

西北地区县域脆弱性时空格局演变

鲁大铭¹, 石育中¹, 李文龙^{1,2}, 杨新军^{1*}

(1. 西北大学城市与环境学院, 西安 710127; 2. 内蒙古财经大学资源与环境经济学院, 呼和浩特 010070)

摘要:人地耦合系统的脆弱性研究作为未来地理科学的十大科学研究命题之一,已成为人地关系和区域可持续发展研究的重要领域。本文以西北地区316个县(市)为研究单元,以2003、2008和2013年社会经济统计数据、气象数据、遥感影像数据和空间矢量数据为基础,综合运用模糊层次分析和变异系数分析等方法,构建西北地区人地系统脆弱性评价模型并说明其时空演化过程。研究表明:①西北地区县域脆弱性指数整体呈现北低南高、东低西高的格局。大中型城市对周边区域产生显著的影响并已形成以自身为核心的低脆弱圈层,各低脆弱圈层逐渐关联形成大范围的低脆弱片区;②4个子系统的脆弱性水平分别表现出一定的地域分异格局,社会子系统和经济子系统脆弱性的空间集聚特征明显且变化显著,资源环境子系统和政策子系统脆弱性则趋于碎片化且相对稳定;③西北地区人地系统脆弱性的空间差异度呈缓慢增大趋势,社会脆弱性差异度的变化趋势为先增加后下降,经济脆弱性与资源环境脆弱性差异度均表现出持续下降的态势,政策扶持性在地区间的差异较大且整体格局稳定;④在政策的引导和扶持下,资源开发促使经济发展、环境质量和人类福祉发生转变,最终影响社会发展水平和社会的稳定程度,而社会的发展和稳定又反作用于经济发展、环境质量、资源开发和政策制定。本文以“脆弱性”的视角解构西北地区人地系统时空动态变化过程,为西北地区社会经济发展提供理论方法参考和实践应用借鉴。

关键词:人地系统脆弱性;模糊层次分析法;区域差异;西北地区

1 引言

人地系统脆弱性研究是区域可持续发展研究领域的重要内容,是未来中国经济社会发展迫切需要解决的基础性科学问题,是一种提供预警性、反馈性和战略性科学依据的研究课题。纵观国内外人地系统脆弱性的研究,尺度上主要集中在对局部(地方)案例的实证研究(韩瑞玲等, 2012; Frazier et al, 2014; 杨新军等, 2015),缺乏在区域和国家等较大尺度的探究;研究内容集中于生态环境脆弱性和灾害脆弱性领域,研究成果以气候变化背景下区域生态环境修复与可持续发展(Turner et al, 2003; 李

凤民等, 2003; 赵东升等, 2013)、生态环境演变与土地利用评价(彭建等, 2004; Vezina et al, 2006; 余中元等, 2015),以及自然灾害脆弱性评估(刘毅等, 2010; Rebotier, 2012; Rahman et al, 2015)等,多数研究成果侧重于单一视角分析,割裂了人地关系地域系统内在联系。因此,部分学者出于系统的视角,开始注重不同系统间的关联作用,涌现出不少人地关系演化和多系统耦合脆弱性方面的研究。其中,Cheng等(2010)从经济、社会和政策3个子系统相互耦合的角度出发,采用层次分析法确定指标权重,对湖北省孝感市的灾害脆弱性进行研究,并针对各子系统存在的问题提出相应建议;Frazier等(2014)

收稿日期:2016-11;修订日期:2017-01。

基金项目:国家自然科学基金项目(41571163);陕西高校人文社会科学青年英才支持计划(HSSTP)项目 [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41571163; Humanities and Social Science Talent Plan in Shaanxi Province]。

作者简介:鲁大铭(1992-),男,陕西西安人,硕士研究生,研究方向为人地耦合系统脆弱性与区域可持续发展,

E-mail: loodm@sina.com。

通讯作者:杨新军(1972-),男,陕西扶风人,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为旅游地理学与人地关系的社会—生态整合研究,E-mail: yangxj@nwu.edu.cn。

引用格式:鲁大铭,石育中,李文龙,等. 2017. 西北地区县域脆弱性时空格局演变[J]. 地理科学进展, 36(4): 404-415. [Lu D M, Shi Y Z, Li W L, et al. 2017. Spatiotemporal change of vulnerability in counties of northwest China[J]. Progress in Geography, 36(4): 404-415.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2017.04.002

通过构建 SERV(Spatially Explicit Resilience-Vulnerability)模型,从人口结构、经济发展水平、医疗设施、收入水平、旅游业与农业、教育以及就业情况等多个角度的出发,采用主成分分析法确定指标权重,对美国佛罗里达西海岸的萨拉索塔地区的人地系统脆弱性展开研究,并探讨了脆弱性和恢复力之间的关系,为人地系统脆弱性的空间格局研究提供范式模型;方创琳等(2015)基于“资源—生态—经济—社会”的耦合框架,采用熵技术支持下的层次分析法确定指标权重,对中国2011年城市脆弱性作了综合测度划分和时空分异规律描述,将城市脆弱性研究推向多维度耦合研究;陈佳等(2016)应用 VSD(Vulnerability Scoping Diagram)框架和 SERV 模型,从人口与经济、农业与土地、生态与环境、教育与技术、基础设施建设等方面综合构建指标体系,采用主成分分析法确定指标权重,对陕西省榆林市2000-2011年期间社会—生态系统脆弱性进行研究,实现对中国半干旱地区社会—生态系统脆弱性研究的定量化表达。基于以上对以上研究的总结,本文认为人地系统脆弱性评价框架不仅要考虑人地系统的复合性,而且其模型构建也需要考虑各系统间的耦合过程和指标权重计算的科学性。

“脆弱性”概念最初被认为是与社会群体的敏感性、灾害暴露程度以及与社会经济文化背景相关的应对灾害事件能力的一种综合属性,但目前脆弱性概念的内涵已从单纯针对自然系统的固有(天然)的脆弱性逐渐演变为针对自然和社会系统的意义更为广泛的综合概念(方修琦等,2007)。Brikmann(2007)通过对脆弱性的扩展过程进行梳理,将脆弱性的内涵从基于风险因子的内源性脆弱,扩展到结合自然、经济、社会、人文和环境、组织和机构等特征的综合范畴。方修琦等(2007)将脆弱性评价的核心问题从被动评价自然或者社会所受到的伤害转变为人的主动适应性,将脆弱性研究的内涵从基于暴露程度、敏感性和适应能力的多结构视角推向综合考虑自然、社会、经济、环境和制度的多维度主义。本文在上述理论基础之上,结合西北地区特定的自然环境和社会经济发展水平,选取社会、经济、资源环境及政策4个子系统构建西北地区人地系统脆弱性综合评价框架。同时,考虑到4个子系统相互作用,对人地系统的脆弱性形成协同作用,在参

考张立新等(2015)对脆弱性研究的基础上,进一步采用协同评价模型计算西北地区人地系统脆弱性指数。在指标权重的计算方面,为克服传统的主成分分析法和层次分析法的局限性和片面性,Chang(1996)、张吉军(2000)等学者提出了模糊层次分析法。该方法在层次分析法的基础上,运用模糊综合评价方法修正指标权重,将层次分析法的定量性和模糊综合评价法的包容性有机融合,考虑的因素更加全面,主观影响程度更低,因而对于人地系统的研究具有更强的适用性。根据Chang(1996)对模糊层次分析法应用案例的范式性研究,Li(2009)等已将模糊层次分析法应用于人地关系的研究。

近年来,中国西北地区在特殊的干旱气候和自然资源制约下形成的脆弱性问题已严重威胁到地区的社会经济发展和生态安全,因此倍受关注(尹莎等,2016;赵雪雁等,2016)。本文选择“脆弱性”作为研究西北地区人地系统可持续发展的切入点,引入“社会—经济—资源环境—政策”复合评价框架和协同评价模型,刻画了西北地区2003-2013年期间脆弱性时空动态变化过程,揭示各县域脆弱性特征及主要影响因素,进而说明西北地区人地系统脆弱性水平和内在的演化机制,希冀能为该地区社会经济发展提供理论方法参考和实践应用借鉴。

2 研究区概况与研究方法

2.1 研究区概况

中国西北地区属于温带大陆性气候,为资源型缺水型,干旱少雨,蒸发强烈,作为全球生态环境脆弱区和气候变化敏感区,极端干旱事件发生的频率和强度均明显增加(张强等,2015)。西北地区介于 $73^{\circ}15'\sim 111^{\circ}16'E$ 和 $31^{\circ}25'\sim 48^{\circ}10'N$ 之间,面积为 $311.27\times 104\text{ km}^2$,地域辽阔,蕴有丰富的农牧资源与矿产资源,但由于自然环境恶劣、工业基础薄弱以及政策等因素,导致社会经济技术发展水平落后、生态环境脆弱、人地关系矛盾突出。该地区包括陕西省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区和新疆维吾尔自治区,现辖1个副省级城市,50个地级城市,265个县(县级市)。县域作为中国行政体系中独立的政治经济单元具有较强的地方化特征,为研究需要,本文以西北地区县域,副省级城市和地级市的市区作为基本研究单元,共316个。

2.2 数据来源及标准化

本文研究数据包括社会经济统计数据、气象数据、遥感影像数据和空间矢量数据,考虑到数据的可获取性,将数据采集年定为2003年、2008年和2013年。统计数据主要源于《中国县(市)社会经济统计年鉴(2004, 2009, 2014)》《中国区域经济统计年鉴(2004, 2009, 2014)》《中国统计年鉴(2004, 2009, 2014)》,以及各地县(市)国民经济和社会发展统计公报(2003, 2008, 2013);气象数据来源于中国西北地区97个气象观测站,用于计算干燥度指数;NDVI数据主要来源于GIMMS(Global Inventory Modeling and Mapping Studies)NDIV3g数据集,部分来自对地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn/>)提供的遥感影像的解译;空间数据来源于国家基础地理信息网(<http://ngcc.sbsm.gov.cn/>)提供的矢量化数据。为消除不同量纲数据对综合评价的影响,需对数据进行标准化处理。本文采用极值法对数据进行去纲量化处理,具体方法如下:

功效性为正指标:

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{i,\min}}{x_{i,\max} - x_{i,\min}} \tag{1}$$

功效性为负指标:

$$Z_{ij} = \frac{x_{i,\max} - x_{ij}}{x_{i,\max} - x_{i,\min}} \tag{2}$$

式中: Z_{ij} 为各指标去量纲后的值; x_{ij} 为去量纲前的指标值; $x_{i,\max}$ 、 $x_{i,\min}$ 分别为该指标的最大值与最小值。

2.3 指标选取

本文在由社会、经济、资源环境、政策4个子系统构建的人地系统脆弱性综合评价框架的基础上,考虑到西北地区相对单一的社会结构受政策影响显著,经济发展总体水平落后,同时对农业具有较强的依赖性,干旱的自然环境对植被及水资源等因素极为敏感,同时借鉴国内外部分学者的脆弱性评价指标(O'Brien et al, 2004; Sietz et al, 2011; 田亚平等, 2013; 方创琳等, 2015),最终构建了脆弱性综合评价指标体系(表1),包含4项目标、8项准则、24项

表1 脆弱性综合评价指标体系

Tab.1 Comprehensive evaluation index system of vulnerability

目标层	准则层	指标层	单位	权重	指标性质
社会子系统脆弱性SV	暴露—敏感性S1	农业人口比重	%	0.2039	正指标
		人口密度	人/km ²	0.4560	正指标
		在校学生比例	%	0.3401	负指标
	适应能力R1	乡村从业人口比重	%	0.5537	负指标
		每百户拥有通讯设备数量	部/百户	0.1563	负指标
		万人拥有医疗床位数	床/万人	0.2900	负指标
经济子系统脆弱性EV	暴露—敏感性S2	第一产业增加值占GDP比重	%	0.2537	正指标
		第三产业增加值占GDP比重	%	0.3328	负指标
		规模以上工业总产值占GDP比重	%	0.4135	负指标
	适应能力R2	人均GDP	万元/人	0.4097	负指标
		到最近城市距离	km	0.2491	正指标
		人均居民储蓄存款余额	万元/人	0.3412	负指标
资源环境子系统脆弱性REV	暴露—敏感性S3	水网密度	km/km ²	0.2101	负指标
		干燥度指数	—	0.2971	正指标
		NDVI指数	—	0.4928	负指标
	适应能力R3	单位面积粮食产量	t/hm ²	0.3332	负指标
		人均耕地	hm ² /人	0.3648	负指标
		人均肉类总产量	t/人	0.3020	负指标
政策子系统扶持性PS	暴露—敏感性S4	单位从业人员数比例	%	0.3389	正指标
		社会福利收养性单位平均床位数	床/个	0.2240	正指标
		财政收支比	%	0.4371	正指标
	适应能力R4	固定资产投资额	万元	0.3531	正指标
		到最近铁路距离	km	0.3171	负指标
		到最近国道距离	km	0.3298	负指标

注:①干燥度指数来源于中国西北地区97个气象观测站观测的蒸散数据和降水数据,具体算法鉴于篇幅限制,详见《1961–2014年中国干燥度指数的时空变化研究》(王利平等, 2016),在Arcgis10.1平台采用克里金差值法将得到的站点干燥度数据转化为面数据,再以分区统计工具提取各县矢量范围内的平均值。②NDVI指数根据相应年份8月上旬的遥感影像解译结果的栅格数据集,在Arcgis10.1平台使用分区统计工具提取各县矢量范围内的平均值。③指标的正负性表征指标层因子与其对应子系统的正负性相关关系。

指标。

2.4 模糊层次分析法确定各指标权重

模糊层次分析法(FAHP)是将层次分析法与模糊理论相结合,并且充分考虑评价者主观思考模糊性的一种理论方法。计算步骤如下:

(1) 构建模糊评价矩阵。基于表1所建立的脆弱性综合评价指标体系,由17位从事脆弱性研究的专家对脆弱性综合评价指标框架使用1-9标度进行主观评价打分,建立一个关于各指标权重的模糊判断矩阵 $R=(r_{ij})_{n \times n}$,其中 $r_{ij}=(l_{ij}, m_{ij}, \mu_{ij})$ 采用三角模糊数,即 $l_{ij} + \mu_{ij} = 2m_{ij}$ 。式中, r_{ij} 表示任意两指标间的相对重要程度, l_{ij} 、 m_{ij} 、 μ_{ij} 则分别表示任意两指标间可能存在的最小、中等和最大相对重要程度。

(2) 计算模糊权重。对矩阵 R 逐行采用归一化计算方法,计算各指标 i 的模糊权重向量 M_i (Chang, 1996)。计算公式为:

$$M_i = \sum_{j=1}^n r_{ij} \times \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n r_{ij} \right)^{-1}, \quad i=1,2,\dots,n \quad (3)$$

(3) 权重去模糊化。采用可能度计算,将模糊权重转变为一般值(Kwong et al, 2003)。若 $M_1(l_1, m_1, u_1)$ 和 $M_2(l_2, m_2, u_2)$ 是三角模糊数, $M_1 \geq M_2$ 的可能度 $v(M_1 \geq M_2)$ 的计算具体如式(4)所示,再根据式(5)得到排序向量 A_i ,并归一化得到指标 i 的权重 B_i 。

$$v(M_1 \geq M_2) = \begin{cases} 1 & l_2 - u_1 \leq 0 \\ \frac{l_2 - u_1}{(m_1 - u_1) - (m_2 - l_2)}, & m_1 \leq m_2, u_1 \geq l_2 \\ 0 & \end{cases} \quad (4)$$

$$A_i = \min v(M \geq M_i), \quad i=1,2,\dots,k \quad (5)$$

2.5 建立脆弱性评价模型

根据Luers等(2003)对系统脆弱性的理解,将系统内某些变量面对扰动的敏感性与变量临近伤害临界值构成的函数作为系统脆弱性,以及Metzger等(2005)在IPCC提出的脆弱性函数构成模型认为脆弱性是由系统在扰动作用下所遭受的潜在影响与系统适应能力二者构成的函数。基于对以上脆弱性内涵的解析,本文试图从脆弱性构成要素之间的相互作用关系出发,将系统的脆弱性视为“暴露—敏感性”及其“适应能力”相互耦合响应而形成的一种属性。因此,脆弱性可表达为 $V=f(S,R)$,其中系统的脆弱性(V)与暴露—敏感性(S)成正比,与适应能力(R)成反比。

$$\begin{cases} SV = \frac{S_1}{R_1} \\ EV = \frac{S_2}{R_2} \\ REV = \frac{S_3}{R_3} \\ PS = \frac{S_4}{R_4} \end{cases} \quad (6)$$

$$S_n = \sum_{i=1}^3 B_i \times Z_{ij} \quad (7)$$

$$R_n = \sum_{i=1}^3 B_i \times Z_{ij} \quad (8)$$

式中: SV 为社会子系统的脆弱性指数; EV 为经济子系统的脆弱性指数; REV 为资源环境子系统的脆弱性指数; PS 为政策子系统的扶持性指数; S_1 、 S_2 、 S_3 和 S_4 依次为社会、经济、资源环境和政策子系统的敏感性指数; R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 依次为社会、经济、资源环境和政策子系统的应对能力指数; B_i 为指标 i 的权重; Z_{ij} 为指标 i 在 j 县的标准化数值。

根据西北地区的社会脆弱性指数(SV)、经济脆弱性指数(EV)、资源环境脆弱性指数(REV)及政策扶持性指数(PS),计算人地系统脆弱性指数(V)。在参考Cheng(2010)、方创琳(2015)等学者的人地系统脆弱性研究的基础上,考虑到西北地区人地系统的脆弱性是由各子系统协同作用形成,因此采用等权重协同评价方法。人地系统脆弱性指数(V)定义如下:

$$V = \sqrt{\frac{SV \times EV \times REV}{PS}} \quad (9)$$

以Arcgis10.1软件为技术平台,对已获取的人地系统脆弱性指数、社会子系统脆弱性指数、经济子系统脆弱性指数、资源环境子系统脆弱性指数和政策子系统扶持性指数采用自然断点法(Natural Breaks Jenks)分级。分类结果如表2所示。

2.6 变异系数分析法

变异系数是测度数据差异的常用方法,该系数已在地理数据的空间差异研究中得到广泛应用。本文采用变异系数分析法测度西北地区各年县域脆弱性的空间差异程度。计算公式如下:

$$C_v = \frac{1}{\bar{V}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (V_i - \bar{V})^2}{m-1}} \times 100\% \quad (10)$$

式中: C_v 为变异系数; \bar{V} 为各县脆弱性指数的平均数; V_i 为各县级单元 $i(i=1,2,3,\dots,m)$ 脆弱性指数; m 为县级单元个数。变异系数越小,说明区域内脆弱

性格局越均衡。

3 西北地区县域脆弱性时空特征

3.1 人地系统脆弱性时空分异特征

(1) 2003年。西北地区县域人地系统脆弱性指数平均值为10.408。微度和低度脆弱水平的县级单元整体呈现以省会城市和地级城市为核心的环状分布格局,主要分布于关中平原、宁夏平原、柴达木盆地和准格尔盆地等地区,共计197个,占比62.34%。高度和极度脆弱水平的县级单元共计50个,占比15.82%。主要包括位于青藏高原北部的曲麻莱县、杂多县和治多县等县级单元和位于新疆塔里木盆地的且末县、民丰县和皮山县等县级单元,相对落后的社会经济发展水平、低效的农业生产和有限的政策扶持等因素均导致以上县级单元处于高度或极度脆弱状态。这一时期不同脆弱程度的地区呈现碎片化,区域内整体的脆弱性空间差异明显(图1a)。

(2) 2008年。西北地区县域人地系统脆弱性指数平均值达10.607,相比于2003年增加1.91%。整体空间格局较2003年有所变化,城市周边县级单元人地系统脆弱性指数下降速率明显高于偏远地区。在社会和经济脆弱性降低以及政策扶持性上

升的过程中,以省会城市和地级城市为核心的低脆弱圈层进一步扩大,以兰州市为核心的陇中黄土高原的祁连县、肃南裕固族自治县和山丹县等县级单元最为明显,整体处于微度和低度脆弱状态。高度和极度脆弱状态的县级单元数量上升至55个,占比17.41%。其中,位于新疆塔里木盆地边缘的若羌县、阿克陶县和乌什县等县级单元脆弱性指数略有下降,但整体依旧处于高度脆弱状态;位于青藏高原的曲麻莱县、杂多县和治多县等县级单元由于这一时期资源环境脆弱性指数的显著上升,导致人地系统脆弱性指数升高,整体处于极度脆弱状态(图1b)。

(3) 2013年。西北地区县域人地系统脆弱性指数平均值下降至8.145。自2003-2013年以来,以西安市为核心的关中平原,以榆林市为核心的东黄土高原,以汉中市为核心的秦巴山区,以兰州市为核心的陇中黄土高原,以银川市为核心的宁夏平原和以乌鲁木齐市为核心的准格尔盆地等地区在社会、经济和资源环境方面的脆弱性逐步下降,同时伴随政策扶持性的增强,已形成的低脆弱圈层逐渐扩大,逐渐关联形成了大范围的低脆弱片区,微度或低度脆弱的县级单元数量增加至232个,占比73.42%。中度脆弱县级单元集中于塔里木盆地中西部的于田县、巴楚县和莎车县等县级单元。位于

表2 脆弱(扶持)指数分类标准
Tab.2 Classification standard for the index of vulnerability (support)

指数分级	微度脆弱(扶持)	低度脆弱(扶持)	中度脆弱(扶持)	高度脆弱(扶持)	极度脆弱(扶持)
人地系统脆弱性指数	< 6.097	6.098 ~ 10.463	10.464 ~ 16.487	16.488 ~ 26.111	> 26.112
社会脆弱性指数	< 0.989	0.99 ~ 1.424	1.425 ~ 1.984	1.985 ~ 5.609	> 5.610
经济脆弱性指数	< 2.377	2.378 ~ 3.818	3.819 ~ 9.444	9.445 ~ 21.235	> 21.236
资源脆弱性指数	< 2.480	2.481 ~ 3.748	3.749 ~ 5.910	5.911 ~ 12.239	> 12.240
政策扶持性指数	< 0.132	0.133 ~ 0.260	0.261 ~ 0.441	0.442 ~ 0.747	> 0.748

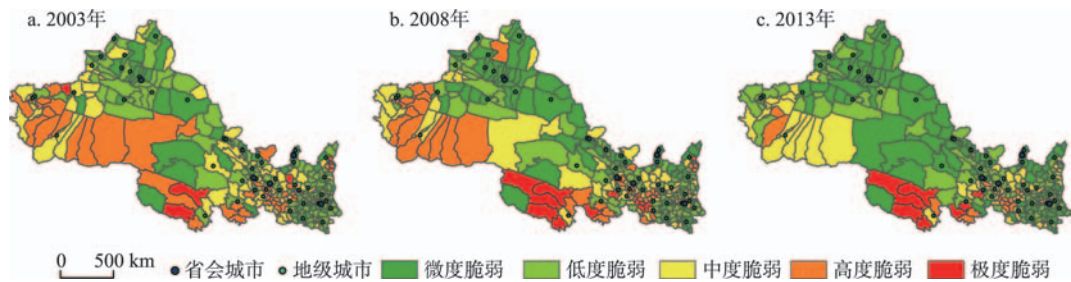


图1 2003、2008、2013年西北地区脆弱性空间分异
Fig.1 Spatial distribution of vulnerability in northwest China in 2003, 2008 and 2013

青藏高原北部的曲麻莱县、杂多县和治多县等县域由于各子系统状态则变化缓慢,其入地系统长期处于极度脆弱状态(图1c)。

3.2 各子系统的时空分异特征

西北地区县域脆弱性格局整体呈现出北低南高,东低西高的格局。4个子系统空间格局特征各异,社会和经济子系统脆弱性的空间集聚特征明显且变化显著,资源环境子系统脆弱性和政策子系统扶持性的空间格局则趋于碎片化且相对稳定。

(1) 社会子系统脆弱性。从图2可以看出,西北地区社会脆弱性的空间分异特征呈现极化现象且变化明显,微度和低度脆弱县域围绕省会城市和地级城市集中出现在关中平原、宁夏平原、柴达木盆地和准格尔盆地等地区。中度和高度脆弱县域分布相对零散,主要位于陇中黄土高原、秦巴山区、青藏高原北部、塔里木盆地等地区。具体为:①2003-2008年,西北地区社会脆弱性指数平均值从1.443降低到1.376,共计200个县级单元的社会脆弱性指数有所下降,以关中平原、陇中黄土高原、柴达木盆地和准格尔盆地等地区的县域最为明显。同时,位于塔里木盆地的且末县、民丰县和策勒县等县级单元则出现社会脆弱性指数上升的现象;②2008-2013年期间社会脆弱性指数平均值进一步下降至1.355,共计126个县级单元的社会脆弱性指数有所

下降,以东黄土高原和塔里木盆地的县级单元最为明显,社会脆弱性指数达到微度或低度水平的县级单元数量达到184个。源于这一时期中国快速城镇化过程中农业人口比重的下降和乡村从业人口比重的增加,以及医疗卫生条件的改善和基础通讯工具的普及等因素,西北地区社会脆弱性指数呈现下降的态势。与此同时,外出务工热潮的兴起导致人口密度和在校学生比例下降等现象,又间接引起了社会脆弱性指数升高。总体而言,西北地区社会脆弱性指数下降较为明显,人口和基础设施建设是影响其演化的根本动力,社会脆弱性在空间上具有明显的集聚特征,通常城镇化水平较高的地区会表现出较低的社会脆弱性,在涓滴效应的作用下,城市周边的县级单元会较快地降低其社会系统的脆弱程度。

(2) 经济子系统脆弱性。从图3可以看出,西北地区经济脆弱性格局发生显著变化,整体水平大幅下降,在空间上表现出明显的集聚特征,除青藏高原北部和塔里木盆地边缘地区的治多县、杂多县和且末县等县级单元外长期处于中度以上脆弱状态,其余地区均处于微度或低度脆弱状态,已形成大范围的低脆弱片区。①2003-2008年,西北地区经济脆弱性指数平均值从3.255下降到2.767,下降比率为15%,共计284个县级单元的经济脆弱性指数有

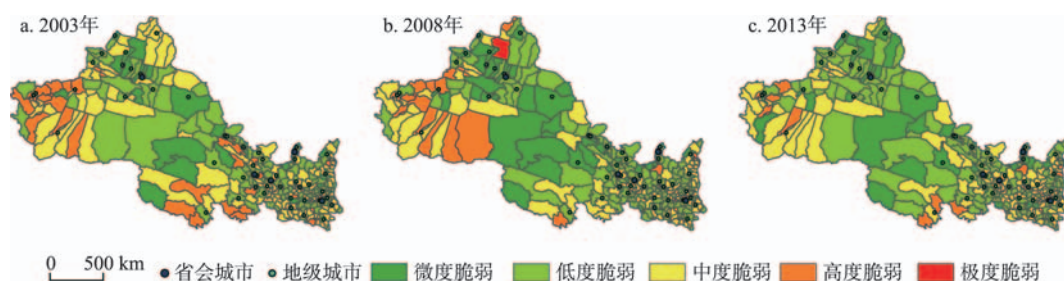


图2 2003、2008、2013年社会脆弱性空间分异

Fig.2 Spatial distribution of social vulnerability in 2003, 2008 and 2013

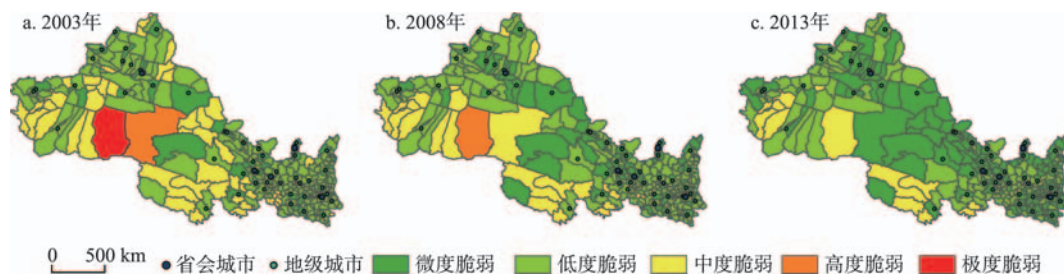


图3 2003、2008、2013年经济脆弱性空间分异

Fig.3 Spatial distribution of economic vulnerability in 2003, 2008 and 2013

所降低,以黄土高原、柴达木盆地和准格尔盆地等地区的县级单元最为明显;②2008-2013年,西北地区经济脆弱性指数平均值下降至2.214,逐步形成沿连霍高速一线贯穿西安、宝鸡、天水、兰州、乌鲁木齐、伊宁、霍尔果斯等城市的低经济脆弱带。同时,位于东黄土高原与秦巴山区的绥德县、子洲县和石泉县等县级单元的经济脆弱性指数也大幅降低,整体处于微度脆弱状态。总体而言,伴随经济产业结构的调整,尤其是二、三产业产值比重的快速提升,以及人均GDP和人均储蓄存款的增加,西北地区县域经济脆弱性指数大幅降低,整体处于微度或低度脆弱状态。青藏高原北部和塔里木盆地边缘地区的治多县、杂多县和且末县等县级单元由于远离城市,对第一产业依赖性较强,经济产业结构演化缓慢,直接导致其脆弱性水平偏高。在经济脆弱性的演化过程中,县级单元的区位,即距离城市的距离也影响到县级单元经济脆弱性的变化速率,往往距离城市较近的县级单元会较早的降低其经济脆弱性。同时,国道沿线的县级单元凭借良好的区位优势,经济脆弱性也出现了快速降低的现象。

(3) 资源环境子系统脆弱性。由图4可知,关中平原、秦巴山区、宁夏平原、陇中黄土高原和准格尔盆地等地区的部分县级单元依托其相对较好的生态环境和水资源条件,保证了粮食和肉类资源的生产,长期处于微度和低度脆弱水平,而中度和高度脆弱水平的县级单元则多分布于塔里木盆地中部的塔克拉玛干沙漠地区、柴达木盆地和青藏高原北部等地区。同时,兰州市、乌鲁木齐市和克拉玛依市等城市多处于极度或高度脆弱水平,在城市扩张的过程中,对农牧业资源尤其是耕地资源的侵占,以及工业化引起生态环境的恶化,导致其资源环境脆弱性指数往往偏高。2003、2008、2013年的西北

地区资源环境脆弱性指数平均值依次为3.505、3.244、2.944。秦巴山区、陇中黄土高原、祁连山脉、准格尔盆地和塔里木盆地等地区的县级单元的脆弱性整体呈现持续下降的态势,且整体处于微度和低度脆弱状态。同时,青藏高原北部的杂多县、囊谦县和曲麻莱县等县级单元由于耕地面积的减少和NDVI指数的下降,出现了脆弱性指数上升的现象。总体而言,得益于国家长期以来对西北地区的治理,以及退耕还林、封山育林等政策的实施,西北地区的耕地资源得到保护,生态环境有所好转。同时,科学技术的发展进一步提升了农牧业生产效率,这一过程也间接促进资源环境脆弱性持续下降。

(4) 政策子系统扶持性。由于西安市2013年政策扶持性指数高达78.248,远高于第二名石河子市的1.235,对政策扶持性指数的空间表达效果产生一定影响,故在分类中剔除西安市。由图5可知,兰州市、乌鲁木齐市和石河子市等城市地区往往处于极度或高度扶持状态,东黄土高原、宁夏平原、柴达木盆地和准格尔盆地等地区的县级单元整体处于中度扶持状态,陇中黄土高原、青藏高原北部和塔里木盆地西部的县级单元整体处于微度或低度扶持状态。①2003-2008年,西北地区政策扶持度指数平均值从0.214下降到0.183,下降比率为14.49%,共计236个县级单元的政策扶持度指数有所下降,以秦巴山区、陇中黄土高原、青藏高原北部和准格尔盆地西北部等地区的县级单元最为明显;②2008-2013年,西北地区政策扶持度指数平均值上升至0.222,共计241个县级单元的政策扶持度指数有所上升,此类县级单元集中出现于关中平原、银川平原、柴达木盆地和塔里木盆地等地区。总体而言,在西部大开发等国家政策的实施下,固定资产投资的增长间接增加了地方财政收入,以及国

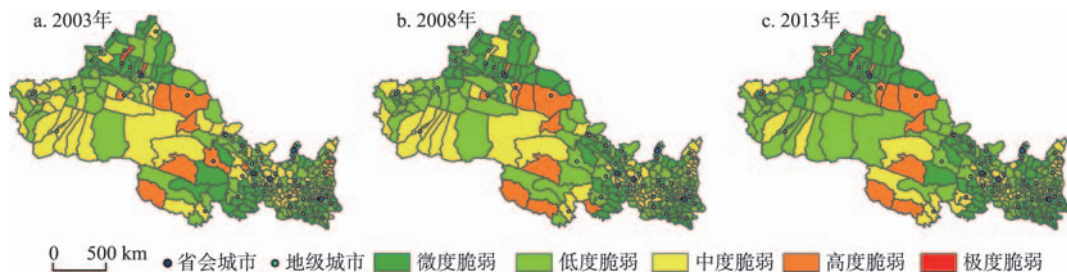


图4 2003、2008、2013年资源环境脆弱性空间分异

Fig.4 Spatial distribution of resource-environment vulnerability in 2003, 2008 and 2013

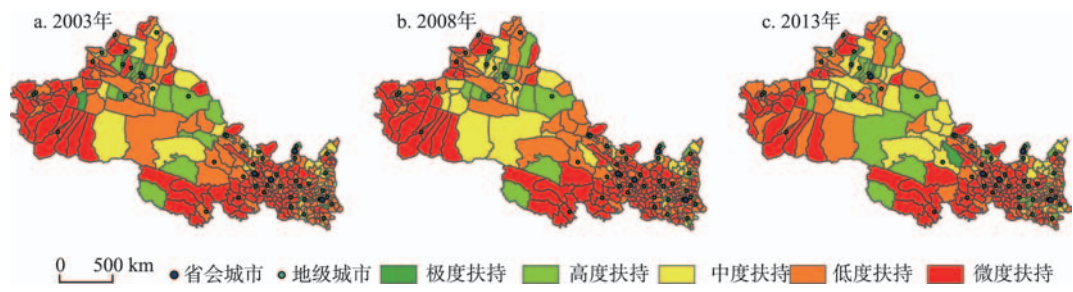


图5 2003、2008、2013年政策扶持性空间分异
Fig.5 Spatial distribution of policy support in 2003, 2008 and 2013

道、铁路等设施的建设又进一步增强了县域发展的基础。国家政策对西北地区的扶持力度逐步增大,但由于长期以来薄弱的工业基础和较低的城镇化水平,西北地区的县级单元可获取政策扶持的程度仍有较大提升空间。

3.3 县域脆弱性空间差异分析

依据2003、2008、2013年的西北地区各县级单元人地系统脆弱性指数和各子系统脆弱性(扶持性)指数,利用变异系数分析法,进行各年份脆弱性空间差异度测算分析(表3)。结果发现:①2003-2008年,在社会脆弱性差异度和政策扶持性差异度的显著提升的作用下,西北地区各县级单元人地系统脆弱性差异度呈大幅增加的趋势,区域内人地系统脆弱性格局差异性有所加强。②2008-2013年,源于这一时期经济和资源环境脆弱性差异度的降幅变缓,以及政策扶持性差异度相对稳定的作用,西北地区各县级单元人地系统脆弱性差异度有所增加但增幅较小。

社会脆弱性差异度在2003-2008年期间有一定增加,但2008年后明显下降。医疗床位等基础设施建设和通讯工具的普及,以及乡村从业人口比重的增加,在一定程度上促进县级单元间脆弱性差异度的降低,较大程度上抵消了2008年以前由于城镇化过程引起乡村人口密度下降和学生流失等现象带来的负面作用;经济脆弱性差异度表现出持续下降的态势,以2003-2008年期间最为明显。县域经济结构的调整为GDP的增长注入新的动力,伴随人均储蓄存款的快速增加,共同促进了西北地区经济脆弱性差异度的持续下降;资源环境脆弱性差异度也表现出持续下降的态势。2003-2013年期间陇中黄土高原、祁连山脉和塔里木盆地等地区县级单元的生态环境有所好转,以及粮食和肉类产量的大幅提升,较大程度上平衡了西北地区资源环境脆弱性的

表3 2003、2008、2013年脆弱性(扶持性)指数空间差异度

Tab.3 Spatial differentiation degree of vulnerability and support in 2003, 2008 and 2013

变异系数	2003年	2008年	2013年
人地系统脆弱性差异度	0.582	0.680	0.695
社会脆弱性差异度	0.308	0.507	0.280
经济脆弱性差异度	1.003	0.494	0.389
资源环境脆弱性差异度	0.802	0.566	0.492
政策扶持性差异度	0.810	0.923	9.367
政策扶持性差异度(除西安主城区外)	0.800	0.900	0.895

异质性格局;由于受西安市主城区极高的政策扶持性指数影响,政策扶持性指数差异度测算数据难以反映出实际情况,排除其数值后可看出,政策扶持性差异度变化微弱。虽然国道、铁路等基础设施的建设对增强各县域单元的政策扶持性有一定提升作用,但固定投资和财政拨款等关键因素增长缓慢,导致西北地区政策扶持性的整体格局变化微弱,城市依旧成为政策扶持的主要对象,陇中黄土高原、青藏高原北部和塔里木盆地等地区的县级单元处于微度扶持状态。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 西北地区县域脆弱性指数整体呈现出北低南高,东低西高的态势。2003-2013年期间,省会城市和地级城市对周边县域产生显著影响,形成以自身为核心的低脆弱圈层,各低脆弱圈层逐渐关联形成大范围的低脆弱片区。青藏高原北部、陇中黄土高原和塔里木盆地等地区县域的人地系统脆弱性水平长期处于中度以上脆弱状态且改善缓慢。

(2) 各子系统脆弱性格局差异显著。社会子系统脆弱性持续降低,微度和低度脆弱地区集中出现

在省会城市和地级城市的周边地区,中度和高度脆弱县域分布相对零散;经济子系统脆弱性水平整体下降最明显,在空间上表现出明显的集聚特征,以省会城市和地级城市为核心的低脆弱圈层相互关联,已形成大范围的低脆弱片区;资源环境子系统脆弱性的空间格局呈现碎片化特征,各自然地理单元间的异质性较强,城市地区的脆弱性指数整体偏高;政策子系统扶持性的格局较为稳定,城市地区往往处于极度或高度扶持状态,偏远地区的县级单元则长期处于微度或低度扶持状态。

(3) 西北地区人地系统脆弱性空间差异度呈持续增大态势,区域内人地系统脆弱性格局的差异性有所加强。其中社会脆弱性差异度呈在2003-2008年期间一度增长,但2008年后明显下降;经济脆弱性差异度和资源环境脆弱性差异度均表现出持续下降态势,且均以2003-2008年期间最为明显;政策扶持性差异度变化有限且相对稳定。

4.2 讨论

以人地系统脆弱性作为可持续性研究的切入视角,对评价不同时空尺度和研究对象均具代表性。然而,人地系统脆弱性研究存在指标权重算法科学性不足和框架模型设置缺乏包容性问题,有待进一步的改进与完善(刘学录等, 2002; 韩瑞玲等, 2012; 方创琳等, 2015)。一方面,本文运用模糊层次分析法替代传统的主成分分析法和层次分析法,将定量性和主观性相结合的同时,又加入模糊数学的包容性,加强权重指标结果的科学性和可靠性(Li et al, 2009);另一方面,“社会—经济—资源环境—政策”的复合型框架在VSD框架的基础上能更加全面地考虑人地系统受到不同扰动的类型,从社会、经济、资源环境和政策4个角度测度不同系统对扰动响应的结果并整合为人地系统脆弱性评价模型,可更加客观、准确地反映西北地区脆弱性的特征及形成过程。因此,本文构建的人地系统脆弱性评价框架是对人地系统脆弱性研究框架的一次新的尝试。

由于资源限制和人口稀疏,干旱区表现出极强的人与自然相互依赖现象(Portnov et al, 2004),而干旱区脆弱性的发展取决于人类社会在面对资源条件约束时应对方式的调整。伴随生产力水平的提升,粗放式的资源开发会在短期内快速提升经济实力,改善当地生计水平,但随之而来的环境污染和资源衰竭等问题又会加剧地区发展的不可持续性,

最终导致“贫困症”复发。因此,平衡资源开发和经济发展间的关系是地区可持续发展的核心问题,也是保证社会稳定和人类福祉的症结所在。

干旱区人地系统脆弱性与区域发展政策紧密相关且相互影响(Cumming et al, 2005)。政策影响区域的发展定位,也间接决定着地区脆弱性水平,同时人地系统脆弱性程度也为政府和规划者分区制定可持续发展政策提供科学依据。在对地区的环境特点考虑不充分的情况下,不合理的政策往往会在一定程度上加剧地区资源的压力,进而引起经济的衰退和贫困问题(Bardhan, 2006)。在贫困刺激下的农业生产进一步加剧了水资源压力和土地资源退化,自然资源退化的损失远远超出其潜在的收益(Lüdeke et al, 1999; Barbier, 2000),以至于地区生计水平不能得到预期的改善。理性的政策引导和充分的政策扶持可增强地区的生态弹性,降低资源环境的压力并维持系统运行的可持续性。随着环境、人口、土地资源的调整和社会网络决策的进一步改善,有利于促进地区良性发展,积极的调整会使各系统的耦合过程产生积极的反馈,引导地区走向良性发展的轨道。同时,人地系统脆弱性在区域尺度上要处理好资源开发、环境保护和人类福祉间的内在关系,为降低区域人地系统脆弱性,需要从稳定当地的人口,提升经济发展水平,保护生态环境,限制资源过度开发与利用,加强可持续资源综合管理等方面进行综合考虑(Sietz et al, 2011)。

如何科学地评价干旱区人地系统脆弱性,如何应对与调控地区脆弱性,是本文需要回答的问题。但由于受到资料获取的限制,只对2003-2013年期间的相关数据进行测算,今后有待进一步完善。同时,由于脆弱性具有一定的尺度依赖效应,本文仅采用单一尺度刻画西北地区脆弱性的分异规律,对结果的科学性有所影响。未来应关注西北地区不同尺度的人地系统脆弱性,从县域单元扩展到乡镇及社区的跨尺度脆弱性研究,以及地区脆弱性对恢复力的影响,并将西北地区县域脆弱性的应对与调控措施作为今后研究的重点方向。

参考文献(References)

- 陈佳, 杨新军, 尹莎, 等. 2016. 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, 71(7): 1172-1188. [Chen J, Yang X J, Yin S, et al. 2016. The vul-

- nerability evolution and simulation of the social: Ecological systems in the semi-arid area based on the VSD framework[J]. *Acta Geographica Sinica*, 71(7): 1172-1188.]
- 方创琳, 王岩. 2015. 中国城市脆弱性的综合测度与空间分异特征[J]. *地理学报*, 70(2): 234-247. [Fang C L, Wang Y. 2015. A comprehensive assessment of urban vulnerability and its spatial differentiation in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 70(2): 234-247.]
- 方修琦, 殷培红. 2007. 弹性、脆弱性和适应: IHDP 三个核心概念综述[J]. *地理科学进展*, 26(5): 11-22. [Fang X Q, Yin P H. 2007. Review on the three key concepts of resilience, vulnerability and adaptation in the research of global environmental change[J]. *Progress in Geography*, 26(5): 11-22.]
- 韩瑞玲, 佟连军, 佟伟铭, 等. 2012. 基于集对分析的鞍山市人地系统脆弱性评估[J]. *地理科学进展*, 31(3): 344-352. [Han R L, Tong L J, Tong W M, et al. 2012. Research on vulnerability assessment of human-land system of Anshan City based on set pair analysis[J]. *Progress in Geography*, 31(3): 344-352.]
- 李凤民, 徐进章, 孙国钧. 2003. 半干旱黄土高原退化生态系统的修复与生态农业发展[J]. *生态学报*, 23(9): 1901-1909. [Li F M, Xu J Z, Sun G J. 2003. Restoration of degraded ecosystems and development of water-harvesting ecological agriculture in the semi-arid Loess Plateau of China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 23(9): 1901-1909.]
- 刘学录, 任继周. 2002. 河西走廊山地—绿洲—荒漠复合系统耦合的景观生态学机制[J]. *应用生态学报*, 13(8): 979-984. [Liu X L, Ren J Z. 2002. Landscape ecological mechanism on system coupling of the meta-ecosystem consisted of mountain, desert and oasis in Hexi Corridor, Gansu, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 13(8): 979-984.]
- 刘毅, 黄建毅, 马丽. 2010. 基于DEA模型的我国自然灾害区域脆弱性评价[J]. *地理研究*, 29(7): 1153-1162. [Liu Y, Huang J Y, Ma L. 2010. The assessment of regional vulnerability to natural disasters in China based on DEA model [J]. *Geographical Research*, 29(7): 1153-1162.]
- 彭建, 王仰麟, 张源, 等. 2004. 滇西北生态脆弱区土地利用变化及其生态效应: 以云南省永胜县为例[J]. *地理学报*, 59(4): 629-638. [Peng J, Wang Y L, Zhang Y, et al. 2004. Land use change and its ecological effect in the ecotone of northwest of Yunnan Province, China: A case study of Yongsheng County[J]. *Acta Geographica Sinica*, 59(4): 629-638.]
- 田亚平, 向清成, 王鹏. 2013. 区域人地耦合系统脆弱性及其评价指标体系[J]. *地理研究*, 32(1): 55-63. [Tian Y P, Xiang Q C, Wang P. 2013. Regional coupled human-natural systems vulnerability and its evaluation indexes[J]. *Geographical Research*, 32(1): 55-63.]
- 王利平, 文明, 宋进喜, 等. 2016. 1961-2014年中国干燥度指数的时空变化研究[J]. *自然资源学报*, 31(9): 1488-1498. [Wang L P, Wen M, Song J X, et al. 2016. Spatial-temporal variation of aridity index during 1961-2014 in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 31(9): 1488-1498.]
- 杨新军, 张慧, 王子侨. 2015. 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*, 35(8): 952-959. [Yang X J, Zhang H, Wang Z Q. 2015. Vulnerability assessment of rural social-ecological system based on scenario analysis: A case study of Zhonglianchuan Town in Yuzhong County[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 35(8): 952-959.]
- 尹莎, 陈佳, 吴孔森, 等. 2016. 干旱环境胁迫下农户适应性研究: 基于民勤绿洲地区农户调查数据[J]. *地理科学进展*, 35(5): 644-654. [Yin S, Chen J, Wu K S, et al. 2016. Adaptation of farming households under drought stress: Based on a survey in the Minqin Oasis[J]. *Progress in Geography*, 35(5): 644-654.]
- 余中元, 李波, 张新时. 2015. 湖泊流域社会生态系统脆弱性时空演变及调控研究: 以滇池为例[J]. *人文地理*, 30(2): 110-116. [Yu Z Y, Li B, Zhang X S. 2015. Study of time-space evolution and control of vulnerability of lake basin social ecological system: A case of the Dianchi Lake[J]. *Human Geography*, 30(2): 110-116.]
- 张吉军. 2000. 模糊层次分析法(FAHP)[J]. *模糊系统与数学*, 14(2): 80-88. [Zhang J J. 2000. Fuzzy analytical hierarchy process[J]. *Fuzzy Systems and Mathematics*, 14(2): 80-88.]
- 张立新, 杨新军, 陈佳, 等. 2015. 大遗址区人地系统脆弱性评价及影响机制: 以汉长安城大遗址区为例[J]. *资源科学*, 37(9): 1848-1859. [Zhang L X, Yang X J, Chen J, et al. 2015. Vulnerability assessment and mechanism of human-land systems in the Han Dynasty Chang'an large relic area [J]. *Resources Science*, 37(9): 1848-1859.]
- 张强, 姚玉璧, 李耀辉, 等. 2015. 中国西北地区干旱气象灾害监测预警与减灾技术研究进展及其展望[J]. *地球科学进展*, 30(2): 196-213. [Zhang Q, Yao Y B, Li Y H, et al. 2015. Research progress and prospect on the monitoring and early warning and mitigation technology of meteorological disasters in Northwest China[J]. *Progress in Earth and Planetary Science*, 30(2): 196-213.]

- logical drought disaster in Northwest China[J]. *Advances in Earth Science*, 30(2): 196-213.]
- 赵东升, 吴绍洪. 2013. 气候变化情景下中国自然生态系统脆弱性研究[J]. *地理学报*, 68(5): 602-610. [Zhao D S, Wu S H. 2013. Responses of vulnerability for natural ecosystem to climate change in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 68(5): 602-610.]
- 赵雪雁, 刘春芳, 王学良, 等. 2016. 干旱区内陆河流域农户生计对生态退化的脆弱性评价: 以石羊河中下游为例[J]. *生态学报*, 36(13): 4141-4151. [Zhao X Y, Liu C F, Wang X L, et al. 2016. Assessment of the vulnerability of farmers' livelihoods to ecological degradation in arid regions of a continental river basin: A case study of the middle-lower reaches of the Shiyang River in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 36(13): 4141-4151.]
- Barbier E B. 2000. The economic linkages between rural poverty and land degradation: Some evidence from Africa[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 82(1-3): 355-370.
- Bardhan P. 2006. Globalization and rural poverty[J]. *World Development*, 34(8): 1393-1404.
- Birkmann J. 2007. Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications [J]. *Environmental Hazards*, 7(1): 20-31.
- Chang D Y. 1996. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP[J]. *European Journal of Operational Research*, 95(3): 649-655.
- Cheng J, Tao J P. 2010. Fuzzy comprehensive evaluation of drought vulnerability based on the analytic hierarchy process: An empirical study from Xiaogan City in Hubei Province[J]. *Hydrometallurgy*, 1(4): 126-135.
- Cumming G S, Barnes G, Perz S, et al. 2005. An exploratory framework for the empirical measurement of resilience[J]. *Ecosystems*, 8(8): 975-987.
- Frazier T G, Thompson C M, Dezzani R J. 2014. A framework for the development of the SERV model: A spatially explicit resilience- vulnerability model[J]. *Applied Geography*, 51: 158-172.
- Kwong C K, Bai H. 2003. Determining the importance weights for the customer requirements in QFD using a fuzzy AHP with an extent analysis approach[J]. *IIE Transactions*, 35(7): 619-626.
- Li L, Shi Z H, Yin W, et al. 2009. A fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) approach to eco-environmental vulnerability assessment for the Danjiangkou reservoir area, China [J]. *Ecological Modelling*, 220(23): 3439-3447.
- Luers A L, Lobell D B, Sklar L S, et al. 2003. A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico[J]. *Global Environmental Change*, 13(4): 255-267.
- Lüdeke M K B, Moldenhauer O, Petschel-Held G. 1999. Rural poverty driven soil degradation under climate change: The sensitivity of the disposition towards the Sahel Syndrome with respect to climate[J]. *Environmental Modeling and Assessment*, 4(4): 315-326.
- Metzger M J, Leemans R, Schröter D. 2005. A multidisciplinary multi-scale framework for assessing vulnerabilities to global change[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 7(4): 253-267.
- O'Brien K, Leichenko R, Kelkar U, et al. 2004. Mapping vulnerability to multiple stressors: Climate change and globalization in India[J]. *Global Environmental Change*, 14(4): 303-313.
- Portnov B A, Safriel U N. 2004. Combating desertification in the Negev: Dryland agriculture vs. dryland urbanization [J]. *Journal of Arid Environments*, 56(4): 659-680.
- Rahman N, Ansary M A, Islam I. 2015. GIS based mapping of vulnerability to earthquake and fire hazard in Dhaka City, Bangladesh[J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 13: 291-300.
- Rebotier J. 2012. Vulnerability conditions and risk representations in Latin-America: Framing the territorializing urban risk[J]. *Global Environmental Change*, 22(2): 391-398.
- Sietz D, Lüdeke M K B, Walther C. 2011. Categorisation of typical vulnerability patterns in global drylands[J]. *Global Environmental Change*, 21(2): 431-440.
- Turner II B L, Kasperson R E, Matson P A, et al. 2003. A framework for vulnerability analysis in sustainability science[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(14): 8074-8079.
- Vezina K, Bonn F, Van C P. 2006. Agricultural land-use patterns and soil erosion vulnerability of watershed units in Vietnam's northern highlands[J]. *Landscape Ecology*, 21(8): 1311-1325.

Spatiotemporal change of vulnerability in counties of northwest China

LU Daming¹, SHI Yuzhong¹, LI Wenlong^{1,2}, YANG Xinjun^{1*}

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China;

2. College of Resources and Environment Economy, Inner Mongolia Finance and Economics College,
Hohhot 010070, China)

Abstracts: As one of the most important scientific research propositions in the field of geographic studies, the research on coupled human- environment system has become an important part of the study of human-environment relationship and regional sustainable development. This study constructed a human-environment system evaluating model of vulnerability in counties of northwest China and its spatial and temporal change based on statistical data, meteorological data, remote sensing data, and spatial vector data in 2003, 2008, and 2013 for 316 counties and districts, using the fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) method and coefficient of variation analysis. The results show that: (1) Vulnerability index values of counties in the south are higher than in the north and the west higher than the east. The large and medium-sized cities have a significant impact on surrounding counties and have formed some low vulnerability circles centered around them. Meanwhile, these circles are gradually connected to become large scale low vulnerability areas. (2) The vulnerable levels of four subsystems in northwest China also reveal some regional differentiation patterns. The spatial pattern of vulnerability in social and economic subsystems is congregated and has changed significantly. The spatial pattern of vulnerability of resource-environment and support of policy subsystems tends to be fragmented and stable. (3) The vulnerability diversity of the human-environment system slowly increased in northwest China, the vulnerability diversity of social system first increased and then dropped, the vulnerability diversity of both the economic and the resource-environment systems tends to fall, and the policy support systems are significantly different and stable among different regions. (4) Under policy guidance and support, resource exploitation, economic development, environmental quality, and human wellbeing change becomes coupled, which influence social development and stability. Meanwhile, these two factors react upon economic development, environmental quality, resource exploitation, and policy making. This article deconstructs spatial and temporal changes in northwest China from the perspective of "vulnerability" and aims to provide a theoretical reference and practical application for socioeconomic development in northwest China.

Key words: human-environment system vulnerability; fuzzy analytic hierarchy process; regional differences; northwest China