

邓欧,李亦秋,杨广斌,等.贵州喀斯特石漠化防治的国家重点生态功能区生态系统健康度评价[J].中国岩溶,2020,39(5): 689-696.

DOI:10.11932/karst20200506

贵州喀斯特石漠化防治的国家重点生态功能区 生态系统健康度评价

邓欧^{1,2},李亦秋^{1,2},杨广斌^{1,2},李若霜³

(1. 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550025; 2. 贵州山地资源与环境遥感重点实验室, 贵阳 550025; 3. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要:文章以桂黔滇喀斯特石漠化防治的国家重点生态功能区贵州区为研究对象,以2010、2015年遥感影像、基础地理信息、降水、土壤等数据资料为基础,集成3S技术和生态评估模型,对水源涵养、土壤侵蚀和石漠化进行定量和定位研究。结果表明:研究区4个亚区的水源涵养功能等级处于“中”、“高”等水平,2015年比2010年的水源涵养指数有所提高;威宁—赫章区、关岭—镇宁区和册亨—望谟区3个亚区的土壤侵蚀模数较大,水土保持功能等级处于“低”等,罗甸—平塘区的土壤侵蚀模数最低,其水土保持功能等级为“中”等;威宁—赫章区2010年中度以上石漠化比重达16.36%,2015年降为8.74%,生态系统健康度从“低”转为“中”;关岭—镇宁2010年和2015年中度以上石漠化比重分别为8.64%和4.49%,生态系统健康度从“中”转化“高”;册亨—望谟和罗甸—平塘的健康度均为“高”,2015年相比2010年均有所提升;4个亚区的石漠化恶化面积所占比重均不到1.00%,石漠化好转区域分别占27.00%、14.10%、10.24%和5.13%,石漠化得到了有效遏制。今后应继续因地制宜,恢复植被和生态系统,巩固和扩大石漠化防治成果。

关键词:喀斯特;石漠化;国家重点生态功能区;生态系统健康度

中图分类号:X826 **文献标识码:**A

文章编号:1001-4810(2020)05-0689-08 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



0 引言

2011年6月,中华人民共和国国务院正式发布的《全国主体功能区规划》划定了4种类型的25个国家级重点生态功能区,其分别承担着水土保持、水源涵养、防风固沙和生物多样性维护方面的重要生态功能^[1]。重点生态功能区的划定和保护实施,促进了功能区的可持续发展,改善了区域的人类福祉^[2-3]。诸多学者针对不同类型或不同区域的重点生态功能区开展的相关研究主要集中在发展路径选择^[4]、生态补偿^[5-6]、转移支付^[7]、生态系统服务^[8-10]等方面。桂黔

滇喀斯特石漠化防治生态功能区自划定以来,研究内容包括生态系统结构、功能特征及其生态环境问题等^[11],其中贵州区的研究主要是关于重点生态功能区的生态现状、石漠化成因分析^[12]、生态敏感性评价^[13]及转变经济发展方式问题^[14]。而以生态系统服务为核心,综合评估重点生态功能区典型生态功能及其健康度动态变化的研究鲜见报道。

本文以国家重点生态功能区——桂黔滇喀斯特石漠化防治贵州区为研究对象,借助3S技术强大的空间数据采集、分析和空间建模运算能力,结合生态评估模型,对研究区的水源涵养功能和土壤侵蚀模

资助项目:贵州省科技计划项目(黔科合基础[2019]1222,[2019]1218,[2020]1Z031);贵州师范大学资助博士科研项目(GZNUD[2017]8,GZNUD[2017]9)

第一作者简介:邓欧(1973—)男,博士,讲师,主要研究方向为资源环境、生态经济、3S技术及应用。E-mail:o.deng@126.com。

收稿日期:2019-11-04

数进行估算,通过水源涵养功能指数和水土流失指数对其典型生态功能进行分级和分区统计,再在喀斯特石漠化等级划分的基础上,对生态系统健康度及其动态变化进行定量和定位研究,以期为喀斯特石漠化防治的重点生态功能区的生态监测和保护成效评估提供科学参考。

1 研究区概况

贵州省喀斯特石漠化防治的国家重点生态功能区地处长江和珠江的上游地区,是长江流域和珠江流域至关重要的生态屏障,肩负着水源涵养和水土保持等重要生态服务功能。功能区包括9个县,隶属于4个市(州),总面积为26 454 km²,占贵州省总面积的15.02%;人口总数为386.09万人,占贵州省人口比例10.17%^[14]。其功能区平均海拔约1 360 m,属于亚热带高原季风湿润气候,碳酸盐岩及其碎屑岩夹

层、互层分布广泛,占总面积的68.41%(数据来源:贵州省基础地理信息数据库),是以喀斯特环境为主的特殊生态系统。根据地貌类型和生态功能不同划分为4个亚区(图1):①威宁—赫章高原分水岭石漠化防治与水源涵养区,保存了完整的喀斯特高原面,地处珠江和长江的分水岭,是乌江、北盘江、牛栏江横江水系的发源地和重要的水源涵养地,拥有特殊高原湿地生态系统,石漠化与水土流失较严重,湿地生态系统退化;②关岭—镇宁高原峡谷石漠化防治区,喀斯特发育强烈,旅游资源丰富,但生态系统脆弱,水土流失严重;③册亨—望谟南、北盘江下游河谷石漠化防治与水土保持区,喀斯特与非喀斯特地貌相间分布,对南、北盘江下游生态安全具有重要影响,石漠化与水土流失较严重,生态系统退化;④罗甸—平塘高原槽谷石漠化防治区,喀斯特发育强烈,水土流失严重,生态环境脆弱,土壤一旦流失,生态恢复难度极大^[15]。

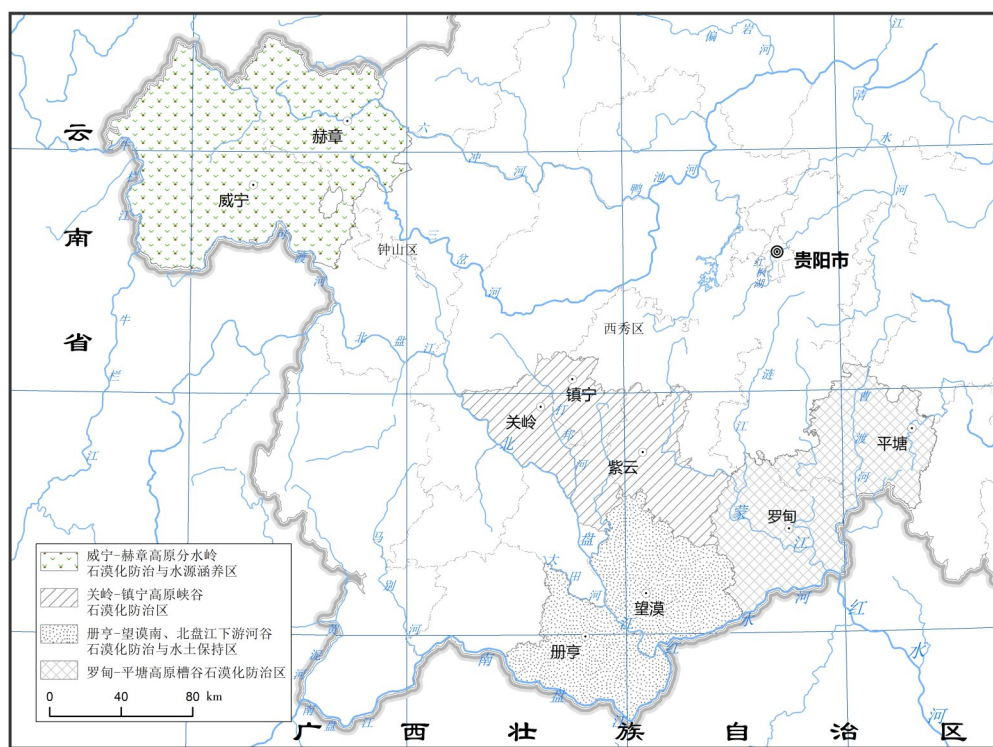


图1 贵州省喀斯特石漠化防治国家重点生态功能区分布图

Fig.1 Distribution of national key ecological functional areas for control of karst rocky desertification in Guizhou Province

2 研究方法

2.1 数据来源

本研究数据源包括研究区的境界与政区、水系、地质、岩性、地貌、遥感影像、数字高程模型(DEM)、

植被类型、植被指数、降水、土壤等资料。获取途径为:①境界与政区、水系、地质、岩性、地貌、土壤等数据,来源于贵州省基础地理信息数据库,数据格式为矢量数据;②90 m分辨率的DEM、2010年6-7月和2015年6-7月的Landsat TM(多光谱波段空间分

分辨率 30 m×30 m)、ETM+(多光谱波段空间分辨率 30 m×30 m, 全色波段分辨率 15 m×15 m), 来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>), 数据格式为栅格数据;③土地覆被类型, 通过计算机自动解译和人机交互解译获取, 数据格式为栅格数据;④植被指数, 通过遥感影像波段运算获取, 数据格式为栅格数据;⑤2010年和2015年气象资料, 通过中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.nmic.cn>)和研究区气象台站获取, 数据格式为文本数据;⑥其他资料通过相关文献资料获取。

2.2 数据处理

本文对4个亚区的典型生态功能及其生态系统健康度进行空间定位定量评价和变化趋势分析, 主要方法如下:

(1)水源涵养功能指数及其分级标准。采用水量平衡方程计算水源涵养量^[16]:

$$Q = P - R - ET$$

式中: Q 为水源涵养量; P 为降雨量; R 为地表径流量; ET 为蒸散发, mm。其中, $R = P \times \alpha$, P 和 α 分别为降雨量(mm)和平均径流系数(无量纲)^[17]。

水源涵养功能指数(w):

$$w = q/r$$

式中: q 为单位面积水源涵养量; r 为单位面积降雨量。

按照 $w > 10\%$ 、 $3\% \leq w \leq 10\%$ 、 $w < 3\%$ 将水源涵养功能评价结果分别划分为高、中和低3个等级^[18]。

(2)水土流失指数计算与分级标准。土壤侵蚀模数采用通用水土流失方程估算:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C$$

式中: A 为土壤侵蚀模数($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$), R 为降雨侵蚀力($MJ \cdot mm \cdot hm^{-2} \cdot h \cdot a$); K 为土壤可蚀性($t \cdot hm^2 \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1} \cdot hm^{-2}$); LS 为坡长坡度因子; C 为植被覆盖因子^[19-21]。

水土流失指数(S):

$$S = A/A_r$$

式中: S 为水土流失指数; A 为土壤侵蚀量($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$); A_r 为容许土壤流失量($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$), A_r 取 $500 t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ ^[22]。按照 $S < 1$ 、 $1 \leq S \leq 12.5$ 、 $S > 12.5$ 将水土保持功能划分为高、中和低3个等级^[18]。

(3)喀斯特石漠化评价因子等级划分及生态系统健康度评价标准。选取岩性、土地覆被类型、坡度、植被覆盖度、基岩裸露率作为喀斯特石漠化等级评价因子^[23-26], 具体分级标准及其赋值如表1所示。

表1 喀斯特石漠化等级评价因子分级标准及其分级赋值

Table 1 Ranking criteria and values of evaluation factors for karst rocky desertification

石漠化等级	非喀斯特	轻度	中度	重度	极重度
分级赋值	0	1	2	3	4
岩性	非碳酸盐岩	白云岩、碎屑岩互层	灰岩、碎屑岩互层	灰岩、白云岩混合岩	连续性白云/碳酸盐岩
土地覆被类型	水体/湿地/人工表面	常绿/落叶阔叶林/针叶林、针阔混交林、乔木园地	灌木园地、灌丛、草地/草甸	稀疏灌丛/草地	裸岩/裸土/荒漠
坡度	$< 5^\circ$	$5^\circ \sim 15^\circ$	$15^\circ \sim 25^\circ$	$25^\circ \sim 35^\circ$	$> 35^\circ$
植被覆盖度	< 0.20	$0.20 \sim 0.35$	$0.35 \sim 0.50$	$0.50 \sim 0.70$	> 0.70
基岩裸露率	< 0.10	$0.10 \sim 0.30$	$0.30 \sim 0.50$	$0.50 \sim 0.70$	> 0.70

生态系统健康度计算式:

$$H = \frac{A_d}{A_t} \times 100\%$$

式中: H 为生态系统健康度; A_d 为中度及以上石漠化土地面积; A_t 为土地总面积。按照生态系统健康度计算结果划分为低、中、高3种类型, 当 $H > 10\%$ 时, 健康度低; 当 H 介于 $5\% \sim 10\%$ 时, 健康度中等; 当 $H < 5\%$ 时, 健康度高^[18]。

3 结果与分析

3.1 水源涵养及其动态评价

贵州省作为长江和珠江流域上游的分水岭, 拥有特殊的高原湿地, 是重要的水源涵养地。如前所述, 本文采用水量平衡方程计算水源涵养量。在ArcGIS支持下, 首先通过空间插值方法, 得到水量平衡方程中的降雨量、地表径流量和蒸散发各因

子图层,再将各因子图层转换成为具有统一栅格大小(100 m×100 m)和统一投影 CGCS2000_GK_CM_105E 的栅格图层,最后采用 ArcGIS 空间建模运算方法,计算得到贵州省国家重点生态功能区 2010 年和 2015 年单位面积水源涵养量分布图(图 2)。根据图

2 的属性统计、降水资料和前述水源涵养功能指数等级划分标准,计算得到贵州省国家重点生态功能区 2010 年和 2015 年单位面积水源涵养量、水源涵养功能指数及其功能等级(表 2)。

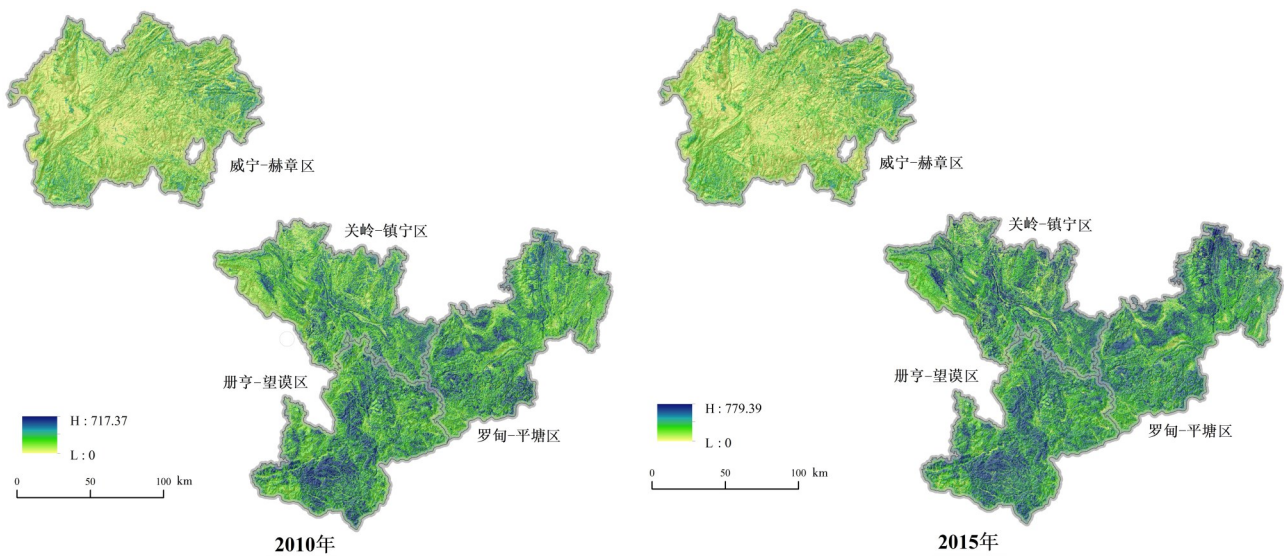


图2 2010年和2015年单位面积水源涵养量分布图

Fig.2 Distribution of water conservation per unit area in 2010 and 2015

表2 2010年和2015年水源涵养及其功能等级变化

Table 2 Changes of water conservation and functional rank in 2010 and 2015

分区	2010			2015		
	单位面积水源涵养量/mm	涵养指数/%	功能等级	单位面积水源涵养/mm	涵养指数/%	功能等级
威宁—赫章区	94.94	9.36	中	114.70	11.22	高
关岭—镇宁	111.63	8.93	中	139.13	9.19	中
册亨—望谟	146.56	11.21	高	183.16	12.93	高
罗甸—平塘	132.84	10.34	高	156.12	10.64	高

据表 2 可知,贵州省国家重点生态功能区 4 个亚区 2015 年的水源涵养指数均高于 2010 年的水源涵养指数,水源涵养功能等级处于“中”、“高”等水平,其中威宁—赫章区水源涵养功能等级从 2010 年的“中”提升为 2017 年的“高”等级,关岭—镇宁区的等级为“中”等,册亨—望谟区和罗甸—平塘区的水源涵养功能等级均为“高”等级。随着生态移民和封山育林育草、防护林建设的推进,区内植被得以逐步恢复,生态系统发生正向演替,使得径流系数和蒸散发减少,水源涵养功能提升。

3.2 土壤侵蚀模数及其动态评价

根据降水、DEM、土壤和植被指数等资料计算降雨侵蚀力、土壤可蚀性、坡长坡度因子和植被覆盖因

子分布图,并将各因子图层转换成为具有统一栅格大小(100 m×100 m)和统一投影 CGCS2000_GK_CM_105E 的栅格图层。通过空间图层运算,计算得到 2010 年和 2015 年贵州省国家重点生态功能区土壤侵蚀模数空间分布图(图 3)。根据图 3 的属性统计和前述水土流失指数计算方法及水土保持功能等级评价标准,得出贵州省国家重点生态功能区 2010 年和 2015 年土壤侵蚀模数、水土流失指数及其水土保持功能等级变化(表 3)。

据表 3 可知,贵州省国家重点生态功能区 4 个亚区中威宁—赫章区、关岭—镇宁区和册亨—望谟区 3 个亚区 2010 年和 2015 年的水土保持功能等级均为“低”,罗甸—平塘区 2010 年和 2015 年的水土保持功

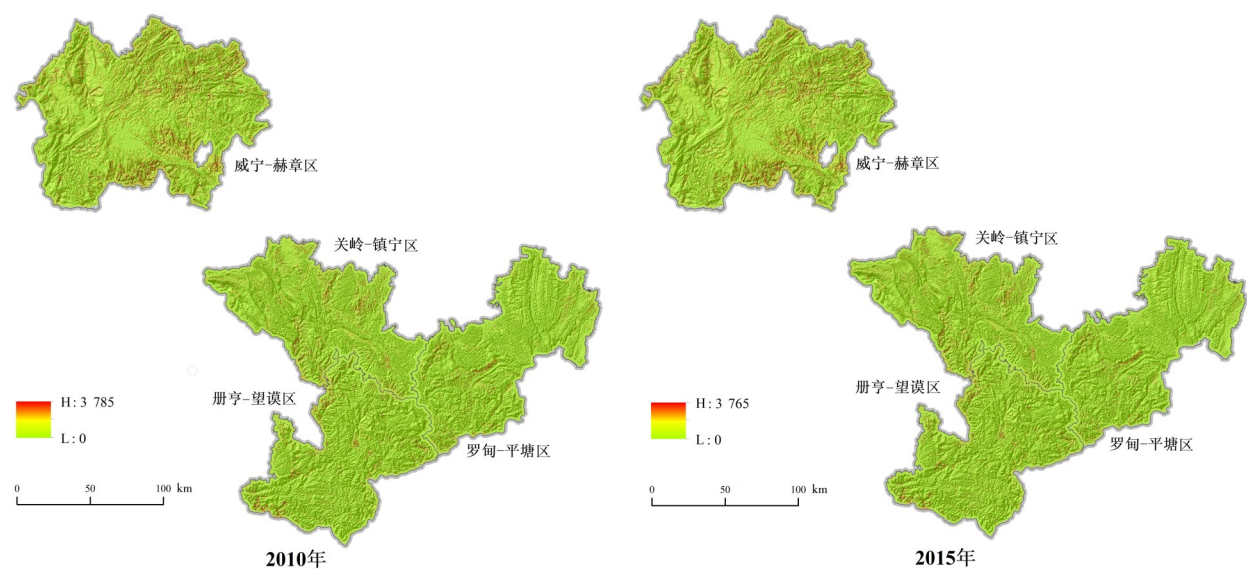


图3 2010年和2015年土壤侵蚀模数分布图
Fig.3 Distribution of soil erosion modulus in 2010 and 2015

表3 2010年和2015年土壤侵蚀模数、水土流失指数及水土保持功能等级变化

Table 3 Changes of soil erosion modulus, soil erosion index and soil & water conservation functional rank in 2010 and 2015

分区	2010年			2015年		
	侵蚀模数/ $t\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$	水土流失指数	功能等级	侵蚀模数/ $t\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$	水土流失指数	功能等级
威宁—赫章区	155.58	31.12	低	155.33	31.07	低
关岭—镇宁	91.26	18.25	低	92.98	18.60	低
册亨—望谟	92.73	18.55	低	93.86	18.77	低
罗甸—平塘	61.02	12.20	中	59.77	11.95	中

能等级均为“中”。其中,威宁—赫章区的土壤侵蚀模数最高,2015年的土壤侵蚀模数有所降低;罗甸—平塘区的土壤侵蚀模数最低,2015年的土壤侵蚀模数也有所降低。关岭—镇宁区和册亨—望谟区土壤侵蚀模数介于前二者之间,2015年的土壤侵蚀模数稍有增加。土壤侵蚀模数影响因子中,降雨侵蚀力和植被覆盖因子是最活跃的影响因子:降雨侵蚀力应受到降雨量和降水强度的影响,年际差异较大;植被覆盖因子反映了生态系统对土壤侵蚀的影响,是控制土壤侵蚀的积极因素,植被覆盖度的提高和生态系统的正向演替使得植被覆盖因子C值减小,土壤侵蚀模数降低。

3.3 石漠化与生态系统健康度变化

在获取研究区岩性、土地覆被类型、坡度、植被覆盖度、基岩裸露率分布图的基础上,将各图层转换成具有统一栅格大小(100 m×100 m)和统一投影CGCS2000_GK_CM_105E的栅格图层,并按表1划分标准分级赋值,得到喀斯特石漠化等级评价因子分

级分布图层。将各因子栅格图层等权值运算得到喀斯特石漠化等级评价综合得分值空间分布图(非喀斯特区域不参加运算),按照 ArcGIS 自然间断点分类法(ArcGIS 自然间断点类别分区是基于从数据中继承的自然分组来识别出能够对类似的评估值进行最恰当的分区,并使各等级分区之间的评估值差异最大)分为轻度、中度、重度和极重度石漠化4个等级,2010年和2015年贵州省国家重点生态功能区石漠化等级的空间分布如图4所示。根据图4的属性统计及前述生态系统健康度计算方法和评价标准,得出贵州省国家重点生态功能区2010年和2015年不同石漠化等级面积构成比、生态系统健康度及其石漠化转化情况(表4)。

据表4可知,贵州省国家重点生态功能区的4个亚区的喀斯特分布面积均占总面积的一半以上,其中罗甸—平塘区的喀斯特面积分布最广,达到87.70%;关岭—镇宁喀斯特面积次之,占比为72.91%;喀斯特面积分布最少的册亨—望谟区也占到总面积的51.05%。通过发生中度以上石漠化的土

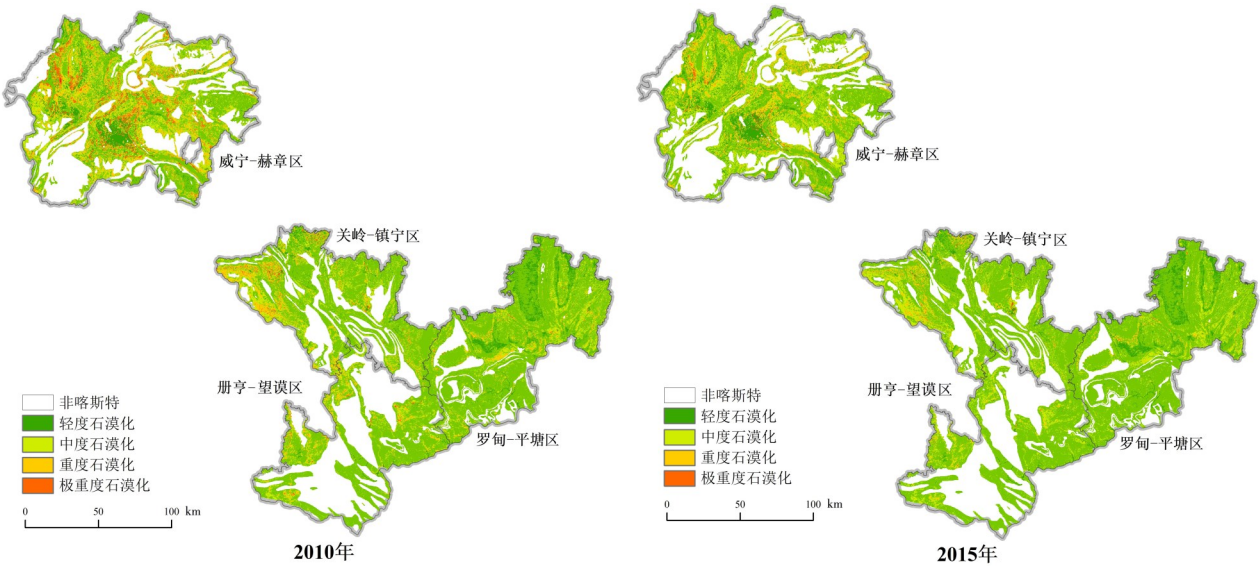


图4 2010年和2015年石漠化等级分布图

Fig.4 Rank distribution of rocky desertification in 2010 and 2015

表4 2010年和2015年石漠化等级及生态系统健康度变化

Table 4 Changes of rocky desertification levels and ecosystem health degrees rank in 2010 and 2015

石漠化等级		2010年	2015年	2010年	2015年	2010年	2015年	2010年	2015年
		威宁—赫章区构成比/%		关岭—镇宁区构成比/%		册亨—望谟区构成比/%		罗甸—平塘区构成比/%	
非喀斯特		35.97	35.97	27.09	27.09	48.96	48.96	12.30	12.30
喀斯特	轻度石漠化	47.66	55.29	64.27	67.42	45.84	49.80	84.36	86.18
	中度石漠化	12.31	8.15	7.37	5.24	4.21	1.19	3.10	1.46
	重度石漠化	4.00	0.57	1.25	0.23	0.98	0.05	0.24	0.07
	极重度石漠化	0.06	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00
合计		64.03		72.91		51.05		87.70	
其中:中度以上比重/%		16.36	8.74	8.64	5.49	5.20	1.24	3.34	1.52
生态系统健康度		低	中	中	中	中	高	高	高
石漠化转化 情况/%	恶化	0.73		0.76		0.22		0.30	
	稳定	72.27		85.14		89.55		94.57	
	好转	27.00		14.10		10.24		5.13	

地面积比例来反映生态系统健康度,威宁—赫章区2010年中度以上石漠化比重达16.36%,生态系统健康度“低”,2015年中度以上石漠化比重降为8.74%,生态系统健康度转为“中”等;关岭—镇宁区2010年和2015年中度以上石漠化比重分别为8.64%和5.49%,生态系统健康度为“中”等;册亨—望谟区的生态系统健康度等级从“中”提升为“高”;罗甸—平塘区的健康度均为“高”,且2015年相比2010年有所提升。从石漠化转化情况来看,贵州省国家重点生态功能区的石漠化得到了有效遏制,并呈现出好转趋势:威宁—赫章区有27.00%的石漠化区域情况好转,关岭—镇宁区、册亨—望谟区和罗甸—平塘区石

漠化好转的区域面积分别为14.10%、10.24%和5.13%;4个亚区的石漠化恶化面积比重均不到1.00%。将石漠化恶化区域与坡度、道路和城乡居住地等图层叠加分析显示,恶化区域与道路和城乡居住地等相关性较大,分布在人类活动强烈且坡度平缓的地方。

3.4 生态功能提升的原因

贵州省针对不同石漠化等级实施不同的治理方案,对轻、中度石漠化地区主要是进行人工干预,对重度和极重度石漠化地区主要采取生态移民、封山育林(草)等措施。相比较而言,4个区中威宁—赫章

区是石漠化最为严重的区域,罗甸—平塘区是石漠化程度最低的区域。由于对重度和极重度石漠化地区实施了治理石漠化更为严格的生态移民和封山育林(草)措施,石漠化修复效果也更好。封山育林采取自然恢复与人工促进的植被恢复技术,优化改造植被组成和结构,增加治理区域内的生物多样性。

石漠化的人工干预采取因地制宜措施:威宁—赫章区地处珠江和长江的分水岭,素有“贵州屋脊”之称,针对其高寒山区造林难度大的特点,坚持以小流域为单元,实行山、水、林、田、路统筹规划,综合治理;通过提高投资标准,确保治理成效;通过整合退耕还林项目,加大坡耕地治理力度,并因地制宜发展生态产业,以增加群众收入;关岭—镇宁石漠化防治以蓄水、治土为核心,以特色经济林种植及高产技术为支撑,将生物、工程、农艺等多种技术措施加以捆绑、组装和科学配置;册亨—望谟石漠化防治包括人工造林种草、坡改梯、防护林、引水渠、蓄水池、截排水沟等综合治理手段,以喀斯特石山区的生态农业建设为核心,以市场导向,合理安排种植,鼓励群众参与,并依靠科技,提升石漠化治理效果;罗甸—平塘区通过开展农田基本建设、水利“三小工程”,易地移民搬迁,农村能源建设和扶贫开发,天然林保护工程,珠江中上游防护林工程,退耕还林还草工程等多项工作,有力地推动了石漠化治理与生态重建。

4 结 论

(1) 贵州省国家重点生态功能区4个亚区2015年的水源涵养指数均高于2010年的水源涵养指数。随着生态系统正向演替,径流系数和蒸散发减少,水源涵养功能得以提升;威宁—赫章区水源涵养功能等级从2010年的“中”提升为2015年的“高”,关岭—镇宁区的水源涵养功能等级为“中”,册亨—望谟区和罗甸—平塘区的水源涵养功能等级均为“高”;

(2) 4个亚区中威宁—赫章区的土壤侵蚀模数最大,其水土保持功能等级为“低”;罗甸—平塘区的土壤侵蚀模数最小,其水土保持功能等级为“中”,这两个亚区2015年的土壤侵蚀模数有所降低。关岭—镇宁区和册亨—望谟区2015年的土壤侵蚀模数稍有增加。各生态功能区土壤侵蚀模数的变化是各个土壤侵蚀影响因子综合作用的结果;

(3) 威宁—赫章区2010年至2015年间,生态系统健康度从“低”转为“中”等;关岭—镇宁区生态系统健康度为“中”等,中度以上石漠化面积比例有所

降低;册亨—望谟区的生态系统健康度等级从“中”提升为“高”;罗甸—平塘区的健康度均为“高”,且2015年相比2010年有所提升。4个亚区的石漠化恶化面积比重均不到1.00%。贵州省各国家重点生态功能区因地制宜的石漠化综合治理工程和其他生态工程建设对其生态服务功能发挥了积极作用,生态系统健康度保持向好态势。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院. 全国主体功能区规划[R]. 北京: 中华人民共和国国务院, 2011.
- [2] 樊杰. 我国主体功能区划的科学基础[J]. 地理学报, 2007, 62(4): 339-350.
- [3] 樊杰, 王亚飞, 汤青, 等. 全国资源环境承载能力监测预警(2014版)学术思路与总体技术流程[J]. 地理科学, 2015, 35(1): 1-10.
- [4] 吴旗韬, 陈伟莲, 张虹鸥, 等. 南岭生态功能区产业选择及发展路径探索[J]. 生态经济, 2014, 30(2): 88-92.
- [5] Fanbin Kong. Eco-compensation mechanism for ecological function conservation zones in the headwaters: A case study of Dongjiang riverhead region in Jiangxi province[J]. Economic Geography, 2010, 30(2): 299-305.
- [6] Guoping Li, Xiao Li, Haizhou Wang. Ecological compensation effect of national key ecological function area's transfer payment policy[J]. Modern Economic Science, 2013, 35(5): 58-64.
- [7] Lin Huang, Wei Cao, Dan Wu, et al. Assessment on the changing conditions of ecosystems in key ecological function zones in China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(9): 2758-2766.
- [8] 李盈盈, 刘康, 胡胜, 等. 陕西省子午岭生态功能区水源涵养能力研究[J]. 干旱区地理, 2015, 38(3): 636-642.
- [9] 刘璐璐, 曹巍, 吴丹, 等. 国家重点生态功能区生态系统服务时空格局及其变化特征[J]. 地理科学, 2018, 35(9): 1508-1515.
- [10] 侯鹏, 翟俊, 曹巍, 等. 国家重点生态功能区生态状况变化与保护成效评估: 以海南岛中部山区国家重点生态功能区为例[J]. 地理学报, 2018, 73(3): 429-441.
- [11] Yiqiu Li, Chunxia Lu, Ou Deng, et al. Ecological characteristics of China's key ecological function areas[J]. Journal of Resources and Ecology, 2015, 6(6): 427-433.
- [12] 徐宁. 桂黔滇喀斯特石漠化防治生态功能区中贵州9县的生态分析[J]. 经济研究导刊, 2012, 7(27): 166-169.
- [13] 李玉杰. 贵州独山国家重点生态功能区生态敏感性评价[J]. 西南林业大学学报, 2017, 37(3): 66-73.
- [14] 徐宁. 水土保持型限制开发区转变经济发展方式问题研究: 以桂黔滇喀斯特石漠化防治生态功能区贵州9县为例[J]. 生产力研究, 2013(7): 77-81.
- [15] 贵州省人民政府. 贵州省主体功能区规划[R]. 贵阳: [贵州省人民政府(黔府发[2013]12号)], 2013.
- [16] 徐卫华, 杨瑛, 张路, 等. 区域生态承载力预警评估方法及案例研究[J]. 地理科学进展, 2017, 36(3): 306-312.

- [17] 龚诗涵, 肖洋, 郑华, 等. 中国生态系统水源涵养空间特征及其影响因素[J]. 生态学报, 2017, 37(7): 2455-2462.
- [18] 国家发展和改革委员会. 关于印发《资源环境承载能力监测预警技术方法(试行)》的通知, 发改规划[2016]2043号[R]. 北京: 国家发展和改革委员会, 2016.
- [19] Zhiyuan Ouyang, Hua Zheng, Yi Xiao, et al. Improvements in ecosystem services from investments in natural capital[J]. Science, 2016, 352(6292): 1455-1459.
- [20] Enming Rao, Zhiyuan Ouyang, Xinxiao Yu, et al. Spatial patterns and impacts of soil conservation service in China[J]. Geomorphology, 2014, 207: 64-70.
- [21] 喻锋, 李晓兵, 王宏. 生态安全条件下土地利用格局优化: 以皇甫川流域为例[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3198-3210.
- [22] 中华人民共和国水利部. SL190—2007土壤侵蚀分类分级标准[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008: 3-12.
- [23] 李瑞玲, 王世杰, 熊康宁, 等. 贵州省岩溶地区坡度与土地石漠化空间相关分析[J]. 水土保持通报, 2006, 26(4): 82-86.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 王培彬, 安裕伦. 2000—2010年贵州喀斯特地区石漠化时空特征分析[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2014, 32(3): 10-16, 46.

Evaluation on the ecosystem health of national key ecological function areas for karst rocky desertification prevention and control in Guizhou Province

DENG Ou¹, LI Yiqiu¹, YANG Guangbin^{1,2}, LI Ruoshuang³

(1.School of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550025, China; 2.Guizhou Provincial Key Laboratory of Mountain Resources and Environment Remote Sensing Application, Guiyang, Guizhou 550025, China; 3.School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract The national key ecological function areas for karst rocky desertification prevention and control in Yunnan, Guangxi and Guizhou are the important ecological regions where development is restricted at the national level. These areas host special ecological systems dominated by karst environments. Of them, the key area of Guizhou Province is located in the upper reaches of the Yangtze River and the Pearl River, a vital ecological barrier for the Yangtze River basin and the Pearl River basin. It is responsible for water conservation, soil and water conservation and other important ecological services. This functional area includes 9 counties subordinated to 4 cities with a total area of 26, 454 km². According to the different landforms and ecological functions, it is divided into four sub-areas, the Weining-Hezhang plateau watershed, Guanling-Zhenning plateau canyon, lower reach of the Ceheng-Wangmo Nan-Beipan River, and the Luodian-Pingtang plateau valley. This paper focuses on this functional area of Guizhou. Based on remote sensing images, geographic information data, precipitation data and soil data of year 2010 and 2015, by integrating 3S ecological and ecological assessing model, a quantitative and positioning analysis is performed to water conservation, soil erosion and rocky desertification degrees. The results show that, (1) Four sub-areas are at a medium or 'high' level of water conservation function, and water conservation index of 2015 was enhanced with respect to 2010; (2) The soil erosion modulus of Weining-Hezhang, Guanling-Zhenning and Ceheng-Wangmo areas are high, while their soil and water conservation functions are of low ranks. The soil erosion modulus of the Luodian-Pingtang area is the lowest, and its soil and water conservation function is of medium rank; (3) In the Weining-Hezhang area, the proportion of moderate and high rocky desertification reached 16.36% in 2010, and dropped to 8.74% in 2015. The ecosystem health degree changed from low to medium. The proportion of moderate and high rocky desertification in the Guanlin-Zhenning area was 8.64% in 2010 and 4.49% in 2015, respectively. The ecosystem health degree changed from medium to high. The health degrees of both Ceheng-Wangmo and Luodian-Pingtang are high, which were improved in 2015 compared to 2010. In the four sub-areas, the proportions of rocky desertification deteriorated areas are less than 1.00%, and the proportions of rocky desertification improved areas are 27.00%, 14.10%, 10.24% and 5.13%, respectively, indicating that rocky desertification has been effectively curbed. In the future, we should continue to adapt to local conditions to restore the vegetation and ecological system, and expand the achievements in the prevention and control of rocky desertification.

Key words karst, rocky desertification, national key ecological function areas, ecosystem health degree

(编辑 黄晨晖)