

喀斯特山区土地利用演变与石漠化分布格局

孙耀鹏^{1,3}, 周忠发^{1,2}, 赵宇鸾^{1,2}, 方敏^{1,4}, 吴跃^{1,5}

(1.贵州师范大学 地理与环境科学学院/喀斯特研究院, 贵阳 550025;

2.国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵阳 550001; 3.贵州省第三测绘院, 贵阳 550004;

4.贵州水利水电职业技术学院, 贵州 清镇 551416; 5.贵州省自然资源技术信息中心, 贵阳 550004)

摘 要:喀斯特山区石漠化是制约区域社会、经济、生态发展的重要因素之一,人类活动是石漠化形成的主要因素,而土地利用是人类活动的基本载体,探究不同用地类型石漠化响应情况,对喀斯特山区石漠化治理及可持续化发展具有重要意义。基于三期土地利用和石漠化数据,辅以 GIS 空间分析技术和转移矩阵模型,对黔西南州 2000 年、2010 年、2020 年土地利用格局及石漠化景观的时空演变进行综合分析。结果显示:研究期间,黔西南州主要土地利用变化类型是草地转有林地和耕地,耕地转有林地和草地,灌木林地转草地和耕地,依次占全州国土面积的 8.79%, 5.82%, 4.91%, 4.08%, 4.75%, 3.85%。2000—2010 年草地、灌木林地、耕地和有林地石漠化等级明显改善,改善面积依次为 2 703.7 km², 1 347.8 km², 2 219.1 km², 2 532.8 km²; 2010—2020 年草地、灌木林、耕地、有林地、裸地石漠化改善面积分别为 557.14 km², 318.78 km², 819.35 km², 665.60 km², 244.48 km²。过去 20 年间,黔西南州石漠化状况持续恢复改善,但局部区域仍存在不稳定的恶化风险,此部分地区应作为黔西南州后期石漠化土地治理工作中的重点。对黔西南州长时间序列的石漠化演变情况进行研究,分析其不同土地利用情况下的变化,可对研究区生态恢复以及土地利用规划提供决策依据。

关键词:喀斯特山区; 石漠化; 土地利用; 生态修复

中图分类号:F301.24;P901

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)01-0311-08

Evolution and Distribution Pattern of Land Use and Rocky Desertification in Karst Mountainous Area

SUN Yaopeng^{1,3}, ZHOU Zhongfa^{1,2}, ZHAO Yuluan^{1,2}, FANG Min^{1,4}, WU Yue^{1,5}

(1.School of Geography and Environment/School of Karst Science, Guizhou Normal University,

Guiyang 550001, China; 2.State Engineering Technology Institute for Karst Desertification

Control, Guiyang 550001, China; 3.The Third Surveying and Mapping Institute, Guiyang 550004,

China; 4.Guizhou Vocational and Technical Collage of Water Resources and Hydropower, Guizhou,

Qingzhen 551416, China; 5.Guizhou Natural Resources Information and Technical Center, Guiyang 550004, China)

Abstract: Rocky desertification is one of the important reasons restricting regional economic, cultural and ecological development in karst mountainous areas. Human activities are the main factor on the formation of rocky desertification, and land use is the basic carrier of human activities. Exploring the response of different types of lands to rocky desertification is of great significance to the rocky desertification control and sustainable development in karst mountainous areas. Based on the three-phase data of land use and rocky desertification data, we used GIS spatial analysis technology and transfer matrix model to comprehensively analyze the land use pattern and the temporal and spatial evolution of rocky desertification landscape in southwest Guizhou in 2000, 2010, and 2020. The results show that: (1) during the study period, the main types of land use changes in southwest Guizhou were the conversion of grasslands to forest lands and cultivated lands, the conversion of cultivated lands to forest lands and grasslands, and the conversion of shrub forest lands to grasslands and cultivated lands, which accounted for 8.79%, 5.82%, 4.91%, 4.08%, 4.75%, 3.85% of the

收稿日期:2020-12-07

修回日期:2021-01-14

资助项目:国家自然科学基金地区项目“喀斯特石漠化地区生态资产与区域贫困耦合机制研究”(41661088)

第一作者:孙耀鹏(1984—),男,贵州凤冈人,硕士研究生,主要研究方向为国土空间规划。E-mail:271483083@qq.com

通信作者:周忠发(1969—),男,贵州遵义人,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为喀斯特生态环境 GIS 与遥感。E-mail:fa6897@163.com

total land area of the state; (2) the grade of rocky desertification of grassland, shrubland, arable land and forest land had been significantly improved between 2000—2010, the improved areas were 2 703.7 km², 1 347.8 km², 2 219.1 km², and 2 532.8 km², respectively. From 2000 to 2010, the rocky desertification grades of grassland, shrub land, cultivated land and forest land were significantly improved, with the improvement areas of 557.14 km², 318.78 km², 819.35 km², 665.60 km², 244.48 km² respectively; (3) in the past two decades, the rocky desertification situation in southwest Guizhou had continued to recover and improve, but there was still a risk of deterioration in instability in some areas, which should be the focus of the control of rocky desertification land in the later period of southwest Guizhou. The study on the evolution of rocky desertification in the long-term sequence of southwest Guizhou and analysis on its changes under different land use conditions can provide decision-making basis for the ecological restoration and land use planning of the study area.

Keywords: karst mountain area; rocky desertification; land use; ecological restoration

土地是地表各类生态系统的载体^[1],其结构改变和开发强度变化能够影响生境斑块的物质和能量交换,进而影响生态系统服务功能以此引起石漠化景观及生态环境的改变^[2-6]。近年来,随着区域工业化和城市化快速推进,土地利用越来越多地受到人类活动的干扰,人类不合理的土地利用方式是喀斯特山区石漠化发生的主导原因^[7-8]。当前,石漠化问题严重影响国家生态安全和区域可持续发展,本文从土地利用的角度出发,探讨用地类型变化与石漠化等级改变的响应关系,可为自然资源的合理开发利用及区域生态保护与可持续发展提供科学参考。

国内外基于 RS 和 GIS 对喀斯特山区石漠化景观的空间分布特征与影响因素研究颇多^[9-14]。王正雄利用 GIS 空间分析功能结合地理探测器模型分析槽谷区石漠化与坡度、岩性、降雨量、海拔、人口密度、土地利用和第一产业生产总值等数据关系,揭示岩溶槽谷区石漠化空间分布特征及其形成的控制因素^[15];Jiang 等研究人口与石漠化时空分布的关系发现距离人类 4 km 范围内的区域石漠化发生率较大^[16];在探讨土地利用和石漠化的方面,Li 等利用土地利用数据作为影响因素发现不同土地覆被对石漠化程度有明显影响^[17];Wang 等则分析石漠化的构造、地貌和环境背景后,发现人口压力和土地集约利用是导致石漠化的主要因素^[18];Zhang 等利用高分辨率影像,通过定量分析石漠化演变与人类驱动因子分析,发现土地利用和人类住区是决定石漠化的重要因素^[19];冉晨等基于 2005—2015 年石漠化等级和土地利用分布图,利用景观格局空间分析技术和 3S 技术综合分析石漠化景观格局演变,并指出石漠化景观格局指数是与土地利用景观格局指数相对应的^[20]。前人对石漠化空间分布规律及驱动因子的研究取得较好的成果,使人们对石漠化的发生机制有更进一步理解,但多数是以叠加、相关性分析小区域短时间石

漠化演变特征,对大范围长时间序列土地利用与石漠化间的综合及其深度研究较少涉及。本文基于黔西南布依族苗族自治州(下文称黔西南州)2000 年、2010 年、2020 年三期遥感数据获取土地利用和石漠化数据,对黔西南州二十年间不同土地利用下石漠化演变进行定量分析,以求为西南地区石漠化治理工作提供有效的参考意见。

1 研究区概况

黔西南布依族苗族自治州属贵州省地级行政区划,地处云、桂、黔三省结合部,位于东经 104°35′—106°32′,北纬 24°38′—26°11′,国土面积 16 804 km²,下辖 2 市 6 县 1 新区。地势西高东低,北高南低,最高点位于兴义市,海拔为 2 207.2 m;最低点位于望谟县,海拔为 275 m。属亚热带季风湿润气候区,平均气温在 13.8~19.4℃;境内森林资源少、石漠化面积分布广、生态环境脆弱,是典型的喀斯特地区,2011 年石漠化统计数据显示^[21],全州石漠化面积高达 359 189.8 hm²,占其地域面积的 21.37%。境内地形起伏较大,大致可划分为低山侵蚀山地峡谷区、岩溶高原槽坝区、岩溶侵蚀高原区、岩溶侵蚀山地区、侵蚀山地河谷区 5 类地貌区。

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源及处理

土地利用数据的获取:通过 Google Earth Engine^[22]结合最小运量合成法重构目标年份的三期遥感影像。其中 2000 年和 2010 年影像为 Landsat-5/TM,2020 年影像为 Landsat-8/TM,数据已经过辐射校正、大气校正、几何纠正及裁剪等预处理,空间分辨率 30 m。根据 3 个时相遥感影像特征结合随机森林算模型进行土地利用分类,将研究区划分为有林地、耕地、草地、灌木林地、裸地、建设用地、水体等 7 种土

地利用类型,土地利用分类结果整体较优,3 个时相总体分类精度高于 89.82%,Kappa 系数依次为 0.858 2, 0.832 5, 0.892 4。将其分类结果下载后利用 ArcGIS 10.5 进行数据专题图制作,最终得到黔西南州土地利用现状。

基岩裸露数据和植被覆盖数据均为 Landsat 系列遥感卫星数据波段计算获取。DEM 数据来自于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>),空间分辨率 30 m,研究区坡度数据由 DEM 计算获取。

2.2 研究方法

2.2.1 像元二分模型 植被覆盖度 FVC(Fractional Vegetation Cover)的计算是通过像元二分模型实现^[23],其基本原理是依据遥感影像光谱信息估算归一化植被指数(NDVI)。一个像元的 NDVI 光谱信息可以表达为由植被部分所贡献的信息与无植被部分所贡献的信息两部分组成。因此,结合像元二分模型建立基于 NDVI 的植被覆盖度估算模型,即:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} FVC = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \quad (1)$$

式中:FVC 为植被覆盖度;NDVI 为混合像元归一化植被指数;NIR 为近红外波段的反射值;R 为红光波段的反射值;NDVI_{veg} 为纯植被像元的 NDVI 值,理论值近似于 1;NDVI_{soil} 为裸土(无植被)像元的 NDVI 值,理论值近似于 0;但多数研究根据 NDVI 频率统计表,采取给定置信度区间的最大值和最小值来代替 NDVI_{veg} 和 NDVI_{soil} 的值^[24-25]。论文中 NDVI_{veg} 和 NDVI_{soil} 的取值参照杨旭超等^[26]植被覆盖度计算过程各变量的取值:在 NDVI 影像频率统计表中选取累计频率为 95%对应的 NDVI 值作为 NDVI_{veg},累计频率为 5%对应的 NDVI 像元值作为 NDVI_{soil}。然后带入式(1)中,计算研究区 3 个时相的植被覆盖度,在统计过程中,当像元值小于等于零时,认为是水体,不参与统计计算。

基岩裸露率是在归一化岩石指数 NDRI(Normalized Difference Rock Index)的基础上,结合像元二分模型计算获取,其计算公式如下:

$$NDRI = \frac{BAND_5 - BAND_3}{BAND_5 + BAND_3}$$
$$F_r = \frac{NDRI - NDRI_o}{NDRI_r - NDRI_o} \quad (2)$$

式中: F_r 为基岩裸露率;BAND₅ 和 BAND₃ 分别对应 Landsat 的短波红外波段及近红外波段;NDRI_o 为完全非岩石覆盖时像元的 NDRI 值;NDRI_r 为完全岩石覆盖区域 NDRI 值。本文依据经验参考牛潜等^[27]的

取值将累计百分比为 1%的像元值作为 NDRI_o,累计百分比为 99%对应的 NDRI 像元值作为 NDRI_r。

2.2.2 石漠化等级划分 前人对于喀斯特山区石漠化等级划分研究颇多,但对石漠化等级划分体系的标准,不同学者考虑的角度不一^[28-29]。根据遥感影像的纹理、光谱、形状、色调等特征比较容易识别大面积的裸岩,根据基岩裸露率,将石漠化划分为无石漠化、轻度石漠化、中度石漠化和强度石漠化 4 个等级^[30];王茜等^[31]根据植被加土被覆盖和基岩裸露度的不同,将石漠化分为 5 个等级,依次为无石漠化、潜在石漠化、轻度石漠化、中度石漠化及重度石漠化;熊康宁等以基岩裸露率、坡度、土被和土层厚度为依据划分石漠化等级^[32]。本研究参考前人的研究成果^[33],结合数据的可得性、工作量及研究区实际情况,论文主要选取植被加土被覆盖率、基岩裸露率、地形坡度作为研究区石漠化分级指标(表 1),将黔东南石漠化划分为:无石漠化、潜在石漠化、轻度石漠化、中度石漠化与重度石漠化等 5 类。在石漠化分级前将水体和建设用地剔除,不参与分级计算。

表 1 喀斯特区域石漠化等级划分体系

石漠化 程度	植被+土被 覆盖率/%	基岩 裸露率/%	地形 坡度/(°)
无石漠化(10)	>70	<20	<15
潜在石漠化(11)	50~70	20~30	15~18
轻度石漠化(12)	30~50	30~50	18~22
中度石漠化(13)	20~30	50~70	22~25
重度石漠化(14)	<20	>70	>25

2.2.3 土地利用转移矩阵 土地利用转移矩阵是分析地类状态与状态转移的定量描述^[34],可直观展示用地类型间面积转移的数量和动向,全面且具体的分析各土地利用类型的定量转变以及结构变化,是研究用地类型演变的重要手段,其数学表达式^[35]为:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1m} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{m1} & S_{m2} & \cdots & S_{mm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中:S 为土地利用面积; i, j 分别为初期和末期的土地利用类型; m 为土地利用的类型数。参考其原理和方法,建立石漠化等级转移矩阵,有利于直观表示区域石漠化的演变特点。从矩阵表示的内容上,土地利用转移矩阵包括转出矩阵和转入矩阵。例耕地的转入矩阵表示非耕地向耕地的转入,用于表述研究期内耕地的增加情况及具体来源;转出矩阵则表示耕地向非耕地的转出,用于研究耕地减少情况及其流失去向。

3 结果与分析

3.1 土地利用类型及石漠化等级时空演变

黔西南州 2000—2020 年土地利用时空演变见图 1,从图中可以看出有林地、耕地和草地均为研究区 3 个年份主要的土地利用类型,有林地主要分布在东部地区的望谟县和册亨县,草地和耕地交错分布于全州;结合表 2,2000 年、2010 年、2020 年黔西南州有林地、耕地、草地面积总和依次 13 185.775 km², 12 933.921 km²,12 901.386 6 km²,均占全州面积的 76.84%以上。

研究期间,草地和灌木林地呈现减少的趋势,草地是流失最显著的用地类型,从 2000 年 4 006.647 6 km²减至 2020 年 2 667.754 0 km²,年变化率为 - 66.944 7

km²/a;而用地类型增加最显著的是林地,年变化率为 50.603 3 km²/a。黔西南州耕地面积在 2000—2010 年小幅减少,在 2010—2020 年小幅增加,整体年变化率为 2.122 0 km²/a;建设用地从 159.621 9 km²增至 450.515 1 km²,年变化率为 14.544 7 km²/a;裸地和水体均呈现增加的趋势,年变化率分别为 36.943 9 km²/a,8.565 8 km²/a。裸地面积在 2000—2010 年几乎没变,直至 2020 年增加到 839.454 4 km²,年变化率为 36.943 9 km²/a,究其原因,黔西南州整体社会经济水平相对落后,贫苦和石漠化的双重压力导致当地农民乱砍滥伐,盲目开垦土地,加剧石漠化的演变速度,一边植树造林,一边乱砍滥伐;一边退耕还林,一边毁林开垦;在进行石漠化防治的同时生态破坏的现象继续存在。

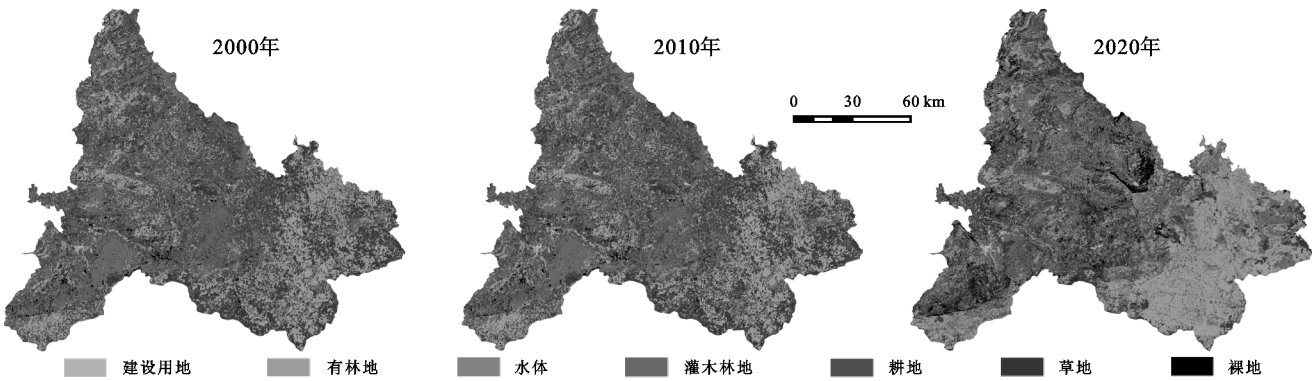


图 1 2000 年、2010 年、2020 年土地利用

表 2 黔西南州 2000—2020 年各地类面积变化 km²

年份	草地	耕地	灌木林地	建设用地	有林地	裸地	水体
2000	4006.6	4849.09	3227.95	159.62	4330.04	100.58	116.42
2010	4192.32	4295.58	3438.17	186.43	4446.02	100.578	131.24
2020	2667.75	4891.53	2311.26	450.52	5342.10	839.45	287.74

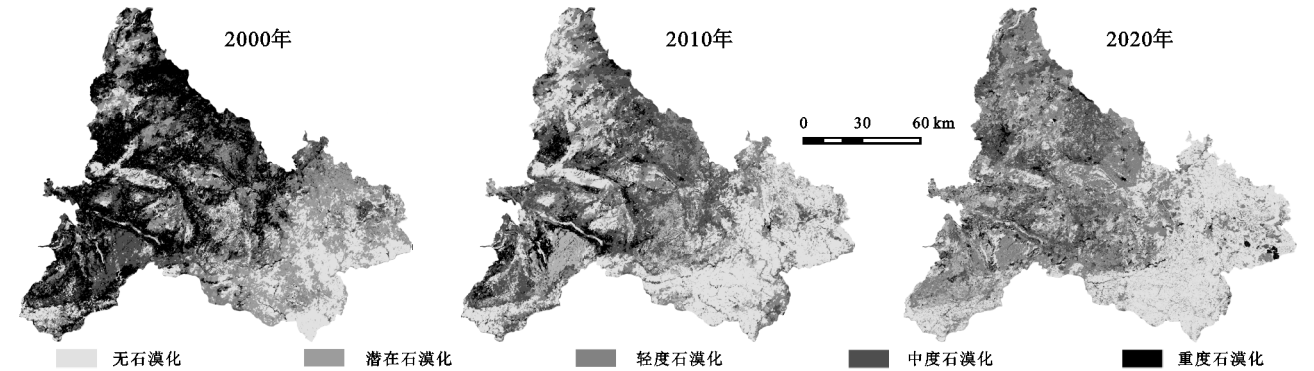


图 2 2000 年、2010 年、2020 年石漠化等级

表 3 黔西南州 2000—2020 年石漠化面积变化 km²

年份	无石漠化	潜在石漠化	轻度石漠化	中度石漠化	重度石漠化
2000	3479.09	2477.43	2582.08	3006.98	5244.78
2010	5831.76	2049.64	3644.66	4203.73	1060.57
2020	6294.50	1856.62	5231.25	2759.14	648.85

由研究期间黔西南州石漠化分布(图 2)可看出,

石漠化现象主要集中在研究区西部地区,东南角多属非喀斯特地貌,长期以来以无石漠化为主。结合表 3 可看出,2000 年研究区石漠化现象显著,整体以重度石漠化分布为主,重度石漠化面积约占研究区的 31%,其他石漠化面积占比表现为无石漠化>中度石漠化>轻度石漠化>潜在石漠化;2010 年研究区重

度石漠化面积占比减少,以无石漠化为主,面积占比为 35%,其余石漠化面积占比为中度石漠化>轻度石漠化>潜在石漠化>重度石漠化;2020 年研究区以无石漠化与轻度石漠化分布为主,重度、中度石漠化分布明显减少。20 a 间,黔西南州石漠化整体呈现持续改善状态,重度石漠化、中度石漠化和潜在石漠化呈现减少的趋势,其重度石漠化减少幅度明显,从 5 244.777 9 km² 减至 648.845 1 km²,年变化率为 -229.796 6 km²/a,中度石漠化和潜在石漠化的年变化率分别为 -12.391 9 km²/a, -31.040 6 km²/a;无石漠化、轻度石漠化则呈现增加趋势,其年变化率均超过 132 km²/a。综上所述,黔西南州是典型的喀斯特山区,其石漠化程度较严重,涉及面广^[36]。由于人口压力大、生产水平较低、资源短缺等因素,群众乱砍滥伐、破坏植被、广种薄收、过度开发资源,致使石漠化加剧,从而生态环境退化,当地群众更加贫困,形成一个石漠化—生态退化—人口贫困的恶性循环。

3.2 土地利用与石漠化等级面积转移矩阵特征

研究区土地利用类型转移矩阵表(表 4)分析可得:2000—2020 年草地转化最为显著,主要转化林地、耕地和灌木林地,转化面积依次为 1 476.293 4 km²,977.610 6 km²,532.814 8 km²。林地的增加主要由耕地、灌木林地和草地转化而来,其中耕地转为林地的面积为 824.637 9 km²,灌木林地转为林地的面积为 612.201 km²。而耕地面积转移波动趋于稳定,20 a 间面积转化表现为增加了 1.073 7 km²。裸

土的变化主要以转入为主,灌木林地、耕地、草地转为裸土的面积总和为 755.321 6 km²。研究期间建设用 地转出 124.645 7 km²,转入 393.963 5 km²,整体呈现逐年增加的趋势。究其原因,黔西南州在土地利用总体规划、植树造林、封山育林及石漠化治理等过程中采取的措施使得土地利用方式发生改变^[37]。

黔西南州石漠化的转变整体呈现持续改善的状态(表 5),石漠化等级的面积转变表现为从重度石漠化向非石漠化方向演替。非石漠化面积的增加主要来源于轻度石漠化、中度石漠化和潜在石漠化;421.501 6 km² 重度石漠化转为中度石漠化,256.981 4 km² 重度石漠化转为轻度石漠化,研究区重度石漠化面积转出幅度较大,以块状图斑分布在兴义市、安龙县、兴仁县、贞丰县、晴隆县和普安县;中度石漠化的面积转变最为显著,其中有 1 520.748 4 km² 转为轻度石漠化,640.753 3 km² 转为无石漠化,621.947 8 km² 转为潜在石漠化,中度石漠化有小部分转为重度石漠化,转化面积为 205.908 0 km²,主要分布于耕地及裸地。望谟县和册亨县出现石漠化等级趋于坏的方向发展,由于该部分与广西接壤,主要土地利用类型为林地,2000—2010 年期间由于乱砍滥伐导致植被破坏,同时存在基岩裸露,造成该地区石漠化等级呈现略微恶化现象;而研究区中部的兴仁县、贞丰县、安龙县等部分地区也出现石漠化程度轻微恶化,此部分地区主要原因是随经济的发展城镇扩张、裸地增加,植被覆盖度降低^[38]。

表 4 2000—2020 年黔西南州土地利用变化转移矩阵

km²

土地利用类型	草地	耕地	灌木林地	建设用地	有林地	裸地	水体
草地	754.92	977.61	532.81	67.15	1476.29	171.13	40.57
耕地	684.32	2312.75	451.84	213.83	824.64	285.79	89.09
灌木林地	797.22	646.16	817.74	43.18	612.20	298.40	22.91
建设用地	52.88	10.63	55.84	56.81	3.73	1.57	0.00
有林地	394.01	886.76	498.93	67.31	2397.30	75.12	25.95
裸地	37.16	20.87	13.15	1.56	8.77	20.96	1.13
水体	6.22	8.55	3.94	0.94	8.34	1.57	116.93

表 5 2000—2020 年黔西南州石漠化等级变化转移矩阵

		km ²			
石漠化 等级	无石漠化	潜在 石漠化	轻度 石漠化	中度 石漠化	重度 石漠化
无石漠化	2408.45	233.90	731.93	173.86	76.14
潜在石漠化	732.09	287.49	758.10	183.29	66.978
轻度石漠化	1071.45	391.70	1437.80	607.24	119.53
中度石漠化	640.75	621.95	1520.75	1202.95	205.91
重度石漠化	112.06	130.22	256.98	421.50	135.36

3.3 各类土地利用石漠化发生情况

黔西南州 2000—2020 年轻度石漠化面积与石漠

化总面积的比值从 32.83% 增至 48.29%,中度石漠化面积与石漠化总面积的比值从 27.76% 减至 25.63%,重度石漠化面积与石漠化总面积的比值从 48.81% 降至 5.99%。其中,草地、耕地、灌木林地石漠化面积与石漠化总面积比值均在降低,依次降低 3.89%,0.08%,5.67%;而有林地,和裸地石漠化面积与石漠化总面积比值均在增加,分别增加 1.31%,6.17%。表 6 反映研究区 2000—2020 年不同土地利用类型的石漠化发生情况。2000 年,各种土地利用类型发生石漠化的概率较大,耕地有 63% 发生了重度石漠化,有林地石漠化发生率最低,值为 8.78%;2010 年,重

度石漠化的发生率大幅降低,耕地石漠化发生率虽降低,但发生概率仍是各地类首位,发生率为 17.82%;直至 2020 年重度石漠化的发生率持续下降,最高为 7.54%的灌木林地。

表 6 2000 年、2010 年、2020 年黔西南州各类土地利用石漠化发生情况 %

年份	地类	无石漠化	潜在石漠化	轻度石漠化	中度石漠化	重度石漠化
2000	草地	14.05	24.83	20.15	16.82	24.14
	耕地	3.03	4.75	12.39	16.83	63.00
	灌木林	19.36	10.48	14.95	33.78	21.42
	有林地	47.70	20.71	14.30	8.50	8.78
	裸地	9.76	6.64	8.88	25.40	49.31
2010	草地	39.29	11.21	27.56	20.26	1.67
	耕地	4.34	3.03	24.12	50.68	17.82
	灌木林	27.31	26.28	22.96	21.85	1.59
	有林地	68.33	9.58	13.54	7.50	1.05
	裸地	11.29	11.69	20.83	42.03	4.16
2020	草地	22.05	17.23	37.86	20.83	2.03
	耕地	14.78	12.32	37.98	29.38	5.54
	灌木林	34.40	8.55	35.87	13.64	7.54
	有林地	72.68	10.74	12.39	3.34	0.86
	裸地	9.45	20.26	42.10	24.80	3.40

2020 年,草地有 37.86% 发生轻度石漠化,20.83% 发生中度石漠化,2.03 发生重度石漠化,综合 2000 年、2010 年草地石漠化发生率可以发现,草地重度石漠化发生率在降低,中度石漠化发生率变化幅度趋于稳定,但轻度石漠化的发生率持续增加,存在进一步石漠化的可能;研究期间耕地轻度石漠化和中度石漠化发生率整体呈现增加趋势,其中度石漠化发生率在 2010 年达到最高值 50.68%,说明群众对耕地的不合理开发利用越来越频繁,在 2010—2020 年有所

表 7 2000—2010 年各类土地利用石漠化演变面积 km²

类型	改善	明显改善	剧烈改善	不变	恶化	明显恶化	剧烈恶化
草地	1766.16	668.82	268.73	837.17	199.23	143.82	8.40
灌木林	791.67	395.02	161.11	870.60	212.24	51.99	17.38
耕地	1748.19	404.31	66.62	964.22	218.41	77.00	16.36
有林地	1299.51	897.81	335.53	1357.09	366.04	97.53	23.71
裸地	36.55	9.01	0.98	20.51	4.94	0.78	0.16

注:改善指石漠化等级正向改变一级,如重度石漠化演变为中度石漠化;明显改善指石漠化等级正向改变两级,如重度石漠化演变为轻度石漠化;剧烈改善指石漠化等级正向改变三级以上,如重度石漠化演变为潜在石漠化或无石漠化;石漠化等级恶化与之相反;不变表示石漠化程度未发生改变。

2010—2020 年期间、全州各类土地利用石漠化等级时空演变总体以保持不变为主,改善为辅,其中有林地石漠化等级稳定不变的区域面积高达 3 166.471 5 km²;由表 8 可知,2010—2020 年全州各土地利用类型石漠化等级改善面积均大于恶化面积,石漠化占比较高的耕地改善面积为 819.346 km²,表明全州石漠

制止;灌木林重度、中度石漠化发生率持续下降,轻度石漠化发生率有所增加,增加区域多数由重度和中度石漠化转化而来;有林地直至 2020 年轻度石漠化的发生率为 12.39%,大部分地区处于无石漠化状态;研究区裸地石漠化发生率总体区域下降的趋势,但 60% 以上的区域仍处于石漠化状态,说明难利用的裸岩地生境严酷,自然恢复困难。

4 讨论

研究区 20 a 间石漠化各等级面积变化较大,整体呈现为石漠化景观逐渐改善状态。为深层次探究不同土地利用类型石漠化等级的演变过程,将石漠化演变程度分为 7 个等级(表 7)。表明 2000—2010 年草地、灌木林地、耕地及有林地石漠化改善明显,改善面积均高于 790 km²,使得研究区低等级石漠化图斑增多,减少原有高等级石漠化图斑大面积集聚分布的状况,这与研究区在此期间采取的相关措施有一定联系。2002 年,西部大开发的实施过程中黔西南州适时提出了“环境立州”战略,全面启动退耕还林工程(<http://www.gywb.cn/system/2019/08/06/030124534.shtml>),退耕地中大多数是原来石漠化、沙化严重、水土流失,粮食产量低且不稳定的坡耕地。使得不合理的土地利用开发方式逐渐降低,森林资源总量增加,生活环境和生态环境得到了明显的改善^[39]。同时,黔西南以“两江一湖”(南、北盘江,万峰湖)生态建设为重点,加快建设珠江上游生态屏障,严格实施森林资源管理和保护、水土流失综合治理、石漠化治理工程等^[40],使土地利用更加科学合理,实现全州环境保护和生态建设(http://www.9ask.cn/fagui/201112/128442_1.html)。

化持续趋好的方向演替。石漠化的成因主要与人类活动相关,在产业结构不合理、生产力水平低、群众环保意识差情况下,易发生不合理的土地利用方式,从而导致石漠化^[41]。国家一系列耕地保护政策的发布及“十二五”、“十三五”的相继实施将黔西南州生态建设和石漠化治理推向新的高度。黔西南州针对土地

资源特点结合国家相关政策坚守耕地保护红线,有效控制石漠化景观蔓延,加快了生态文明建设;严格实施土地利用总体规划、用途管制,强化耕地占补平衡管理,充分利用遥感技术,实时监测耕地变更状况;把石漠化治理与生态移民工程、农业结构调整、增加农民收入相结合,把恢复天然植被与因地制宜发展特色种植相结合搞好石漠化山区治理;实行最严格的保护制度,落实坡耕地退耕还林还草、湿地保护、建设用地

总量和强度双控行动,推动全州绿色发展。研究期间黔西南州生态建设和石漠化治理取得了一定的成效,但部分区域仍存在石漠化恶化现象,主要分布于旱地弃耕后的地段、自然恢复困难的裸地和灌木林地、较容易发生石漠化的草地。因而黔西南州生态建设任务仍然艰巨,应本着“宜乔则乔,宜灌则灌”的原则逐渐恢复灌木林、疏林地及裸地的生态建设是后期石漠化土地治理工作中的重点。

表 8 2010—2020 年各类土地利用石漠化演变面积 km²

类别	改善	明显改善	剧烈改善	不变	恶化	明显恶化	剧烈恶化
草地	557.14	327.98	77.33	1009.82	394.57	248.90	51.74
灌木林	318.78	277.20	186.46	575.01	409.40	334.47	209.65
耕地	819.35	375.18	240.25	1109.27	548.84	396.87	184.00
有林地	665.60	624.12	233.33	3166.47	279.30	387.76	31.87
裸地	244.48	99.75	17.14	372.95	128.63	42.27	21.04

注:改善指石漠化等级正向改变一级,如重度石漠化演变为中度石漠化;明显改善指石漠化等级正向改变两级,如重度石漠化演变为轻度石漠化;剧烈改善指石漠化等级正向改变三级以上,如重度石漠化演变为潜在石漠化或无石漠化;石漠化等级恶化与之相反;不变表示石漠化程度未发生改变。

5 结 论

(1) 2000—2020 年、黔西南州主要土地利用类型是有林地、耕地和草地,面积总和占全州面积的 76.84% 以上。而主要变化的用地类型是有林地、草地和灌木林,有林地年变化率为 50.603 3 km²/a,草地年变化率为-66.944 7 km²/a,灌木林地年变化率为-45.834 9 km²/a,面积转移矩阵显示各用地类型中草地转化最为显著,主要转化林地、耕地和灌木林地。

(2) 研究区石漠化治理效果显著,重度石漠化和中度石漠化呈现逐年递减的趋势,重度石漠化年变化率为-229.796 6 km²/a,中度石漠化年变化率为-12.391 9 km²/a,轻度石漠化和无石漠化逐渐增加,主要来源于重度和中度石漠化的转变。不同土地利用类型的石漠化发生情况并非单纯的大小关系,其存在空间异质性,且石漠化发生情况随土地利用类型转变及时间推移发生不同程度改变。

(3) 黔西南州石漠化现状表明部分灌木林地、耕地、草地和裸地发生石漠化恶化现象,这很大程度上与研究区农民对土地的粗放式经营相关,使全州土地类型处于边退耕边开垦状态,进而让石漠化处于防治与破坏并存的状态。因而黔西南州后期生态建设与石漠化治理的重点应是逐渐恢复灌木林、疏林地及裸地的植被覆盖和生物多样性。

参考文献:

[1] Fleskens L, Duarte F, Eicher I. A conceptual framework for the assessment of multiple functions of agro-ecosystems: A case study of Trás-os-Montes olive groves[J].

Journal of Rural Studies, 2009,25(1):141-155.
[2] Sheng M, Xiong K, Wang L, et al. Response of soil physical and chemical properties to Rocky desertification succession in South China Karst[J]. Carbonates and Evaporites, 2018,33(1):15-28.
[3] Gao J, Du F, Zuo L, et al. Integrating ecosystem services and rocky desertification into identification of karst ecological security pattern [J]. Landscape Ecology, 2020;1-21.
[4] 赵馨,周忠发,朱孟,等.基于景观格局的西南山区耕地生态风险研究[J].水土保持研究,2020,27(6):362-369,376.
[5] Robledano-Aymerich F, Romero-Díaz A, Belmonte-Serrato F, et al. Ecogeomorphological consequences of land abandonment in semiarid Mediterranean areas: Integrated assessment of physical evolution and biodiversity[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2014,197: 222-242.
[6] Falcucci A, Maiorano L, Boitani L. Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implications for biodiversity conservation[J]. Landscape Ecology, 2007,22(4):617-631.
[7] 喻阳华,杨丹丽,钟欣平.黔中喀斯特区典型土地利用类型的土壤亲合性元素特征[J].地球与环境,2019,47(4):429-435.
[8] Daoxian Y. Rock desertification in the subtropical karst of south China [J]. Zeitschrift Für Geomorphologie. Supplementband, 1997,108:81-90.
[9] 王明明,王世杰,白晓永,等.典型小流域喀斯特石漠化演变特征及其关键表征因子与驱动因素[J].生态学报, 2020,39(16):6083-6097.
[10] Deng Y, Wang S, Bai X, et al. Relationship among

- land surface temperature and LUCC, NDVI in typical karst area[J]. *Scientific Reports*, 2018,8(1):1-12.
- [11] Wang L J, Sheng M Y, Du J Y, et al. Distribution characteristics of soil organic carbon and its influence factors in the karst rocky desertification ecosystem of Southwest China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017,37: 1358-1365.
- [12] 陈洪松,岳跃民,王克林.西南喀斯特地区石漠化综合治理:成效,问题与对策[J].*中国岩溶*,2018,37(1):37-42.
- [13] Parise M, De Waele J, Gutierrez F. Current perspectives on the environmental impacts and hazards in karst[J]. *Environ Geol.*,2009,58(2):235-237.
- [14] 张信宝,王世杰,白晓永,等.贵州石漠化空间分布与喀斯特地貌、岩性、降水和人口密度的关系[J].*地球与环境*,2013,41(1):1-6.
- [15] 王正雄,蒋勇军,张远喆,等.基于GIS与地理探测器的岩溶槽谷石漠化空间分布及驱动因素分析[J].*地理学报*,2019,74(5):1025-1039.
- [16] Jiang Y, Li L, Groves C, et al. Relationships between rocky desertification and spatial pattern of land use in typical karst area, Southwest China[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2009,59(4):881-890.
- [17] Li Y B, Shao J A, Yang H, et al. The relations between land use and karst rocky desertification in a typical karst area, China[J]. *Environmental Geology*, 2009,57(3): 621-627.
- [18] Wang S J, Liu Q M, Zhang D F. Karst rocky desertification in southwestern China: geomorphology, land-use, impact and rehabilitation[J]. *Land Degradation & Development*, 2004,15(2):115-121.
- [19] Zhang Z, Huang X, Zhou Y. Factors influencing the evolution of human-driven rocky desertification in karst areas[J]. *Land Degradation & Development*, 2021,32(2):817-829.
- [20] 冉晨,白晓永,谭秋,等.典型喀斯特地区石漠化景观格局对土地利用变化的响应[J].*生态学报*,2018,38(24):8901-8910.
- [21] 洪晓洋,宋青峰.金融支持黔西南布依族苗族自治州石漠化治理研究[J].*贵州民族研究*,2020,41(4):98-103.
- [22] Gorelick N, Hancher M, Dixon M, et al. Google earth engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017,202: 18-27.
- [23] 吴跃,周忠发,赵馨,等.基于遥感计算云平台高原山区植被覆盖时空演变研究:以贵州省为例[J].*中国岩溶*, 2020,39(2):196-205.
- [24] 李钰澈,贾坤,魏香琴,等.中国北方地区植被覆盖度遥感估算及其变化分析[J].*国土资源遥感*,2015,27(2): 112-117.
- [25] 孟浩斌,周启刚,李明慧,等.基于MODIS像元尺度的三峡库区植被覆盖度变化的地形分布特征[J].*长江流域资源与环境*,2020,29(8):1790-1799.
- [26] 杨旭超,张军,李杰,等.呈贡区近30年植被覆盖度时空变化特征与土地利用驱动[J].*水土保持研究*,2020, 26(4):232-238.
- [27] 牛潜,周旭,张继,等.喀斯特山地城市生态系统弹性变化分析:以贵阳市区为例[J].*长江流域资源与环境*, 2020,28(3):722-730.
- [28] 王霖娇,李瑞,盛茂银.典型喀斯特石漠化生态系统土壤有机碳时空分布格局及其与环境的相关性[J].*生态学报*,2017,37(5):1367-1378.
- [29] 左太安,刁承泰,苏维词,等.毕节试验区石漠化时空演变过程和演变特征[J].*生态学报*,2014,34(23):7067-7077.
- [30] Wang Y, Zhang G. On the desertification and genesis of karst stone mountain area in east Yunnan [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2003,18(6):933-938.
- [31] 王茜,赵筱青,普军伟,等.滇东南喀斯特区域生态脆弱性的时空演变及其影响因素[J].*应用生态学报*,2021, 32(6):2180-2190.
- [32] 熊康宁,李晋,龙明忠.典型喀斯特石漠化治理区水土流失特征与关键问题[J].*地理学报*,2012,67(7):878-888.
- [33] 文林琴,栗忠飞.2004—2016年贵州省石漠化状况及动态演变特征[J].*生态学报*,2020,40(17):5928-5939.
- [34] 马新萍,韩申山,王磊,等.大西安地区土地利用类型时空演变分析[J].*干旱区地理*,2020,43(2):499-507.
- [35] 吴琳娜,杨胜天,刘晓燕,等.1976年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J].*地理学报*, 2014,69(1):54-63.
- [36] 常金.黔西南州岩溶地区石漠化综合治理措施及问题分析[J].*农家参谋*,2018(14):244-244.
- [37] 李正,王军,白中科,等.喀斯特地区土地利用变化研究:以贵州省为例[J].*地域研究与开发*,2011,30(2): 143-148.
- [38] 杨军昌,吴青芬,李绍练.基于生态足迹的滇桂黔石漠化片区人口与环境:以黔西南州为分析对象[J].*生态经济*,2019,35(10):136-142,190.
- [39] 刘书剑,孙红梅.黔西南州退耕还林现状与农户评价[J].*农技服务*,2014(4):174-174.
- [40] 邓修宇.关于黔西南建设珠江上游生态屏障的探索与思考[J].*理论与当代*,2006(11):17-18.
- [41] Wang S J, Liu Q M, Zhang D F. Karst rocky desertification in southwestern China: geomorphology, land-use, impact and rehabilitation[J]. *Land Degradation & Development*, 2004,15(2):115-121.