

陈勇,周立华,王伟伟,等.典型沙漠化逆转区人地系统脆弱性及其障碍因子[J].中国沙漠,2020,40(4):63-70.

典型沙漠化逆转区人地系统脆弱性及其障碍因子

陈勇¹,周立华²,王伟伟¹,侯彩霞³

(1.中国科学院西北生态环境资源研究院 沙漠与沙漠化重点实验室,甘肃 兰州 730000; 2.中国科学院科技战略咨询研究院,北京 100190; 3.西安建筑科技大学 管理学院,陕西 西安 710055)

摘要:针对已修复生态地区人地系统脆弱性及其干扰因素的研究,对实现区域可持续发展具有重要的意义。采用综合指数评价方法,从生态、经济和社会3个方面确定9项分指数、选取24个具体指标,构建了典型沙漠化逆转区人地系统脆弱性评价指标体系,对盐池县人地系统脆弱性进行了定量评价,运用障碍度模型分析了盐池县人地系统脆弱性的障碍因素。结果表明:盐池县经济、生态和社会系统脆弱性均呈波动走势,但又表现出相应的阶段特征。经济系统脆弱性伴随经济结构的转型,呈现先降后升的趋势。生态系统受气候和政策双重影响,以2000年为节点呈现前后不同的波动走势。社会系统在研究时段呈明显的线性递减趋势。盐池县人地系统脆弱性2000年前呈高位波动态势,2000年后整体波动递减,平均降幅32.06%;主要障碍因子为:欠合理的产业结构、特殊的地理区位、生态治理力度和社会保障水平。建议:加快推进产业结构转型升级;生态保护与开发并举,践行绿色发展;减小贫富差距,继续加强社会保障建设。

关键词:沙漠化逆转区;人地系统脆弱性;障碍因子;盐池县

文章编号: 1000-694X(2020)04-063-08

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2020.00022

中图分类号: F205

文献标志码: A

0 引言

土地沙漠化作为全球性的生态环境与社会经济问题,日益引起国际社会的广泛关注。目前,全球四分之一的陆地面积正面临沙漠化的危害,涉及100多个国家和近10亿人口^[1-2]。中国深受沙漠化危害,每年因沙漠化造成的直接经济损失上百亿元,严重制约区域的可持续发展^[3]。为应对沙漠化问题,中国从20世纪70年代开始,陆续实施了一系列重大生态修复工程和生态保护政策,如“三北”防护林、退耕还林还草、禁牧等。伴随这些措施的实行,许多生态脆弱区的沙漠化危害得到有效遏制^[4-6]。王涛等^[7]的研究表明,受益于各类生态保护措施,中国北方土地沙漠化自2000年以来整体呈逆转趋势,且以农牧交错区最为典型。沙漠化治理的终极目标是要实现沙漠化的持续逆转和人地系统

的健康稳定,而如何判定逆转过程人地系统的稳定程度并合理调控才是实现以上目标的关键。

近年来,脆弱性研究以其关注外界干扰及内在恢复力,被广泛应用于多领域系统的稳定性评价^[8-11]。在沙漠化领域,气候变化导致的脆弱性仍是研究的热点。这些研究通过调查或模拟气温、降水等的变化来研究植被、土壤、水资源等的响应机制,以探究区域的脆弱性特征^[12-15]。此外,也有少量针对人类活动及自然因素的综合研究,如 Salvati 等^[16-17]选取社会经济及综合指标对意大利南部地区的沙漠化脆弱性成因进行了研究。国内主要呈现两个特点,一是侧重于宏观区域的格局研究^[18-19],二是针对沙漠化地区的某一脆弱因素进行评价^[20-21]。然而,针对特定沙漠化逆转区的自然和社会经济系统的综合、长时序研究,才更加有助于实现生态修复地区的可持续发展。

收稿日期:2020-01-13; 改回日期:2020-02-21

资助项目:国家自然科学基金项目(41601587,41901150);国家重点研发计划项目(2018YFA0606402)

作者简介:陈勇(1985—),男,山东邹城人,博士,助理研究员,研究方向为生态经济与区域可持续发展。E-mail: chen Yong@lzb.ac.cn

通信作者:周立华(E-mail: lhzhou@casisd.cn)

针对研究内容,脆弱性评价研究遵循不同的分析框架,如:风险-灾害模型(RH)、压力-状态-响应模型(PAR)、可持续生计框架(DFID)、人-环境耦合系统分析框架等^[22-24]。而具体方法,多通过这些框架选取相应指标,构建指标体系,并结合不同的数理模型得出脆弱性指数,以该指数作为脆弱性程度的衡量依据^[25]。目前,使用较多的方法有综合指数法^[26]、函数模型法^[27]等。多元化的方法在脆弱性评价中应用相对较少。葛怡等^[28]使用改进的Hoovering模式对长沙地区水灾社会脆弱性进行了评价。李鹤等^[29]利用BP人工神经网络模型评价了东北矿区社会就业的脆弱性。Depietri等^[30]借助GIS手段,通过将指标空间叠置的方法,直观展示了科隆市人口对城市热岛的脆弱性差异。当前并无普适的方法,不同方法在评价过程中各有利弊,应根据具体目的进行适当选择。

研究沙漠化逆转区人地系统脆弱性,不仅有助于揭示沙漠化逆转过程的生态经济学原理,还可为实现沙漠化逆转区的可持续发展提供政策建议,而且通过补充不同类型区人地系统的研究,能有效丰富人地系统脆弱性的研究范畴。基于此,本文选取典型沙漠化逆转区宁夏盐池县为研究对象,从生态、经济和社会3个层面选取表征人地系统脆弱性的指标体系,利用综合指数法测算盐池县人地系统脆弱性的时序演变特征,并运用障碍度模型诊断系统脆弱性的障碍因素,旨在为区域发展战略的制定提供参考借鉴。

1 研究区概况

盐池县位于毛乌素沙地南缘、宁夏回族自治区东部。全县地势北低南高,处于鄂尔多斯台地向黄土高原的过渡区,平均海拔1600m。气候属于半干旱向干旱的过渡区;年均气温8.2℃,年降雨量290mm左右,年蒸发量为降雨量的6~7倍。境内植被低矮稀疏,属于干草原向荒漠草原的过渡地带。在资源利用上是从农区向牧区的过渡地带,具有半农半牧的特点^[31]。这种地理上的过渡性决定了该区人地系统的敏感性等特点。

2015年盐池县人口17.03万人,其中80%以上为农牧业人口。农牧业产值占该县总产值的18.72%。干旱少雨的气候特征导致了盐池县水资源匮乏,虽有引黄措施,但辐射范围有限,水资源的利用仍较大依赖地下水开采。工业主要侧重于能

源产业及特色农副产品精深加工等。2015年城镇居民人均可支配收入2.09万元,农村居民仅0.77万元,收入差距大。

受粗放经营方式的影响,盐池县草原沙漠化面积自20世纪50年代后迅速增加^[32]。据1983年土壤普查报告显示,全县沙化土地面积达 $4.60 \times 10^5 \text{hm}^2$,占总土地面积的68%^[33]。为遏制土地沙漠化,该县通过飞播治沙、建立试验示范区、围栏补播及人工种草等措施,初步取得了一定成效。2000年后,响应国家生态政策的号召,盐池县相继实施了退耕还林和全境禁牧政策。实践证明,伴随这些政策的实施,盐池县农民生产方式极大转变,草原沙漠化也成功实现了逆转。

2 研究方法与数据来源

2.1 脆弱性评价

2.1.1 脆弱性评价指标

指标选取过程遵循科学性、合理性和可操作性原则,充分考虑研究区系统内外干扰及恢复能力关键因素,并参考方创琳等^[10]、黄晓军等^[25]城市脆弱性评价指标体系,结合盐池县实地特点,从生态、经济和社会系统3个层面,建立与之对应的24个指标(表1)。

作为人类活动干扰下的沙漠化逆转区,生态子系统指标的选取,除了通常意义上反映区域植被特征的覆盖程度及生物量指标,以及表征水热平衡状态的气候指标外,政府的生态治理力度一定程度上改变着生态过程的性质和强度,因此还考虑了生态政策的投入。周立华等^[6]认为中国沙漠化的发展或逆转过程主要发生在生态脆弱区,该类型区的人类活动主要是农牧业经济活动,而这些人类活动易受当时主流政策的支配或干扰。经济与社会子系统侧重反映人类活动特点。盐池县拥有丰富的矿产资源,同时第一产业兼具农业与牧业的双重特点,选取产业结构与效率指数代经济子系统的敏感性水平;此外,反映经济系统自我迭代能力的创新投入指标也被纳入。社会子系统主要考虑人类为适应或预防生态及经济系统的变化,并减弱与之带来的影响而采取的相应措施,包括人类发展、基础设施保障和社会环境脆弱性水平。

2.1.2 脆弱性评价模型

为消除数据量纲对计算结果的影响,首先采用

表1 典型沙漠化逆转区人地系统脆弱性评价指标体系
Table 1 Index system for the comprehensive assessment of man-land system vulnerability in typical desertification reversion areas

目标层	准则层	指标层	单位
生态子系统脆弱性	植被特征指数	NDVI	-
		NPP	-
	气候特征指数	干燥度指数	-
	生态政策投入指数	单位草原生态补贴性投入	元·hm ²
		生态造林面积	hm ²
经济子系统脆弱性	产业结构指数	第三产业增加值占GDP比重	%
		牧业产值比重	%
	经济效率指数	规模以上工业企业资产负债率	%
		规模以上工业企业万元GDP能耗(标准煤)	t
	创新投入指数	农业投入产出率	%
		科技支出占地方财政支出比重	%
社会子系统脆弱性	人类发展指数	人口自然增长率	%
		普通中学在校学生数	人
		千人医护人员数	人
		人均居住面积	m ²
		人均GDP	元
	基础设施保障指数	百人拥有电话数	部
		人均道路面积	m ²
		自来水供应量	t
		百人拥有公共汽车数	辆
	社会环境脆弱性指数	城乡差异指数	%
		城镇登记失业率	%
		基本养老保险参加人口比重	%
		最低生活保障人口比重	%

极差标准化方法对原始指标数据进行标准化处理。其次,计算准则层中各分要素脆弱性指数(C_z),具体包括植被特征指数、气候特征指数、生态政策投入指数、产业结构指数、经济效率指数、创新投入指数、人类发展指数、基础设施保障指数和社会环境脆弱性指数。根据其包含的具体指标的算术平均值计算得来^[10]。第三,采用加权求和法计算出分系统脆弱性指数,即目标层中各项指数(S_d)。最后,将分系统脆弱性指数再次利用加权求和法计算出研究区历年脆弱性指数(V_t)。目标层和准则层中指标权重采用层次分析法(AHP)计算。

$$C_z = \left(\sum_{i=1}^m X_i \right) / m \quad (1)$$

$$S_d = \sum_{i=1}^n (C_z)_i W_i \quad (2)$$

$$V_t = \sum_{i=1}^p (S_d)_i Q_i \quad (3)$$

式中: X_i 为单项指标无量纲化值; m 为各脆弱性指数包含的指标个数; n 为各子系统包含的要素个数; p 为子系统个数,为3; W_i 为准则层各要素的权重; Q_i 为各子系统的权重。

2.2 障碍因子评价

结合因子贡献度和指标偏离度对导致系统脆弱性的障碍因子进行分析诊断,并运用该模型定量厘清研究区人地系统各障碍因素的主次关系及其

对系统脆弱性的影响程度^[27]。

$$A_{ij} = \frac{(1 - x'_{ij}) \times w_{ij}}{\sum_{j=1}^n (1 - x'_{ij}) \times w_{ij}} \times 100\% \quad (4)$$

式中： A_{ij} 为单项指标对研究区人地系统脆弱性的障碍度； x'_{ij} 为第*i*个准则层面第*j*个单项指标的无量纲化值； w_{ij} 为其相对应权重，由熵值法求得；*n*为指标个数。

2.3 数据来源

本文选择1985—2015年作为研究时段，系统探明逆转区社会生态系统脆弱性的演变规律。NDVI提取自NOAA/AVHRR(1985—1999年)和MODIS(2000—2015年)数据。NPP通过周广胜等^[34]提供方法测算。干燥度指数采用de Martonne提出的干燥度计算方法获得^[35]。农业投入产出率采用DEA方法以农业劳动力、农业机械总动力、农作物播种面积和化肥施用量为投入指标，农林牧渔业总产值为产出指标计算得来。其余指标数据由1985—2015年盐池县统计年鉴及经济要情手册得到。

3 结果与分析

3.1 盐池县各子系统脆弱性演变

1985—2015年，盐池县经济、生态和社会系统脆弱性均呈波动下降趋势，但又表现出相应的特征(图1)。

3.1.1 经济系统

经济系统较之生态和社会系统的脆弱性较低，

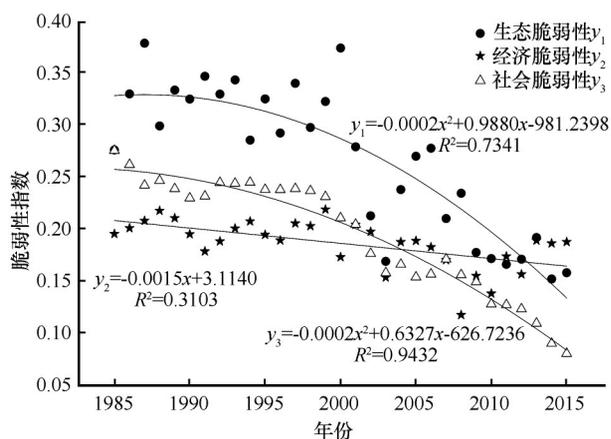


图1 1985—2015年盐池县各子系统脆弱性走势

Fig.1 Changing trends about vulnerability of subsystems in Yanchi County from 1985 to 2015

下降幅度相对较小，但2008年后有一定程度的上升。

盐池县经济发展水平一般，2015年全县人均国内生产总值4.17万元，低于全国平均水平(4.94万元)。2000年前(1985—1999年)，农牧业在该县国民经济中所占比重较大，平均达43.42%，工业仅占17.67%。由于水资源短缺，该县耕地以旱地为主，水浇地仅占全县耕地面积的5.05%，农牧业受气候的影响较大。加之2000年前，服务业以公有制经济为主，渠道单一，商品短缺。这是2000年前经济系统脆弱性的主要原因。2000年后(2000—2008年)，伴随引黄灌溉工程效果的显现，盐池县在宁夏南部山区各县中率先解决了温饱问题。除此之外，工业的发展(占GDP 30.89%)以及个体私营经济的兴起，极大活跃了市场，均导致这一时期脆弱性的下降。然而，随着工业经济的迅猛增长(2009—2015年占GDP 51%)，盐池县经济发展过度依赖工业，结构性矛盾逐渐突出。在去产能的背景下，作为工业经济主要增长点的煤炭开采和洗选业、石油加工业等逐渐回落，造成工业经济持续增长的压力不断加大。第三产业多为增长缓慢的非营利性服务业，占GDP的比重逐年下降。这可能导致了2008年后经济系统脆弱性的上升。

3.1.2 生态系统

生态系统脆弱性大致分为两个阶段，2000年前呈波动态势，且脆弱性维持在高位，平均为0.32；而2000年后，表现为相对较低的水平(平均为0.20)，具体表现为2000年至2003年呈现出明显的下降趋势，2003年后到2006年有一定程度的上升，之后又表现出波动下降。

生态系统脆弱性指数的变化与国家宏观经济政策、当地农牧业生产和生态保护政策的实施密不可分。改革开放以后，国家实施家庭联产承包责任制，耕地、草地等被承包到户，极大激发了农民的生产积极性。由于围栏成本较高，加之盐池县草原面积相对较小，承包后的草原并未明确边界，因此并未改变草原“公地悲剧”的命运。不断增加的牲畜数量及不合理的粗放利用导致盐池县草原不断退化，这一过程在80年代中后期达到顶峰。90年代后，盐池县大规模开展草原围栏及补播改良工作，但受权、责混乱影响，农户多自由穿插放牧，收效甚微。2000年后，伴随一系列综合治理生态工程项目及2003年全县禁牧政策的实施，盐池县共计围栏

约11万 hm^2 、人工种草1.1万 hm^2 、飞播1.1万 hm^2 ,极大改善了当地的生态环境。沙化面积约以每年4000 hm^2 的速度递减,真正实现了沙漠化的逆转。除气候因素导致的个别年份略有上涨之外(如2004—2006年严重干旱,年平均降水210mm,少于多年平均290mm),2000年后整体呈下降趋势。

3.1.3 社会系统

社会系统脆弱性呈现为明显的递减趋势(R^2 为0.9432),且波动性仅次于生态系统。从1985年0.275下降到2015年的0.08,表明盐池县社会系统受外界不利干扰的影响较小,同时反映自身应对能力也在不断的提升。

盐池县政府重视民生工程,自20世纪80年代以来,陆续实施了温饱工程、人畜饮水工程、教育提质工程、道路畅通工程、牧区开发示范工程、盐环定扬黄工程(盐池灌区)等,这极大改善了居民的生产生活环境。30年来,全县公路通车里程延长4倍以上,公路密度达0.35 $\text{km}\cdot\text{km}^{-2}$;累计打井窖数万眼,并实现自来水入户率100%;建设滩羊规模养殖园区近300个,养殖暖棚3万余座;优先发展教育,当前已实现高中入学率80%以上。作为国家“三西”建设的贫困县之一,盐池县通过产业扶贫、金融扶贫、异地搬迁扶贫等手段,逐年推进脱贫攻坚工作,截止2015年,共计减贫约3万人,贫困发生率降为0.6%。除此之外,城乡居民基本养老、医疗、失业保险和社会保障制度也在逐年完善。盐池县社会系统脆弱性不断下降,还有一部分原因是该县的城镇化处在初级发展的阶段,由于人口过度聚集而导致的“慢性城市病”尚未显现。

3.2 盐池县人地系统脆弱性演变

盐池县人地系统脆弱性的变化趋势同生态子系统的脆弱性走势高度相关(相关系数0.970),均表现为2000年前呈波动变化,且脆弱性指数值处在高位,2000年后急剧下降,而且下降幅度更为明显(图2);个别年份(如2005—2008年)的走势相对生态子系统较为和缓,主要是受经济与社会子系统共同作用的结果。生态变化在盐池县历史发展中扮演了非常重要的地位。特殊的地理区位决定了其作为中国北方重要的生态安全屏障,同时农牧结合的生产发展特点和契合国家政策走向的发展历程,决定了其生态立县的典型性,也体现了生态环境与当地经济社会发展的休憩相关性。

2000年前,人地系统脆弱性指数基本保持在0.25以上,此阶段生态子系统脆弱性较高(平均0.324),社会子系统次之(0.241),经济子系统较之二者脆弱性相对较低(0.199)。2000年至2003年,人地系统脆弱性呈大幅下降趋势,此时期内生态系统脆弱性下降明显,社会系统脆弱性持续下降。2003—2006年,人地系统脆弱性有一定的上升,这一阶段生态系统脆弱性上升明显,经济系统脆弱性有一定上升,但呈先升后降趋势。2006年后,整体呈现下降趋势,年均下降速率达7.25%,生态、社会子系统脆弱性不断下降使得人地系统脆弱性不断降低。

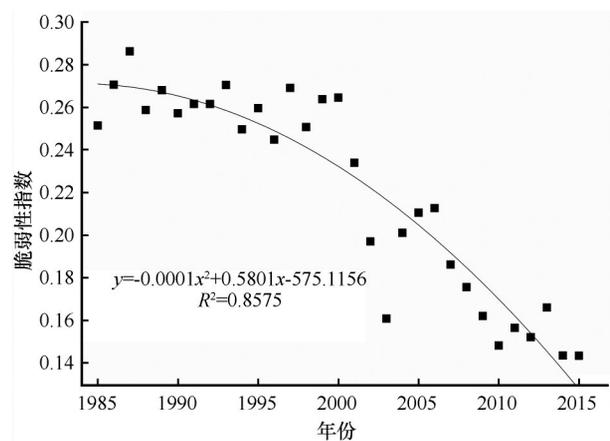


图2 1985—2015年盐池县人地系统脆弱性走势

Fig.2 Changing trend about vulnerability of man-land system in Yanchi County from 1985 to 2015

3.3 盐池县人地系统脆弱性障碍因子

综合研究区人地系统脆弱性障碍因子30年的平均表现可以看出,经济子系统各指标障碍度从大到小依次为第三产业增加值占GDP比重(12.26%)、牧业产值比重(6.78%)、规模以上工业企业万元GDP能耗(4.35%)、农业投入产出率(3.74%)、规模以上工业企业资产负债率(3.39%)和科技支出占地方财政支出比重(0.35%)。从障碍度大小可以初步明确,调整经济结构、加强第二产业投入产出效率是降低经济系统脆弱性的关键。

生态子系统各指标障碍度从大到小依次为干燥度指数(7.98%)、单位草原生态补贴性投入(5.88%)、NPP(2.04%)、生态造林面积(0.90%)和NDVI(0.76%)。地理区位的特点决定了该区生态系统的敏感性,而气候因子在生态系统中仍扮演主要角色。除此之外,生态治理即人为干扰的强度对

生态系统恢复力的改善起到了重要的作用。二者直接作用于生态子系统,影响区域生态质量,生态质量的好坏又间接作用于生态系统。

社会子系统结果表明,社会环境层面所体现的障碍度大于人类发展层面,基础设施层面表现的障碍度则最小。障碍度从大到小依次为最低生活保障人口比重(15.69%)、城乡差异指数(9.26%)、百人拥有公共汽车数(6.87%)、普通中学在校学生数(5.89%)、基本养老保险参加人口比重(5.59%)、人口自然增长率(4.87%)、千人医护人员数(4.01%)、人均居住面积(2.85%)、百人拥有电话数(2.62%)、城镇登记失业率(1.62%)、自来水供应量(1.55%)、人均道路面积(1.49%)、人均GDP(0.98%)。近年来,盐池县加大基础设施投入力度,基本实现了老有所养,病有所医,但贫富差距较大、乡村发展落后等问题依然突出。因此,降低贫富差距,促进城乡均衡发展、完善社会保障和加强教育应是盐池县社会子系统提升应对能力的主要举措。

4 结论与政策建议

4.1 结论

盐池县人地系统中,生态系统平均脆弱性最强(0.267),其次为经济系统(0.194),最后是社会系统(0.186);人地系统脆弱性整体呈波动下降趋势,且2000年后降幅明显(平均下降达32.06%)。经济系统脆弱性伴随经济结构的转型,呈现先降后升的趋势;生态系统受气候和政策双重影响,2000年前较高,2000年后波动下降;社会系统呈明显的递减趋势。欠合理的产业结构、特殊的地理区位、生态治理力度和社会保障水平是制约盐池县人地系统健康发展的主要障碍因素。

本文选取典型生态修复区宁夏盐池县,对该区人类活动干扰的全过程进行了时间序列的评价,初步明确了盐池县人地系统脆弱性走势及其障碍因子;但受数据所限,指标的选取未能涵盖人地系统的全方面;另外,脆弱性的变化除了表现时间过程的复杂性外,还应重点探讨其空间上的复杂格局,时空复杂机制的研究应是人地系统脆弱性未来研究的重点。

4.2 政策建议

盐池县人地系统脆弱性虽呈逐年降低趋势,但

农牧交错区的特殊地理位置决定了其对极端气候的影响仍较敏感,同时经济社会转型的压力依然较大,对此提出以下建议:

加快推进产业结构转型升级。针对盐池县经济发展对工业依赖性较强的特点,要积极培育特色优质农产品,争取品牌效应;将服务业作为调结构的长远战略举措,大力发展文化旅游、金融、商贸及物流建设。针对工业主要依靠能源开采和加工,要努力在纵向上延长产业链条,发展接续产业;同时,积极从横向上选择替代产业,避免以后资源枯竭的窘境。针对当前去产能的大背景,要加强科技投入,推动技术创新,努力实现能源产业安全、高效、清洁和低碳发展。具体实施可优先考虑品牌农产品(如滩羊产业)的培育,并将其与特色旅游产业建设相结合,发挥联动优势;然后,在逐步实现工业基础设施的更新换代后,重新打造工业经济新的增长极。

生态保护与开发并举,践行绿色发展。针对草原沙漠化逆转后如何利用的问题,建议政府倡导农户转变养殖模式,如仅饲养肥母羊(无需放牧),而由企业饲养繁殖母羊。政府和农户将草地流转给企业,并进行监督,企业统一规划利用,如划区轮牧、季节轮牧及以草定畜等。这种模式有助于农户实现经济利益,同时将草原管理的任务转嫁给企业,政府只需对企业进行有效监督,相比农户利用草原对农户的监督,可节省大量的成本。

减小贫富差距,继续加强社会保障建设。各乡镇经济发展水平不同,政府应通过补助与产业引导,加大对贫困地区的支持与倾斜。社会保障制度的完善与否直接关系到居民的生活质量,要继续加强城乡统筹、完善城乡居民基本养老保险、医疗保险和最低生活保障制度。

参考文献:

- [1] D'Odorico P, Bhattachan A, Davis K F, et al. Global desertification: drivers and feedbacks [J]. *Advances in Water Resources*, 2013, 51: 326-344.
- [2] Cotrufo M F. Global change and terrestrial ecosystems, introduction [M]//Freedman B. *Global Environmental Change*. 2014: 291-296.
- [3] Wang T, Zhu Z D, Wu W. Sandy desertification in the north of China [J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2002, 45 (1): 23-34.
- [4] 马永欢,樊胜岳. 沙漠化地区退耕还林政策的生态经济效益分析:以民勤县为例 [J]. *自然资源学报*, 2005, 20 (4): 590-596.

- [5] 王强,张勃,戴声佩,等.基于 GIMMS AVHRR NDVI 数据的三北防护林工程区植被覆盖动态变化[J].资源科学,2011,33(8):1613-1620.
- [6] 周立华,朱艳玲,黄玉邦.禁牧政策对北方农牧交错区草地沙漠化逆转过程影响的定量评价[J].中国沙漠,2012,32(2):308-313.
- [7] 王涛,宋翔,颜长珍,等.近35a来中国北方土地沙漠化趋势的遥感分析[J].中国沙漠,2011,31(6):1351-1356.
- [8] Adger W N. Social vulnerability to climate change and extremes in coastal Vietnam [J]. *World Development*, 1999, 27(2): 249-269.
- [9] Lioubimtseva E, Henebry G M. Climate and environmental change in arid Central Asia: impacts, vulnerability, and adaptations [J]. *Journal of Arid Environments*, 2009, 73(11): 963-977.
- [10] 方创琳,王岩.中国城市脆弱性的综合测度与空间分异特征[J].地理学报,2015,70(2):234-247.
- [11] 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[J].地理科学,2015,35(8):952-959.
- [12] Türkeş M. Vulnerability of Turkey to desertification with respect to precipitation and aridity conditions [J]. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 1999, 23(5): 363-380.
- [13] von Hardenberg J, Meron E, Shachak M, et al. Diversity of vegetation patterns and desertification [J]. *Physical Review Letters*, 2001, 87(19): 198101.
- [14] Blasi C, Michetti L, Del Moro M A, et al. Climate change and desertification vulnerability in Southern Italy [J]. *Phytocoenologia*, 2007, 37(3/4): 495-521.
- [15] Türkeş M, Akgündüz A S. Assessment of the desertification vulnerability of the Cappadocian district (Central Anatolia, Turkey) based on aridity and climate-process system [J]. *International Journal of Human Sciences*, 2011, 8(1): 1234-1268.
- [16] Salvati L, Zitti M, Ceccarelli T, et al. Developing a synthetic index of land vulnerability to drought and desertification [J]. *Geographical Research*, 2009, 47(3): 280-291.
- [17] Salvati L. A socioeconomic profile of vulnerable land to desertification in Italy [J]. *Science of the Total Environment*, 2014, 466: 287-299.
- [18] 张明.榆林地区脆弱生态环境的景观格局与演化研究[J].地理研究,2000,19(1):30-36.
- [19] 张龙生,王建宏,尚立照.基于土地退化的甘肃省生态脆弱性评价研究[J].中国沙漠,2010,30(4):783-787.
- [20] Wu G, Li L, Ahmad S, et al. A dynamic model for vulnerability assessment of regional water resources in arid areas: a case study of Bayingolin, China [J]. *Water Resources Management*, 2013, 27(8): 3085-3101.
- [21] 胡颖颖,玉米提·哈力克,塔依尔江·艾山,等.新疆2001—2010年农业气候干旱脆弱性分析[J].中国沙漠,2014,34(1):254-259.
- [22] 程钰,王亚平,张玉泽,等.黄河三角洲地区人地关系演变趋势及其影响因素[J].经济地理,2017,37(2):83-89.
- [23] 彭飞,孙才志,刘天宝,等.中国沿海地区海洋生态经济系统脆弱性与协调性时空演变[J].经济地理,2018,38(3):165-174.
- [24] Zhang F, Liu X P, Zhang J Q, et al. Ecological vulnerability assessment based on multi-sources data and SD model in Yinma River Basin, China [J]. *Ecological Modelling*, 2017, 349(10): 41-50.
- [25] 黄晓军,黄馨,崔彩兰,等.社会脆弱性概念、分析框架与评价方法[J].地理科学进展,2014,33(11):1512-1525.
- [26] 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.
- [27] 尹鹏,刘曙光,段佩利.海岛型旅游目的地脆弱性及其障碍因子分析:以舟山市为例[J].经济地理,2017,37(10):234-240.
- [28] 葛怡,史培军,刘婧,等.中国水灾社会脆弱性评估方法的改进与应用:以长沙地区为例[J].自然灾害学报,2005(6):54-58.
- [29] 李鹤,张平宇.东北地区矿业城市社会就业脆弱性分析[J].地理研究,2009,28(3):751-760.
- [30] Depietri Y, Welle T, Renaud F G. Social vulnerability 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.
- [31] Chen Y, Wang T, Zhou L H, et al. Effect of prohibiting grazing policy in northern China: a case study of Yanchi County [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2013, 72(1): 67-77.
- [32] 张克斌,王锦林,侯瑞萍,等.我国农牧交错区土地退化研究:以宁夏盐池县为例[J].中国水土保持科学,2003(1):85-90.
- [33] 张晓川,车文毅.宁夏盐池县社会经济与环境协调发展的策略分析[J].自然资源学报,1989,4(2):158-168.
- [34] 周广胜,张新时.自然植被净第一性生产力模型初探[J].植物生态学报,1995(3):193-200.
- [35] 孟猛,倪健,张治国.地理生态学的干燥度指数及其应用评述[J].植物生态学报,2004(6):853-861.

Man-land system vulnerability and obstacles in a typical desertification reversion area

Chen Yong¹, Zhou Lihua², Wang Weiwei¹, Hou Caixia³

(1.Key Laboratory of Desert and Desertification, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2.Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 3.School of Management, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: Research on the assessment of the vulnerability of man-land system and its disturbing factors in re-stored ecological areas is of great significance to improve regional quality and promote sustainable development. In this study, using a comprehensive index assessment method, we selected 9 subindexes involving 24 specific parameters from 3 aspects (ecological system, economic system and social system) to construct a comprehensive index system for the assessment of Yanchi County's vulnerability. The obstacle factors of man-land system vulnerability in Yanchi County were analyzed by using the obstacle degree model. This study revealed that the vulnerability of Yanchi County's economic, ecological and social systems fluctuates, but it also shows corresponding stage characteristics. With the transformation of economic structure, the vulnerability of economic system shows the trend of decreasing first and then rising. The ecosystem is affected by climate and policy, and shows different fluctuation trend with the transition of 2000. The social system showed an obvious linear decreasing trend during the research period. The vulnerability of Yanchi County's man-land system fluctuated at a high level before 2000, and declined gradually after 2000, with an average decline of 32.06%. The main obstacles are unreasonable industrial structure, special geographical location, ecological governance and social security level. According to the research results, the following suggestions are put forward: firstly, accelerate the transformation and upgrading of industrial structure; secondly, combine ecological protection and development to practice green development; thirdly, reduce the gap between rich and poor, and continue to strengthen social security construction.

Key words: desertification reversal area; man-land system vulnerability; obstacles; Yanchi County