

基于区统计方法的石羊河流域土地生态敏感性评价

魏伟¹, 石培基¹, 周俊菊¹, 雷莉², 魏晓旭¹, 颀斌斌³

(1. 西北师范大学 地理与环境科学学院, 兰州 730070; 2. 甘肃省水利厅 石羊河流域管理局, 甘肃 武威 733000; 3. 兰州城市学院 城市经济与旅游文化学院, 兰州 730070)

摘要:以石羊河流域为研究区,以遥感数据为基础数据源,采用 ArcGIS 区统计方法进行土地生态敏感性评价,通过构建石羊河流域水土流失、土壤盐渍化、土壤沙漠化、生物多样性四个定量评价指标,利用栅格叠置分析方法定量研究了石羊河流域土地敏感性特征,生态敏感性等级及影响因素。研究结果表明,极敏感和高敏感区占到了全流域总面积的 74.68%,低度敏感区和不敏感区分别占石羊河流域总面积的 10.59% 和 0.88%。最后,针对石羊河流域土地生态敏感性分区的特点,通过综合研究结果和相关资料提出了环境保护和生态建设的相关对策,为指导石羊河流域生态治理提供科学依据。

关键词:土地生态敏感性; ArcGIS; 区统计; 石羊河流域

中图分类号: Q149

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)06-0240-05

Land Ecological Sensitivity Evaluation of Shiyang River Basin Based on Zonal Statistics

WEI Wei¹, SHI Peiji¹, ZHOU Junju¹, LEI Li², WEI Xiaoxu¹, XIE Binbin³

(1. College of Geographical and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

2. Management Bureau of Shiyang River Basin, Gansu Provincial Department of Water Resources, Wuwei,

Gansu 733000, China; 3. School of Urban Economics and Tourism Culture, Lanzhou City University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Shiyang River basin was chose as the study area, on the basis of remote sensing data sources, ArcGIS zonal statistical method was adopted to improve the land ecological sensitivity evaluation through building the water loss, soil erosion, soil salinization, desertification and soil biodiversity as quantitative evaluation indexes. The land sensitivity characteristic and influence factors of Shiyang River basin were analyzed using raster overlay analysis. The results show that the extremely and highly sensitive area of the basin accounts for 74.68% of total area; the low sensitivity and insensitivity area accounts for 10.59% and 0.88% of total area, respectively. Finally, in view of the characteristics of land ecological sensitivity division of Shiyang River basin, some policies are proposed according to the research results and other materials in order to provide some scientific evidences for ecological management of Shiyang River basin in the future.

Keywords: land ecological sensitivity; ArcGIS; zonal statistics; Shiyang River basin

生态敏感性是指生态系统对自然环境变化和人类活动干扰的反映程度,说明发生区域生态环境问题的难易程度和可能性大小^[1]。生态敏感性评价实质上是对现状自然环境背景下的潜在生态问题进行明确辨识,并将其落实到具体空间区域上的过程^[2]。目前,随着 GIS 技术的发展,利用 GIS 空间分析功能定量计算区域生态敏感性已经成为生态研究领域不可或缺的方法,如张伟等^[3]利用 GIS 方法,以湖北省谷城县为例研究了山地城市生态敏感性,并对其敏感性做了分区;李德旺等^[4]将 GIS 空间叠置方法与层

次分析法相结合,研究了大尺度范围的长江上游生态敏感性,生成了生态敏感性分区图;张朝琼等^[5]利用 GIS 技术,以贵州省仁怀市为研究对象,运用单因子敏感性评价和综合敏感性评价两种方法,选择土地利用、高程、坡度、水系、地质灾害作为评价因子,对仁怀市生态敏感性及其空间分布进行了研究。凌焕然等^[6]利用 3S 技术对马鞍山市江心洲进行生态敏感性分析,选择有代表性的生态影响因子,结合相应的评价标准,最终将敏感性分为 5 级。总体来看,在研究区域选择上,对生态敏感性的评价主要以大尺度范围

为主,以城市或固定的行政界线为研究区,而在研究方法上,主要以 GIS 空间分析法和各类权重确定方法相结合为主要手段。但目前,对于小流域土地综合敏感性的认识不足,少有的研究也主要限于调查数据和定性为主,利用 GIS 空间叠置功能,将诸多因素综合考虑,利用定量模型手段评价生态敏感性的研究尚不多见^[7]。因此本研究试图利用 GIS 分析方法,借助遥感数据,综合分析流域土地生态敏感变化情况,定量分析生态敏感性的特征和分区,以期为流域治理和生态恢复提供依据。

1 研究区概况

石羊河流域位于甘肃省河西走廊东部,祁连山北麓,介于 101°22′—104°16′E,36°29′—39°27′N^[8]。属河西走廊三大内陆河流域之一,流域行政区划包括武威市的凉州区、古浪县、民勤县全部及天祝县部分地区,金昌市的永昌县及金川区全部及张掖市肃南裕固族自治县,共 3 市 7 县(区),面积约 41 600 km²。截止 2013 年,流域内总人口约 248.0 万人^[9]。该流域地势南高北低,自西南向东北倾斜,且深居大陆腹地,属大陆性温带干旱气候,太阳辐射强,日照充足,夏季短而炎热,冬季长而寒冷,温差大,降水少,蒸发强烈,空气干燥。流域内土壤、植被类型分布因受气候、水文和地形等自然条件的影响,形成了明显的土壤—植被垂直带谱^[10]。

2 数据源及方法

2.1 数据源

主要数据包括 2013 年石羊河流域 Landsat/ETM+遥感影像,空间分辨率为 30 m,石羊河多年平均降水(包括年降水和月降水)和气温资料、石羊河流域 DEM 30 m×30 m,2013 年石羊河土地利用现状图、石

羊河土地沙化图以及石羊河流域基础地理信息数据等。以上数据主要来源于石羊河流域数据集,在原始数据的基础上,对部分统计资料进行了归并和综合处理。本次研究主要利用 GIS 空间分析技术和栅格计算技术,以 ArcGIS 10.0 和 Erdas 9.1 为数据处理平台。

2.2 评价方法

2.2.1 评价因子选取 本研究在对石羊河流域诸多地理生态环境问题综合分析的基础上,在明确流域生态环境敏感性的分布特征的基础上。通过调查研究和相关资料查阅,得知水土流失、土地沙漠化问题是石羊河流域主要的生态环境问题^[8-9],因此,在进行生态敏感评价指标选择中本研究考虑选用水土流失、土壤盐渍化和土地沙漠化及生物多样性问题等 4 项评价因子对石羊河流域土地生态敏感性进行综合评价。

2.2.2 单因子评价

(1) 水土流失敏感性指数(N_1)。主要参考水土流失通用方程(USLE),综合考虑降水、坡度、地表植被和土地利用四大因子。在利用降水量数据时考虑雨季降水量,石羊河地区降水主要集中在 7—9 月三个月,因此降水因子采用石羊河多年 7—9 月份平均降水量和石羊河 24 h 最大降水平均值来表征。坡度(Slope)利用 DEM 数据在 GIS 的空间分析功能模块下直接生成,NDVI 通过遥感数据计算获得,土地利用数据通过遥感数据进行目视解译获得。 N_1 的计算公式如下:

$$N_1 = p \times p_m \times s \times v \times l \tag{1}$$

式中: p ——石羊河多年 6—9 月份平均降水量; p_m ——石羊河 24 h 最大降水量; s ——坡度; v ——NDVI; l ——土地利用;各因子通过赋值后利用栅格计算得到水土流失敏感性空间分布图(附图 3),以 ArcGIS 的 Natural Break 法将计算出的 N_1 值分为五级,分别表示不同等级的生态敏感程度^[11]。各评价因子分级赋值如表 1 所示。

表 1 水土流失敏感性指数因子及赋值

赋值等级	1	2	3	4	5
p	115~247 mm	247~384 mm	384~563 mm	563~771 mm	771~1202 mm
p_m	51~61 mm	61~76 mm	76~95 mm	95~117 mm	117~168 mm
s	0~4°	4°~11°	11°~19°	19°~29°	>29°
NDVI	-0.99~-0.45	-0.45~-0.07	0.07~0.31	0.31~0.69	0.69~0.99
土地类型	未利用土地	建设用地	耕地	草地、水域	林地
敏感程度	不敏感	低敏感	中敏感	高敏感	极敏感

(2) 土壤盐渍化(盐碱化)敏感性指数(N_2)。利用经过几何校正和辐射定标后的 Landsat/ETM+反射率数据反演盐分指数(SI)和归一化差值植被指数(NDVI)。

$$SI = \sqrt{\rho_1 \times \rho_3} \tag{2}$$

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \tag{3}$$

式中:SI——盐分指数;NDVI——归一化差值植被指数; ρ_1, ρ_3, ρ_4 ——Landsat/ETM+相应波段反射率值。这里我们采用王飞等^[12]建立的盐渍化遥感监测模型(Salinization Detection Index,简称 SDI),其表

达式为:

$$N_2 = \sqrt{(\text{NDVI}-1)^2 + \text{SI}^2} \quad (4)$$

式中 N_2 ——盐渍化遥感监测指数。将监测指数利用 NaturalBreak 法进行分级,最终得到土壤盐渍化敏感性空间分布图(附图 4),用于计算土地生态敏感性。

(3) 土地沙漠化敏感性指数(N_3)。在石羊河流域土地沙化现状分布图(. SHP)和石羊河沙漠类型分布图的基础上进行综合,沙漠化程度高,表明对土地沙漠化生态指示最敏感,绿洲边缘与沙漠过渡带对沙漠化指示也很敏感^[13]。根据这一原理,将其分别划分为极敏感和高敏感区,其他类别根据对生态敏感程度依次进行分级,最后形成全流域土地沙漠化敏感性空间分布图(附图 5),参与最终评价。

(4) 生物多样性敏感性指数(N_4)。利用能够较好反映植被原生状态和植被生长状况的归一化植被指数(NDVI)(仅取 0~1 值)反映生态环境的原生状

态保持程度和植被生长状况^[14],利用石羊河流域植被覆盖指数情况表征生物多样性保护中的敏感程度,根据此值将其划分为 5 个等级(附图 6)。NDVI 的计算公式同(3),植被覆盖指数计算公式如下:

$$N_4 = \frac{\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\text{soil}}}{\text{NDVI}_{\text{veg}} - \text{NDVI}_{\text{soil}}} \quad (5)$$

式中: N_4 ——生物多样性敏感指数; $\text{NDVI}_{\text{soil}}$ ——完全是裸土或无植被覆盖区域的 NDVI 值; NDVI_{veg} 则代表完全由植被所覆盖像元的 NDVI 值;即纯植被像元的 NDVI 值。

通过上述方法得到土地生态敏感性评价因子后,将上述四种敏感性指数栅格图在 ArcGIS 中依据等距离百分位法自然分类(Natural Breaks (Jenks))进行重分类,在参考相关文献的基础上^[7-8,11],将其分为 5 类,以此生成土地综合生态敏感性分级表(表 2)在 ArcGIS 中进行重分类处理,然后分别赋予不同的等级值。

表 2 石羊河流域土地生态敏感性因子分级表

相关因子	极敏感性	高敏感性	中敏感性	低敏感性	不敏感性
N_1	0.11~1.01	-0.16~0.11	-0.57~-0.16	-1.36~-0.57	-3.78~-1.36
N_2	0.80~1.13	0.56~0.80	0.46~0.56	0.33~0.46	0~0.33
N_3	50~67	41~50	31~41	21~31	≤20
N_4	0.697~0.999	0.321~0.697	0.084~0.321	0~0.084	≤0
分级赋值	5	4	3	2	1

2.2.3 综合评价

(1) 评价各单因子权重的确定。通过计算和评价单因子敏感性在空间的分异,最后将所有参与评价的因子进行综合,采用综合评价法得出最后结果。本研究采用变异系数法确定各个因子的权重,此公式表达如下^[15]:

$$R = \frac{A}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{D/\bar{x}}{\sum_{i=1}^n (D_i/\bar{x}_i)} \quad (6)$$

式中: R ——评价因子权重; A ——评价因子变异系数; D ——评价因子标准差; \bar{x} ——评价因子均值; i ——评价因子数; $i=1,2,3,4$ 。计算过程和结果见表 3。

(2) 评价结果。对影响土地生态综合敏感性的所有因子进行加权求和,得到各评价单元的综合土地生态敏感性指数。计算公式如下:

$$Z = \sum_{i=1}^n R_i T_i \quad (7)$$

式中: Z ——综合土地生态敏感性指数; R_i ——四项因子归一化权重系数; T_i ——评价因子指数^[16-17]。

利用 ArcGIS 的重分类方法将土地生态的综合敏感性指数分为五级,最后得到石羊河流域土地生态综合敏感性空间分布图(附图 7),将空间分布图不同

生态敏感性等级进行面积统计,分别分析不同等级的空间分布特征。分类标准和统计结果见表 4。

表 3 利用变异系数法确定的各因子所占权重表

评价因子	水土 流失	土壤 盐渍化	土地 沙漠化	生物 多样性
平均值 X	2.35	0.54	3.84	0.12
标准差 D	1.38	0.11	1.33	0.23
变异系数 A	0.59	0.21	0.35	1.99
归一化权重 R	0.19	0.07	0.11	0.63

3 结果与分析

3.1 水土流失敏感性分析

石羊河流域自然条件较差,太阳辐射强,温差大,干旱少,蒸发强,流域从上游到下游海拔落差大,气候差异也很明显。南部祁连山区海拔 4 000 m 以上,年降水量 500 mm 左右,这里是石羊河流域主干河发源地,水源丰沛,土地主要为常年积雪和冻土,山高水大,水土流失也最为严重,且对生态也最为敏感;中游地区平均海拔 1 600 m,年降水量 150~300 mm,这里为主要的农业生产区,有武威绿洲和昌宁盆地两大人口聚集区,很多绿洲边缘与荒漠相接,为水土流失

高敏感区;下游地区海拔1 200~1 500 m,主要地区为民勤绿洲及边缘两大沙漠地带,这里干旱少雨,年降水不足150 mm,年蒸发量缺大于2 000 mm,这里常年干旱,地形多为沙漠平地,水土流失较少,对生态敏感性也最弱,在此研究中根据分类等级,主要为中敏感区。总体来看,恶劣的气候条件是石羊河生态环境恶化的重要原因,土壤侵蚀和水土流失则是其具体表现。由于全流域大部分地区地表植被分布稀疏,地表土壤侵蚀主要为风力和地表径流侵蚀。

3.2 土壤盐渍化敏感性分析

为系统评价该区土壤盐渍化的敏感性,本研究选择了盐分指数(SI)和归一化植被指数(NDVI)两项指标进行综合评价。石羊河土壤盐渍化敏感性表现出明显的空间差异(附图4):流域土壤盐渍化敏感性以北、西北、东、东北为最敏感,这些区域蒸发量与降水量比值大,土壤类型单一,一旦出现盐渍化现象,会很快蔓延至绿洲边缘,因此这些地方土壤盐渍化敏感性最强,面积也最大,占到全流域总面积的64.2%,西南及南部敏感性稍缓和,这些地方常年积雪,并且为祁连山水源涵养林主林区,盐渍化现象不明显,面积为3 180.20 km²,占总面积的7.64%。在凉州区和永昌县西北部的大部分地区表现为中度敏感区,面积达到5 238.6 km²。这些地方也为主要的农业区,在土壤盐渍化的预防和治理中,应重点关注水土资源的科学使用,大力倡导节水灌溉,减少人为对土壤结构的破坏,提倡使用无害化肥料,防止因为人为开发活动加剧自然盐渍化过程。

3.3 土地沙漠化敏感性分析

从土地沙漠化敏感性空间分布(附图5)上可看出,以民勤绿洲和无为绿洲为中心的周边大片沙漠戈壁分布区为极敏感区,主要是因为石羊河东西部、北部土壤基质多为沙粒且植被覆盖率较低而造成。民勤绿洲边缘地带为高敏感主要分布区,两大绿洲腹地主要为中度敏感区,而在石羊河流域上游地区天祝县、肃南县的大部分地区和古浪县南部为低敏感区和不敏感区。流域上中下游地表水与地下水资源之间转化利用关系复杂,整体表现出入不敷出,水资源明显短缺。用水结构不合理,农业、工业、生活用水比例失调,农业用水比例过高。石羊河在水资源开发利用中对生态环境用水考虑不足,导致天然水资源循环系统受到破坏,沙漠化面积逐年扩大,生态安全受到威胁。土地沙漠化敏感性表现出明显的空间差异。

3.4 生物多样性敏感性分析

由于生物多样性的敏感性评价中(附图6),对动

物和微生物的敏感度较难空间定量化,本研究重点对地表植被的敏感性进行分析。利用能够较好反映植被原生状态和植被生长状况的归一化植被指数(NDVI)反映生态环境的原生状态保持程度和植被生长状况及生物多样性。石羊河流域生物多样性敏感性空间分布特征为:流域以南部地区、西南部表现为极敏感区和高敏感区,这里水量丰沛,植被生长茂盛,动植物资源较为丰富,稍有变化,会引起整个流域生态环境剧烈变动,影响整个流域生存和可持续发展。流域中南部地区表现为中敏感区,主要包括凉州区南部、永昌县西部和古浪县南部地区;流域北部大部分地区主要为低敏感区和不敏感区,除两大绿洲表现出较高敏感性外,其余地方为大面积隔壁和沙漠,生物种类较少,对生物多样性敏感性较低。

3.5 土地生态综合敏感性分析

由综合评价结果(附图7)显示,石羊河流域综合土地生态敏感性空间分异明显,上游祁连山区雨水和水资源丰富地区、植被生长较好,属大陆性温带干旱气候,且在此范围内有常年积雪和冻土分布,这些地区对土地变化敏感性最强,为极敏感地区,面积约为5 591.04 km²,占全流域总面积的13.44%;高敏感区则主要分布在石羊河中下游地区的隔壁和沙漠地区、绿洲边缘地区以及城镇周边,这些地区土地利用类型变化最为显著,当有人为治理或降雨增加时部分沙丘变为草地,但在干旱时又恢复成沙地,因此土地结构变化较快。高敏感地区所占面积最大,达到25 475.84 km²,占到全流域总面积的61.24%;在高山和绿洲过渡地区、民勤绿洲东西两侧主要为中度敏感区,面积为5 761.6 km²,占全流域总面积的13.85%;低敏感区和不敏感区主要分布在天祝县北部和古浪县中南部地区,这些地方多为高寒草甸生长区,基本遵循春夏加速生长、秋冬枯萎的季节性规律,对局部土地变化敏感性较弱,其中低敏感区面积为4 405.44 km²,不敏感区面积仅为366.08 km²。

石羊河流域极敏感与高敏感区是祁连山重要的水源涵养林和生态屏障,在这些地区在以荒漠绿洲为主的生态系统中扮演极为重要的角色,对生态环境变化指示作用很强,一旦受到破坏,在短时间内很难恢复,而且会对中下游地区生态治理和恢复工程造成影响,因此这些区域应作为生态环境重点建设保护区。而在中下游高敏感地区土地生态环境较为脆弱,加之受人类活动扰动较大,因此生态系统不稳定,这些地区应结合国家退耕还林还草工程、三北防护林工程等进行生态恢复治理,以提高森林覆盖率,恢复与

保护原生植被,提高生态系统的多样性和稳定性,促进生态良性循环。对农业生产高强度地区应合理布局不同用地,积极调整种植结构,绿洲核心区内减少耗水、低效农业,提高土地集约节约利用程度。

表 4 土地综合生态敏感性分级统计结果

土地生态敏感性因子分级指标	极敏感	高敏感	中敏感	低敏感	不敏感
石羊河流域土地生态敏感性	0.66~1.33	0.51~0.66	0.36~0.51	0.01~0.36	-0.84~0.01
面积/km ²	5591.04	25475.84	5761.6	4405.44	366.08
面积比例/%	13.44	61.24	13.85	10.59	0.88

4 结 论

(1) 石羊河流域土地敏感性主要处于中、高和极敏感性三个区内,三者面积达到 36 828.48 km²,占全流域总面积的 88.53%,而不敏感区只占全流域面积的 0.88%。可见该流域对土地生态变化高度敏感,这些地区对全流域今后的生态环境恢复治理和可持续发展影响重大。

(2) 全流域土地生态敏感性空间分布差异明显,极敏感区主要分布在上游祁连山区,而高度敏感和中度敏感又分布在下游巴丹吉林和腾格里沙漠地带,在空间上表现出明显的南部极敏感、北部中敏感,绿洲边缘地带处于中度敏感区。

(3) 石羊河上游地区是流域的生态屏障,局部的土地结构微小变化都有可能引发生态系统功能变化,进而影响整个流域的生态,因此需要严格控制该区域的人类活动;下游地区为大面积隔壁沙漠地带,是流域的生态环境威胁区,应大力实施沙漠治理和生态恢复,提高生态退化的抵抗力。

参考文献:

[1] 欧阳志云,王效科,苗鸿.中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究[J].生态学报,2000,20(1):9-12.

[2] 徐广才,康慕谊,赵从举,等.阜康市生态敏感性评价研究[J].北京师范大学学报:自然科学版,2007,43(1):88-92.

[3] 张伟,王家卓,任希岩,等.基于 GIS 的山地城市生态敏感性分析研究[J].水土保持研究,2013,20(3):44-47.

[4] 李德旺,李红清,雷晓琴,等.基于 GIS 技术及层次分析法的长江上游生态敏感性研究[J].长江流域资源与环境,2013,22(5):633-639.

[5] 张朝琼,邵红娟,张帮云.基于 GIS 的仁怀市生态敏感性评价[J].水土保持研究,2013,20(4):179-182.

[6] 凌焕然,陆森菁,王伟,等.基于 3S 技术的马鞍山市江心洲生态环境敏感性研究[J].复旦学报:自然科学版,2013,52(2):230-237.

[7] 吴金华,李纪伟,朱鸿儒.基于 ArcGIS 区统计的延安市土地生态敏感性评价[J].自然资源学报,2011,26(7):1180-1188.

[8] 魏伟,赵军,王旭峰.石羊河流域土地利用类型景观异质性[J].生态学杂志,2010,29(4):760-765.

[9] 魏伟,赵军,王旭峰.石羊河流域景观类型与影响因子的空间关系[J].干旱地区农业研究,2010,28(6):112-117.

[10] 魏伟,石培基,周俊菊,等.近 20 多年来石羊河流域景观格局演变特征[J].干旱区资源与环境,2013,27(2):880-884.

[11] 吴金华,李纪伟,朱鸿儒.基于 ArcGIS 区统计的延安市土地生态敏感性评价[J].自然资源学报,2011,26(7):1180-1188.

[12] 王飞,丁建丽,伍漫春.基于 NDVI-SI 特征空间的土壤盐渍化遥感模型[J].农业工程学报,2010,26(8):168-173.

[13] 潘峰,田长彦,邵峰,等.新疆克拉玛依市生态敏感性研究[J].地理学报,2011,66(11):1497-1507.

[14] 李君轶,吴晋峰,薛亮,等.基于 GIS 的陕西省土地生态环境敏感性评价研究[J].干旱地区农业研究,2007,25(4):19-23.

[15] 赵兵.基于 GIS 技术的汶川县生态敏感性分析[J].西南大学学报:自然科学版,2009,31(4):148-153.

[16] 魏伟,石培基,赵军,等.石羊河流域海拔、植被覆盖与景观类型空间关系研究[J].干旱区地理,2012,35(1):91-98.

[17] 魏伟,赵军,王旭峰. GIS,RS 支持下的石羊河流域景观利用优化研究[J].地理科学,2009,29(5):750-754.