

基于生态安全格局的国土空间生态 修复关键区域定量识别

——以贵州省为例

翟 香, 兰安军, 廖艳梅, 毛春艳, 施厚军, 钟九生

(贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵阳 550025)

摘 要:为揭示贵州省生态安全格局空间分布特征并识别其国土空间生态修复关键区域,通过生态敏感性评价结合自然保护区识别生态源地,基于最小累积阻力模型和电路理论提取生态廊道,构建生态安全格局后由电流密度诊断生态障碍区并制定生态修复策略。结果表明:(1)研究区识别生态源地 26 017.90 km²,其中大型生境斑块主要分布在贵州省东部;生态阻力面呈“西聚集东分散,由市中心向外扩散”的特征。(2)构建了生态廊道 1 414 条,长 34 765.84 km,主要分布在河流廊道、林地丰富和较平坦地区。(3)诊断出生态障碍区 1 374 处,面积 3 903.04 km²,集中分布在研究区西部及西北部,其他区域较零散,主要为耕地和林地。(4)基于构建的生态安全格局,强化生态源地保护,修复生态障碍区且对不同生态景观提出具有针对性的修复策略并联动各类各级修复工程。研究可为贵州省生态安全格局优化提供理论指导,为国土空间生态保护修复提供参考。

关键词:国土空间生态修复;生态安全格局;生态源地;生态廊道;生态障碍区;贵州省

中图分类号:X171.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)06-0322-08

Quantitative Identification of Key Areas of Land Space Ecological Restoration Based on the Ecological Security Pattern

—A Case Study of Guizhou Province

ZHAI Xiang, LAN Anjun, LIAO Yanmei, MAO Chunyan, SHI Houjun, ZHONG Jiusheng

(School of Geographic and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550025, China)

Abstract: In order to reveal the spatial distribution characteristics of the ecological security pattern in Guizhou Province and identify the key areas for ecological restoration in its national land space, we used ecological sensitivity evaluation to identify ecological sources by combining with nature reserves, extracted ecological corridors based on the least cumulative resistance model and circuit theory in order to build an ecological security patterns and develop ecological restoration strategies based on the diagnoses of ecological barrier areas by current density. The results are as followings. (1) The study area covered an ecological source area of 26 017.90 km², among which large habitat patches mainly distributed in the eastern part of Guizhou Province. The ecological resistance surface showed the characteristics of ‘gathering in the west and scattering in the east, spreading from the city center’. (2) 1 414 ecological corridors with a length of 34 765.84 km² had been constructed, and mainly distributed in river corridors with rich woodland and relatively flat areas. (3) 1 374 ecological obstacle areas covering an area of 3 903.04 km² which concentrated in the west and northwest of the study area were diagnosed. Other areas mainly including farmland and woodland were scattered. (4) Based on the constructed ecological security pattern, the strengthening of ecological source areas protection and the restoration of ecological barrier areas, the targeted restoration strategies for different

收稿日期:2021-09-07

修回日期:2021-10-14

资助项目:国家自然科学基金“面向喀斯特区的光学遥感影像超分辨率重建研究”(41661081)

第一作者:翟香(1998—),女,贵州毕节人,硕士研究生,主要研究方向为土地利用及土地生态。E-mail:zhaixiang97@163.com

通信作者:兰安军(1974—),男,贵州黔南人,硕士,副教授,主要从事喀斯特环境遥感研究。E-mail:493486980@qq.com

ecological landscapes were proposed through initiating various restoration projects at all levels. These research results can provide theoretical guidance for the optimization of the ecological security pattern in Guizhou Province, and provide the reference for the ecological protection and restoration of the state territorial space.

Keywords: land space ecological restoration; ecological security pattern; ecological source area; ecological corridor; ecological barrier area; Guizhou Province

国土空间生态保护修复是指协助受损生态系统恢复的过程,起源于欧美国家 20 世纪初^[1]。随着社会经济的快速发展,不断加剧的人类活动对自然资源可持续发展和生态系统连续性造成了严重威胁^[2-3]。呈现出生产、生活空间不同程度地挤占生态空间、景观格局破碎化以及地表覆被硬化的趋势^[4]。国土空间格局失序、生态环境破坏严重,国土空间生态治理和修复势在必行^[5]。

生态安全格局是景观格局优化的空间表现,国土空间生态修复是对国土空间受损、退化生态系统进行恢复与重建^[6]。故基于生态安全格局识别国土空间待修复关键区域更具系统性和生态学价值^[1,6]。区域生态安全格局的构建能通过生态过程的有效调控来充分发挥生态系统功能及服务^[7]。当前,生态安全格局构建已形成“源地—阻力面—生态廊道”的一般研究范式^[8-9]。有学者把其用于山地丘陵、石漠化地区生态安全格局构建^[10-11],区域保护地或土地生态网络系统的构建^[12-13],及建设用地减量化的研究^[14]。研究方法上,通常使用景观连通性、生态系统评价、生态敏感性评价、粒度反推法等识别生态源地,后构建生态阻力面并利用最小累积阻力模型和电路理论识别生态廊道^[15-18]。也有学者把阻碍区纳入此研究领域,通过某一区域移除前后电流的变化情况识别该区域,并把其运用到国土空间生态修复中^[19]。现阶段国土空间生态修复是学者关注的热点,如宫清华等^[20]以粤港澳大湾区为例研究人地系统耦合框架下国土空间生态修复规划策略。彭建^[4]、李红举^[21]、王军^[22]等就国土空间生态修复的景观生态学认知、统一山水林田湖生态保护修复标准体系以及国土整治和生态修复转型进行了阐述。韩博^[2]、丹宇卓^[5]等基于“要素—景观—系统”“退化压力—供给状态—修复潜力”等框架对江苏省、珠江三角洲等区域的国土空间生态修复进行研究。亦有学者对基于生态安全格局识别的国土空间生态修复区展开了研究,但多基于市州县域尺度如烟台市^[1]、贺州市^[6]、河北省阜平县^[8]、徐州市贾汪区等^[19]。对省域宏观尺度的研究相对匮乏,对其进行研究能充分考虑生态系统的完整性和结构的连通性。

贵州省是云贵高原生态屏障的重要组成部分,区域碳酸盐岩广布、地质基础脆弱、风化成土过程缓慢,生境环境本底脆弱。受历史不良人为活动的影响,水土流失及石漠化等生态环境问题严重。本文以贵州省为例,通过生态敏感性评价结合自然保护地识别出生态源地,加权叠加自然环境因素和人为干扰因素得到生态阻力面,基于最小累积阻力模型和电路理论识别生态廊道,由此构建贵州省生态安全格局;并诊断生态障碍区,识别其土地利用类型并提出修复策略。以为贵州省国土空间生态保护修复提供参考。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

贵州省位于我国西南腹地,位于 103°36'—109°35'E, 24°37'—29°13'N,国土面积 176 167 km²^[23]。地势西高东低,平均海拔 1 100 m 左右,主要为高原、山地、丘陵和盆地,其中 92.5% 的面积为山地和丘陵^[24]。地处亚热带湿润地区,具有良好的水热资源条件,但喀斯特地貌分布广泛,特殊的喀斯特山地丘陵地貌形态导致水土资源分布不均^[25]。脆弱的岩溶地貌形态和高原山地及强烈的人类活动导致生态破坏,加剧了石漠化和水土流失等生态环境问题。

1.2 数据来源

本文数据来源主要包括:贵州省 30 m×30 m DEM 数据来自地理空间数据云,由 DEM 数据提取高程和坡度;2020 年贵州省土地覆盖数据来自于中国科学院地球大数据科学工程数据共享服务系统,分辨率为 30 m,结合实际研究内容把土地利用类型重新合并为耕地、草地、林地、建设用地、水域及未利用地 6 类;NDVI 数据来自美国航天局 NASA 的 MODIS13Q1 数据,分辨率为 250 m,选取 2020 年 1—12 月间质量相对好的数据,经过预处理及投影定义后使用像元统计工具得到 2020 年贵州省 NDVI,并以此为基础计算得到植被覆盖度;河湖、主要建成区、道路数据根据 ZY-3,GF-1 遥感影像数据,经预处理分类后目视解释得到;各类保护区数据源自贵州省及各市州总体规划文件以及《贵州省生态功能区划》文件。数据空间坐标统一为 GCS_WGS_1984。

2 数据处理

2.1 生态源地识别

生态源地是指提供重要生态系统服务的斑块^[9]。生态敏感性是生态系统对人类活动反映的敏感程度,一定程度上可以体现出产生生态环境问题的可能性大小;区域生态敏感性评价能确定生态环境最敏感的地区和最具有保护价值的地区^[26]。因此本文对贵州省生态敏感性进行评价,并选取生态高敏感区叠加为周边生态环境提供服务的自然保护区、大型水源地、湿地保护区、森林公园及风景名胜区作为生态源地斑块。由于省级尺度较大,相关研究中表示在源地斑块较多情况下,不同面积大小生境的景观功能结构复杂程度不同,不宜直接根据所有源地构建全部廊道^[12];且在地图制图中人眼能分辨的最小距离的最佳值 0.25~0.3 mm,故本文选择大于 1.05 km² 的生态源地斑块,后合并相邻斑块,并把其中零散的、破碎的斑块挑除,再利用自然断点法分为一级源地、二级源地、

三级源地^[12,27]。

根据已有研究综合考虑贵州省地形坡度特征及地表覆盖特征选取高程、坡度、地表覆盖、植被覆盖和水域 5 个评价指标评价生态敏感性^[16]。由于各因子对生态敏感性的影响程度不同,本文使用层次分析法计算各指标因子的权重(表 1),通过其原理构建判断矩阵并通过一致性检验($CR=0.0203<0.1$)。根据生态功能区划中对生态敏感性指标体系的分类标准并结合前人的研究,将各因子划分为高敏感、敏感、中敏感、低敏感、不敏感 5 个等级,并分别赋值为 9,7,5,3,1(表 2)。利用各因子划分后敏感性结果以及计算的权重结果,使用 ArcGIS 加权叠加计算得到贵州省生态敏感性综合图,并通过自然断点法将其划分为高敏感、敏感、中敏感、低敏感、不敏感 5 个等级区,得到贵州省生态敏感性分级结果。

表 1 敏感性因子权重

指标因子	坡度	高程	植被覆盖度	土地覆盖	河湖
权重	0.1256	0.0754	0.3015	0.2261	0.2714

表 2 生态因子分级

生态因子	生态敏感性等级				
	高敏感	敏感	中敏感	低敏感	不敏感
坡度/(°)	>35	25~35	15~25	6~15	0~6
高程/m	>2000	1600~2000	1200~1600	800~1200	<800
植被覆盖度	>0.9	0.8~0.9	0.65~0.8	0.45~0.65	<0.45
土地覆盖	水域	林地	草地	耕地	建设用地、未利用地
河湖	<100 m 缓冲区	100~200 m 缓冲区	200~500 m 缓冲区	500~1000 m 缓冲区	>1000 m 缓冲区

2.2 生态阻力面构建

生态阻力面指物种在水平空间上运动及生态流在斑块间流动和传递所受的阻碍,很大程度上受自然环境因素与人为干扰因素的影响^[16]。结合已有研究成果与研究区实际情况,选取高程、坡度、土地利用程度、NDVI、距主要道路的距离以及距主要建成区的距离 6 个因子^[10,16]作为构建贵州省基本生态阻力面的单阻力因子,作为构建生态廊道的基础。依据现有研究确定各阻力因子的等级和阻力值,等级越高,生态阻力值越大,越不利于生态源地向外扩张^[28]。各因子的权重使用层次分析法进行确定,权重确定一致性检验结果 $CR=0.0306<0.1$,满足一致性检验成果要求。利用各阻力因子以及权重结果,加权叠加得到基本生态阻力面。具体指标体系见表 3。

2.3 生态廊道与障碍区识别

生态廊道是指生态网络体系中对物质、能量与信息流动具有重要连通作用的带状区域^[29],现被拓展到生态安全保护结构范畴和支撑生态系统运作的重要部分,是生态修复中最有可能改善连通性的结构要

素或区域。电路理论是将生态源地斑块及生态阻力面抽象为一系列节点和电阻,研究利用最小累积阻力模型构建生态阻力面,并基于电路理论使用的 Linkage Mapper 模块构建生态廊道^[19]。最小累积阻力模型模型原理如下:

$$MCR=f\min_{j=n}\sum_{i=m}^mD_{ij}\times R_i \tag{1}$$

式中:MCR 为景观到源的累积阻力值; f 为累积阻力值与景观生态过程的正相关关系; \min 表示累积阻力最小值; D_{ij} 表示景观单元 i 到源 j 的空间距离; R_i 表示景观单元 i 对单元运动的阻力值。

生态障碍区是生物在生境斑块间运动受到阻碍的区域,影响生态廊道连接质量,移除这些区域会增加生态重要区间连通的可能性^[19]。本文使用 Circuitscape 插件中 Barrier Mapper 模块识别出生态障碍区,根据已有文献研究和研究区实际情况,分别以 750 m,500 m,250 m 为一级源地、二级源地、三级源地的搜索半径检测研究区是否存在阻碍生态过程的潜在区域^[12,19]。生态障碍区是生态修复的重点关注区域,识别该区域

找出贵州省生态修复区,并结合土地利用针对具体景观类型提出不同的保护措施和修复策略。

表 3 阻力因子及其权重值

阻力类型	阻力因子	权重	阻力指标	阻力值
自然环境因素	高程(m)	0.0824	0~800	1
			800~1200	20
			1200~1600	50
			1600~2000	80
			>2000	100
	坡度(°)	0.1176	0~6	1
			6~15	20
			15~25	50
			25~35	80
			>35	100
	土地利用程度	0.2118	有林地	1
			水域	20
			草地	30
			耕地	50
			未利用地	80
	NDVI	0.1529	建设用地	100
			0~0.3	100
			0.3~0.5	80
			0.5~0.65	50
			0.65~0.75	20
人为干扰因素	距主要道路距离(m)	0.2	>0.75	0
			0~500	100
			500~1000	80
			1000~2000	50
			2000~4000	20
	距主要建成区距离(m)	0.2353	>4000	0
			0~1000	100
			1000~2000	80
			2000~4000	50
			4000~6000	20
			>6000	0

3 结果与分析

3.1 生态源地识别

通过生态敏感性评价得到贵州省单因子敏感性分级结果及综合敏感性分级结果。由图 1 看出,坡度高敏感区主要分布在贵州省东北部及南部,占贵州省总面积的 8.21%,地势起伏越大对生态系统的维护和保护越困难(图 1A)。研究区西高东低,海拔越高,越不利于生物多样性的保护,生态系统越脆弱,高程高敏感区主要集中在毕节市威宁县、赫章县及六盘水市西部区域,占研究区面积的 4.81%。水域高敏感区集中在水库、河湖及湿地周围,占研究区面积的 2.56%。土地覆被高敏感区以河流、湖泊及湿地为主。植被覆盖度高敏感区零散分布在贵州省各市州山林地区,主要集中在遵义市西北部、毕节市北部及黔西南州东部地区,占研究区总面积的 3.21%。结合高程、坡度、

水域缓冲区、地表覆盖及植被覆盖度敏感性分级结果,加权叠加得到贵州省生态综合敏感性分级结果(图 1F)。结果显示贵州省生态高敏感区主要分布在河湖、湿地、生态林地集中分布且较陡的山地区域,占研究区面积的 6.9%,空间上表现为黔中地区分布较少,黔西南及黔北分布较多。

根据敏感性评价结果叠加保护地并分级得到的贵州省生态源地为 26 017.90 km²,占贵州省国土面积的 14.77%。其中一级生态源地 10 413.77 km²,占生态源地总面积的 40.03%。二级生态源地占总源地的 22.73%。三级生态源地占总源地面积的 37.25%。空间上看,大型生境斑块主要集中在黔东南州、遵义市、铜仁市、贵阳市。分布在生态环境条件较好、生境质量高,如大片竹林地区、水域及其周边区域。

3.2 阻力面与生态廊道提取

3.2.1 阻力面的建立 单因子阻力面结果见图 2,贵州省高程高阻力值主要位于西部地区,坡度高阻力值分布零散,主要集中在遵义西北部及黔西南东南部。土地利用及 NDVI 高阻力值在各市州的中心城区,贵阳市、遵义市尤为明显,同时 NDVI 高阻力值在毕节市西部威宁县也较集中。道路和主要建成区高阻力值主要在贵州省经济发展圈以及由各市州主城区为中心向外扩散,但黔东南州、黔西南州、铜仁市高阻力值相对较少。通过各阻力因子加权叠加得到的贵州省综合阻力面(图 3)显示,贵州省生态阻力高值由各市州中心城区向外扩散,其中贵阳市最为显著,遵义市、六盘水市次之,黔东南州、铜仁市、黔南州较不明显,且阻力高值相对较少。研究区阻力值整体上呈现“西聚集东分散,由各市中心向外扩散”的特征,结合贵州省社会经济特点,高值区域人类活动聚集、经济发展相对较快且生态环境受人类扰动大。

3.2.2 生态廊道提取 基于生成的生态源地与阻力面,利用 Linkage Mapper 构建贵州省生态廊道,不同级别生境斑块之间物种传播具有一定的差异,结果见图 4。贵州省共构建一级生态廊道 52 条,二级生态廊道 168 条,三级生态廊道 1 194 条。生态廊道总长 34 765.84 km,其中一级生态廊道 3 546.90 km,二级生态廊道 7 565.02 km,三级生态廊道 23 653.90 km。一级廊道西南至南盘江流域马岭河峡谷附近区域,东至沅江流域九龙洞,北至乌江流域大沙河自然保护区,是连接贵州大型生境斑块的重要廊道。连接了贵州省水源涵养功能及生物多样性维护的重点区域,由黔南月亮湾水源涵养与生物多样性维护片区—黔东武陵山水源涵养与生物多样性维护片区—黔北赤水河流域—黔中贵阳市阿哈湖、百花湖和红枫湖,同时

良好的东部生态环境,构建了贵州省东部较好的生态网络系统。二级廊道西起于毕节市威宁县妥打白冠长尾雉自然保护区附近,东至黔东南州黎平太平山自然保护区附近,南起黔西南州坝朝水库附近,北至遵义市黄连柏箐自然保护区附近。连接了贵州省具有较重要生态功能的生境,与一级生态廊道相比,贵州省西部地区相对集中,弥补贵州省西部重要生态系统

的连接。三级生态廊道连接了贵州省各地区小生境生态斑块,较均匀分布在贵州省各地区,为物种迁移提供重要途径。生态廊道连接生态源地时,分布在低阻力值区域,主要沿着河流廊道、林地丰富区及平坦地区,为生态源地间物种传播提供良好的环境,对阻碍生态廊道形成和物种迁移、传播的区域应加以修复和维护。

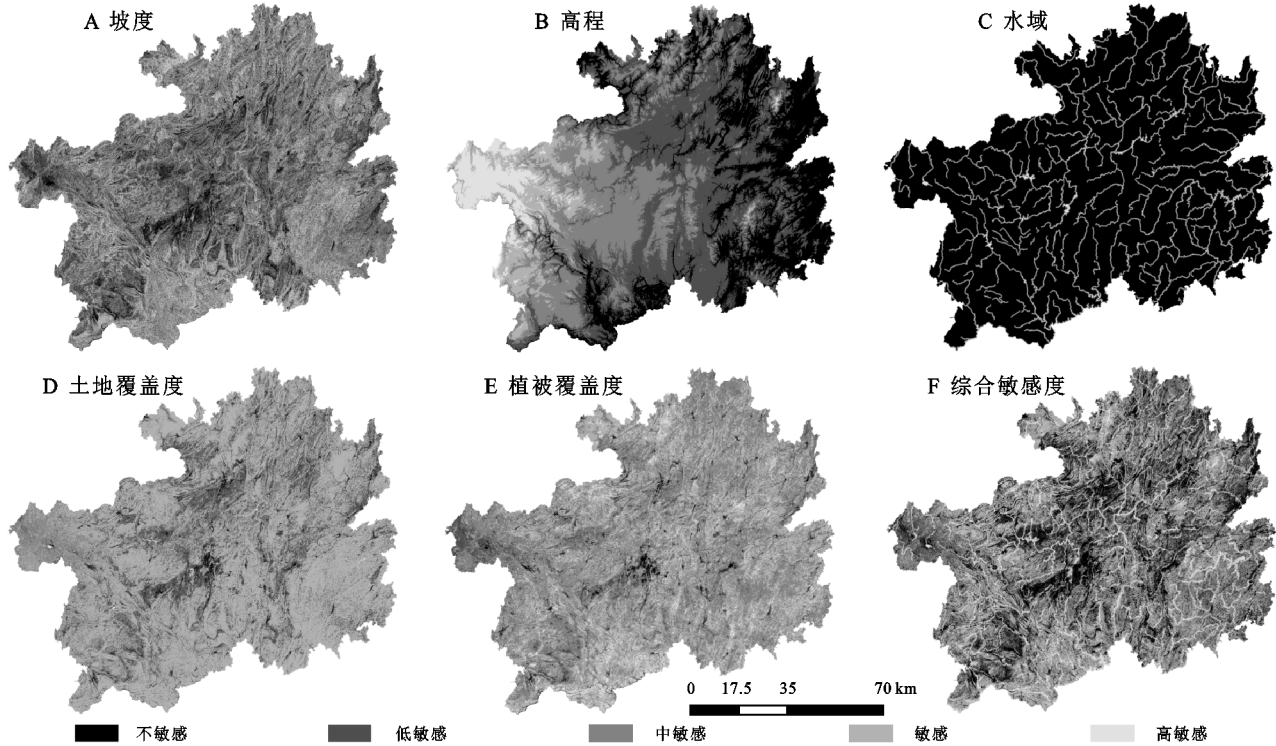


图 1 贵州省生态敏感性分级结果

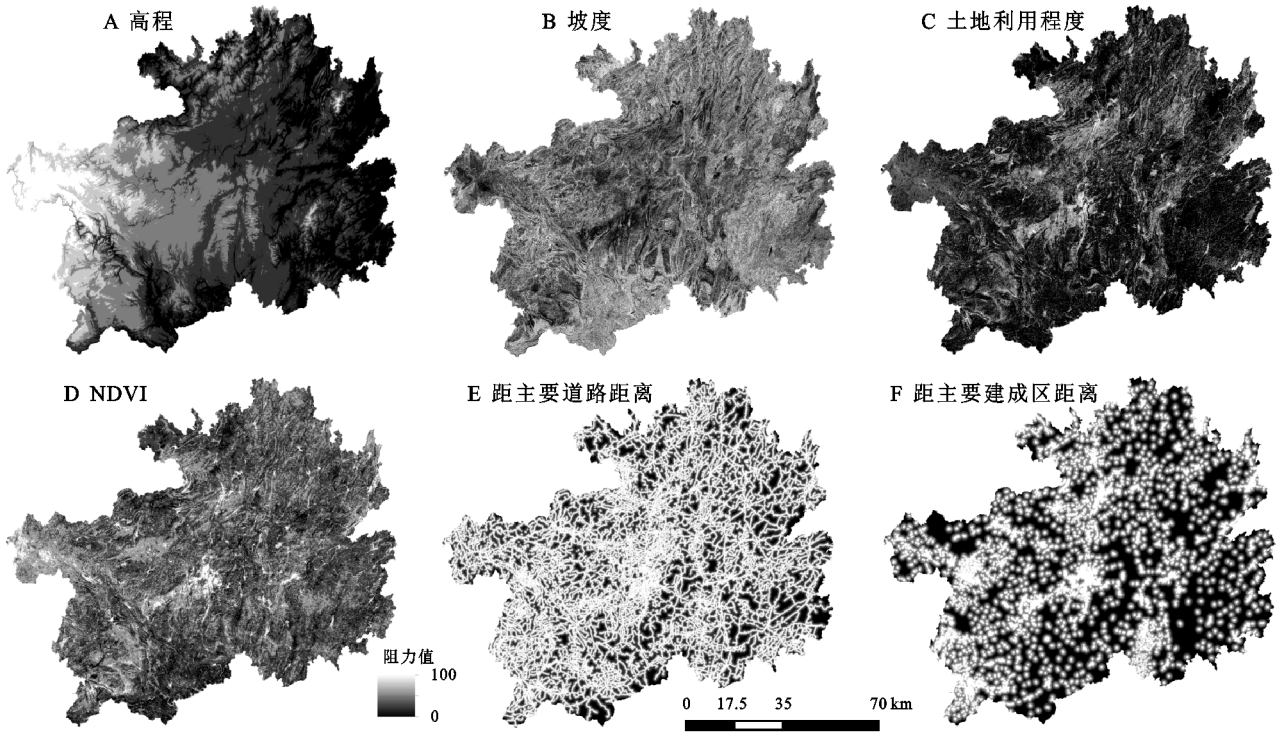


图 2 单因子阻力面

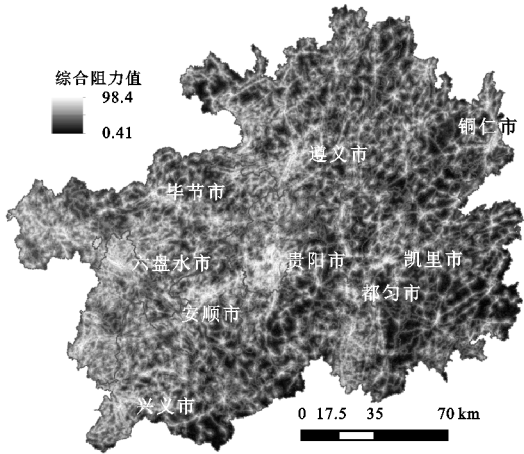


图 3 贵州省综合阻力面示意图

3.3 生态障碍区识别

基于生态安全格局识别生态障碍区,贵州省生态障碍区识别结果见图 5,电流强度由浅至深逐渐增大,深色区域为生态障碍区,由于栅格分辨率重采样为 250 m×250 m,故最终生态障碍区矢量排除面积小于 62 500 m²的斑块,避免图斑过度破碎及分辨率

精度达不到造成的误差。最终结果表明贵州省生态障碍区共 1 374 处,面积 3 903.04 km²,集中分布在贵州省西部及北部,尤其以黔中地区最为明显。统计贵州省各市州生态障碍区分布情况(表 4),结果显示毕节市障碍区分布个数最多为 272 处,占比 19.94%;铜仁市分布个数最少为 84 处,占比 6.55%。生态障碍区面积分布毕节市最大为 792.43 km²,占比 20.30%;黔东南州障碍区分布面积最少为 144.67 km²,占比 3.71%。生态障碍区分布特征为贵阳市集中连片多分布,黔东南州、铜仁市零散破碎少分布。这与贵州省经济发展特征和本底生态建设有一定联系,贵阳市作为贵州省的省会城市,是贵州省经济发展的核心区域,建设用地及受人为扰动的区域较多,生态环境建设存在一定困难。黔东南州位于贵州低海拔地区,年均降水量较高,蒸发量较小,且区域范围内多为非喀斯特区,地表径流相对其他区域较丰富,是贵州省生物多样性的重要区域,且受区域居民特殊生活方式和习惯的影响,生态系统破坏较少。

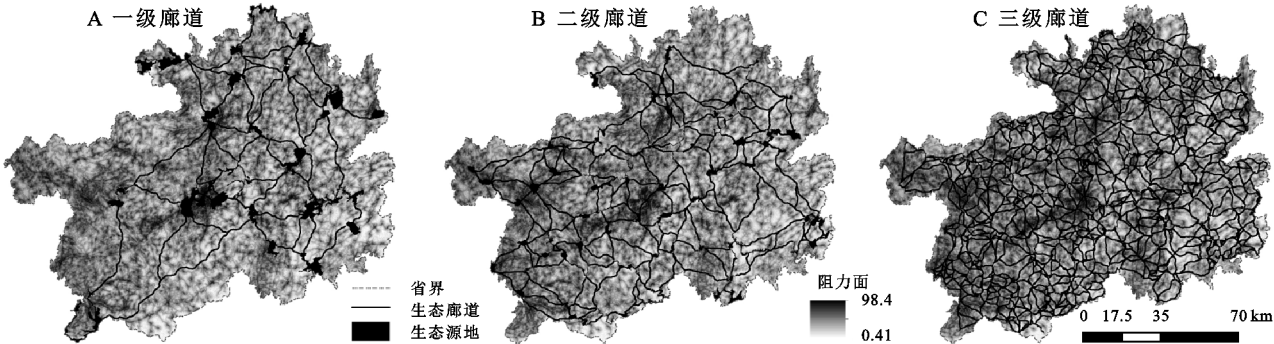


图 4 贵州省生态源地及生态廊道分布

表 4 贵州省各市州生态障碍区分布情况

市州	生态障碍区			
	个数	个数占比/%	面积/km ²	面积占比/%
贵阳市	114	8.30	605.47	15.51
六盘水市	186	13.54	558.46	14.31
遵义市	257	18.70	698.43	17.89
安顺市	90	6.55	245.78	6.30
毕节市	274	19.94	792.43	20.30
铜仁市	84	6.11	150.91	3.87
黔西南州	151	10.99	383.01	9.81
黔东南州	90	6.55	144.67	3.71
黔南州	128	9.32	323.87	8.30
合计	1374	100.00	3903.04	100.00

4 国土空间生态保护修复策略

基于构建的贵州省生态安全格局,建立了贵州省生态网络系统,对生态源地提出强化保护措施,对生态廊道存在的生态障碍区提出修复意见。保障和提

高贵州省生态基质和生态空间的稳定性,提升生态系统服务供给能力。

4.1 强化生态源地的保护

生态源地作为区域生态系统服务功能供给的主要核心区域,其稳定性影响着研究区生态安全,因此生态源地的强化保护极其重要。受地形地貌影响,研究区生态源地分布零散,以各类保护区、森林公园、风景名胜、湿地保护区、水库及高覆盖林区为主。区域内除向游客提供观光功能外,应禁止其他建设用地的开发和建设,强调用地的自然属性和生态维持功能。对于湿地和水域范围,应加强入河排污口监测、水生态系统保护、水源地保护以及限制河流开发,并加强河湖周边绿化及湿地绿化建设,增强水域和湿地的生态功能,有效防止城市建设扩张对生态源地造成威胁。

4.2 生态障碍区修复策略

利用识别的生态障碍区与土地利用数据相交,

结果见表 5,障碍区土地利用主要为耕地、林地,辅以草地和建设用地。障碍区内耕地占障碍区总面积的 42.75%,其次的林地占比 36.73%,草地和建设用地占比分别为 11.24%,8.79%。障碍区土地利用空间分布

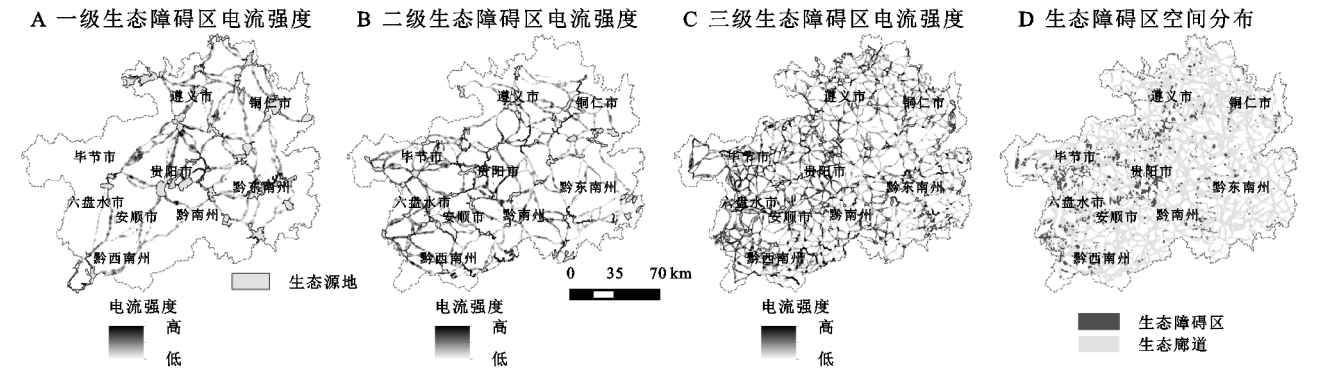


图 5 贵州省生态障碍区及其电流强度空间分布

生态障碍区中除永久基本农田以外的耕地可有序进行退耕还林还草,永久基本农田内的应加强整治、适应地方特色加强环境工程建设,充分发挥耕地的生态功能。林地区域的生态修复应重视其生长和采伐利用动态平衡,并对低质低效林进行改造和退化,加强森林抚育,提高森林质量。草地生态薄弱区域可种植常见本土优势草本植物或植树造林。建设用地修复主要包括了城乡及矿区 3 个主体,针对城镇建设用地应有条件的引导人口逐步有序转移,积极开展城镇绿地、绿心建设及垃圾整治工程等,最大限度减少人类活动对生态环境的影响,建立环境恢复体制;对于乡村建设用地修复可依托乡村振

(图 6)显示,耕地散落分布在各市州,其中贵阳市、毕节市、遵义市分布较集中。林地与草地在毕节市、六盘水市及黔西南州分布较集中。建设用地在贵阳市、遵义市、六盘水市、安顺市中心城区分布较明显。

兴战略,加快村庄绿化建设,发展特色农林业经济,改善农村生态环境;对于矿区范围,针对矿渣堆积的地貌景观破坏以及采矿造成的塌陷等问题,改善周期较长,需有序退出并开展污染治理工程,恢复矿区生态系统。河流水域修复主要以淤泥清理,水质监测、污染治理及岸边绿化种植为主。通过对各种生态景观进行恢复,联动各级各类修复工程,改善生态环境质量,提高生态系统连通,优化贵州省生态安全格局。另外还应注重生态自然恢复,生态修复是一个长期的过程,人为修复工程能最快地恢复受损区域,但生境质量和生态功能的最优化需靠本底生态环境的提高。

表 5 障碍区土地利用类型分布情况

土地利用类型	草地	耕地	建设用地	林地	水域	未利用地	总计
面积/km ²	438.86	1668.60	342.98	1433.73	18.79	0.08	3903.04
占比/%	11.24	42.75	8.79	36.73	0.48	0.00	100.00

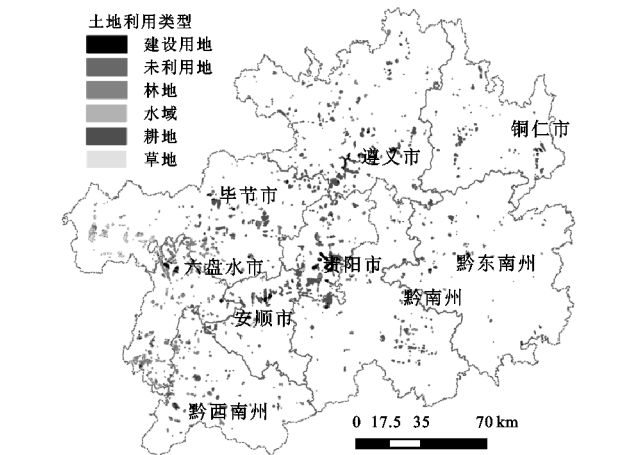


图 6 生态障碍区土地利用类型空间分布

5 结论

(1) 贵州省生态高敏感区主要集中在河湖、湿地周

边以及自然林地集中较陡的山地,占贵州省国土面积的 6.9%。识别出生态源地 26 017.90 km²,其中一级源地比重最大,三级源地次之,二级最少,大型生境斑块主要分布在贵州省东部地区,分布区域生态环境条件好,生境质量高。生态阻力面高值具有“西聚集东分散,由市中心向外扩散”的特征,高值区域人类活动频繁聚集、经济建设较好且生态环境受人类影响大。

(2) 贵州省共构建生态廊道 1 414 条,长 34 765.84 km。主要分布在河流廊道、林地丰富、较平坦的地区,为生态源地物种的传播及迁移提供良好的环境。一级生态廊道主要在东部区域,连接贵州省大型生境斑块;二级生态廊道连接了贵州省较重要生境斑块区域,弥补了一级生境在西部地区的缺失;三级廊道连接了贵州省各区域的小生境斑块,构建了贵州省完整的生态网络系统。

(3) 研究区识别出需修复障碍区 1 374 处共 3 903.04

km², 主要集中分布在贵州省西部及西北部, 其中贵阳市集中连片, 黔东南州、铜仁市零散分布。分布差异与贵州省各市州社会经济条件、地形地貌及本底生态环境质量有关。

(4) 基于生态安全格局, 强化生态源地保护, 提出生态障碍区修复策略, 其中需修复生态障碍区主要为耕地及林地, 不同生态景观需采取具有差异的修复措施并联动各类修复工程, 以增强本底生境, 改善生态环境质量, 提高生态系统连通性, 优化贵州省生态安全格局。

本文基于生态安全格局探索贵州省国土空间生态修复障碍区, 融入景观格局优化理念, 考虑了景观格局整体性和生态功能重要性。研究通过生态敏感性评价耦合保护区, 防止具有重要生态功能生态源地的遗漏; 综合自然环境因素和人为干扰因素加权叠加获得生态阻力面, 充分考虑人类活动对生态环境系统的扰动; 基于最小累积模型和电路理论, 利用最短成本路径获得生态廊道, 考虑了景观连通性。根据不同生境斑块识别出不同范围大小的生态障碍区。较完整、系统地表现了贵州省国土空间生态保护修复的空间分布格局及其重点区域, 后期将结合贵州省区位因素及地理环境, 对贵州省生态景观连通性进行评价, 并对贵州省石漠化敏感性、水土流失敏感性、生物多样性、水源涵养功能重要性、水土保持功能重要性等进行研究, 以全面表现贵州省的生态系统情况。另外增加对生态“夹点”、生态断裂点等需修复区域的研究, 以较完整的体现贵州省的生态修复区, 以期为贵州省国土空间生态修复提供更精确和全面的评估。

参考文献:

[1] 方莹, 王静, 黄隆杨, 等. 基于生态安全格局的国土空间生态保护修复关键区域诊断与识别: 以烟台市为例[J]. 自然资源学报, 2020, 35(1): 190-203.

[2] 韩博, 金晓斌, 项晓敏, 等. 基于“要素—景观—系统”框架的江苏省长江沿线生态修复格局分析与对策[J]. 自然资源学报, 2020, 35(1): 141-161.

[3] 吴大放, 胡悦, 刘艳艳, 等. 城市开发强度与资源环境承载力协调分析: 以珠三角为例[J]. 自然资源学报, 2020, 35(1): 82-94.

[4] 彭建, 吕丹娜, 董建权, 等. 过程耦合与空间集成: 国土空间生态修复的景观生态学认知[J]. 自然资源学报, 2020, 35(1): 3-13.

[5] 丹宇卓, 彭建, 张子墨, 等. 基于“退化压力—供给状态—修复潜力”框架的国土空间生态修复分区: 以珠江三角洲为例[J]. 生态学报, 2020, 40(23): 8451-8460.

[6] 付凤杰, 刘珍环, 刘海. 基于生态安全格局的国土空间生态修复关键区域识别: 以贺州市为例[J]. 生态学报, 2021, 41(9): 1-9.

[7] 彭保发, 郑俞, 刘宇. 耦合生态服务的区域生态安全格局研究框架[J]. 地理科学, 2018, 38(3): 361-367.

[8] 张美丽, 李智, 张益琛, 等. 基于生态安全格局的国土空间生态修复关键区域识别: 以河北省阜平县为例[J]. 水土保持研究, 2021, 28(3): 299-307, 3.

[9] 彭建, 李慧蕾, 刘焱序, 等. 雄安新区生态安全格局识别与优化策略[J]. 地理学报, 2018, 73(4): 701-710.

[10] 李政, 丁忆, 王亚林, 等. 基于最小累积阻力模型的山地石漠化地区生态安全格局构建: 以重庆市南川区为例[J]. 生态与农村环境学报, 2020, 36(8): 1046-1054.

[11] 杜腾飞, 齐伟, 朱西存, 等. 基于生态安全格局的山地丘陵区自然资源空间精准识别与管制方法[J]. 自然资源学报, 2020, 35(5): 1190-1200.

[12] 周小丹, 胡秀艳, 王君楠, 等. 江苏省土地生态网络规划中源地的选取研究[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(8): 1746-1756.

[13] 谢慧玮, 周年兴, 关键. 江苏省自然遗产地生态网络的构建与优化[J]. 生态学报, 2014, 34(22): 6692-6700.

[14] 刘壮壮, 吴未, 刘文锋, 等. 基于“源地—廊道”生态安全格局构建逻辑范式的建设用地减量化研究[J]. 生态学报, 2020, 40(22): 8230-8238.

[15] 蒙古军, 王雅, 王晓东, 等. 基于最小累积阻力模型的贵阳市景观生态安全格局构建[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(7): 1052-1061.

[16] 张臻, 方世明. 山水资源型城镇的生态安全格局构建研究: 以武汉市黄陂区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(8): 1835-1845.

[17] Peng J, Pan Y, Liu Y, et al. Linking ecological degradation risk to identify ecological security patterns in a rapidly urbanizing landscape[J]. Habitat International, 2018, 71: 110-124.

[18] Peng J, Zhao S, Dong J, et al. Applying ant colony algorithm to identify ecological security patterns in megacities[J]. Environmental Modelling & Software, 2019, 117: 214-222.

[19] 倪庆琳, 侯湖平, 丁忠义, 等. 基于生态安全格局识别的国土空间生态修复分区: 以徐州市贾汪区为例[J]. 自然资源学报, 2020, 35(1): 204-216.

[20] 宫清华, 张虹鸥, 叶玉瑶, 等. 人地系统耦合框架下国土空间生态修复规划策略: 以粤港澳大湾区为例[J]. 地理研究, 2020, 39(9): 2176-2188.

[21] 李红举, 宇振荣, 梁军, 等. 统一山水林田湖草生态保护修复标准体系研究[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8771-8779.

[22] 王军, 应凌霄, 钟莉娜. 新时代国土整治与生态修复转型思考[J]. 自然资源学报, 2020, 35(1): 26-36.

[23] 余金海, 刘艳, 余梦, 等. 农村“三变”改革助推精准扶贫模式及成效评价: 以贵州 4 种“三变”改革模式为例[J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2020, 38(4): 26-34.

的时空演变[J].应用生态学报,2016,27(9):2941-2949.

[13] 李龙,吴大放,刘艳艳,等.基于 CA-Markov 模型的惠州市生态与经济协调度时空演变特征及模拟预测[J].生态与农村环境学报,2020,36(2):161-170.

[14] 张雅杰,马国创.荆州市域县市区生态经济耦合协调关系与发展模式研究[J].生态经济,2016,32(12):92-96.

[15] 王鹏,刘小鹏,姚晓艳,等.基于能值分析的宁夏生态经济系统可持续发展评价[J].生态经济,2018,34(1):70-73.

[16] 隋建利,陈豪.生态足迹视域下环境与经济增长协调发展路径研究[J].财贸经济,2021,42(6):54-70.

[17] 王奕淇,李国平.基于 SD 模型的黄河流域生态环境与社会经济发展可持续性模拟[J].干旱区地理,2022,45(3):901-911.

[18] 李春发,曹莹莹,杨建超,等.基于能值及系统动力学的新天津生态城可持续发展模式情景分析[J].应用生态学报,2015,26(8):2455-2465.

[19] 刘海霞,任栋栋.黄河流域生态保护与经济协调发展的现实之困及应对之策[J].生态经济,2021,37(7):148-153.

[20] 谢高地,张彩霞,张昌顺,等.中国生态系统服务的价值[J].资源科学,2015,37(9):1740-1746.

[21] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997,387(6630):253-260.

[22] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等.一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J].自然资源学报,2008,23(5):911-919.

[23] 徐丽芬,许学工,罗涛,等.基于土地利用的生态系统服务价值当量修订方法:以渤海湾沿岸为例[J].地理研究,2012,31(10):1775-1784.

[24] 苏胜亮,高明,徐锦娟,等.宁夏海原县生态脆弱性与经济贫困空间耦合关系[J].水土保持研究,2022,29(3):327-333.

[25] 郑德凤,郝帅,吕乐婷,等.三江源国家公园生态系统服务时空变化及权衡-协同关系[J].地理研究,2020,39(1):64-78.

[26] 赖敏,吴绍洪,尹云鹤,等.三江源区基于生态系统服务价值的生态补偿额度[J].生态学报,2015,35(2):227-236.

[27] 吴健生,黄乔,曹祺文.深圳市基本生态控制线划定对生态系统服务价值的影响[J].生态学报,2018,38(11):3756-3765.



(上接第 329 页)

[24] 廖艳梅,兰安军,尹林江,等.喀斯特山区农村居民点空间分布特征及其影响因素[J].水土保持研究,2021,28(06):233-241.

[25] 赵青松,兰安军,范泽孟,等.贵州省不同地貌形态类型土壤侵蚀强度变化的定量分析[J].地球信息科学学报,2020,22(7):1555-1566.

[26] 徐曼.基于 GIS 技术的彭州市湍江流域生态敏感度评价研究[D].成都:西南交通大学,2019.

[27] 骆继花,王鸿燕,谢志英.地图比例尺与遥感影像分辨率的关系探讨[J].测绘与空间地理信息,2015,38(12):61-64,71.

[28] 刘晓阳,曾坚,贾梦圆,等.闽三角城市群生态安全格局构建及城镇扩展模拟[J].生态学报,2020,40(21):7873-7885.

[29] 彭建,赵会娟,刘焱序,等.区域生态安全格局构建研究进展与展望[J].地理研究,2017,36(3):407-419.



(上接第 335 页)

[12] 李小云,董强,饶小龙,等.农户脆弱性分析方法及其本土化应用[J].中国农村经济,2007(4):32-39.

[13] 任威,熊康宁,盈斌,等.喀斯特地区不同地貌下农户生计脆弱性影响因子评估:以贵州花江、撒拉溪研究区为例[J].生态与农村环境学报,2020,36(4):442-449.

[14] 赵雪雁,介永庆,何小风,等.多重压力下重点生态功能区农户的生计适应性研究:以甘南黄河水源补给区为例[J].中国人口·资源与环境,2020,30(1):140-149.

[15] 张强.2010—2015 年甘南州夏河县草地植被动态变化分析[J].环境研究与监测,2017,30(2):5-8.

[16] 张峰,石军伟,陈鹏.甘肃夏河县发生地震 武警甘肃总队高效救援[J].中国减灾,2019(23):10.

[17] 夏河县统计局.2018 年夏河县国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2019-05-19)[2022-07-10]. <http://tjj.gnzhmzf.gov.cn/info/1045/1355.htm>.

[18] Kay S. Measuring Destitution: Integrating Qualitative and Quantitative Approaches in the Analysis of Survey Data[R]. IDS Working Paper 217, 2003.

[19] 徐爽,胡业翠.农户生计资本与生计稳定性耦合协调分析:以广西金桥村移民安置区为例[J].经济地理,2018,38(3):142-148,164.

[20] 马国璇,周忠发,朱昌丽,等.农户生计资本与生计稳定性耦合协调分析:以花江示范区峡谷村为例[J].水土保持研究,2020,27(3):230-237.

[21] 郭秀丽,杨彬如.贫困民族地区农户生计策略选择分析:以甘南州夏河县为例[J].中国农业资源与区划,2020,41(11):252-258.