

贵州省石漠化敏感区生态红线空间分异与管控措施研究^{*1}

谢雅婷^{1,2} 周忠发^{1,2*} 闫利会^{1,2} 牛颖超^{1,2} 王历^{1,2}

(1. 贵州师范大学喀斯特研究院, 贵州 贵阳 550001;

2. 国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550001)

【摘要】: 贵州省石漠化演变态势遏制了长江、珠江流域的生态安全需要。为响应国家生态环境保护与修复政策, 加强长江上游生态保护工作, 遏制贵州省生态环境恶化趋势, 研究基于遥感和GIS技术, 针对贵州省喀斯特石漠化等典型生态环境问题, 依据《生态红线划定技术指南》(2015-06)建立敏感性评价指标体系及评价模型, 评价贵州省石漠化敏感性现状, 划定石漠化敏感区生态保护红线, 定量揭示贵州省石漠化敏感区生态红线现状及地域分异, 并根据贵州省石漠化治理实际情况, 提出具体管控措施。结果表明: (1)2011年贵州省石漠化敏感性以强度敏感性为主, 面积达36 227.83 km², 占全省喀斯特地貌面积的32.23%, 总体分布规律呈条带状分布; (2)通过叠加分析得出石漠化敏感区的空间分布与石漠化现状有一定关系, 表现为除去无明显石漠化、潜在石漠化、不敏感性、轻度敏感性之外, 已石漠化土地与中度以上敏感性所占面积比例变化趋势呈正相关。(3)贵州省石漠化敏感区生态红线面积达6 814.25 km², 占全省国土面积的3.87%; 主要由破碎斑块组成, 较集中分布于贵州北部、南部及西部地区, 其中遵义市、毕节市以及黔南州面积最大、最集中; (4)石漠化敏感区生态红线的管控措施应实施治理与保护并行, 主要以保护为主, 同时, 加强石漠化敏感区综合治理以及生态保护政策体系建设。

【关键词】: 生态红线; 石漠化敏感区; 空间分异; 管控措施

【中图分类号】: X171.1 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2017)04-0624-07

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201704016

¹ 收稿日期: 2016-08-29; 修回日期: 2016-11-28

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(973计划)(2012CB723202) [National Program on Key Basic Research Project of China (973 Program) (2012CB723202)]; 国家自然科学基金(41301504) [National Natural Science Foundation of China (41301504)]; 贵州省重大应用基础研究项目(黔科合JZ字[2014]200201) [The Major Application Foundation Research Project of Guizhou Province (Guizhou S&T Contract JZ 2014-200201)]; 贵州省发展和改革委员会委托-2015年贵州省节能减排省级专项资金投资计划项目(黔发改环资[2015]1612号) [Guizhou Provincial Development and Reform Commission Commissioned - Guizhou Province in 2015 the Provincial Energy-saving Emission Reduction Special Funds Investment Projects (Guizhou NDRC Environmental Assistance Project 2015-1612)]

作者简介: 谢雅婷(1991~), 女, 硕士研究生, 研究方向为地理信息系统与遥感. E-mail: 1527973657@qq.com

*通讯作者 E-mail: fa6897@163.com

为加强全国生态保护与修复,遏制我国生态环境恶化趋势,《国务院关于加强环境保护重点工作的意见》明确提出,在重要生态功能区、陆地和海洋生态环境敏感区、脆弱区等区域划定生态保护红线。2014年,划定并严守生态保护红线被写入新修订的《环境保护法》,生态红线划定任务上升到国家立法层面^[1~5]。生态保护红线的划定对维护生态安全格局、保障生态系统功能、支撑经济社会可持续发展具有重要作用。石漠化敏感区隶属陆地生态环境敏感区,是生态保护红线的重要组成部分,可定义为自然状态下易发生石漠化的区域^[6~10]。喀斯特地区作为最易发石漠化问题的区域,对其开展石漠化敏感性评估,划定石漠化敏感区生态红线范围,有利于防治喀斯特区域石漠化的发生及进一步恶化。

目前国内对石漠化敏感性的评价进行了一些探索性研究,刘军会等^[1]通过对中国生态环境敏感区评价得出中国石漠化以不敏感为主,石漠化易发生区域主要集中分布于西南喀斯特地区。肖荣波等^[7]通过对西南地区石漠化敏感性评价发现石漠化敏感区集中分布于贵州西部、南部,广西西部、东部以及云南东部等地。赖长鸿等^[8]基于GIS技术运用岩溶地貌、坡度、植被覆盖、土壤类型等指标对四川省石漠化敏感性进行评价。刘春霞等^[9]运用GIS与RS技术分析了喀斯特岩性因子、地形因子、植被覆盖因子、土壤类型因子的空间格局特征及其对研究区石漠化敏感性的影响程度。上述研究主要集中在石漠化敏感性评价方面,而指标体系不一,主观成分大、难以获取是目前评价的难点所在,评价的侧重点也不统一,相应的评价结果也存在差异;同时对指标因子对石漠化敏感性的影响笔墨较多,对敏感性空间上的分异描述存在不足。

贵州省是中国乃至世界热带、亚热带喀斯特分布面积最大,发育最强烈的高原山区。作为喀斯特山区,贵州省具有最典型的脆弱环境和复杂的人地生态系统,环境的脆弱性和易伤性,加上不合理的人为活动影响,致使喀斯特生态环境严重恶化,出现了一系列重大的生态环境问题,主要表现在以下几个方面^[10~14]:第一,直接导致土地承载力大幅度降低甚至丧失,缩小了人类生存发展的空间;第二,严重影响长江、珠江流域的生态安全;第三,导致植被结构简单化、生态系统简单化,生物多样性锐减;第四,导致区域贫困程度加剧,影响经济社会的可持续发展。因此,在贵州省划定石漠化敏感区生态保护红线,制定相关管控措施,对石漠化敏感区进行严格管控,能有效防止石漠化趋势进一步恶化,切实改善和修复生态环境,缓解环境压力,对于维护两江上游生态安全格局、提高贵州生态环境对长江经济带发展的承载和支撑能力、守住生态与发展两条底线、推进生态文明先行示范区建设具有重要意义。综上,文章基于环境保护部2015年出台的《生态红线划定技术指南》^[16]构建石漠化敏感性评价模型,评价贵州省石漠化敏感性,并在此基础上,深入分析石漠化敏感区生态红线的空间格局及其分异规律,并提出行之有效的管控措施。

1 研究区概况

贵州省位于中国西南部,介于 $103^{\circ}36'E \sim 109^{\circ}35'E$ 、 $24^{\circ}37'N \sim 29^{\circ}13'N$ 之间,东毗湖南,西连云南,南邻广西,北接四川和重庆,国土面积 176167 km^2 ,占全国国土面积的1.8%。处于世界三大连片喀斯特发育区之一的东亚片区中心,碳酸盐岩出露面积达 112401.75 km^2 ,占全省国土面积的63.8%(贵州省第二次石漠化状况及程度统计结果)。境内地势西高东低,自中部向北、东、南三面倾斜,地貌类型主要包括高原山地、丘陵和盆地3种,其中92.5%的面积为山地和丘陵,平均海拔1100m左右。贵州属亚热带湿润季风气候区,全省大部分地区年平均气温为 15°C 左右,无霜期250~300d;降水较多,年降水量1300mm左右。地带性土壤属中亚热带常绿阔叶林红壤-黄壤。贵州省处于长江和珠江两大水系上游交错地带,是长江、珠江上游地区的重要生态屏障,有69个县属长江防护林保护区范围,其中,长江流域面积为 115747 km^2 ,占全省国土面积的66.1%,珠江流域面积为 60420 km^2 ,占全省国土面积的35%^[15]。依据贵州省第二次石漠化状况及程度统计结果(图1),2011年,贵州省石漠化面积为 30237.57 km^2 ,占贵州省出露碳酸盐岩总面积的26.90%,占国土总面积的17.16%,涉及78个县。其中,轻度石漠化面积为 10648.74 km^2 ;中度石漠化面积为 15341.40 km^2 ;强度石漠化面积为 3750.42 km^2 ;极强度石漠化面积为 497.01 km^2 。

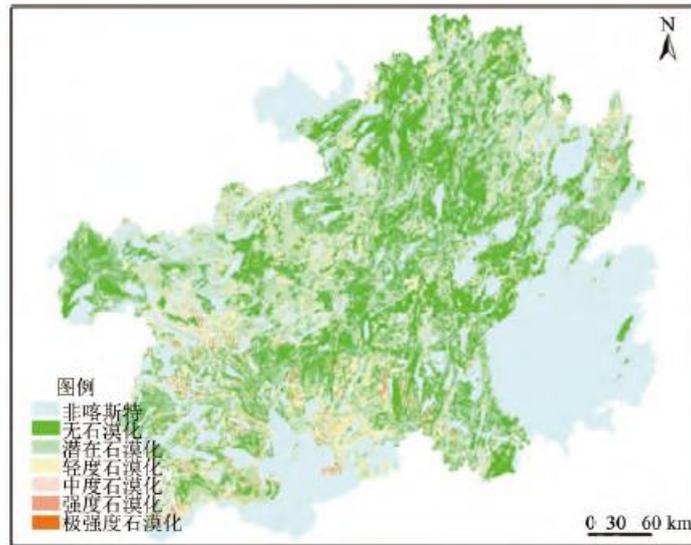


图 1 贵州省2011年石漠化现状图

Fig.1 Stone Desertification Status in Guizhou Province in 2011

2 技术与方法

根据《生态红线划定技术指南》(2015-06)^[16]得出石漠化敏感区主要受碳酸盐岩出露面积百分比、地形坡度、植被覆盖度等因子的影响而呈现不同的敏感性。因此,根据各单因子的分级及赋值(表 1),利用地理信息系统的空间叠加功能,将各单因子敏感性影响分布图进行乘积计算,可得到石漠化敏感性等级分布图,具体公式如下:

$$S_i = \sqrt[3]{D_i \times P_i \times C_i} \quad (1)$$

式中, S_i 为 i 评价区域石漠化敏感性指数; D_i 、 P_i 、 C_i 分别为 i 评价区域碳酸盐岩出露面积百分比、地形坡度以及植被覆盖度^[16]。

表 1 贵州省石漠化敏感性评价指标体系及分级标准表

Tab.1 Sensitivity of Rocky Desertification in Guizhou Province Index System and Grading Standards Table

石漠化敏感性等级	碳酸盐岩出露面积百分比(%)	地形坡度(°)	植被覆盖度(%)	分级赋值(S)
不敏感	≤10	≤5	≥0.8	1
轻度敏感	10~30	5~8	0.6~0.8	3
中度敏感	30~50	8~15	0.4~0.6	6
高度敏感	50~70	15~25	0.2~0.4	7
极敏感	≥70	≥25	≤0.2	9

2.1 指标因子提取

碳酸盐岩出露面积百分比(D_i):是指区域单元范围内碳酸岩出露面积占单元总面积的百分比,根据贵州省 1:20 万水文地质图,分别提取出碳酸盐岩、碳酸盐岩夹非碳酸盐岩以及非碳酸盐岩(图 2a),以 69×69 为窗口大小分别计算各窗口碳酸盐岩出露

面积百分比。

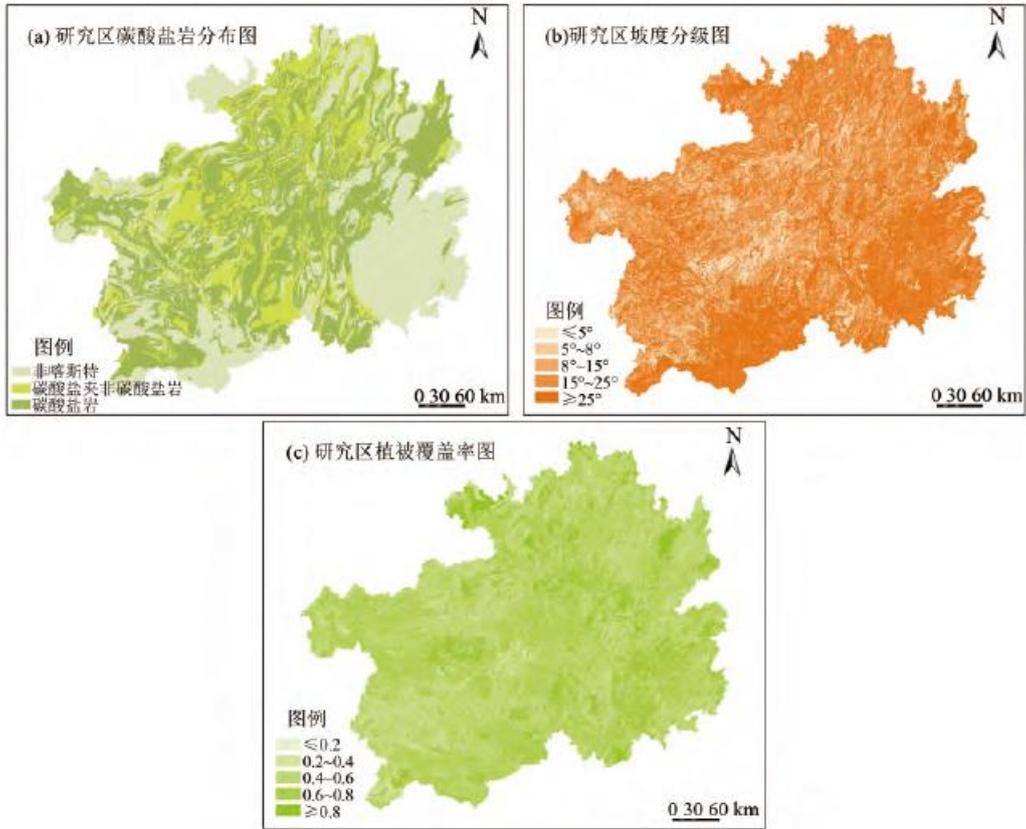


图 2 贵州省石漠化敏感性评价指标图

Fig.2 Sensitivity Evaluation Indexes of Rock Desertification in Guizhou Province

地形坡度 (P_1): 对贵州省 1:5 万纸质地形图进行扫描→空间几何校正→拼接→矢量化→创建 TIN→栅格化等处理后最终建立贵州省数字高程模型 (DEM), 根据公式 (2) 提取出坡度图, 并根据表 1 中的分级标准进行重分类, 最终得到研究区坡度分级图 (图 2b)。

$$\text{Slope} = \arctan \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \times 180/\pi^{[17]} \quad (2)$$

式中: f_x 为 X 方向高程变化率; f_y 为 Y 方向高程变化率。

植被覆盖度 (C_i): 研究数据采用 2011 年购置的贵州省 ALOS10 m 分辨率遥感影像图, 通过 ENVI5.3 软件进行影像预处理及植被 NDVI 计算, 最后根据公式 (3) 计算得出地表植被覆盖度, 根据表 1 中的分级标准进行重分类后可得到研究区植被覆盖率分级图 (图 2c)。

$$C_i = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \quad (3)$$

式中： $NDVI_{veg}$ 为完全植被覆盖地表的 NDVI， $NDVI_{soil}$ 为无植被覆盖地表的 NDVI。由于大部分植被覆盖类型是不同植被类型的混合体，所以不能采用固定的 $NDVI_{soil}$ 和 $NDVI_{veg}$ 值，根据生态红线划定技术指南要求：累积频率为 2% 的 NDVI 值为 $NDVI_{soil}$ ，累积频率为 98% 的 NDVI 值为 $NDVI_{veg}$ [16]。

2.2 石漠化敏感性分级赋值及后处理

利用 ArcGIS 软件将碳酸盐岩出露面积百分比、地形坡度以及植被覆盖度等因子进行矢量化及叠加分析，采用自然分界法和定性分析相结合，按照表 2 的分级标准表及公式 (1) 对各重叠区域敏感性进行乘积计算并赋值，评价结果分为不敏感、轻度敏感、中度敏感、高度敏感和极敏感 5 个等级。在结合全省石漠化治理重点区域的基础上，为保证生态保护红线区生态完整性和连续性。利用地理信息系统软件将研究区石漠化敏感性评估数据转换为 Shape 格式，通过聚合工具将相对聚集或邻近的图斑聚合为相对完整连片图斑，聚合距离为 250 m，最小孔洞大小为 1 km^2 [16]。利用 GIS 系统中的 Eliminate 功能，将面积小于 1 km^2 的斑块消除。最终得到贵州省石漠化敏感性空间分布图(图 3)。

表 2 石漠化敏感性评价指标及分级赋值标准

Tab.2 Categories and Grades of Each Factor on Sensitivity of Rocky Desertification

	不敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极敏感
分级赋值	1	3	5	7	9
分级标准	1.0~2.0	2.1~4.0	4.1~6.0	6.1~8.0	>8.0

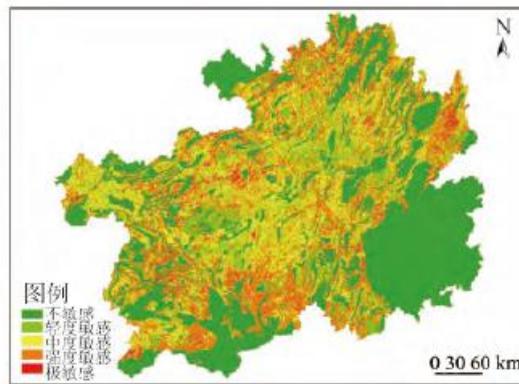


图 3 贵州省石漠化敏感性分布图

Fig.3 Sensitive of Rock Desertification Areas in Guizhou Province Distribution Map

3 结果与分析

3.1 石漠化现状与石漠化敏感性相关性分析

通过贵州省石漠化敏感性评价结果得出，2011 年贵州省石漠化敏感性以强度敏感性为主，面积达 36227.83 km^2 ，占全省喀斯特区域面积的 32.23%。其次为中度敏感性，面积达 33270.18 km^2 ，占全省喀斯特区域面积的 29.60%；轻度敏感性面积为 20689.25

km²，占全省喀斯特区域面积的 18.41%；比重较小的为极敏感以及不敏感两个区域，分别为 14500.24 km² (13.70%) 和 6814.25km²(6.06%) (图 4)。总体分布规律呈条带状分布，呈现出明显的地域差异性。其分布形态上受碳酸盐岩出露影响，其地域差异性主要是受地形坡度以及植被覆盖度的差异的影响。

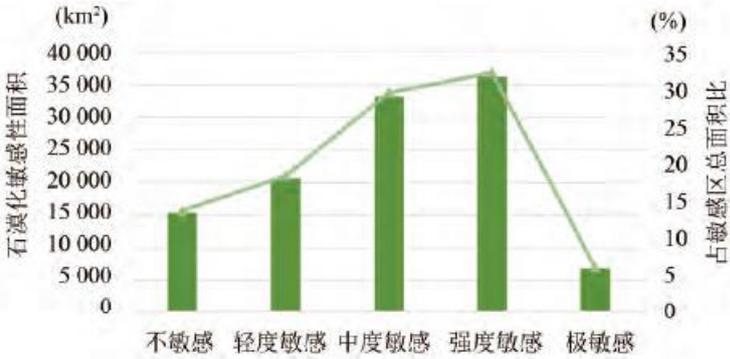


图 4 贵州省石漠化敏感性评价结果

Fig.4 Sensitivity Evaluation of Rocky Desertification in Guizhou Province

利用 ArcGIS 10.2 空间分析模块的叠加分析工具对石漠化敏感性评价结果及喀斯特石漠化现状进行相关性分析可得出以下结论：①各石漠化类型随着石漠化程度的严重，面积整体呈递减趋势，以无明显石漠化面积最大。而各石漠化敏感性随着敏感性程度的加深，面积呈现先增后减的趋势，以强度敏感性面积为最大。从面积比例上来看，石漠化敏感性各等级间面积占总面积比与石漠化面积的占比在变化趋势存在一定的相关性，除去无明显石漠化、潜在石漠化、不敏感性、轻度敏感性之外，已石漠化土地与中度以上敏感性所占面积比变化趋势呈正相关。②各类型石漠化中石漠化敏感区在无明显石漠化中占有比重最大，除强度敏感性之外其余敏感性在无明显石漠化区域的分布面积比重均超过 40%；其次为潜在石漠化区域，比重均超过 20%。而在已石漠化土地中所占比重不超过 40%。这种分布趋势符合石漠化敏感性是指最易发生石漠化的区域的定义，即敏感区主要分布于无明显石漠化或潜在石漠化区域。

3.2 石漠化敏感区生态红线划分结果及空间分异特征

依据《生态红线划定技术指南》^[16]的描述，将石漠化极敏感区划入生态保护红线，面积达 6814.25 km²，占全省国土面积的 3.87%。根据石漠化敏感区生态红线划定结果(图 5)，敏感区面积大于 10 km² 的县有 73 个，大于 50 km² 的县为 50 个，大于 100 km² 的县为 30 个，大于 150 km² 的县为 11 个，大于 200 km² 的县为 6 个。石漠化敏感区面积居前三的为遵义市(1 539.69 km²)、毕节市(1409.76km²)以及黔南苗族布依族自治州(1 204.18 km²)；占市(州)国土面积比重居前三位的为毕节市(5.25%)、铜仁市(5.23%)以及遵义市(5.01%)。石漠化敏感区面积比重居前十位的县(市、区)分别是万山区(21.36%)、正安县(9.64%)、黔西县(59.57%)、晴隆县(8.78%)、碧江区(8.56%)、大方县(8.34%)、松桃县(8.24%)、桐梓县(8.12%)、红花岗区(7.93%)和仁怀市(7.92%)。石漠化敏感区面积比重居末尾十位的县(市、区)依次为清镇市(1.46%)、乌当区(1.36%)、西秀区(1.33%)、息烽县(1.26%)、花溪区(1.17%)、修文县(0.99%)、余庆县(0.99%)、望谟县(0.92%)、平坝区(0.57%)以及白云区(0.47%)，由此可见贵州省石漠化敏感区面积比重较小，集中分布与几个重点区域。

表 3 石漠化现状与石漠化敏感性相关分析

Tab.3 Superimposed Analysis Results between Rocky Desertification Sensitivity and Present Status of Rocky Desertification

石漠化类型	石漠化敏感性类型										合计	占石漠化总面积比(%)
	不敏感 (km ²)	比例 (%)	轻度敏感 (km ²)	比例 (%)	中度敏感 (km ²)	比例 (%)	强度敏感 (km ²)	比例 (%)	极敏感 (km ²)	比例 (%)		
无明显石漠化	6 951.02	45.14	13 140.28	63.51	13 397.66	40.27	13 332.98	36.80	2 786.43	40.89	49 608.371	44.13
潜在石漠化	4 335.21	28.15	4 470.25	21.61	11 708.76	35.19	10 570.11	29.18	1 471.47	21.59	32 555.8	28.96
轻度石漠化	1 568.81	10.19	1 162.52	5.62	3 082.76	9.27	4 203.58	11.60	631.07	9.26	10 648.74	9.47
中度石漠化	2 085.39	13.54	1 636.34	7.91	4 122.13	12.39	6 136.21	16.94	1 361.32	19.98	15 341.4	13.65
强度石漠化	459.80	2.99	279.86	1.35	930.35	2.80	1 771.06	4.89	309.35	4.54	3 750.42	3.34
极强度石漠化	0.00	0.00	0.00	0.00	28.52	0.09	213.88	0.59	254.62	3.74	497.01	0.44
总计	15 400.24	100	20 689.25	100	33 270.18	100	36 227.83	100	6 814.25	100	112 401.74	100
占石漠化敏感性总面积比(%)	13.70	-	18.41	-	29.60	-	32.23	-	6.06	-	-	-

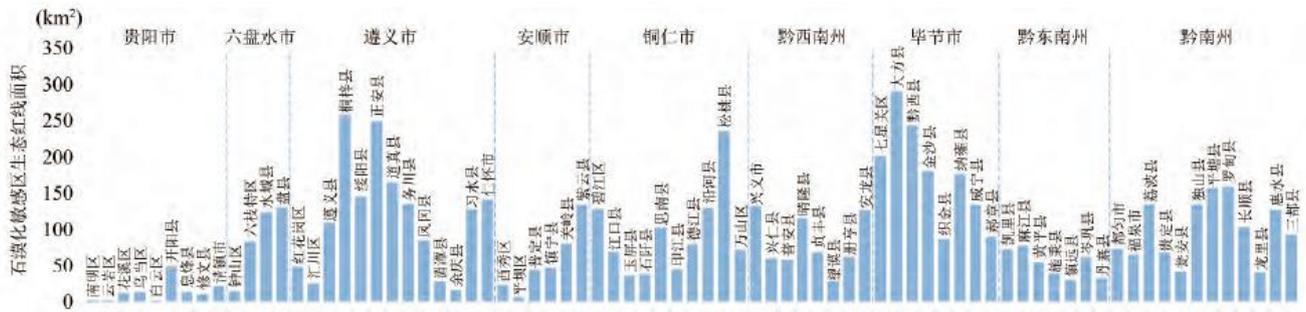


图 5 贵州88个县石漠化敏感区生态红线面积图

Fig.5 Area Map of Ecological Red Area in Rocky Desertification Sensitive Area in 88 Counties of Guizhou

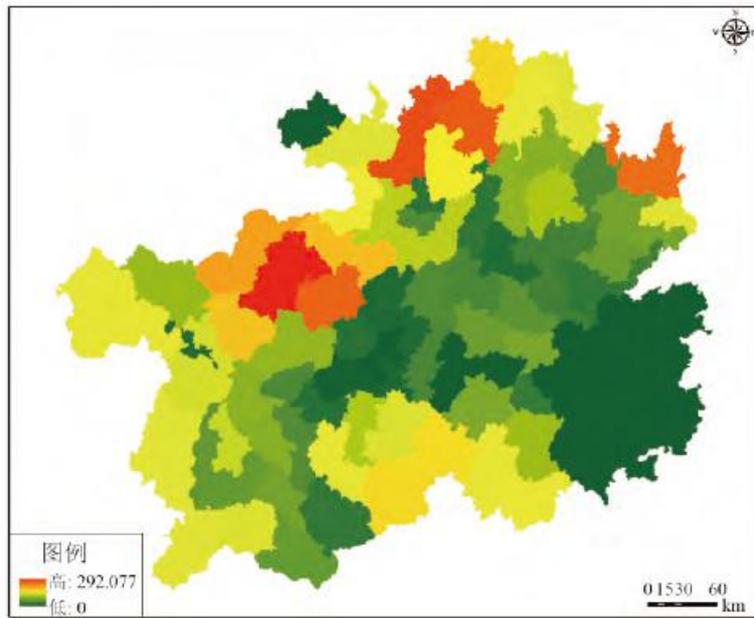


图 6 石漠化敏感区生态红线空间分异特征图

Fig.6 Spatial Variation Characteristic of Ecological Red Line in Rocky Desertification Area

根据贵州省石漠化敏感性评价图(图 3)可以看出贵州省石漠化极敏感区图斑破碎,无明显规律,基本遍及所有喀斯特地区。因此,根据各县市石漠化极敏感区面积制作了生态保护红线石漠化敏感区类空间分异特征图(图 6)。图中越偏向绿色说明石漠化敏感区面积越小,越偏向红色说明敏感区面积越大。除去黔东南苗族侗族自治州、赤水市等非喀斯特地区,石漠化敏感区的空间分布特征为:贵州中部敏感区面积较小,贵州北部、南部、西部地区的石漠化敏感区面积较中部地区大,其中长江流域面积明显高于珠江流域。

4 石漠化敏感区生态保护红线管控措施

生态红线具有 3 个属性特征:保护性质不改变、生态功能不降低、空间面积不减少^[3]。生态红线的空间界线应相对固定,可以根据经济社会发展与生态保护的新形势需求,进行适当调整生态红线。但生态红线面积只能增加,不能降低。要使红线真正起到生态保护的作用,关键是如何严守生态红线。2011 年国务院提出划定生态红线任务以来,各级政府对于划定及保护生态红线都非常重视,江苏^[18]、天津、武汉、大连等省市均划定了本辖区生态保护红线并颁布实施了保护规划。但这些地区的生态红线的划定均不涉及石漠化敏感区,由于石漠化敏感区生态红线是西南地区特有的红线种类,对于此类红线的管控措施尚不完善。文章针对贵州地区石漠化敏感区类生态保护红线特点提出以下几种措施。

4.1 坚持保护为主适当开发为辅

由于划定的石漠化敏感区分布破碎,因此在进行保护与开发之前,应对敏感区碎片进行归纳整理,对于同其他生态保护红线类如生态公益林、自然保护区、森林公园等存在重叠的部分则统一保护,对于不在这些区域的敏感区根据面积的大小进行开发与保护,对于面积较大的石漠化敏感区实行封禁管理,同时对周边困难群众实行异地扶贫搬迁,对于面积较小,分布分散的区域实行面上保护,适度开发,以维护区域生态系统完整性、保证生态过程连续性,改善生态系统服务功能为中心,优化产业布局,调整产业结构,全面限制有损于红线保护区生态环境的产业扩张,发展与当地资源环境承载力相适应的特色产业和环境

友好产业，对影响生态环境的建设项目应当有计划地清理或者迁出生态保护红线区。

4.2 加强石漠化敏感区综合治理

控制石漠化的发生是减小区域石漠化敏感性的根本办法。针对不同石漠化等级类型区生态环境缺水、缺土、缺林的基本特征，以蓄水、保土、造林、种草为中心，把生物、工程、耕作、管理等措施进行组装集成配套的综合治理技术模式，通过小流域开展山、水、田、林、路综合治理；把石漠化综合治理的途径、措施及技术示范与区域脱贫和促进农村发展相结合，走生态农业或混农林业的发展道路；采取相应的综合配套技术和措施对水土流失及生态环境进行综合治理。

4.3 加强生态保护政策体系建设

为保障生态保护红线切实落地，生态红线落地过程中，需出台严格的配套管控措施，针对不同区域制定差异性管理制度。(1)，建立生态补偿制度，完善生态补偿制度，多渠道筹集生态补偿基金。(2)，建立保护石漠化敏感区的监测和考核考评制度。加强各市(州)、县石漠化监测机构的监测能力建设，建立覆盖红线区的实时、动态、立体化的监视监测体系。(3)，要完善干部考核评价制度，实行严格的源头保护、损害赔偿和责任追究制度。推进地方政府建立并实施保护治理石漠化敏感区目标责任制，把石漠化敏感区的治理与保护纳入地方政府目标责任制考核。完善破坏石漠化敏感区类生态红线保护违法案件问责制度，依法追究党政干部在生态保护中的违法行政和失职渎职行为。同时，加大宣传促进各级政府及群众充分认识到保护石漠化敏感区的必要性和紧迫性，提高社会各界和公众对于生态保护红线石漠化敏感区类的认知程度，促进共同参与生态红线保护的积极性和主动性。

参考文献：

- [1] 刘军会, 高吉喜, 马 苏, 等. 中国生态环境敏感区评价[J]. 自然资源学报, 2015, 30(10): 1607 - 1616.
- 【LIU J H, GAO J X, MA S, et al. Evaluation of ecological sensitivity in China[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(10): 1607 - 1616.】
- [2] 杨邦杰, 高吉喜, 邹长新. 划定生态保护红线的战略意义[J]. 中国发展, 2014, 14(1): 1 - 4.
- 【YANG B J, GAO J X, ZOU C X. The strategic significance of drawing the ecological protection red line[J]. China Development, 2014, 14(1): 1 - 4.】
- [3] 高吉喜, 邹长新, 王丽霞. 划定生态保护红线深化环境影响评价[J]. 环境影响评价, 2014, (4): 11 - 15.
- [4] 高吉喜, 邹长新, 杨兆平, 等. 划定生态红线 保障生态安全[N]. 中国环境报, 2012-10-18.
- [5] 梁学功, 樊春燕. 贯彻生态文明理念 做好环境影响评价与评估[J]. 三峡环境与生态, 2013, 35(2): 1 - 2.
- [6] 安宏锋, 安裕伦, 袁士聪, 等. 贵州省石漠化敏感性的动态演变与模拟预测[J]. 中国农学通报, 2010, 26(13): 388 - 395.
- 【AN H F, AN Y L, YUAN S C, et al. The dynamic change and simulation and prediction of sensitivity of the karst rocky desertification of Guizhou[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(13): 388 - 395.】

[7] 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.

【XIAO R B, OUYANG Z Y, WANG X K, et al. Sensitivity of rocky desertification and its spatial distribution in southwestern China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(5): 551 - 554.】

[8] 赖长鸿, 覃家作, 张文, 等. 四川省石漠化敏感性评价及其空间分布特征[J]. 水土保持研究. 2013, 20(4): 99 - 104.

【LAI C H, QIN J Z, ZHANG W, et al. Assessment on sensitivity and spatial distributed characteristics of karst rocky desertification in Sichuan province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2013, 20(4): 99 - 104.】

[9] 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.

【LIU C X, LI Y C, YANG H. Sensitivity assessment of karst rocky desertification in Three Gorges Reservoir Area of Chongqing and its spatial differentiation characteristics[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2011, 20(3): 291 - 297.】

[10] 凡非得, 王克林, 宣勇, 等. 西南喀斯特区域生态环境敏感性评价及其空间分布[J]. 长江流域资源与环境. 2011, 20(11): 1394 - 1399.

【FAN F D, WANG K L, XUAN Y, et al. Eco-environmental sensitivity and its spatial distribution in Karst Regions, Southwest China[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2011, 20(11): 1394 - 1399.】

[11] 熊康宁, 黎平, 周忠发, 等. 喀斯特石漠化的遥感-GIS 典型研究-以贵州省为例[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 17 - 28.

[12] 高贵龙, 邓自民, 熊康宁, 等. 喀斯特的呼唤与希望——贵州喀斯特生态环境建设与可持续发展[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2003: 27 - 66.

[13] 蓝安军, 熊康宁, 安裕伦. 喀斯特石漠化的驱动因子分析——以贵州省为例[J]. 水土保持通报, 2001, 21(6): 19 - 23.

【LAN A J, XIONG K N, AN Y L. Analysis on driving factors of karst rock-desertification—with a special reference to Guizhou Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2001, 21(6): 19 - 23.】

[14] 刘智慧, 周忠发, 郭宾. 贵州省重点生态功能区生态敏感性评价[J]. 生态科学, 2014, 33(6): 1135 - 1141.

【LIU Z H, ZHOU Z F, GUO B. Ecological sensitivity evaluation of significant eco-function areas in Guizhou Province[J]. Ecological Science, 2014, 33(6): 1135 - 1141.】

[15] 贵州概况[EB/OL]. (2011-10-31). <http://gz.zwbk.org/MyLemmaShow.aspx?lid=1035#5>.

[16] 环境保护部. 生态保护红线划定技术指南[Z]. 北京: 环境保护部, 2015. (请核对文献类型)

[17] 汤国安, 李发源, 刘学军. 数字高程模型教程[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2010: 147 - 148.

[18] 燕守广, 林乃峰, 沈渭寿. 江苏省生态红线区域划分与保护[J]. 生态与农村环境学报, 2014, 30(3): 294 - 299.

【YAN S G, LIN N F, SHEN W S. Delineation and protection of ecological red lines in Jiangsu Province[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2014, 30(3): 294 - 299.】