

四川省石漠化敏感性评价及其空间分布特征

赖长鸿, 覃家作, 张文, 刘波, 蔡凡隆, 李绪佳

(四川省森林资源和荒漠化监测中心, 成都 610081)

摘 要: 基于石漠化敏感性评价机理, 运用 GIS 技术分别分析了岩溶地貌、坡度、植被覆盖、土壤类型对石漠化敏感性的影响及其空间分布特征。基于此, 进行研究区石漠化敏感性的综合评价。结果表明: (1) 研究区石漠化中度敏感性区域面积最大, 占研究区面积的 32.39%, 其次为轻度敏感性区域 (占 26.75%), 高度敏感和极敏感性区域也有较大面积的分布, 其比例分别为 17.50% 和 21.51%; (2) 石漠化敏感性空间分布具有明显的地域差异, 金沙江下游、大渡河中游、四川盆地南部周缘和川东平行岭谷是石漠化高度敏感和极敏感集中分布的地区, 川西南山地区域内长江上游重要支流木里河、水洛河、雅砻江两岸、盐源盆地以及四川盆地大部分岩溶地区基本以轻度、中度敏感为主; (3) 研究区石漠化现状与石漠化敏感性分布基本一致, 数量特征表明这二者具有很好的对应关系, 但在局部地区强度特征却表现出一定的差异。

关键词: 石漠化; 敏感性评价; 空间分异; 四川省

中图分类号: P931.5

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)04-0099-06

Assessment on Sensitivity and Spatial Distributed Characteristics of Karst Rocky Desertification in Sichuan Province

LAI Chang-hong, QIN Jia-zuo, ZHANG Wen, LIU Bo, CAI Fan-long, LI Xu-jia

(Sichuan Forestry Resources and Desertification Monitoring Centre, ChengDu 610081, China)

Abstract: Based on evaluation principle of the sensitivity of rocky desertification, karst landform distribution, terrain factors, vegetation coverage, soil type, and these effects on the sensitivity of rocky desertification and its spatial distribution characteristics in study area were analyzed by using GIS technology. Comprehensive assessment of the sensitivity of rocky desertification in the study area was conducted. The results showed that: (1) among all the rocky desertification regions over the karst areas, the largest areas were the moderate sensitive areas making up 32.39% of all study area, which were followed by the low sensitive areas (26.75%), the high sensitive areas and the extreme sensitive areas also occupied a large proportion, the ratios of the two areas were 17.50% and 21.51%, respectively; (2) there were obvious regional variation characteristics in spatial distribution of sensitivity of rocky desertification, the high and extreme sensitive areas were the middle reaches of Jinsha River, the lower reaches of Jinsha River, the large areas of middle and lower reaches of Dadu River, the periphery of south of Sichuan Basin and parallel range-gorge areas in the east of Sichuan Province. The low and moderate sensitive areas were Muli River (the most important branch of the upper reaches of Changjiang River in the mountain area of Southwest Sichuan), Shuiluo River, both banks of Yalong River, Yanyuan Basin and most of karst areas in Sichuan Basin; (3) the severity of rocky desertification in the research areas was basically consistent with its sensitivity distribution in general. The quantitative trait of this research area indicates that rocky desertification was well corresponding to the sensitivity of rocky desertification, but strength characteristics differ in certain areas.

Key words: rocky desertification; sensitivity evaluation; spatial distribution; Sichuan Province

收稿日期: 2012-08-31

修回日期: 2013-01-10

资助项目: 四川省林业厅科技攻关项目 (2009-04, 2010-14)

作者简介: 赖长鸿 (1981—), 男, 重庆荣昌人, 硕士, 工程师, 主要从事遥感与地理信息系统应用及森林资源、荒漠化监测工作。E-mail: 17960261@qq.com

石漠化是在亚热带、热带湿润地区脆弱的岩溶生态环境背景下,受人为因素的影响,造成的土层变薄、土地生产力下降、基岩大面积裸露,地表逐渐呈现类似荒漠景观的土地退化现象,是喀斯特地区最为严重的生态环境问题^[1]。长期以来,受自然环境和人为活动的影响,我国西南岩溶地区形成了以贵州省为中心,包括广西、云南、四川、重庆等省(市、区)部分地区在内的东亚最大石漠化集中分布区^[2],石漠化导致这些区域生态环境严重恶化,成为制约当地经济社会可持续发展的核心问题,也是构成石漠化地区人口贫穷落后的主要根源之一^[3-4]。石漠化是诸多因素综合作用的结果,不合理的人类活动虽然是其发生的直接诱因,但其发生和分布规律与各种自然条件密不可分^[5-8],石漠化敏感性评价即是研究岩溶地区脆弱生态系统对自然环境因素的响应程度,可能发生石漠化的概率大小^[9-10]。近年来,国内学者相继开展了贵州、广西、云南、重庆等省(市、区)岩溶地区石漠化敏感性评价研究^[11-15],这些研究加深了对西南岩溶地区石漠化形成机理的理解,但有关四川省岩溶分布区石漠化敏感性评价研究鲜有报道,制约了四川省岩溶地区的石漠化趋势监测、治理规划和科学防治。因此,选择四川这一长江上游生态屏障建设重点省份,深入分析这一地区石漠化敏感性影响因素和分布规律,不仅能为这一区域开展石漠化防治规划提供科学依据,同时对构建长江上游生态屏障,实现区域内喀斯特地区生态环境与社会经济可持续发展具有重要作用。

1 研究区概况

四川省岩溶地区(100°23'—107°33'E, 26°30'—30°43'N)面积 27 643.2 km², 约占全省幅员面积的 5.7%, 分布于四川境内川西南山地、四川盆地南部周缘、川东平行岭谷及四川盆地 4 个不同的地貌单元内^[16]。四川特殊的地形地貌造成不同地貌单元自然概况差异较大,岩溶分布区地貌自西向东依次为:(1)川西南山地,属云贵高原西北部,区域平均海拔 2 500 m 以上,地势起伏跌宕,断裂构造地貌发育明显,出露岩层齐全,以白垩系、侏罗系、三迭系、二迭系、志留系的石灰岩为主,岩溶地貌大多分布在区域内中高山地段,属典型的亚热带西南季风气候,干湿交替明显,年均降水量约为 1 000 mm, 90% 集中在 6—10 月的雨季, 11 月至翌年 5 月为干燥多风天气,土壤类型以燥红壤、红壤、山地灰褐土、山地褐土及潮土为主;(2)四川盆地南部周缘,处于川、滇、黔三省结合部,金沙江、岷江、长江汇流地带,属云贵高原的过渡地带,地势南高北低,海拔由 1 600~1 800 m, 逐渐降至 500~700 m, 石灰岩出露广泛,岩溶地貌普遍

发育,区域内降水充沛、热量充足,雨热同季,土壤类型以山地黄壤和山地黄棕壤为主,在区域内缓坡或剥蚀阶地内缘,分布有石灰岩上发育的红色石灰土;(3)川东平行岭谷,属四川东部华蓥山脉地区,海拔在 550~1 100 m 之间,区域内最高海拔 1 704 m(华蓥山),山脉多呈北东走向,其地貌特征为背斜山地陡而窄,以三迭系嘉陵江组石灰岩为主,区域降水充沛、热量充足,属亚热带湿润气候,土壤类型以黄壤和紫色土为主,在喜钙的柏木疏林及灌木草本下,常常发育有黄色石灰土、黑色石灰土、红色石灰土;(4)四川盆地,海拔在 250~600 m 之间,年均气温 16~18℃,年降雨量 900~1 200 mm,但区域、季节分配不均,旱涝频繁,区域内地势低矮、丘陵广布、溪沟纵横,岩溶地貌发育,以三迭系石灰岩为主,紫色土分布最为广泛,江河沿岸多分布有潮土,此外,还分布有少量发育在石灰岩上的红色石灰土。

2 研究方法

以石漠化敏感性自然影响因素评价机理为基础,结合国家环保部发布的《生态功能区划技术暂行规程(2002—07)》和已有研究^[9,13,15]中对石漠化敏感性评价因素的选取与评价标准,选择喀斯特地貌、坡度因素、植被覆盖度、土壤类型 4 个方面对研究区石漠化敏感性进行评价(表 1)。是否为喀斯特地貌根据四川省林业厅岩溶区石漠化监测成果资料确定的岩溶地貌区、非岩溶地貌区范围,形成岩溶地貌分布图(图 1);坡度因素根据研究区 90 m 数字高程模型(DEM)在 ArcGIS 9.3 坡度分析中直接计算生成,根据表 1 中的分级标准得到坡度因素敏感性分级图(图 2);植被覆盖度利用 2008 年四川省各县(区)森林资源二类调查小班图层汇总数据,小班调查因子包括土地类型、林分郁闭度、灌木和草本覆盖度等地表植被覆盖信息,根据表 1 中的分级标准得到植被覆盖敏感性分级图(图 3);土壤类型则利用四川省 1:100 万土壤类型图截取岩溶分布区部分,根据表 1 中的分级标准得到土壤类型敏感性分级图(图 4)。完成单因素计算后,将所有图件统一转化为 Albers 等积投影(中央经线为 105°E,第一标准纬线为 25°N,第二标准纬线为 47°N);然后统一转化为 90 m×90 m 的栅格数据。

在 ArcGIS 9.3 的支持下应用空间叠加功能将坡度、植被覆盖度、土壤类型进行叠加,形成多因素综合图,然后与喀斯特地貌分布图叠加,将非喀斯特区域划分出去,最后采用自然断界法(Natural break)将石漠化敏感性综合评价值划分为 5 个等级,得到研究区石漠化敏感性综合评价分布图(图 5)。

表 1 四川石漠化敏感性评价指标及敏感性划分标准

评价因素	敏感性				
	不敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极敏感
岩溶地区	不是	是	是	是	是
坡度/(°)	0~5	6~15	16~25	26~34	≥35
植被盖度/%		>70	50~70	20~50	<20
土壤类型	潮土、沼泽土 岩石	高山草甸土、水 稻土、新积土	褐土、黄褐土、棕 壤、暗棕壤、红壤	粗骨土、燥红土、 黄壤、黄棕壤、	石灰(岩)土、 紫色土
赋值	1	3	5	7	9

3 结果与分析

3.1 岩溶地貌

岩溶地貌是石漠化形成的基础条件，四川岩溶区主要分布在川西南山地的北部、西北部以及四川盆地南部周缘的南部地区(图 1)。川西南山地区域内岩溶地貌在分布趋势上呈现出沿长江上游重要江河(如水洛河、木里河、雅砻江、安宁河、大渡河)河谷两岸向金沙江展布的特征，分布面积较大；四川盆地南部周缘也有较大数量的岩溶地貌分布，这部分岩溶区与云、贵等省的岩溶分布区连接成片，成为我国西南岩溶集中分布区的突出一角；而在川东平行岭谷区域内则形成了自东北至西南走向的两条长约 200 km、宽约 50 km 平行于华蓥山脉的狭长岩溶分布带。此外，四川盆地内也有少量岩溶地貌分布。

3.2 坡度

研究区坡度在 35°(极敏感区域)以上区域的空间分布最为典型，集中分布在川西南山地区域内长江上游重要支流水洛河、木里河、雅砻江深切峡谷、金沙江中游和大渡河中游河谷两岸；坡度在 25°~34°(高度

敏感区域)的面积 7 541. 0 km²，占研究区面积的 27. 28%(图 2、表 2)，其分布规律与极敏感区域相似，同样集中分布在川西南山地区域内重要江河两岸；四川盆地南部周缘、川东平行岭谷岩溶地区的坡度总体相对平缓，大多集中在 16°~25°的范围内，是中度敏感性的集中分布地区，而川西南山地区域内的盐源盆地、四川盆地的浅丘、平原地区则是不敏感和轻度敏感的(≤15°)主要分布地区。

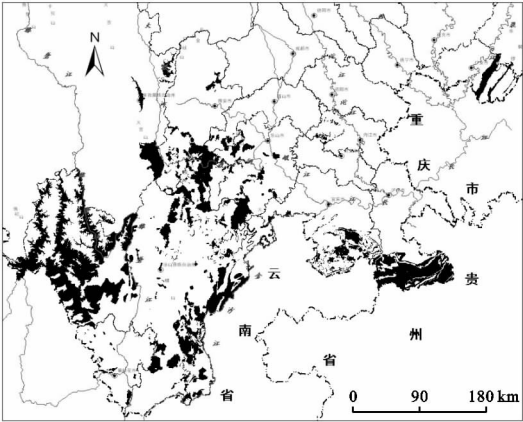


图 1 四川省岩溶区分布

表 2 坡度敏感性评价结果

地貌单元	敏感性等级							
	轻度敏感以下(≤15°)		中度敏感(16°~25°)		高度敏感(25°~34°)		极敏感(≥35°)	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
川西南山地	5749. 4	25. 81	6309. 1	28. 33	6240. 0	28. 02	3974. 1	17. 84
四川盆地南部周缘	1030. 6	27. 39	1425. 7	37. 89	900. 9	23. 94	405. 7	10. 78
川东平行岭谷	163. 6	32. 62	178. 3	35. 56	116. 0	23. 13	43. 6	8. 69
四川盆地	312. 5	28. 25	338. 9	30. 64	284. 1	25. 68	170. 7	15. 43
四川岩溶区	7256. 1	26. 25	8252. 0	29. 85	7541. 0	27. 28	4594. 1	16. 62

3.3 植被覆盖

石漠化形成的生物学过程与植被覆盖及其演替密切相关。研究区植被覆盖<20%(极敏感区域)的区域分布面积极小，仅分布在大渡河中游海拔较高、植被生长困难、植被覆盖度极低的高山、亚高山流石滩；植被覆盖为 20%~50%(高度敏感区域)的区域分布范围较广，自西向东从川西南山地区域内的盐源盆地、大渡河中游、金沙江中游、四川盆地南部周缘到

川东平行岭谷地区均有分布，特别是金沙江中游、四川盆地南部周缘的南部等地区集中了 85%以上的高度敏感性区域，这与区域内人口稠密，垦殖指数高，农耕植被分布广泛，原生植被大面积破坏有关；植被覆盖度在 50%以上(中度以下敏感性区域)的面积为19 102. 2 km²，比例占 69. 1%(图 3、表 3)，这些区域主要分布在川西南山地区域内水洛河、木里河、雅砻江、大渡河中游两岸植被保存好、人为干扰少以及原始林区。

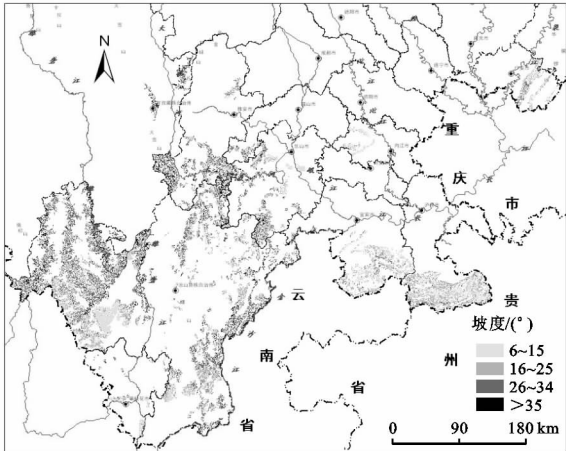


图 2 坡度敏感性分级

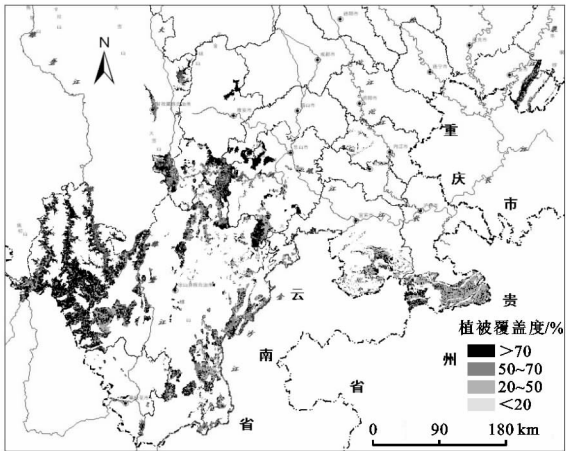


图 3 植被覆盖敏感性分级

表 3 植被覆盖敏感性评价结果

地貌单元	敏感性等级							
	轻度敏感以下(>70%)		中度敏感(50%~70%)		高度敏感(20%~50%)		极敏感(<20%)	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
川西南山地	11844.1	63.18	4327.8	23.09	2378.3	12.69	196.1	1.05
四川盆地南部周缘	897.1	13.86	549.2	8.48	5027.2	77.66	—	—
川东平行岭谷	1009.2	64.90	111.9	7.20	433.9	27.90	—	—
四川盆地	266.3	38.68	96.6	14.03	325.5	47.28	—	—
四川岩溶区	14016.7	50.7	5085.5	18.4	8344.9	30.19	196.1	0.71

3.4 土壤类型

研究区土壤类型石漠化高度敏感和极敏感区域所占面积较大,二者面积之和为 14 357.2 km²,占研究区总面积的 51.94%;中度敏感性区域面积最大为 12 169.4 km²,占研究区面积的 44.02%;轻度敏感性区域面积极少,仅占 4.04%。研究区自然条件差异大(纬度跨度 6°、经度跨度 7°、海拔范围 150~3 900 m),不同地貌区域内土壤类型复杂多样,川西南山地区域内水洛河、木里河、雅砻江河谷两岸以中度敏感性的棕壤、暗棕壤、褐土、黄褐土为主;而盐源盆地西部、大渡河中游、金沙江中游则以高度敏感的黄壤、黄棕壤、燥红土为主;在四川盆地南部周缘、川东平行岭谷以及四川盆地的土壤类型基本以砂壤质地的紫色土、石灰(岩)

土为主,石漠化敏感性程度为极敏感(图 4、表 4)。

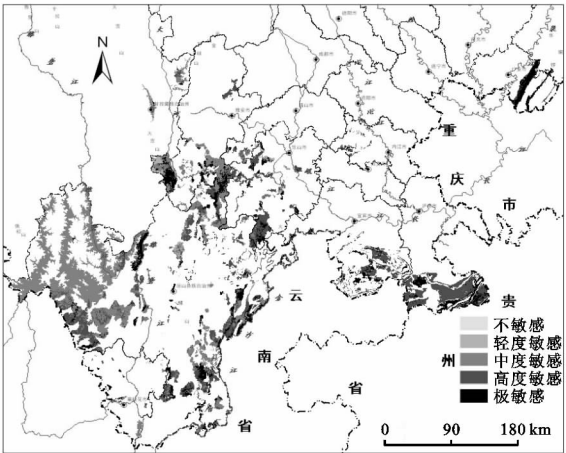


图 4 土壤类型敏感性分级

表 4 土壤类型敏感性评价结果

地貌单元	敏感性等级							
	轻度敏感		中度敏感		高度敏感		极敏感	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
川西南山地	1087.6	5.32	11779.9	57.64	3844.7	18.81	3724.0	18.23
四川盆地南部周缘	23.5	0.49	146.3	3.03	3449.2	71.36	1214.5	25.12
川东平行岭谷	—	—	—	—	713.9	50.21	707.9	49.79
四川盆地	5.6	0.55	304.2	30.04	593.5	58.61	109.4	10.80
四川岩溶区	1116.7	4.04	12169.4	44.02	8601.3	31.12	5755.8	20.82

3.5 石漠化敏感性综合评价

将坡度、植被覆盖、土壤类型与岩溶分布范围叠加,形成石漠化敏感性综合评价图(图 5、表 5)。从图 5 中可以看出,石漠化轻度以下敏感区域主要分布在川西南山地区域内的木里河、水洛河、雅砻江河谷两岸;中度敏感区域集中分布在川西南山地区域内的盐源盆地、大渡河中游局部地区;高度敏感和极敏感区域则主要分布在金沙江下游干热河谷、大渡河中游干旱河谷、四川盆地南部周缘和川东平行岭谷等广大地区;另外,在四川盆地内及四川西部、北部也有一定数量的石漠化中度敏感区域分布。

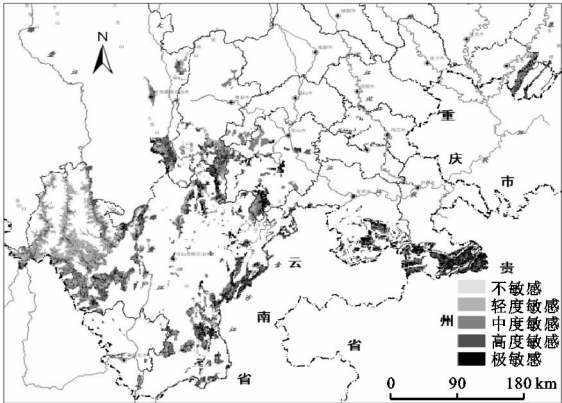


图 5 石漠化敏感性综合评价

表 5 石漠化敏感性综合评价结果

地貌单元	敏感性等级									
	不敏感		轻度敏感		中度敏感		高度敏感		极敏感	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
川西南山地	399.7	1.94	7209.8	34.94	6243.0	30.26	4073.3	19.74	2707.5	13.12
四川盆地南部周缘	46.8	1.14	6.0	0.15	1225.5	29.96	456.3	11.15	2356.0	57.60
川东平行岭谷	6.0	0.77	—	—	421.6	53.91	54.3	6.94	300.1	38.38
四川盆地	58.9	2.76	179.5	8.40	1064.1	49.78	252.6	11.82	582.3	27.24
四川岩溶区	511.3	1.85	7395.3	26.75	8954.2	32.39	4836.5	17.50	5945.9	21.51

3.6 石漠化敏感性与石漠化现状的关系

以上石漠化敏感性评价仅从自然因素角度分析了石漠化易发的程度及空间分布,为进一步了解石漠化发生的根本因素,本文尝试分析石漠化现状与石漠化敏感性之间的对应关系(石漠化现状数据采用四川省林业厅开展的四川省石漠化监测成果,全省外业检查了 10 个县,共抽查图斑 776 个,合格率占全省总图斑数的 2.9%,达到国家石漠化现状监测质量合格的标准)。从石漠化现状与敏感性对应关系表(表 6)中可以看出,2 158.7 km² 的石漠化面积分布在极敏感性区域内,占研究区石漠化面积的 27.86%,高度敏感性区域内分布有 1 563.6 km² 的石漠化面积(占 20.17%),中度敏感性区域内石漠化分布最多为 2 160.0 km²,占 27.87%,中度以上敏感性区域内分

布有 75.9%的石漠化面积。石漠化现状的数量特征说明两者具有较好的对应关系,自然因素是石漠化发生的根本因素,决定了石漠化现状分布的总体格局。但是,其强度特征却表现出一定的差异性,分别有 19.46%,23.88%的重度以上石漠化分布在高度敏感、极敏感区域内,而轻度敏感、中度敏感区域内却分布着 24.56%,30.75%的重度以上石漠化,显然轻度和中度敏感性区域内重度以上石漠化受自然因素影响相对较小,主要是受不合理的人类活动产生的。这些都表明,自然因素对石漠化的发生和空间分布具有较强的主导控制作用,但在局部地区却受到人为干扰因素的深刻影响。因此,保护研究区域内自然生态因素的健康与稳定,减少人类不合理活动的影响,是石漠化防治的重要措施与内容。

表 6 石漠化现状与石漠化敏感性对应关系

石漠化程度	不敏感		轻度敏感		中度敏感		高度敏感		极敏感	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
无石漠化	251.7	2.01	3680.9	29.39	4106.7	32.79	1997.6	15.95	2487.5	19.86
潜在石漠化	125.3	1.70	2005	27.21	2742.5	37.22	1258.6	17.08	1237.2	16.79
轻度石漠化	35.2	2.61	308.4	22.87	426.4	31.62	259.6	19.25	318.9	23.65
中度石漠化	72.2	1.50	1040.5	21.62	1245.1	25.87	994.8	20.67	1460.2	30.34
重度石漠化	17.0	1.31	318.5	24.61	413.0	31.91	258.9	20.00	286.9	22.17
极重度石漠化	4.4	1.51	71.7	24.36	75.5	25.63	50.3	17.09	92.7	31.41
石漠化面积	128.8	1.66	1739.1	22.44	2160.0	27.87	1563.6	20.17	2158.7	27.86
重度以上石漠化	21.4	1.35	390.2	24.56	488.5	30.75	309.2	19.46	379.6	23.88

注:石漠化面积=轻度石漠化+中度石漠化+重度石漠化+极重度石漠化。

4 结论与展望

本文依据石漠化敏感性评价机理,选择是否为岩溶地貌、地形因子、植被覆盖度和土壤类型4个因素,对研究区石漠化敏感性进行单因素和多因素评价研究,并比较了石漠化现状与石漠化敏感性之间的对应关系。结果表明:(1)研究区中度敏感区域面积最大,占研究区面积的32.39%,其次为轻度敏感性区域(26.75%),高度敏感和极敏感性区域的分布面积也较大,面积比例分别为17.50%和21.51%;(2)石漠化敏感性空间分布具有明显的地域差异,金沙江中下游、大渡河中下游和川东平行岭谷是石漠化高度敏感和极敏感的集中分布地区,川西南山地区域内的木里河、水洛河、雅砻江河谷两岸、盐源盆地和四川盆地大部分岩溶分布区基本以轻度、中度敏感性为主;(3)研究区石漠化现状与石漠化敏感性空间分布基本一致,数量特征说明两者具有很好的对应关系,但在局部地区强度特征却表现出一定的差异性。

石漠化是自然因素和人为因素共同作用的结果,自然因素是石漠化发生、发展的潜在条件,决定着石漠化的总体分布格局,但随着人口剧增和社会经济的快速发展,土地负荷增加,人类活动已逐渐成为石漠化发生、发展的重要因素。人类活动可以逐渐改变自然因素的特性,其中植被覆盖是受人类活动影响最大的自然因素之一,在其他自然条件极难改变的情况下,科学地制定林、灌、草植物群落营建技术措施,大力增加地表植被覆盖,辅以适当的工程措施,可以改善岩溶地区自然生态环境,有效遏制石漠化的发生与发展。

本文仅分析了单时段石漠化现状与石漠化敏感性之间的关系,若能获取多时段石漠化现状监测数据,与石漠化敏感性之间进行比较研究,则更能反映出研究区石漠化现状与敏感性的之间的时空变化规律。因此,定期开展石漠化现状和区域植被覆盖的监测对进一步研究石漠化的生态环境响应具有重要意义。

参考文献:

- [1] 王世杰.喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨[J].中国岩溶,2002,21(2):101-105.
- [2] 苏维词.中国西南岩溶山区石漠化的现状成因及治理的优化模式[J].水土保持学报,2002,16(2):29-32.
- [3] 凡非得,王克林,熊鹰,等.西南喀斯特区域水土流失敏感性评价及其空间分异特征[J].生态学报,2011,31(21):6353-6362.
- [4] 李瑞玲,王世杰,周德全,等.贵州岩溶地区岩性与土地石漠化的相关分析[J].地理学报,2003,58(2):314-320.
- [5] 李阳兵,白晓永,周国富,等.中国典型石漠化地区土地利用与石漠化的关系[J].地理学报,2006,61(6):624-632.
- [6] 黄秋昊,蔡运龙,王秀春.我国西南部喀斯特地区石漠化研究进展[J].自然灾害学报,2007,16(2):106-111.
- [7] 张俊佩,张建国,段爱国,等.中国西南喀斯特地区石漠化治理[J].林业科学,2008,44(7):84-89.
- [8] 黄黔.西南岩溶地区石漠化成因和治理重点[J].草业科学,2010,27(8):5-9.
- [9] 肖荣波,欧阳志云,王效科,等.中国西南地区石漠化敏感性评价及其空间分析[J].生态学杂志,2005,24(5):551-554.
- [10] 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.
- [11] 杨青青,王克林,岳跃民.桂西北石漠化空间分布及尺度差异[J].生态学报,2009,29(7):3629-3640.
- [12] 杜毓超,李兆林,陈宏峰,等.广西灌江流域岩溶生态环境敏感性分析[J].中国岩溶,2006,25(3):220-227.
- [13] 李东梅,高正文,付晓,等.云南省生态功能类型区的生态敏感性[J].生态学报,2010,30(1):138-145.
- [14] 王艳强,朱波,王玉宽,等.重庆市石漠化敏感性评价[J].西南农业学报,2005,18(1):70-73.
- [15] 刘春霞,李月臣,杨华.三峡库区(重庆段)石漠化敏感性评价及空间分异特征[J].长江流域资源与环境,2011,20(3):291-297.
- [16] 蔡凤隆.四川省石漠化第一次监测报告[R].成都:四川省林业厅,2006.