by Landsat data[J]. *Ecological Indicators*, 2017, 80(9): 52 – 65.
- [28] 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, 71(7): 1 172 – 1 188.
- [29] 周苏娥, 张明军, 王圣杰, 等. 甘肃省河西地区自然—社会系统脆弱性评价[J]. *资源科学*, 2018, 40(2): 452 – 462.
- [30] 哈斯巴根, 李同昇, 佟宝全. 生态地区人地系统脆弱性及其发展模式研究[J]. *经济地理*, 2013, 33(4): 149 – 154.
- [31] 李博, 苏飞, 杨智, 等. 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[J]. *生态学报*, 2018, 38(4): 1 436 – 1 445.
- [32] 李博, 韩增林. 沿海城市人地关系地域系统脆弱性研究——以大连市为例[J]. *经济地理*, 2010, 30(10): 1 722 – 1 728.
- [33] 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.
- [34] 徐庆勇, 黄玫, 刘洪升, 等. 基于RS和GIS的珠江三角洲生态环境脆弱性综合评价[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(11): 2 987 – 2 995.
- [35] 徐庆勇, 黄玫, 陆佩玲, 等. 基于RS与GIS的长江三角洲生态环境脆弱性综合评价[J]. *环境科学研究*, 2011, 24(1): 58 – 65.
- [36] 吴春生, 黄翀, 刘高焕, 等. 基于模糊层次分析法的黄河三角洲生态脆弱性评价[J]. *生态学报*, 2018, 38(13): 4 584 – 4 595.
- [37] 刘凯, 任建兰, 程钰, 等. 黄河三角洲地区社会脆弱性评价与影响因素[J]. *经济地理*, 2016, 36(9): 45 – 52.
- [38] 刘凯, 任建兰, 李雅楠. 基于供需视角的黄河三角洲人地关系演变[J]. *经济地理*, 2018, 38(6): 28 – 34.