

DOI: 10.5846/stxb201905301140

刘世梁,董玉红,孙永秀,史芳宁.基于生态系统服务提升的山水林田湖草优先区分析——以贵州省为例.生态学报,2019,39(23):8957-8965.

Liu S L, Dong Y H, Sun Y X, Shi F N. Priority area of mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands based on the improvement of ecosystem services: a case study of Guizhou Province. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(23): 8957-8965.

基于生态系统服务提升的山水林田湖草优先区分析 ——以贵州省为例

刘世梁^{1,*}, 董玉红², 孙永秀¹, 史芳宁¹

1 北京师范大学环境学院水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875

2 中国林业科学研究院林业研究所/国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091

摘要:山水林田湖草作为生命共同体,其生态保护与修复必须以生态系统服务功能提升为导向,而且需要考虑生态系统本身脆弱性,协调好保护与发展的关系。因此,生态保护与修复工程必须从整体统筹考虑,解决生态系统及要素分割管理的问题。研究以贵州省为案例区,通过对生态系统服务和景观脆弱度分析,得到生态系统服务重要性的空间分布,确定需要生态修复的重点流域;进一步从生态保护与经济发展角度,辨析保护与发展的冲突区。结果表明,贵州省的生态系统服务能力空间差异显著,水源涵养能力在贵州东部和东南较高;土壤保持能力东南和西北部较高;生物多样性服务在贵州省西南、东南、东北部较高。景观脆弱度在都柳江流域、赤水河流域最高,生态重要性高的区域主要在都柳江流域最高。生态保护与经济发展冲突分析结果表明,生态保护与经济发展在贵州省西北和东南部存在较多的冲突区,是保护与修复的优先区域。并以乌蒙山片区山水林田湖草优先区为案例区,进一步分析生态功能、生态问题、修复措施和工程特点。本思路既体现了山水林田湖草的完整性,又体现了生态恢复的优先性,为山地地区生态保护修复工程实施与决策管理提供参考。

关键词:生态重要性;冲突区;山水林田湖草;生态修复;乌蒙山

Priority area of mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands based on the improvement of ecosystem services: a case study of Guizhou Province

LIU Shiliang^{1,*}, DONG Yuhong², SUN Yongxiu¹, SHI Fangning¹

1 State Key Laboratory of Water Environment Simulation, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2 Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation of State Forestry Administration, Beijing 100091, China

Abstract: Mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands as a life community, its ecological protection and restoration should be guided by the improvement of ecosystem service function, and the ecosystem fragility should be taken into account. At the same time, we need to coordinate the relationship between protection and development. Therefore, the ecological protection and restoration projects should be considered as a whole to solve the segmented management of ecological elements. Taking Guizhou Province as a case study, the spatial distribution of the importance of ecosystem services was obtained through analysis of ecosystem services and landscape vulnerability, and the key watersheds for restoration were selected. Then the conflict areas between protection and development were identified from the perspective of the ecological protection and economic development. The results showed that there were significant spatial differences in ecosystem service capacity in Guizhou Province. Water conservation capacity was higher in eastern and southeastern Guizhou

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0502103);国家自然科学基金项目(41571173,41771207)

收稿日期:2019-05-30; **修订日期:**2019-09-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shiliangliu@bnu.edu.cn

Province; soil conservation capacity was higher in southeast and northwest Guizhou Province; biodiversity level was higher in southwest, southeast and northeast Guizhou. Landscape fragility was the highest in the Duliujiang River Basin and Chishui River Basin, and the ecological importance was the highest in the Duliujiang River Basin. The distribution of ecological protection and economic development showed that there were conflict zones between ecological protection and economic development in northwest and southeast Guizhou, which is the priority area for protection and restoration. Taking Wumeng Mountain area as an example, its ecological functions, ecological problems, restoration measures, and engineering characteristics were analyzed. The identification of key ecological restoration areas reflects not only the integrity of mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands, but also the priority of ecological restoration. This study provides a reference for the implementation and decision-making management of ecological protection and restoration projects in mountainous areas.

Key Words: ecosystem importance; conflict zone; mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands; ecological restoration; Wumengshan

喀斯特地区环境独特、生态脆弱,一直是科学界关注的热点地区。我国西南喀斯特地区是世界上最大的喀斯特连续带,贵州省是西南喀斯特地区的典型代表^[1]。喀斯特环境是一个脆弱的生态系统,具有环境容量低,生态环境敏感度高、抗干扰能力弱和稳定性差等一系列脆弱性特征^[2-3]。人类活动进一步加剧了环境的脆弱性,研究贵州喀斯特生态环境的脆弱性区域差异,有利于针对其脆弱程度进行开发治理,促进生态环境的恢复与可持续发展^[4]。生态修复一直是脆弱的喀斯特地区治理的重点和难点,目前已开展了一系列生态治理的研究和示范,主要有不同等级石漠化人工生态恢复的植被配置模式^[5]、石漠化景观生态优化途径^[6]、生物措施治理水土流失模式^[7]、植被生态恢复的物种选择^[7]、峰丛洼地石漠化生态治理模式^[9]、石漠化治理中农草林草空间优化配置技术与示范^[10]、基于植物多样性恢复和保护的土地整理与混农林业复合经营模式、土地整理与特色经果林集约经营模式^[11]。2016 年国家陆续启动了陕西、河北、甘肃、贵州等省的国家重点生态功能区山水林田湖草系统保护修复试点工作,主要以区域生态环境问题和主导生态系统功能为导向,对山上山下、地上地下、流域上下游等进行整体保护、系统修复和综合治理,改变治山、治水、护田、植树、种草分割管理的格局,实现生态系统“格局优化、系统稳定、功能提升”的生态保护修复目标^[12]。但是如何从整体上来开展山水林田湖草生态修复,从空间总体格局入手分析重要的生态修复工程措施,是目前实施的关键途径。

生态系统服务研究是生态系统恢复、生态功能区划和保障国家生态安全的重大战略需求^[13]。已有研究通过生态系统服务的空间格局分析,进行流域生态系统服务的调控^[14]、保护区管理计划^[15]、青藏高原高山牧场保护区识别^[16]、陕西省水土保持服务热点区域识别^[17]、城市生态空间规划^[18]、生态恢复^[19]。生态系统服务功能重要性评价一般是选取几种生态系统服务功能进行和评价^[20-21]。以生态系统服务功能进行的生态系统服务综合评价往往难以全面反映出生态系统所受干扰的程度及其恢复能力。而景观格局变化对生态系统服务能力有明显影响^[22],生态系统服务重要性评价必须考虑景观格局的空间差异,景观格局对各种生态过程具有决定性,进而影响生态系统服务的重要程度。从生态系统服务的重要性上来衡量山水林田湖草的成效具有重要意义,而对于生态系统修复项目的布局来说,还需要进一步辨识生态保护与经济效益之间的权衡关系。

贵州省位于长江和珠江的中上游,是筑牢长江、珠江上游重要生态屏障,也是首批 3 个国家生态文明试验区之一,近年来,生态文明建设始终放在首位。在喀斯特退化山区,一系列生态保护与建设重大工程虽然在林草植被、森林覆盖率等方面取得了积极成效,但是生态系统服务功能有待进一步恢复和提升。基于此,以贵州省的山水林田湖草生态修复整治为研究目标,通过对区域生态系统服务重要性评估、耦合生态保护和经济的冲突区分析,结合矿产资源分布、植被退化趋势和重要生态功能区分布,识别生态修复关键区域。本研究对区域社会经济与生态环境协调发展提供理论方法和决策依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

贵州地处云贵高原,介于东经 $103^{\circ}36'$ — $109^{\circ}35'$ 、北纬 $24^{\circ}37'$ — $29^{\circ}13'$ 之间,全省总面积 17.62 万 km^2 ,其中喀斯特面积占 70% 左右。地貌属于中国西南部高原山地,平均海拔在 1100 m 左右。气候属亚热带湿润季风气候,年均气温 $10\text{—}18^{\circ}\text{C}$,年降水量 $1000\text{—}1500 \text{ mm}$,相对湿度 70% 以上。2015 年土地利用如图 1 所示,主要土地利用类型包括林地、草地、耕地、湿地、人工表面和其他未利用土地。2011—2015 年的 NDVI 变化趋势可以看出,贵州省部分地区的植被变化仍处于严重退化的趋势(图 1)。

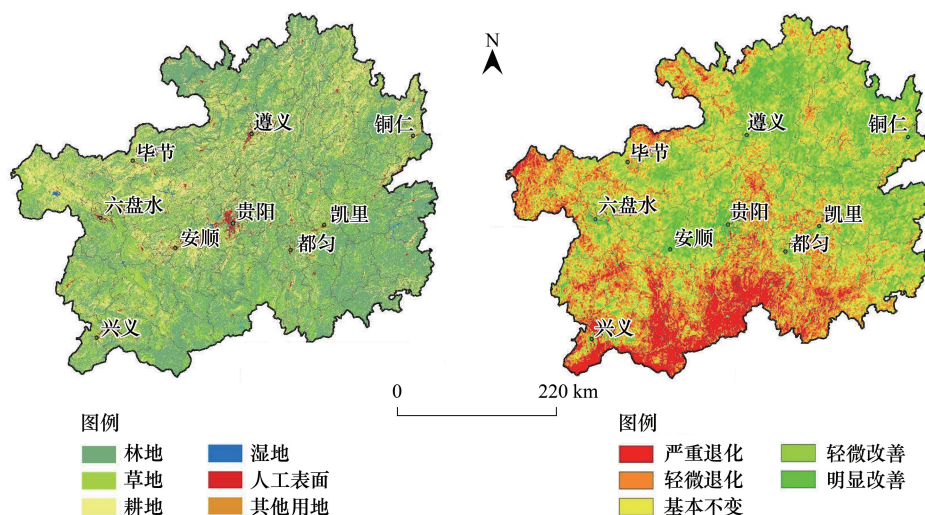


图 1 贵州省土地利用图和植被变化趋势(2011—2015)

Fig.1 The landuse of Guizhou Province and the slope of vegetation change

1.2 数据来源

研究中采用土地利用数据来自中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>)提供的 2015 年中国土地利用现状遥感监测数据(栅格单元大小为 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$)。NDVI 数据来自于中国西部环境与生态科学数据中心所提供的 2011—2015 年 SPOT_Vegetation NDVI 逐旬数据(空间分辨率 1 km, <http://westdc.westgis.ac.cn>)。生态系统服务重要性数据来自中国科学数据共享平台(<http://www.csdata.org>)。

2 研究方法

本研究的思路主要是在空间上,识别生态系统服务重要性分布,利用关键生态系统服务与景观格局分析,识别关键山水林田湖草生态修复流域;进一步结合保护与发展的冲突区分析,结合 NDVI 变化趋势和露天采矿区分布的退化区分析,提出流域的山水林田湖草生态修复的优先区。首先,生态系统服务重要性程度考虑关键生态系统服务类型,本研究考虑了生态系统服务的水源涵养、生物多样性保护和水土保持,同时也考虑景观脆弱度,采用综合指标体系法进行生态系统服务重要性评价。冲突区分析利用 Wu 等^[23]提出的方法,对生态保护价值与经济发展效益两个方面,利用综合指标法,进行图层叠置开展分析。冲突区分析,可以在空间上对于生态修复的热点区域进行识别。因此,主要的技术路线如下(图 2)。

2.1 生态系统服务重要性评价

生态系统服务重要性是将生态系统服务能力指数与景观脆弱性指数作为生态重要性评估的两部分,评价指标如表 1 所示。将生态系统综合服务指数和景观脆弱度进行叠加,获得生态重要区域。

生态系统服务能力指数 ESI 重点计算水源涵养功能、水土保持功能和生物多样性维护功能重要性,通过

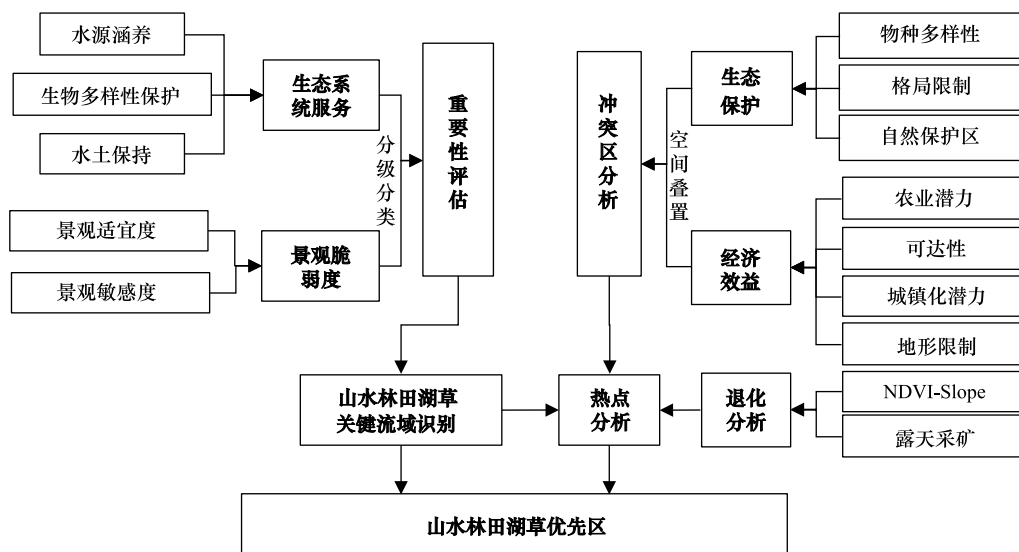


图2 技术路线图

Fig.2 The technical routine

3 项指标值累加获得^[24]。

景观脆弱性指数 (LVI) 利用景观适应度 (LAI) 和景观敏感度指数 (LSI) 构建景观脆弱度^[25]。

$$LVI = LSI \times (1 - LAI) \quad (1)$$

景观适应度指数 LAI 的计算公式:

$$LAI = PRD \times SHDI \times SHEI \quad (2)$$

式中, PRD 为斑块丰富度密度指数, SHDI 为香农多样性指数, SHEI 为香农均匀性指数。

景观敏感度指数其计算公式:

$$LSI = \sum_{i=1}^n U_i \times V_i \quad (3)$$

$$U_i = aFN_i + bFD_i + cDO_i \quad (4)$$

式中, n 为景观类型数目, i 为景观类型; U_i 为景观干扰度指数; FN_i 为破碎度指数; FD_i 为分维数倒数, DO_i 为优势度指数, 其权重 a, b, c 分别为 0.5, 0.3 和 0.2; V_i 为景观类型易损度, 通常未利用地取值为 7, 林地、草地取值为 5, 耕地取值为 3, 建设用地、水域取值为 1^[26]。景观指数通过 Fragstats 4.2 计算获得。

2.2 冲突区分析

针对生态保护价值与经济发展效益 2 个发展方向^[23], 选取 5 个指标 (两栖动物种类、哺乳动物种类、鸟类种类、森林覆盖率、荒野) 对生态保护价值进行量化。选取 8 个指标 (耕地比例、乡镇点、旅游景点、人口扩张、城市扩张、坡度、高程 (DEM)、综合地形指数 CTI) 对经济发展效益进行量化。

2.3 山水林田湖草优先区和分区方案

通过植被退化趋势、生态与发展冲突区和生态重要性分级, 结合贵州省矿产资源分布和重要生态功能区,

表 1 冲突区的评价指标

Table 1 Evaluation index of conflict zone

目标层 Target layer	准则层 Criteria layer	指标层 Indicator layer	权重 Equal weight
冲突区 Conflict zone	保护价值	两栖动物种类	0.125
		哺乳动物种类	0.125
		鸟类种类	0.125
		森林覆盖率	0.125
		荒野	0.5
	发展效益	耕地比例	0.25
		乡镇点	0.125
		旅游景点	0.125
		人口扩张	0.125
		城市扩张	0.125
		坡度	0.083
		DEM	0.083
		CTI	0.083

DEM, 高程 Digital Elevation Model; CTI, 综合地形指数 Compound Topographic Index

识别贵州省山水林田湖草修复的关键区域,结合目前已经开展的生态修复措施等经验知识,可以开展山水林田湖草的分区方案划分和优先工程布局。主要以乌蒙山区域为例,分析目前的功能分区与生态修复的途径。

3 研究结果

3.1 贵州喀斯特区域生态重要性空间分异

贵州省生物多样性维持与保护、水源涵养、土壤保持 3 个生态系统服务功能及综合生态系统服务功能评价结果如图 3 所示。为显示贵州省生态系统服务能力分布的等级差异,利用自然断点法对生态系统服务进行等级划分,分别为低等、较低、中等、较高和高 5 级。可以看出水源涵养能力在贵州东部、东南部较高,中部、西北部较低。水土保持能力东南部、西北部较高,中间区域最低。生物多样性服务在贵州省西南、东南、东北部较高,较低的区域分布在中部、东部。通过 3 项指标值累加,得到综合生态系统服务能力指数,能力指数以东南部、东北部较高,中间和西北处于低和较低水平。

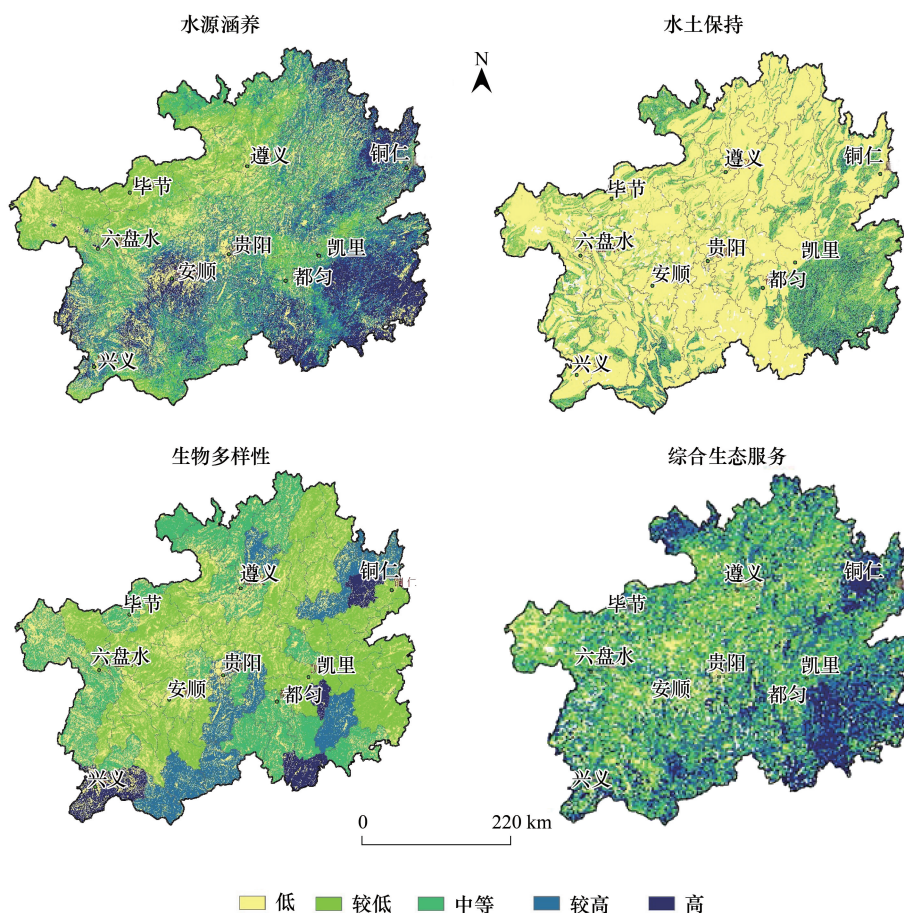


图 3 贵州省生态系统服务能力

Fig.3 Ecosystem service capability in Guizhou Province

利用自然断点法对流域水平的景观脆弱度指数进行 5 级划分,获得贵州省景观脆弱度分布(图 4),景观脆弱度在都柳江流域、赤水河流域最高,乌江流域、牛栏江流域部分区域较高。生态系统服务能力指数和景观脆弱性指数分级叠加计算生态重要性的空间分布,如图 4 所示,贵州省的生态重要性在都柳江流域最高,赤水河流域、乌江流域、南北盘江流域的部分区域较高。

3.2 贵州省喀斯特区域生态保护与经济发展冲突分析

如图 5 所示,贵州省生态保护价值较高的区域分布在东南、西北部,较低和低的区域分布在西部和西南

部。经济发展效益高和较高的区域分布在贵州中部、西北部和东北部,较低的区域分布在南部和东南部。

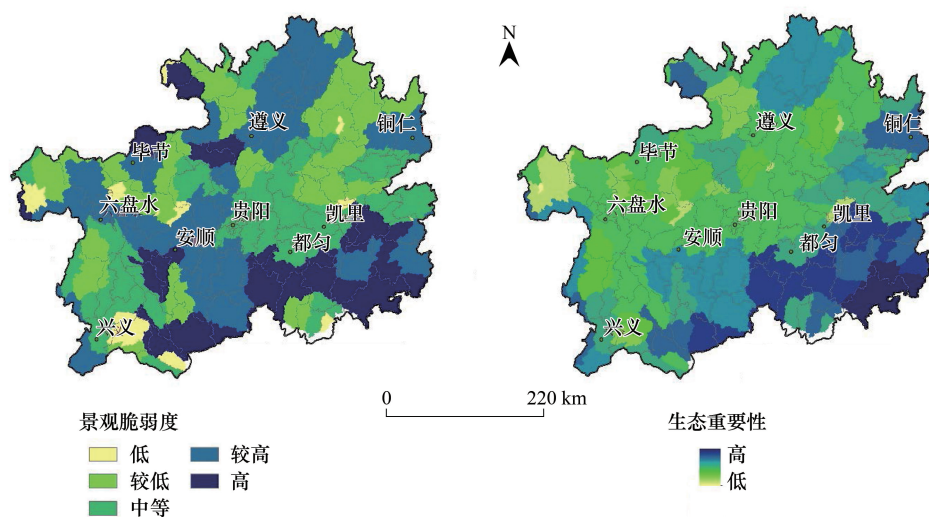


图4 贵州省景观脆弱度和综合生态重要性分布

Fig.4 Spatial distribution of landscape vulnerability and integrated ecological importance in Guizhou Province

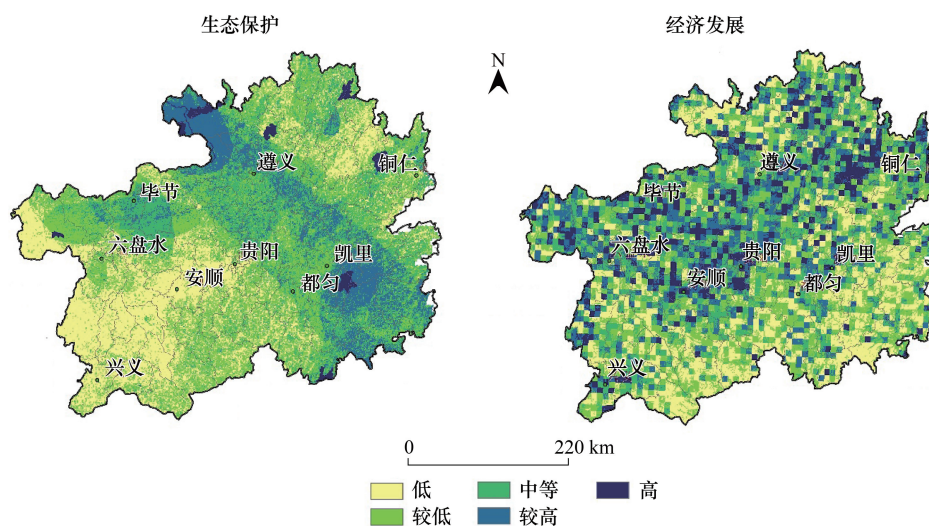


图5 贵州省生态保护和经济发展的空间分布

Fig.5 Spatial distribution of ecological protection and economic development in Guizhou Province

根据各自的中值将生态价值层(EV)与发展效益层(DB)分别分割为高值(H)与低值(L)两部分(EVH, EVL, DBH, DBL),将所得四部分进行交叉叠加, EVH×DBH, EVH×DBL, EVL×DBH, EVL×DBL 分别定义为冲突区、保护区、发展区和低影响区。各区域分布如图6所示,贵州省保护区、发展区、冲突区和低影响区占的面积比例分别为1.08%、81.45%、15.48%和1.99%。冲突区集中分布的区域主要在西北和东南部。

3.3 贵州省喀斯特区域生态修复关键区识别

通过生态保护与经济发展冲突区、生态重要性、植被退化趋势进行分级,找出重点冲突区、生态重要性区域和植被退化区,和矿产资源分布与重点生态功能区叠加进行贵州省关键生态修复区的识别,如图7所示。矿产资源主要分布区域在贵阳市、六盘水市、安顺市、东南、西南、同仁地区、遵义市、毕节地区。植被退化严重区域在贵州省南部和西南部较集中,西北部分区域存在植被严重退化问题。生态与发展冲突区高的区域在东

南、西北、北部、遵义、毕节地区。生态重要性高的区域在东北部和东南分布比较集中,在南部、西南和西北部分区域生态重要性高。重点生态功能区在贵州省东南部、东北部、西南部、西北部、南部,其中东北部和东南部的的主要生态功能为水源涵养或水土保持,同时存在较高的生态系统服务重要性,东南部存在较多的生态冲突区及生态脆弱度较高的区域。西南部 and 南部的主要生态功能为水土保持,同时存在严重植被退化区及部分生态脆弱度高的区域。西北部的主要生态功能为水土保持,同时存在部分矿区分布,赤水市和习水县存在较多的生态冲突区,并且生态脆弱度较高,威宁县和赫章县存在部分严重植被退化区。

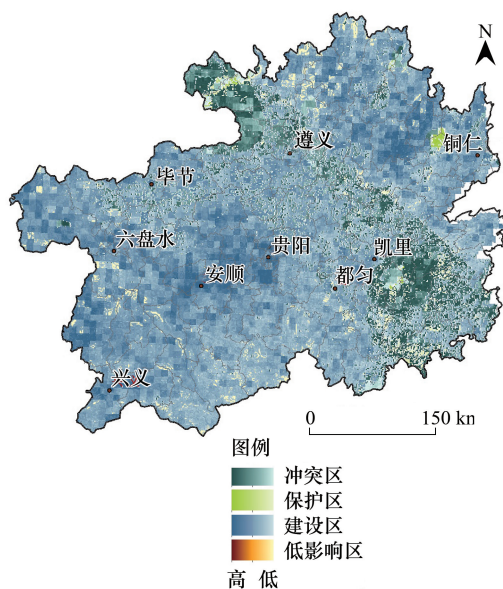


图6 贵州省冲突区、保护区、发展区和低影响区分布

Fig. 6 Spatial distribution of conflict zones, protected areas, development areas and low impact areas in Guizhou Province

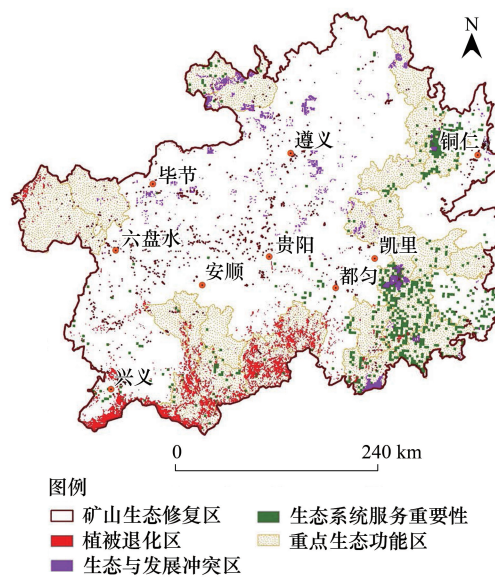


图7 贵州省生态修复关键生态区识别

Fig. 7 Identification of key ecological regions for ecological restoration in Guizhou Province

3.4 乌蒙山区域山水林田湖草的生态整治工程的布局与规划

生态修复关键区识别中,乌蒙山区域存在矿山生态修复区、重点生态功能区、植被退化区域、生态修复与发展冲突区,以乌蒙山区域为优先区开展山水林田湖草的工作具有必要性。乌蒙山区的生态环境保护修复工程如表2所示,依据生态功能将其分为三个修复区,根据不同区域的生态环境提出修复对策,实行修复工程。秉承“山水林田湖草是一个生命共同体”的重要理念,重点实施一湖、一山、一河、两屏障”,即对高原喀斯特湖泊(草海)、乌江源矿山生态环境、赤水河生物多样性保护修复,实现长江珠江上游生态屏障整体保护、系统修复、综合治理。

4 结论与讨论

4.1 讨论

贵州省不同生态恢复区存在的生态问题不同,需采取不同生态恢复措施。在矿山分布区域,主要生态问题为矿山开采造成的地形地貌破坏、植被覆盖破坏、水土流失、尾矿废石废渣堆放等,需要采取废弃矿山修复、水环境整治、植被恢复等恢复措施。矿山环境治理是区域山水林田湖草系统治理的重要部分,是以矿山环境恢复为中心开展区域系统生态环境治理,并进行发散式修复,将区域内各矿山节点进行连接形成覆盖整个区域的修复网络,整体推进山水林田湖草的一体化治理^[27]。植被退化区域采取植被恢复措施,植被恢复是生态工程的一个重要目标^[28],针对山、水、林、田、湖、草采取不同的植被恢复措施^[12]。生态与发展冲突区具有较高的生态价值和发展效益,应该优先考虑生态价值,为了减少生态规划与土地利用的冲突,生态补偿应及时落

实^[29]。新的生态红线划定流程考虑了生态系统服务重要性和生态敏感性^[30],本研究利用景观脆弱度和综合生态系统服务能力进行叠加分级获得生态重要性区域。重点生态功能区域针对主要生态功能采取恢复治理措施。山水林田湖草生态修复将系统各生态要素进行耦合,进行区域生态要素合理配置方法与空间优化,山水林田湖草系统一体化保护与修复^[12]。

表2 贵州省乌蒙山区生态环境保护修复工程分区

Table 2 Zoning of eco-environmental protection and restoration project in Wumeng Mountain area of Guizhou Province

修复区名称 Restoration area name	生态功能 Ecological function	生态环境问题 Eco-environmental problems	修复对策 Restoration measures	修复工程 Restoration engineering
高原喀斯特湖泊(草海)生态保护修复区 Ecological protection and restoration area of Plateau Karst Lake (Caohai)	水源涵养湿地和国家重点生态功能区	保护与发展矛盾突出;水体和环境污染;植被退化;水土流失严重	对污染源头、矿山集中区、河道、草海湖泊生态环境进行综合整治;有效修复和维护草海湿地生态系统,涵养水源,提高生物多样性,发挥草海的生态功能	湖泊水生态保护与修复工程;水生态保护与修复工程;遗留废弃矿渣重金属污染治理
乌江源矿山生态环境保护修复区 Eco-environmental protection and restoration area of Wujiangyuan Mine	国家重点生态功能区、国家农产品生产区、国家重点开发区等主体功能区	矿业活动影响;水环境生态;植被覆盖率低;水土流失严重	对矿山集中开采区、主要河道、水土流失严重区域进行综合治理;对其他区域采取“自然恢复为主”的原则	矿山集中开采区生态环境综合治理工程;水环境生态保护修复工程;山林生态保护修复工程;草地生态系统修复工程
赤水河生物多样性生态保护修复区 Biodiversity ecological conservation and restoration area of Chishui River	生物多样性丰富	生态环境脆弱;环境质量恶化;农业和工业污染	以“自然修复为主、工程修复为辅”,进行系统修复	矿山环境治理恢复工程;水生态环境恢复工程;山林生态修复工程

4.2 结论

1) 贵州省水源涵养、水土保持和生物多样性保护的生态系统功能分布具有明显的空间分布特征,通过三者的综合评价,获得综合生态系统服务能力,综合生态系统服务能力较高的区域主要分布在东南部、东北部,中部和西北部较低。通过叠加景观脆弱度指数,获得贵州省生态重要性的分布,较高的区域主要在东南和西南部,中部和西北部较低。

2) 通过叠加生态保护和经济发展高的区域,获得冲突区的分布,贵州省冲突区集中分布的区域主要在西北和东南部。考虑生态保护价值和经济发展效益的生态恢复具有重要的意义,可以为生态恢复的实施提供具体的管理目标和建议。

3) 通过叠加分析获得贵州省关键生态修复区,从空间分布格局入手分析生态问题,从而针对不同生态问题进行生态恢复措施的实施,从整体上开展山水林田湖草生态修复。乌蒙山生态环境保护通过生态分区,针对生态环境问题,提出修复对策,实施修复工程,实现山水林田湖草的一体化修复。

参考文献 (References):

- [1] 万军. 贵州省喀斯特地区土地退化与生态重建研究进展. 地球科学进展, 2003, 18(3): 447-453.
- [2] 苏维词. 贵州喀斯特山区生态环境脆弱性及其生态整治. 中国环境科学, 2000, 20(6): 547-551.
- [3] 王金乐, 林昌虎, 何腾兵. 贵州喀斯特山区石漠化生态环境背景与生态重建. 水土保持研究, 2006, 13(5): 148-150, 153-153.
- [4] 何才华, 熊康宁, 栗茜. 贵州喀斯特生态环境脆弱性类型区及其开发治理研究. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 1996, 14(1): 1-9.
- [5] 吴克华, 孙永丽, 容丽, 龙明忠. 喀斯特地区不同等级石漠化人工生态恢复的土壤温度及水分效应-以贵州省花江峡谷为例. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2005, 23(4): 18-22.
- [6] 周梦维, 王世杰, 李阳兵. 石漠化景观生态优化途径初探--以贵州清镇王家寨小流域为例. 中国岩溶, 2007, 26(2): 91-97.
- [7] 宁茂岐, 付宇文, 方启彬, 杜迪. 西南喀斯特地区小流域水土流失生态修复监测系统设计--以贵州毕节市石桥小流域为例. 亚热带水土

- 保持,2008,20(1):55-59.
- [8] 田秀玲,吕娜,朱飞鸽,倪健. 贵州省喀斯特山区植被恢复的物种选择现状分析. 亚热带资源与环境学报,2012,7(2):17-26.
- [9] 苏维词,潘真真,郭晓娜,杨吉,易武英,李艳丽,杨振华,谢旺军. 黔南 FAST 周边典型喀斯特峰丛洼地石漠化生态修复模式研究--以平塘县克度镇刘家湾周边为例. 中国岩溶,2016,35(5):503-512.
- [10] 池永宽. 石漠化治理中农草林草空间优化配置技术与示范[D]. 贵阳:贵州师范大学,2015.
- [11] 崔蕾,熊康宁,关智宏,陈永华,刘子琦. 基于植物多样性恢复和保护的石漠化土地整理模式--以贵州撒拉溪和花江示范区为例. 中国岩溶,2016,35(5):513-524.
- [12] 邹长新,王燕,王文林,徐德琳,林乃峰,李文静. 山水林田湖草系统原理与生态保护修复研究. 生态与农村环境学报,2018,34(11):961-967.
- [13] 尚二萍,许尔琪. 黔桂喀斯特山地主要生态系统服务时空变化. 资源科学,2017,39(10):2000-2015.
- [14] 白杨,郑华,庄长伟,欧阳志云,徐卫华. 白洋淀流域生态系统服务评估及其调控. 生态学报,2013,33(3):711-717.
- [15] Palomo I, Martín-López B, Alcorlo P, Montes C. Limitations of Protected Areas Zoning in Mediterranean Cultural Landscapes Under the Ecosystem Services Approach. Ecosystems, 2014, 17(7):1202-1215.
- [16] Li X W, Li M D, Dong S K, Shi J B. Temporal-spatial changes in ecosystem services and implications for the conservation of alpine rangelands on the Qinghai-Tibetan Plateau. The Rangeland Journal, 2015, 37(1):31-43.
- [17] Li Y J, Zhang L W, Yan J P, Wang P T, Hu N K, Cheng W, Fu B J. Mapping the hotspots and coldspots of ecosystem services in conservation priority setting. Journal of Geographical Sciences, 2017, 27(6):681-696.
- [18] Grêt-Regamey A., Altwegg J., Sirén E. A., van Strien M J, Weibel B. Integrating ecosystem services into spatial planning-A spatial decision support tool. Landscape and Urban Planning, 2017, 165:206-219.
- [19] Liu S L, Dong Y H, Cheng F Y, Coxix A, Hou X Y. Practices and opportunities of ecosystem service studies for ecological restoration in China. Sustainability Science, 2016, 11(6):935-944.
- [20] 香宝,任华丽,马广文,李咏红,袁兴中,谢强,苏德苏日古格. 成渝经济区生态系统服务功能重要性评价. 环境科学研究,2001,24(7):722-730.
- [21] 陈涛,叶有华,孙芳芳,赵丽娅,侯邦飞,曾祉祥. 基于 SPOT 数据的深圳市生态系统服务功能重要性评价. 生态经济,2018,34(2):151-157.
- [22] Hao R F, Yu D Y, Liu Y P, Liu Y, Qiao J M, Wang X, Du J S. Impacts of changes in climate and landscape pattern on ecosystem services. Science of the Total Environment, 2017, 579:718-728.
- [23] Wu X, Liu S L, Cheng F Y, Hou X Y, Zhang Y Q, Dong S Q, Liu G H. A regional strategy for ecological sustainability: A case study in Southwest China. Science of the Total Environment, 2018, 616-617:1224-1234.
- [24] 刘世梁,武雪,朱家菡,张辉,贾克敬,赵爽. 耦合景观格局与生态系统服务的区域生态承载力评价. 中国生态农业学报,2019,27(5):694-704.
- [25] 孙才志,闫晓露,钟敬秋. 下辽河平原景观格局脆弱性及空间关联格局. 生态学报,2014,34(2):247-257.
- [26] 徐燕,孙小银,张大智,单瑞峰,刘飞. 1980-2015 年南四湖流域景观格局及其脆弱性. 应用生态学报,2018,29(2):635-642.
- [27] 余新晓,贾国栋. 统筹山水林田湖草系统治理 带动水土保持新发展. 中国水土保持,2019,(1):5-8.
- [28] Li X S, Wang H Y, Zhou S F, Sun B, Gao Z H. Did Ecological Engineering Projects Have a Significant Effect on Large-scale Vegetation Restoration in Beijing-Tianjin Sand Source Region, China? A Remote Sensing Approach. Chinese Geographical Science, 2016, 26(2):216-228.
- [29] Hong W Y, Guo R Z, Su M, Tang H, Chen L X, Hu W. Sensitivity evaluation and landuse control of urban ecological corridors: a case study of Shenzhen, China. Land Use Policy, 2017, 62:316-325.
- [30] Bai Y, Jiang B, Wang M, Li H, Alatalo J M, Huang S F. New ecological redline policy (ERP) to secure ecosystem services in China. Land Use Policy, 2016, 55:348-351.