

# 基于景观格局和生态敏感性的左江流域生态脆弱性分析

卢远, 苏文静, 华 璀

(广西师范学院 资源与环境科学学院, 南宁 530001)

**摘 要:** 以左江流域作为研究区, 选取景观破碎度、景观分维数和景观分离度 3 个景观格局指数, 以及土壤侵蚀敏感性、石漠化敏感性 2 个生态敏感性指数构建景观类型干扰度和区域生态脆弱度模型。利用空间采样和地统计学插值, 生成生态脆弱度空间分布图, 实现对流域的生态脆弱进行综合定量的分析和评价。结果表明: (1) 变异函数分析表明, 流域生态脆弱度的块金值/基台值达 65.34%, 呈明显的空间相关性, 生态脆弱度的空间变异在 16 km 以内比较接近, 具有明显的各向同性的特点, 而 16 km 以外则表现出明显的各向异性; (2) 区域生态脆弱度的空间格局与流域实际吻合良好, 呈现南低北高的格局, 脆弱程度相对较高的区域与碳酸盐岩在研究区的分布较为一致, 地质地貌是流域生态脆弱度空间格局的主要控制因素, 而人类活动的影响是引起生态环境脆弱度空间异质性的主要因素。

**关键词:** 景观格局; 生态敏感性; 生态脆弱性; 左江流域

中图分类号: X171.4; X36

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)03-0078-05

## Analysis of Ecological Vulnerability in Zuojiang River Basin Based on Landscape Pattern and Ecosystem Sensitivity

LU Yuan, SU Wen-jing, HUA Cui

(School of Resources and Environmental Science, Guangxi Teachers Education University, Nanning 530001, China)

**Abstract:** The ecological vulnerability of Zuojiang river basin was assessed using a combined landscape pattern and ecological sensitivity approach. The landscape indices and ecological sensitivity indices are developed by using the landscape isolation, fractal dimension, fragmentation, sensitivity of soil erosion, and sensitivity of karst rock. The network covering the whole study area is used to sample and geostatistics interpolate the spatial vulnerability of ecology, thus, the map of vulnerability distribution of the ecological vulnerability is derived, and the ecological vulnerability is analyzed and assessed. The results showed that: (1) The semi-variogram analysis showed that the regional ecological vulnerability had a relatively good spatial correlation in the study area, the ratio of Nugget and Partial Still is 65.34%. The spatial variability of the region was in an obvious isotropy within 16 km, but existed distinct anisotropy character outside 16 km; (2) There is a good agreement between the predicted and actual distribution of regional ecological vulnerability. The regional vulnerability index was higher in south area than that in north, the higher degree of vulnerability matches with the distribution of carbonate. Geology and geomorphology are the dominant factors affecting the spatial pattern of the regional ecological vulnerability, and human activities are the major factors inducing spatial heterogeneity of ecological vulnerability.

**Key words:** landscape pattern; ecological vulnerability; ecological vulnerability; Zuojiang river basin

生态脆弱性是指生态环境对内部和外部的干扰活动或过程的不良反应, 包括两层含义: 生态的敏感性和生态的恢复力<sup>[1]</sup>。开展区域生态脆弱研究不仅对保护生态环境有重要意义, 同时对区域土地资源合理利用及可持续发展也有重要的指导意义<sup>[2-3]</sup>。当

前, 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<sup>[4-7]</sup>, 但多是以自然环境、社会经济等离散的统计数据作支撑, 以行政区域为评价单元进行的, 较大程度上限制了对生态脆弱性空间分布规律的揭示。为了解决这个问题, 部分学者从景观视角出发,

采用能指示各种生态影响的空间分布与梯度变化特征的景观结构信息建立评价模型, 实现了生态环境脆弱度评价的定量化和空间化<sup>[8-10]</sup>。左江流域位于我国西南喀斯特发育区的南缘地带, 喀斯特地貌广泛发育, 加上生存型经济发展阶段不合理的土地开发方式使该流域生态环境不断恶化, 土壤侵蚀退化严重, 人地关系矛盾十分尖锐<sup>[11]</sup>。因此, 本文从景观格局与生态敏感性结合角度, 综合景观格局信息与生态敏感性信息构建生态脆弱性评价指标体系, 揭示生态脆弱度的空间分异特征及其机制, 为流域环境经济协调发展提供科学依据。

## 1 研究区与数据资料

### 1.1 研究区概况

左江流域位于广西西南部, 地理坐标处于 21°36′ - 23°22′ N, 106°33′ - 108°16′ E, 土地总面积 20 153 km<sup>2</sup>。总地势西南略高, 向东北倾斜, 四面山岳环绕, 大部分面积属山地丘陵, 中部被左江及其支流切割, 形成南部土山丘陵和北部喀斯特地貌两大地貌单元。属南亚热带季风气候区, 气候温暖, 雨量充沛, 年均气温 19.6~ 22.1℃, 年均降雨量 1 200 mm 左右, 降水集中在 4—9 月, 年均蒸发量 1 285~ 1 634 mm。母岩以泥盆系、石灰系, 二叠系石灰岩、白云岩为主, 页岩、砂岩次之; 地带性土壤有赤红壤、红壤、石灰土, 海拔较高的山地有山地黄壤、酸性紫色土分布, 易发生水土流失。境内北部喀斯特丘陵、峰丛洼地、峰林谷地交错发育, 分布广泛。植被以常绿季雨林、次生热带季雨林、热带杂木林、灌丛草坡和草坡为主<sup>[11-12]</sup>。

### 1.2 数据准备及处理

研究所用资料包括左江流域 2008 年分辨率为 30 m 的 Landsat TM 影像、2008 年 1: 10 万土地利用数据、1: 25 万地质图、1: 25 万地形图、第二次土壤普查数据、90 m×90 m 分辨率的 SRTM DEM 数据、中高分辨率成像光谱仪 (MODIS) 植被指数产品 (MOD02QKM), 以及流域及其周边地区站点 1956—2006 年的逐月气象观测数据。基于野外考察观测资料 and 土地利用数据, 运用 ERDAS Imagine 9.3 遥感图像处理软件提取流域景观类型信息。景观类型的分类标准以国家级土地利用与覆被分类系统<sup>[13]</sup>为基础, 同时结合流域的生态景观特征, 划分为水田、旱地、有林地、灌丛、草地、建设用地、水域和未利用地等 8 种景观类型<sup>[13]</sup>。

将研究区用等间距方法划分为 2 km×2 km 的单元, 以便统计各单元的指数, 利用 ArcGIS 软件对逐月降水量进行空间插值, 生成 90 m×90 m 分辨率

的栅格数据。为了便于进行空间分析, 上述空间数据均采用统一的投影坐标系统。

## 2 研究方法

### 2.1 评价指标体系与权重的确定

景观格局作为自然与人为多种因素相互作用所产生的区域生态环境体系的综合反映, 既是景观异质性的具体体现, 又是各种生态过程在不同尺度上作用的最终结果, 可以反映出不同景观生态系统所受到的干扰及脆弱程度<sup>[14]</sup>。本研究选取破碎度、分维数和分离度作为景观干扰度评价的景观格局因子, 选取土壤侵蚀敏感性、石漠化敏感性作为生态敏感性因子, 构建左江流域生态脆弱性评价指标体系 (图 1)。为了减小指标权重的主观随意性, 采用均方差决策法<sup>[15]</sup>确定评价指标的权重。

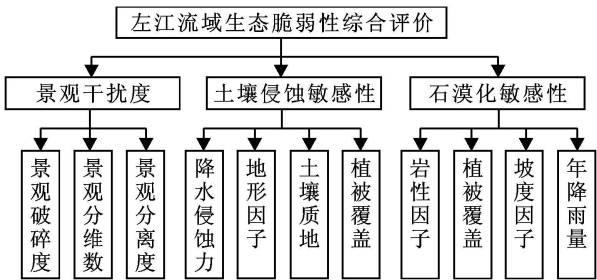


图 1 左江流域生态脆弱性评价指标体系

### 2.2 景观干扰度指数的计算

2.2.1 景观格局指标的获取 景观破碎度  $C_i$  和景观分维数  $M_i$  用 Patch Analyst 软件<sup>[16]</sup> 直接计算得到; 景观分离度  $F_i$  采用 Patch Analyst 软件, 结合陈顶利和傅伯杰<sup>[14]</sup> 修改的分离度公式 (1) 计算得到:

$$F_i = D_i / A_i \quad D_i = 0.5 \sqrt{N_i / A} \quad A_i = A_i / A \quad (1)$$

式中:  $F_i$  ——景观类型  $i$  分离度;  $D_i$  ——景观类型  $i$  斑块密度;  $A_i$  ——景观类型  $i$  面积比例;  $A_i$  ——景观类型  $i$  的面积;  $N_i$  ——景观类型  $i$  的斑块数;  $A$  ——景观总面积。

2.2.2 景观干扰度指数的计算 景观干扰度指数可反映不同景观受到干扰的程度, 选取破碎度  $C_i$ 、分离度  $F_i$ 、分维数  $M_i$ 、构建景观干扰度指数  $I_i$  来衡量不同景观所遭受的干扰程度, 其计算公式如下:

$$I_i = aC_i + bF_i + cM_i \quad (2)$$

式中:  $i$  ——不同的景观类型;  $I_i$  ——景观干扰度;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  ——各指标的权重值,  $a + b + c = 1$ 。

采用均方差决策法计算各指标权重, 求得景观破碎度、景观分维数和景观分离度指标的权重为 0.441, 0.457 和 0.102; 然后依据公式 (2) 计算各景观类型的景观干扰度指数。

2.3 土壤侵蚀敏感性的评价

土壤侵蚀敏感性的评价考虑因素有降水侵蚀力( $R$ )、土壤质地( $K$ )、坡长坡度( $LS$ )与地表覆盖( $C$ )<sup>[17]</sup>。其中, $R$ 采用周伏建等人提出的降水冲蚀潜力公式估算<sup>[18]</sup>。坡长坡度因子( $LS$ )以地形起伏因子来代替,即分别计算  $3\times 3$  窗口的最大高程值和最小高程值,再将

最大高程值和最小高程值进行差值运算,即得地形起伏度因子值。当植被覆盖度为 25%~ 80% 时,植被指数 NDVI 随植被盖度呈线性增加,采用 NDVI 估算来确定植被覆盖度,NDVI 数据来源于 MOD02QKM 植被指数产品。参照广西土壤侵蚀敏感性评价<sup>[17]</sup>,确定各影响因子评价指标的敏感性等级(表 1)。

表 1 不同因子对土壤侵蚀敏感性影响评价标准

因子	不敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极度敏感
降水侵蚀力( $R$ )	< 25	25~ 100	100~ 400	400~ 600	> 600
土壤质地( $K$ )	石砾、沙	粗沙、细砂土、黏土	面砂土、壤土	砂壤土、粉黏土、壤黏土	砂粉土、粉土
坡长坡度( $LS$ )	0~ 20	21~ 50	51~ 100	101~ 300	< 300
植被覆盖因子( $C$ )	水体、滩涂、沼泽、水田, NDVI< 0.20	阔叶林、灌丛, NDVI> 0.61	针叶林、果园、草地、旱地, NDVI 0.46~ 0.6	稀疏林地、荒草地和坡耕地, NDVI 0.31~ 0.45	裸露土地、裸岩石山地等区, NDVI 0.21~ 0.30
分级赋值	1	3	5	7	9

在 GIS 支持下,利用几何平均数法计算土壤侵蚀敏感性综合指数,其计算公式如下:

$$S_s = \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 C_i}$$
 (3)

式中: $S_s$ ——评价单元的土壤侵蚀敏感性指数; $C_i$ —— $i$  因素敏感性等级值。在此基础上,运用自然分界法和定性分析相结合的方法,将流域土壤侵蚀敏感性综合指数划分为不敏感、轻度敏感、中度敏感、高度敏感和极度敏感 5 个级别(见表 1)。

2.4 石漠化敏感性的评价

石漠化敏感性评价主要根据研究区的岩性、地形坡度、植被覆盖度和降雨量因子来确定的<sup>[19]</sup>。其中,

岩性因子根据 1: 20 万地质图的岩性进行定性判断和划分;地形坡度利用分辨率 90 m 的 SRTM DEM 数据提取分级;植被覆盖度同土壤侵蚀敏感性中的  $C$  因子一样,降雨量因子则利用年降雨量进行空间插值,生成年降雨量栅格图。各项单因子敏感性指标参照《生态功能区划暂行规程》进行分级。最后,采用几何平均数法计算流域的石漠化敏感性指数(表 2)。

石漠化敏感性计算模型:

$$R_s = \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 R_i}$$
 (4)

式中: $R_s$ ——评价单元的石漠化敏感性指数; $R_i$ ——石漠化敏感性因子等级值。

表 2 不同因子对石漠化敏感性影响评价标准

因子	不敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极度敏感
岩性	其他	灰岩与碎屑岩互层	灰岩夹碎屑岩	灰岩与酸盐岩混合	连续性灰岩
坡度		< 15	15~ 25	25~ 35	≥35
植被覆盖因子	水体、滩涂、沼泽、水田, NDVI< 0.20	阔叶林、灌丛, NDVI> 0.61	针叶林、果园、草地、旱地, NDVI 0.46~ 0.6	稀疏林地、荒草地和坡耕地, NDVI 0.31~ 0.45	裸露土地、裸岩石山地等区, NDVI 0.21~ 0.30
年降雨量				1000~ 1500	> 1500
分级值	1	3	5	7	9

在 ArcGIS 中运用空间叠加分析功能和几何平均数法计算石漠化敏感性综合指数,然后对石漠化评价结果按 Natural Breaks(Jenks)方法进行分级,即得到石漠化敏感性综合评价图。

2.5 生态脆弱度计算模型

利用景观干扰度、土壤侵蚀敏感性、石漠化敏感性等指数加权叠加计算生态脆弱度指数,其计算模型如下:

$$EVI_i = \omega_1 I_i + \omega_2 S_{si} + \omega_3 R_{si}$$
 (5)

式中: $I_i$ ——评价单元  $i$  的景观干扰度; $S_{si}$ ——评价单元  $i$  土壤侵蚀敏感性指数; $R_{si}$ ——单元  $i$  石漠化敏

感性指数; $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ ——指标的权重值,  $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$ 。同样,采用均方差方法计算指标权重,权重值分别为:0.436, 0.352, 0.212, 依据公式(5)计算各单元的生态脆弱度。

3 结果与分析

3.1 景观类型的生态脆弱度

为了分析流域各景观类型的生态脆弱度,利用 ArcGIS 的 Zonal Statistics 模块对生态脆弱度综合指数以及景观干扰度、土地侵蚀敏感性、石漠化敏感性等指数进行统计分析(表 3)。从表 3 可以看出,各景

观类型的脆弱度排序为: 未利用地> 草地> 旱地> 灌丛> 有林地> 建设用地> 水田> 水域。其中, 未利用地多为裸岩地, 水土保持能力差, 植被生境条件恶劣, 其景观干扰度、土壤侵蚀敏感性、石漠化敏感性均是最高, 其生态脆弱度最高。其次是草地, 流域草地很大一部分是林地砍伐、垦荒弃耕后退化而来, 同时

受持续的垦殖和放牧的影响, 土壤侵蚀和石漠化状况较为严重。流域旱地中坡耕地面积大, 且缺乏合理的保护措施, 加上降雨季节分配不均, 旱涝灾害频繁, 水土流失状况严重。研究区灌丛多是石灰岩灌丛, 群落结构相对简单, 群落的自调控能力弱, 受人为活动干扰较大, 因而灌丛的生态脆弱度也较高。

表 3 各景观类型的生态脆弱度评价指标统计

指标	水域	水田	有林地	建设用地	灌丛	旱地	草地	未利用地
景观干扰度	0.2653	0.2744	0.1380	0.3800	0.1392	0.2287	0.2659	0.9923
土壤侵蚀敏感性	0.6059	0.6109	0.8120	0.5666	0.8077	0.7551	0.8810	0.9942
石漠化敏感性	0.6648	0.6951	0.7027	0.6746	0.8385	0.8852	0.8901	0.9984
生态脆弱度指数	0.4699	0.4820	0.4950	0.5081	0.5228	0.5532	0.6147	0.9943

3.2 流域生态脆弱度空间异质性

利用地统计分析 Geostatistics 模块对标准化转换后的样地脆弱度数据进行单样本 K-S 检验, 结果表明研究区的生态脆弱度数据符合正态分布, 可以直接进行地统计学分析。图 2a 是流域生态环境脆弱度指数在各向同性条件下的变异函数曲线。基台值( $C_0 + C$ )的大小反映脆弱性指数的波动幅度, 块金值( $C_0$ )与基台值的比值反映脆弱度的空间相关性的程度, 其值越大说明由随机因素(主要是人为因素)引起

的脆弱度空间异质性越高<sup>[20]</sup>。变程表示的是在某种观测尺度下, 空间相关性的作用范围, 本研究中以步长 4 km 为观测尺度, 变程(a)为 33.1 km, 说明在 33.1 km 以内具有较强的空间相关性。偏基台值= 0.0471, 块金值= 0.0888, 基台值= 0.1359, 块金值/基台值为 65.34%, 说明流域生态脆弱度具有明显的空间自相关性, 且随机因素(人为因素)引起的脆弱度空间异质性处于主导地位, 结构性因素(如土壤、岩性、地形和植被等)引起的脆弱度空间异质性相对较小。

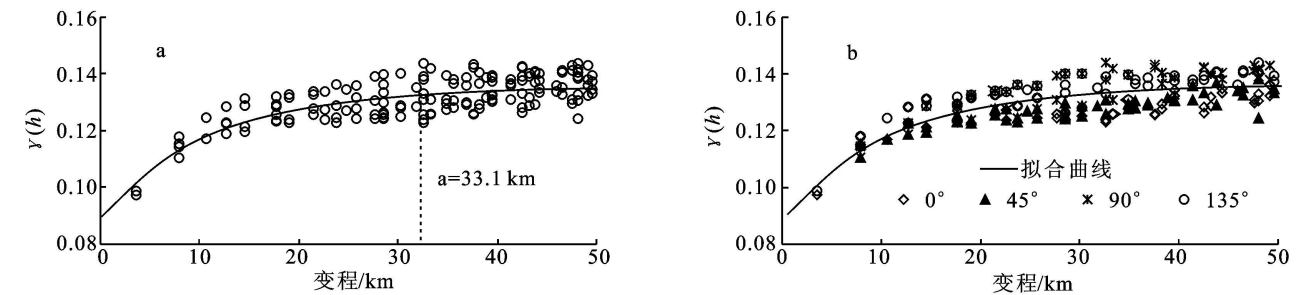


图 2 生态脆弱度的变异函数曲线

为了分析流域生态脆弱度指数的空间异质性, 分别计算 0°、45°、90°和 135°等 4 个方向的变异函数(图 2b)。由图 2b 可以看出, 流域生态脆弱度在各个方向上的变异函数曲线在 16 km 以内比较接近, 具有明显的各向同性的特点, 而 16 km 以外则表现出明显的各向异性, 其中 0°和 45°两个方向上表现最为明显。生态脆弱度指数在空间上各向异性特征可能与区域岩性构造有关, 研究区地质构造上属于右江再生地槽的西大明山隆起, 北部的岩性构造呈北西向带状分布, 南部的岩性构造则呈北东东向的带状分布<sup>[21]</sup>。岩性分布带宽平均为 16 km, 因此在 16 km 范围内, 岩性构造较为均一, 脆弱度空间变异性的方向性差异不明显, 当大于 16 km 时, 岩性在 0°、45°方向上的变化趋向增强, 生态脆弱度在该方向上的变异性较高。

3.3 流域生态脆弱度空间格局

基于对流域脆弱度的空间分异性特征分析, 对流

域生态脆弱度值进行克里格插值, 得到流域生态脆弱度指数图, 然后按 Natural Breaks(Jenks)法将生态脆弱度指数图划分为 5 个等级: I 级——弱风险区( $0.2385 \leq EVI < 0.4238$ ), II 级——低风险区( $0.4238 \leq EVI < 0.5030$ ), III 级——中风险区( $0.5030 \leq EVI < 0.5931$ ), IV 级——高风险区( $0.5931 \leq EVI < 0.7054$ ), V 级——极高风险区( $EVI \geq 0.7054$ ) 5 个等级(图 3), 并对研究区生态脆弱度进行面积统计。其中: I 级分区面积占 15.29%, II 级分区面积占 27.85%, III 级分区面积占 27.94%, IV 级分区面积占 22.28%, V 级分区面积占 6.64%。

从空间分布上看, I 级、II 级分区主要集中在南部的十万大山、东北的西大明山及其周边地区, 该区母岩以砂页岩为主, 地貌以山地、高丘为主; 土壤主要是红壤、赤红壤和黄壤, 土层较厚; 植被以热带雨林和季风带绿叶林为主, 植物种类多且生长茂盛, 系统稳

定性好,生态敏感性较低,抗干扰性强。Ⅱ级主要集中分布在中部,沿左江及支流两岸一带,该分区母岩由砂页岩和部分可溶岩基岩构成,地貌以丘陵、谷地为主,间有峰林或峰丛残丘分布;受人类不合理的开垦、乱伐,自然植被多遭到破坏;土壤多以赤红壤和石灰性土为主,生态环境比较脆弱,遇雨则易发生水土流失,遇旱则亦易成灾。Ⅳ级、Ⅴ级分区主要分布在北部,该分区母岩则以石灰岩为主,地貌多以喀斯特地貌为主,岩溶石山、峰丛洼地、峰林谷地和孤峰平原交错,受地质岩性制约,地表土壤覆盖较少,且土层浅薄;由于多年来人为的肆意砍伐、烧山垦荒,如今大部分植被已退化为林分单一的矮林灌丛、灌丛草被,甚至岩石裸露,生态环境极其脆弱。整体而言,流域生态脆弱度呈现南低北高的格局,与地质地貌空间格局基本一致,说明在流域尺度上地质地貌是生态环境的主导控制因素之一。

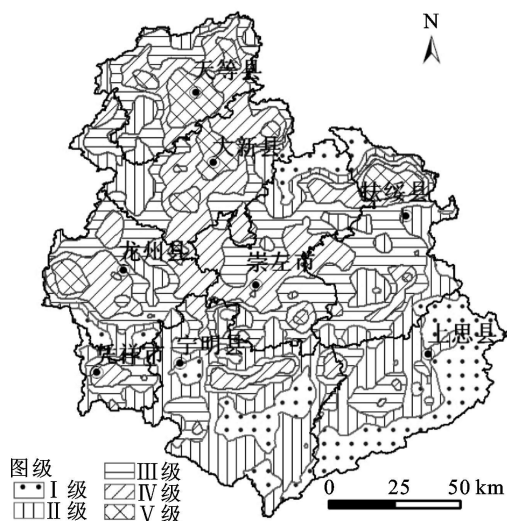


图3 左江流域生态脆弱度空间分布图

从细部特征来看,在生态环境脆弱度普遍较低的南部区域,虽然脆弱度宏观上以Ⅰ级、Ⅱ级为主,但局部区域脆弱度仍达Ⅱ级,Ⅱ级区主要位于明江谷地、上思盆地一带,这些区域由于地形较为平坦,易于较大规模的土地开发活动的开展,人类长期为了追求自身发展和经济利益所进行的不合理的景观改造活动加大了生态环境的脆弱性。在生态环境脆弱度较高的北部区域,局部脆弱度却在Ⅱ级以下,形成生态环境脆弱度高低交错分布格局。这与北部区域地表切割破碎,形成岩溶石山、峰丛洼地、峰丛谷地和孤峰平原镶嵌排列的地貌有关,不同地貌单元的景观类型,其人类活动明显不同,因而生态脆弱度亦有显著的差异。

## 4 结语

本研究以左江流域为研究区,从景观格局视角出

发,综合土壤侵蚀敏感性和石漠化敏感性信息构建生态环境脆弱性评价指标体系,对流域生态环境脆弱性进行定量分析和评价,研究结果较好地揭示流域自然因素与人类活动综合作用所形成的生态环境的脆弱性及其空间格局。研究表明:(1)各景观类型的脆弱度排序为:未利用地>草地>旱地>灌丛>有林地>建设用地>水田>水域。(2)变异函数分析表明,流域生态脆弱度的块金值/基台值达65.34%,呈明显的空间相关性,生态脆弱度的空间变异在16 km以内比较接近,具有明显的各向同性的特点,而16 km以外则表现出明显的各向异性,随机因素引起的脆弱度空间异质性处于主导地位,而结构性因素(如土壤、岩性、地形和植被等)引起的脆弱度空间异质性相对较小。区域脆弱度空间变异在16 km以内表现出明显的各向同性。(3)在空间分布特征上,流域生态脆弱度呈现南低北高的格局,脆弱程度相对较高的区域与碳酸盐岩在研究区的分布较为一致,表明左江流域脆弱性的根源在于其特殊的地质岩性背景,而人类活动的影响是引起生态环境脆弱度空间异质性的主要动因。

## 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 冉圣宏,金建君,薛纪愈.脆弱生态区评价的理论与方法[J].自然资源学报,2002,17(1):116-122.
- [3] 蔡海生,陈美球,赵小敏.脆弱生态环境脆弱度评价研究进展[J].江西农业大学学报,2003,25(2):270-275.
- [4] 王让会,樊自立.塔里木河流域生态脆弱性评价研究[J].干旱环境监测,1998,12(4):39-44.
- [5] 王经民,汪有科.黄土高原生态环境脆弱性计算方法探讨[J].水土保持通报,1996,16(3):32-36.
- [6] 陶希东,赵鸿婕.河西走廊生态脆弱性评价及其恢复和重建[J].干旱区研究,2002,19(4):7-11.
- [7] 姚建,丁磊,艾南山.岷江上游生态脆弱性评价[J].长江流域资源与环境,2004,13(4):380-383.
- [8] 王介勇,赵庚星,杜春先.基于景观空间结构信息的区域生态脆弱性分析:以黄河三角洲垦利县为例[J].干旱区研究,2005,22(3):317-321.
- [9] 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.
- [10] 布仁仓,胡远满,常禹,等.景观指数之间的相关分析[J].生态学报,2005,25(10):2764-2775.
- [11] 黎代恒,唐乃焕.桂西南山区的开发与建设[J].自然资源,1994,8(3):68-78.
- [12] 余承惠.左江流域生态系统与农业可持续发展的研究[J].环境保护,1998(12):22-25.

(下转第87页)



图7 泥石流危害(左为淤埋田地, 中为冲毁灌丛, 右为输沙)

## 4 结论与建议

通过对蒋沟泥石流的调查和上述分析认为: 矿渣侵蚀类泥石流在形成条件上表现为物源集中性和机械组成以砂砾石土为主的固定性; 发生过程呈现出降雨-侵蚀-崩滑-搬运复合型和循环性, 侵蚀为泥石流形成和发生的关键环节; 泥石流堆积物成分单一, 堆积比降小, 地貌塑造作用强; 蒋沟泥石流在未来数年表现为高易发性和高频发性特征。

为了进一步防止下游田地的淤埋和大量矿渣沙石输入大渡河, 建议对蒋沟泥石流采取必要的工程措施进行治理。根据蒋沟泥石流矿渣物源的分布、粒度特征和提供方式可以看出, 水土分离、固床或挡墙措施成为该类泥石流防治的重要方法, 防治效益比较明显, 防治成本亦较低。

对于早期矿渣(1), 建议在矿渣坡脚处修建高约2 m, 长约150 m的浆砌石挡墙, 沟床采用浆砌石铺底防止侵蚀下切; 对于早期矿渣(2), 建议在矿渣坡脚处修建高约3 m, 长约60 m的浆砌石挡墙, 沟床同样采用浆砌石铺底防止侵蚀下切。通过矿渣挡墙和河床铺底的修建, 汛期洪水将不再对矿渣进行侵蚀搬运, 从而从物源上控制了泥石流的发生。除此之外, 辅以必要的植被恢复工程, 其效益将更加明显。

### 参考文献:

[1] 张丽萍, 唐克丽. 矿山泥石流[M]. 北京: 地质出版社,

2001.

- [2] 倪俊勇, 郑万模, 巴仁基, 等. 基于水动力条件的矿渣型泥石流形成与特征: 以石棉县后沟为例[J]. 山地学报, 2010, 28(4): 470-478.
- [3] 王文龙, 李占斌, 张平仓. 神府东胜煤田开发中人为泥石流形成条件分析[J]. 水土保持研究, 2003, 10(2): 83-85.
- [4] 王文龙, 张平仓, 高学田. 神府东胜矿区一、二期工程与人为泥石流[J]. 水土保持研究, 1994, 1(4): 54-59.
- [5] 徐友宁, 何芳, 陈华清. 西北地区矿山泥石流及分布特征[J]. 山地学报, 2007, 25(6): 729-736.
- [6] 张锐波, 张丽萍. 矿山泥石流形成的理论动态分析: 以神府东胜矿区为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(3): 86-90.
- [7] 张丽萍, 唐克丽, 张平仓. 矿山泥石流形成的固体物质补给特点研究: 以神府东胜矿区为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1999, 10(1): 61-66.
- [8] 徐友宁, 李育敬, 陈社斌, 等. 潼关金矿区矿渣型泥石流灾害特征及防治对策[J]. 山地学报, 2006, 24(6): 667-671.
- [9] 陈华清, 徐友宁, 张江华. 小秦岭大湖峪矿渣型泥石流的物源特征及其危险度评价[J]. 地质通报, 2008, 27(8): 1292-1298.
- [10] 邓龙胜, 范文, 熊炜. 矿渣型泥石流发育特征及危险性评价[J]. 工程地质学报, 2005, 17(3): 415-420.
- [11] 陈廷方, 崔鹏, 刘岁海, 等. 矿产资源开发与泥石流灾害及其防治对策[J]. 工程地质学报, 2005, 13(2): 179-182.
- [12] 李智毅, 王裕云. 工程地质概论[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1994.

(上接第82页)

[13] 刘纪远. 国家资源环境遥感宏观调查与动态监测研究[J]. 遥感学报, 1997, 1(3): 225-230.

[14] 邬建国. 景观生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

[15] 王明涛. 多指标综合评价中权重确定的离差、均方差决策方法[J]. 中国软科学, 1999(8): 100-101.

[16] Environmental Systems Research Institute Inc. Using ArcView GIS[M]. ESRI Redlands, CA, 1996.

[17] 卢远, 华瑾, 周兴. 基于GIS的广西土壤侵蚀敏感性评

价[J]. 水土保持研究, 2007, 14(1): 89-93.

- [18] 周伏建, 陈明华, 林福兴, 等. 福建省降雨侵蚀力指标R值[J]. 水土保持学报, 1995, 9(1): 13-18.
- [19] 杨青青, 王克林, 陈洪松, 等. 地质地貌因素对喀斯特石漠化的影响: 以广西大化县为例[J]. 山地学报, 2009, 27(3): 314-315.
- [20] 张治国. 生态学空间分析原理与技术[M]. 北京: 科技出版社, 2007: 195-198.
- [21] 广西壮族自治区地质矿产局. 广西壮族自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1985: 680-687.