

基于景观格局的陕北资源富集区生态脆弱性评价 ——以陕西省神木县为例

封建民, 郭玲霞, 李晓华

(咸阳师范学院 旅游与资源环境学院, 陕西 咸阳 712000)

摘要: [目的] 定量评价陕西省神木县生态脆弱性的空间差异, 为区域土地利用规划和环境保护提供依据。[方法] 选取景观分维数、破碎度、连通性和优势度、人类活动干扰强度、地形指数, 从生态系统压力度、敏感性和恢复力 3 个方面构建评价模型, 利用熵权法进行计算分析。[结果] 各生态系统中, 神木县林地的生态脆弱性最高、草地和耕地次之、水域和荒地最低; 22 个乡镇中, 店塔镇和永兴乡生态脆弱性最高, 大堡当和尔林兔镇最低。[结论] 神木县生态脆弱性空间差异大, 总体上由西向东、由南向北呈逐渐增大的趋势。景观分布格局、地形、矿区、居民点等人为干扰是影响生态脆弱性空间分异的主要原因。

关键词: 景观格局; 生态脆弱性; 神木县

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)04-0271-06

中图分类号: X826

DOI:10.13961/j.cnki.stbcb.20150906.001

Assession of Ecological Vulnerability in Resource Enrichment Areas of Northern Shaanxi Province Based on Landscape Pattern —A Case Study of Shenmu County in Shaanxi Province

FENG Jianmin, GUO Lingxia, LI Xiaohua

(College of Tourism and Resources & Environment, Xianyang Normal University, Xianyang, 712000, China)

Abstract: [Objective] Quantitative assessing the spatial difference of ecological vulnerability in Shenmu County of Northern Shaanxi Province in order to provide a support for land use planning and environmental protection. [Methods] Using landscape fractal dimension, fragmentation, dominance, connectivity, human disturbance intensity and topographic index, assessment model was developed from the aspects of ecological supporting pressure, ecosystem sensitivity, and ecological resilience, and entropy weight method was used. [Results] Among the various types of ecosystems, woodland had the highest ecological vulnerability, the grassland and farmland, while the water body and unused land had the lowest one. In the entire 22 towns, Dianta and Yongxing had the highest ecological vulnerability, while Dabaodang and Erlintu had the lowest one. [Conclusion] Ecological vulnerability showed gradually increasing trend from west to east, and from south to north. Moreover, land use pattern, topography, mining and settlement distribution were the major factors affecting the spatial pattern.

Keywords: landscape pattern; ecological vulnerability; Shenmu County

生态脆弱性是指生态系统自身的不稳定性及对外界干扰的敏感性^[1], 这种不稳定性及敏感性往往使系统在面对超过自身恢复能力的外界干扰时, 朝着不利于自身和人类开发利用的方向发展^[2]。自 20 世纪 80 年代以来, 生态脆弱性的研究成为宏观生态学研究热点问题^[3-4]。目前学术界普遍认为, 脆弱性是可度量的^[5-6], 并且与生态系统暴露、受干扰程度和自身适应性、敏感性、恢复力和稳定性等因素密切相关^[7-8]。景观空间格局指数高度浓缩了景观格局信

息, 包含了景观结构信息和景观类型对外界环境的响应特征, 因而可以准确地反映各景观类型的脆弱性。近年来, 国内外学者在区域生态环境脆弱评价方面开展了大量的研究。但值得注意的是, 在评价指标体系上没有统一标准, 多是以自然环境、社会经济等离散统计数据作支撑, 从自然、社会、经济和环境 4 个维度^[9], 或者自然和社会两个维度^[10]来建立评价指标体系; 在景观格局指数选取上, 一般从斑块、类型或景观 3 个层次出发, 选取破碎度、分维数、分离度等指数

收稿日期: 2014-06-13

修回日期: 2014-07-04

资助项目: 陕西省科技计划项目“陕北资源富集区工矿型荒漠化的遥感监测与发展趋势研究”(2011JM5015); 陕西省普通高等学校优秀学科建设项目(0602); 陕西省教育厅专项科研计划项目(14JK1800)

第一作者: 封建民(1972—), 男(汉族), 陕西省凤翔县人, 博士, 副教授, 主要从事环境遥感与土地利用。E-mail: feng_jianmin@aliyun.com。

来构建景观干扰度指数,用以表征人类活动的干扰强度^[11-12],而对不同景观格局指数所表征生态脆弱性的基本属性差异没有区分;在各指标权重赋值上则多采用 AHP 法,人为因素影响较大,难于客观反映个指标在评价指标体系中的贡献和重要程度。鉴于此,本研究参照已有的成果^[13],基于景观格局指数,从生态系统的状态、压力和响应 3 个方面出发构建脆弱性评价指标体系,用景观分维数倒数和人类活动干扰强度衡量生态系统压力度(P)、用景观破碎度和地形指数评价敏感度(S)、用景观连通性和优势度指数计算恢复力(R)、用 $P \cdot S/R$ 来评价各个生态系统的脆弱性。为了最大限度地克服人为因素的影响,客观地反映各个指标所含的信息量,真实地反映其重要程度和贡献,采用熵权法对各指标赋权重。

资源富集区指矿产资源高度集中的地区,一般来说,大多数资源富集区自然生态环境脆弱,在人类活动干扰下,生态脆弱问题较其他地区更突出。陕西省神木县是能源富集、生态脆弱的典型区域,在地貌、气候、植被、景观上均呈明显的过渡性特征,近 10 a 来随着城市化进程的加快和矿产开发力度的加大,生态系统受到严重的人为干扰,对神木县开展生态脆弱性研究具有必要性和典型性。本研究结果不仅能为神木县土地利用规划、区域生态环境保护和环境经济协调发展提供科学依据和决策参考,同时也对其他资源富集区生态脆弱性评价提供借鉴。

1 研究区概况

神木县位于陕西省北部,地处鄂尔多斯盆地东北部的黄土高原和毛乌素沙地过渡带,呈西北高、东南低的特点,海拔最高 1 448.7 m,最低 738.7 m,范围介于北纬 $38^{\circ}13'—39^{\circ}27'$,东经 $109^{\circ}40'—110^{\circ}54'$,面积约为 750 516 hm^2 ,属于中温带大陆性干旱、半干旱季风季候,气候特点是寒暑剧烈,气候干燥,灾害频发,四季分明;冬季漫长寒冷,夏季短促,温差大,多西北风,风沙频繁,无霜期短。该县下辖 22 个乡镇,人口 37.8 万,按照地形特点可分为 3 个区域,北部风沙草滩区包括大柳塔、尔林兔、大堡当、中鸡、孙家岔、麻家塔、店塔、瑶镇、西沟等乡镇;中部丘陵沟壑区包括神木、永兴、栏杆堡、谢家堡、高家堡、太和寨、花石崖、乔岔滩、瓦罗等乡镇;南部黄河沿岸土石山区包括马镇、沙峁、贺家川、万镇。神木县地域广阔,美丽富饶,蕴藏着丰富的煤炭、石英砂、岩盐、是由、天然气等数 10 种矿产资源,其中以煤炭资源微醉,该县储煤面积 4 500 km^2 ,探明储量 5.00×10^{10} t,占神府东胜煤田总储量的 1/5,可开采储量约 4.00×10^{10} t。目前该

县有煤矿 149 个,其中国有重点煤矿 13 个,国有地方煤矿 8 个,乡镇煤矿 128 个,已消耗储量 3.5×10^9 t。煤矿开发为当地的经济的发展做出了巨大的贡献,2011 年该县实现 GDP 达 771 亿元,同比增长的 27.4%,实现财政总收入 181 亿元,增长 37.7%,地方财政收入 45.3 亿元,增长 60%;2012 年生产原煤 2.03×10^8 t,同比增长 23.2%。但同时矿产开发也带来了环境污染、地下水位下降和地面塌陷等诸多环境问题,据统计每年排放二氧化硫 10 998 t,烟尘 32 270 t,粉尘 13 143 t,废水 1.12×10^6 t,近年来,矿区地下水位普遍下降了 2~3 m,10 余条地表径流断流,20 多个泉眼干枯,塌陷面积 27.72 km^2 。

2 研究方法

2.1 数据源及土地利用信息提取

以 2010 年 9 月 12 日分辨率为 5 m 的 Rapideye 影像、1:5 万地形图和 30 m 分辨率的 DEM 为基本数据源。基于野外考察观测资料,运用 ERDAS Imagine 2011 年遥感图像处理软件,在对影像进行几何校正、彩色合成、图像镶嵌处理的基础上,提取景观类型信息。景观类型的分类标准以 2007 年 8 月颁布的《土地利用现状分类》为基础,结合研究需要和神木县实际情况,将研究区土地利用类型归纳划分为耕地(水浇地和旱地)、林地(有林地和灌木林地)、草地、水域、建设用地、工矿用地、荒地(沙地和裸地)7 个类型。运用 ArcGIS 9.3 平台对 DEM 进行坡度提取,计算地形指数;采用缓冲区分析、叠置分析计算扰动指数;运用 Fragstats 3.3 软件计算景观格局指数。

2.2 脆弱性评价指标体系

参照已有的研究成果,从自然生态系统压力度(P)、敏感度(S)和恢复力(R)3 个方面构建脆弱性评价指标体系。生态压力度由分维数倒数和扰动指数来衡量。分维数反映景观形状的复杂程度和空间稳定程度,采用周长面积关系(FDI)进行计算,其值的大小与受干扰程度密切相关,一般来说,受干扰小的景观,其分数维值高,而受干扰大的景观分数维值低,故取分维数倒数来反映景观类型受干扰的程度,其值越高,表示干扰越强烈。扰动指数用来衡量人类活动对生态系统的影响。研究^[14]表明,人类活动对生态系统的影响程度与距离存在递减关系。以提取出的居民区、矿区为基础,设 300,600 和 1 000 m 这 3 个缓冲区,分别赋值 0.85,0.35 和 0.15,同时考虑累计影响,如果受到多个居民区或矿区不同程度的影响,则累加影响值。

生态敏感度由景观破碎度和地形指数来衡量。

其中景观破碎度(CI)是区域生态脆弱性评价中最常用的指标,是景观格局由连续变化的结构向斑块变化的过程的度量,景观破碎度越高,抗外界干扰能力越差,生态敏感性越高。地形指数主要考虑坡度 $>15^\circ$ 的区域面积比例,坡度 $>15^\circ$ 时地表处于亚稳定状态,当受到人类破坏,在流水和重力作用下极易加速侵蚀退化,因而地形指数越大,系统抗外界干扰能力越差,生态敏感性越高。

生态恢复力因子包括优势度和景观连通性指数。优势度采用最大斑块指数(LPI)衡量,LPI值越大,表示该类型景观抗外界干扰能力越强,即在相同压力的情况下,其恢复力越强。景观连通性采用II C(integral index of connectivity)指数衡量,并设定200 m的距离阈值。II C值越高,表示该类型生态系统中物质、能量流动越便利,生态系统越稳定,恢复力越强。

2.3 指标权重赋值

采用熵权法对各指标赋权值。熵权法是一种在

综合考虑各因素提供的信息量的基础上计算一个综合指标的数学方法,它可以最大限度地克服主观因素的影响,客观地反映各个指标所含的信息量,真实的反映其重要程度和贡献^[15]。为了消除量纲的影响,取各乡镇各地类各指标的值与22个乡镇该种地类该指标总和的比值进行标准化处理。在Excel软件中运用熵权法计算各指标的权重(表1)。由表1可知,从生态压力度指标来看,分维数倒数影响最大的是水体,其次为荒地,对耕地的影响最小;而居民地和矿区对耕地、草地和林地的影响明显高于水体和荒地,这可能是由于在经济发展过程中,这3类用地最容易被侵占而向其他用地转化。从生态敏感性指标来看,景观破碎度对荒地的影响最大,对草地的影响次之,对耕地的影响最小;而地形指数则相反,对耕地的影响最大,对荒地的影响最小。从生态恢复力来看,景观连通性指数对草地和水体的影响较大,对林地的影响最小;而林地的优势度权重值最大。

表1 神木县生态系统脆弱性评价指标及权重

标价指标		耕地	草地	林地	水体	荒地
生态压力度	分维数倒数	0.120 6	0.153 7	0.130 1	0.350 5	0.278 8
	干扰强度	0.879 4	0.846 3	0.869 9	0.649 5	0.721 2
生态敏感度	破碎度	0.085 8	0.452 1	0.332 4	0.364 7	0.476 1
	地形指数	0.914 2	0.547 9	0.667 6	0.635 3	0.523 9
生态恢复力	连通性	0.172 7	0.301 7	0.111 9	0.278 3	0.185 8
	优势度	0.827 3	0.698 3	0.888 1	0.721 7	0.814 2

2.4 生态脆弱性指数(CVI)

生态脆弱性是压力度,敏感度和恢复力的函数,随敏感性和压力度的增大而增大,随恢复力的增大而减小,其评价模型^[16]为:

$$CVI = P \times S / R \quad (1)$$

式中:CVI——生态系统类型的生态脆弱性指数;P——生态压力度;S——生态敏感度;R——生态恢复力。

利用景观类型脆弱性指数和景观类型面积的比重来计算区域生态脆弱性指数(RVI),计算公式为^[17]:

$$RVI = \sum \frac{A_i}{A} CVI \quad (2)$$

式中:RVI——各乡镇的自然生态系统脆弱性; A_i ——各乡镇各生态系统类型面积及其所在乡镇生态系统的总面积。

3 结果与分析

3.1 景观类型的生态脆弱度

根据各个乡镇的生态脆弱性计算结果(表2),综

合分析研究区各景观类型脆弱度排序为:林地 $>$ 草地 $>$ 耕地 $>$ 水体 $>$ 荒地。表明林地和草地景观稳定性不强,对外界干扰反映敏感,恢复力差,在受到外界干扰后发生退化的机率大。其中林地面积 $1.54 \times 10^5 \text{ hm}^2$,主要分布在中部丘陵区 and 南部山区,受地形分割影响,连通性较差,且长期过度的人为影响,林地退化严重,系统的生态稳定性大幅度下降,因此成为全县脆弱性最大的景观类型。

从区域上来看,北部风沙草滩区受矿产开发的影响,扰动指数和破碎度较大,而连通性差,因而脆弱性远大于中部和南部。各乡镇中,孙家岔镇脆弱性最高,马镇最低。孙家岔镇林地景观破碎度和扰动指数最大(分别为0.70和0.45),连通性和优势度最小,恢复力为各乡镇中最小。马镇林地斑块少,分布在地形陡峭的山区,受人类活动干扰较小,压力度最低,恢复力最强;但从敏感性因子来分析,受地形影响最大,敏感性最高,表明受到外界干扰极易发生退化,因而有必要采取措施严格限制开发,以确保该区域生态环境的良性发展。

表 2 神木县各乡镇生态脆弱度

景观类型	扰动指数							等级
	乡镇	耕地	草地	林地	水体	荒地	区域	
风沙草滩区	大柳塔	0.002 5	0.051 8	0.521 9	0.253 6	0.004 2	0.058 0	3
	中鸡	0.019 2	0.003 3	0.444 8	0.005 3	0.017 0	0.039 4	3
	尔林兔	0.000 4	0.012 0	0.252 4	0.000 0	0.000 9	0.014 9	5
	孙家岔	0.099 7	0.014 3	0.871 6	0.116 0	0.026 8	0.088 5	2
	店塔	0.187 9	0.088 2	0.132 1	0.041 0	0.316 4	0.140 3	1
	麻家塔	0.043 0	0.006 2	0.452 4	0.139 6	0.012 0	0.047 7	3
	瑶镇	0.003 7	0.076 1	0.249 1	0.020 5	0.000 6	0.040 6	3
	大堡当	0.001 3	0.028 9	0.136 8	0.054 5	0.000 3	0.011 7	5
	西沟乡	0.039 6	0.040 0	0.086 9	0.137 4	0.019 2	0.046 6	3
	加权平均	0.022 8	0.031 3	0.313 5	0.029 4	0.014 0	0.046 2	
丘陵沟壑区	永兴	0.169 7	0.243 1	0.027 8	0.015 0	0.234 9	0.122 1	1
	栏杆堡	0.068 8	0.078 2	0.006 2	0.548 2	0.295 1	0.043 8	3
	神木镇	0.032 9	0.045 8	0.111 9	0.034 3	0.204 0	0.084 4	2
	瓦罗	0.023 7	0.082 3	0.013 3	0.172 2	0.329 3	0.054 4	3
	谢家堡	0.064 5	0.006 5	0.064 4	0.897 7	0.118 9	0.043 5	3
	高家堡	0.026 0	0.015 6	0.045 4	0.005 2	0.011 4	0.022 7	4
	太和寨	0.030 9	0.325 3	0.021 2	—	0.695 6	0.098 3	2
	乔岔滩	0.012 9	0.014 3	0.025 9	0.013 0	0.072 1	0.021 7	5
	花石崖	0.046 4	0.037 9	0.010 4	0.307 1	0.416 6	0.035 0	4
加权平均	0.045 6	0.062 0	0.026 6	0.051 1	0.101 7	0.050 6		
黄河沿岸 土石山区	马镇	0.011 6	0.047 8	0.005 7	0.013 0	0.155 3	0.026 9	4
	沙峁乡	0.018 2	0.063 5	0.011 3	0.047 4	0.171 8	0.034 6	4
	贺家川	0.015 1	0.015 1	0.053 4	0.006 0	0.090 4	0.026 5	4
	万镇	0.009 7	0.013 4	0.142 0	0.020 2	0.304 5	0.068 8	3
	加权平均	0.013 5	0.029 6	0.036 6	0.017 2	0.232 4	0.043 1	
全县加权平均	0.032 4	0.040 1	0.089 8	0.029 5	0.029 2	0.047 0		

草地是神木县面积最大的用地类型,总面积为 302 263.9 hm²,占该县面积的 41%,主要分布于北部风沙草滩区,受气候条件限制,基本为干旱草原,植被覆盖度低,且近 20 a 来受过度放牧等因素的影响,草地退化严重,因此其脆弱性也较强。从区域上来看,中部丘陵沟壑区地形破碎,草地景观被分割强烈,破碎度和地形指数较大,而连通性差,因而脆弱性大于北部和南部。各乡镇中,太和寨乡脆弱性最高,中鸡镇最低。太和寨乡景观破碎度最大,为 0.92,优势度最小,仅为 0.56,恢复力为各乡镇中最小。中鸡镇位于神木县最北部,地形平坦,海拔较低,是主要的牧区,草地面积 29 351 hm²,占全镇面积的 60%,因而其连通性最高,地形指数和破碎度最低。

耕地总面积占全县面积的 9%,空间上分布较为均匀,北部主要为水浇地,中部和南部主要为山旱地,但中部丘陵区耕地分布最为密集,且受地形影响,破碎度大,连通性差,因而脆弱性大于北部和南部。22 个乡镇中,店塔镇脆弱性最高,尔林兔镇最低。从扰动指数来看,店塔镇耕地生态系统受人为干扰较为严

重,景观优势度表明其生态恢复力差,这主要是由于在煤矿开发中对耕地破坏严重,加上粗放式的管理利用,对耕地缺乏有效的保护措施所致。尔林兔镇耕地连片分布,基本为水浇地,地形指数和破碎度最小,优势度指数表明其恢复力较高,因而脆弱性低。各乡镇耕地生态系统中,大柳塔镇的自然度最高,压力度最小,尔林兔镇敏感性最低,恢复力最佳。

神木县水域较少,面积仅有 7 695.022 hm²,占该县面积的 1.02%,空间上分布较为均匀。但北部水域主要以湖泊和河流为主;南部基本为河流;而中部多为水库,受人为影响较大,破碎度高,连通性和优势度低,因而脆弱性大。各乡镇中尔林兔镇水体的生态脆弱性最低,谢家堡乡最高。尔林兔镇仅有 20 个水域斑块,基本为陕西省最大的淡水湖—红碱淖,形态较为完整,扰动指数最小,破碎度和地形指数亦为最低,因此其生态压力度和敏感度最低;而连通性和优势度显示其恢复力最强。值得注意的是,北部的大柳塔、孙家岔、店塔、麻家塔、永兴、神木等乡镇受煤矿开发影响大,扰动指数都在 0.085 以上,大于其他乡镇 3

倍以上。采矿会侵占水域,或者引起地面沉降甚至塌陷,对地表水和地下水造成一定的威胁;采矿排放的砷、硫、磷等会对水域造成严重污染。因而在这些乡镇对水域的保护至关重要。

荒地 $2.04 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 约占该县总面积的 27%, 空间上连片分布于西北部, 南部仅有零星分布, 因而连通性和优势度较大, 虽然生态敏感性极强, 但由于环境恶劣难于开发利用, 受人类活动影响较小, 扰动指数和分维数倒数显示其生态压力性低, 自然度较高, 总体上脆弱性较低。从区域上来看, 中部和南部的荒地大多为退耕出的裸地, 形状规则, 破碎度和地形指数大, 优势度低, 而北部的荒地基本为连片分布的沙地, 压力度和敏感度低, 连通性好, 因而中部和南部的脆弱性远大于北部。22 个乡镇中大堡当生态脆弱性最小, 太和寨最大, 而大柳塔压力度最大, 沙峁镇敏感性最强, 栏杆堡的恢复力最差。

3.2 生态脆弱的空间差异

各乡镇的区域生态系统脆弱性指数中, 店塔镇和永兴乡最高、大堡当镇最低。其中店塔镇和永兴乡的林地占 28.41% 和 54.58%, 草地占 49.67% 和 30.71%, 林草植被处于绝对优势, 对其生态系统脆弱性影响较大, 大堡当镇 65.22% 为连片分布的沙地; 店塔镇和永兴乡采矿和建设用地分别占 4.87% 和 3.13%, 而大堡当镇仅占 0.91%。对于店塔镇和永兴乡等生态脆弱性较高的乡镇, 需要重点保护其生态脆弱性较高的用地类型, 如店塔镇的耕地、林地, 永兴乡的草地、林地, 通过退耕后及时恢复林草植被, 合理开发利用等保护措施, 提高区域生态系统的完整性和稳定性, 降低其生态脆弱性, 保证整个生态系统健康运行。为了更加直观的显示生态脆弱性的空间差异, 将计算出的各乡镇生态脆弱性指数在 ArcGIS 中, 按照 Natural Breaks 方式将生态脆弱性分为 5 个等级(图 1)。由图 1 可以看出, 生态脆弱性在空间上相间分布, 由西向东、由南向北呈现逐渐增强的趋势, 从面积上来看, 3 级脆弱区范围较大, 占 47.05%, 5 级和 4 级脆弱区次之, 分别占 19.94% 和 16.70%, 1 级和 2 级脆弱区较少, 分别占 6.95% 和 9.37%。从区域上来看, 生态脆弱性由大到小排序为: 丘陵沟壑区 > 风沙草滩区 > 黄河沿岸土石山区。其中黄土丘陵沟壑区属于 I 级脆弱区的面积占 8.65%, II 级占 12.46%, III 级占 41.7%, 其余为 IV 级和 V 级脆弱区。丘陵沟壑区地势西北高, 东南低, 土地利用以林地和草地为主, 耕地占全县耕地总面积的 50% 以上, 地貌上以丘陵为主, 水力侵蚀强烈, 地形破碎, 人类向山要地, 砍伐、放牧等人为干扰强烈, 尽管没有矿产开采, 但整体

上景观破碎度高, 连通性差, 在 5 类生态系统中荒地和草地的生态脆弱性最高, 林地最低。因此丘陵沟壑区应减少对草地的开采、破坏, 合理控制退耕规模, 退耕地应尽快恢复林草植被, 提高土地利用的有效性。风沙草滩区 III 级脆弱区面积最大, I 级和 II 级脆弱区比例小于丘陵沟壑区。风沙草滩区地势较高, 地形波状起伏较为平坦, 风力侵蚀强烈, 土地利用已沙地和草地为主, 该区处于神府煤田腹地, 矿点均匀分布于东部乡镇, 人类活动干扰最为强烈, 在五类生态系统中荒地的生态脆弱性最低, 林地最高。因此在矿产开发过程中加强对林地的保护显得尤为重要。黄河沿岸土石山区 IV 级脆弱区所占比重最大, 达 71.45%, III 级脆弱区占 28.55%, 没有 I 级和 II 级脆弱区, 因而整体脆弱性在 3 个区域最低。该区人类活动干扰较小, 景观上以自然生态系统为主, 林地和草地占 78.42%。

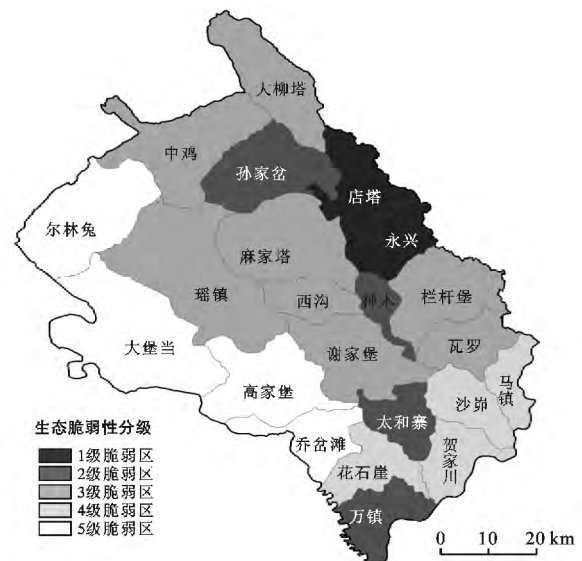


图 1 神木县各乡镇生态系统脆弱性空间差异

4 结论与讨论

(1) 各景观类型生态脆弱性表明, 神木县林地的生态脆弱性最高, 草地和耕地次之, 水域和荒地最低。在今后的土地资源利用中, 需要重点保护脆弱性较高的用地, 如大柳塔、中鸡、孙家岔和麻家塔镇的林地, 太和寨和永兴乡的草地, 以及店塔和永兴乡的耕地等, 以降低整个区域生态系统的脆弱性, 提高其稳定性。

(2) 区域生态脆弱性显示, 22 个乡镇中, 店塔镇和永兴乡生态脆弱性最高, 大堡当和尔林兔镇最低。从区域上表现为: 生态脆弱性中部丘陵沟壑区 > 北部风沙草滩区 > 南部黄河沿岸土石山区, 其中风沙草滩

区林地的生态脆弱性最高,荒地的脆弱性最低;丘陵沟壑区和黄河沿岸土石山区的荒地脆弱性最高,而林地和耕地的脆弱性较低。各乡镇在开发过程中应尽量减小人类活动对生态系统的干扰,降低生态敏感性,增强其恢复力,从而降低其生态脆弱性。

(3) 本研究仅从人类活动影响、景观指数和地形因素方面估算生态压力度、敏感性和恢复力,并未考虑气候因素,也没有考虑各生态系统自身的敏感性和恢复力的不同,因而对于气候条件相对恶劣、沙地广布的西部和北部各乡镇,有可能导致计算出的生态脆弱性指数偏低;同时在对生态脆弱性进行阈值划分时仅采用自然阈值划分,因而生态脆弱性的空间差异仅有相对意义。在今后的应用中可以根据各地区的实际情况对评价指标进行调整,如加入气候因子、土壤沙化因子、各生态系统自身的抗干扰能力等;在对生态脆弱性进行等级划分时,要根据研究区景观类型特征,科学的设置阈值。

[参 考 文 献]

- [1] 邱彭华,徐颂军,谢跟踪,等. 基于景观格局和生态敏感性的海南西部地区生态脆弱性分析[J]. 生态学报, 2007, 27(4): 1257-1264.
- [2] 刘晶,刘学录,侯莉敏. 祁连山东段山地景观格局变化及其生态脆弱性分析[J]. 干旱区地理, 2012, 35(5): 795-804.
- [3] Tixier J, Dandrieux A, Dusserre G, et al. Environmental vulnerability assessment in the vicinity of an industrial site in the frame of ARAMIS European project[J]. Journal of Hazardous Materials, 2006, 130(3): 251-264.
- [4] 吴健生,宗敏丽,彭建. 基于景观格局的矿区生态脆弱性评价:以吉林省辽源市为例[J]. 生态学杂志, 2012, 31(12): 3213-3220.
- [5] 张笑楠,王克林,张伟,等. 桂西北喀斯特区域生态环境脆弱性[J]. 生态学报, 2009, 29(2): 749-757.
- [6] Birkmann J. Measuring vulnerability to natural hazards Tokyo [M]. US: United Nations University Press, 2006.
- [7] 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, 30(7): 920-929.
- [8] 喻鸥,阎建忠,张镜铨. 区域气候变化脆弱性综合评估研究进展[J]. 地理科学进展, 2011, 30(1): 27-34.
- [9] 石青,陆兆华,梁震,等. 神东矿区生态环境脆弱性评估[J]. 中国水土保持, 2007(8): 24-26.
- [10] 顾康康,刘景双,王洋,等. 辽中地区矿业城市生态系统脆弱性研究[J]. 地理科学, 2008, 28(6): 759-764.
- [11] 卢远,苏文静,华瑾. 基于景观格局和生态敏感性的左江流域生态脆弱性分析[J]. 水土保持研究, 2011, 18(3): 78-82.
- [12] 王丽婧,席春燕,付青,等. 基于景观格局的三峡库区生态脆弱性评价[J]. 环境科学研究, 2010, 23(10): 1268-1273.
- [13] 孙平军,修春亮. 基于 PSE 模型的矿业城市经济发展脆弱性研究[J]. 地理研究, 2011, 30(2): 301-310.
- [14] 曹运江,宋伟,冯少真,等. 贵州广致煤矿矿山环境影响范围与程度界定研究[J]. 湖南科技大学学报:自然科学版, 2010, 25(3): 36-41.
- [15] 贾艳红,赵军,南忠仁,等. 基于熵权法的草原生态安全评价:以甘肃牧区为例[J]. 生态学杂志, 2006, 25(8): 1003-1008.
- [16] 孙平军,修春亮,王忠芝. 基于 PSE 模型的矿业城市生态脆弱性的变化研究:以辽宁阜新为例[J]. 经济地理, 2010, 30(8): 1354-1359.
- [17] 黄莹,包安明,刘海隆,等. 基于景观格局的新疆生态脆弱性综合评价研究[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(3): 261-266.