

# 基于 FLUS 模型的北盘江流域石漠化模拟及石漠化治理工程成效评价

张琴秀 郑佩玺 胡俐君  
贵州师范学院地理与资源学院  
DOI:10.12238/eep.v8i3.2568

**[摘要]** 贵州省是世界三大岩溶集中分布区之一,其石漠化治理是我国乃至世界关注的重点区域。本文以贵州省主要流域北盘江流域为研究区,分析了北盘江流域石漠化现状及治理成效,并利用FLUS模型预测北盘江流域2030、2040、2050年的石漠化发展情况。结果表明:(1)截至2020年,北盘江流域的石漠化总面积为 $1.91 \times 10^3 \text{ km}^2$ ,占流域内岩溶区总面积的12.01%,石漠化面积减少最为明显。(2)2005-2020年间北盘江流域的石漠化在逐渐减少其治理工作取得了显著成效,研究区的生态环境得到了有效改善,总体呈现出西部重-中部轻-东部重的空间格局。(3)北盘江流域2030-2050年石漠化程度逐渐减轻,石漠化较集中于上游的北部、西南部、南部及中下游南部。研究结果可为石漠化治理措施及结果提供参考意见。

**[关键词]** 石漠化治理; FLUS模型; ArcGIS; 北盘江流域  
中图分类号: TV149.2 文献标识码: A

## Simulation of rocky desertification in Beipan River Basin Based on flus model and effectiveness evaluation of rocky desertification control project

Qinxu Zhang Peixi Zheng Lijun Hu

College of Geography and Resources, Guizhou Education University

**[Abstract]** Guizhou Province is one of the three karst concentrated distribution areas in the world, and its rocky desertification control is a key area of concern in China and even the world. Taking the Beipan River Basin as the research area, this paper analyzes the current situation of rocky desertification and its control effect in the Beipan River Basin, and predicts the development of rocky desertification in the Beipan River Basin in 2030, 2040 and 2050 by using the flus model. The results show that: (1) by 2020, the total area of rocky desertification in Beipan River Basin is  $1.91 \times 10^3 \text{ km}^2$ , accounting for 12.01% of the total area of karst area in the basin, and the reduction of rocky desertification area is the most obvious. (2) From 2005 to 2020, the Rocky Desertification in the Beipan River Basin has been gradually reduced, and remarkable achievements have been made in its governance. The ecological environment of the study area has been effectively improved, and the overall spatial pattern of Western heavy central light Eastern heavy. (3) From 2030 to 2050, the degree of rocky desertification in the Beipan River basin gradually decreased, and the rocky desertification was concentrated in the north, southwest, south of the upper reaches and the south of the middle and lower reaches. The research results can provide reference for the control measures and results of rocky desertification.

**[Key words]** rocky desertification control; FLUS model; ArcGIS; Beipan River Basin

### 引言

石漠化的形成原因是在气温和降水等自然条件下,极端发育的喀斯特地貌的自然背景下,加上人类的各种活动破坏了地表植被,而导致岩石大面积暴露在地表的土地退化现象<sup>[1-2]</sup>。为

了解决石漠化带来的生态问题,自“九五”计划起,就开始采取了一系列治理措施,包括对天然林的保护、禁止砍伐森林以恢复森林和草地植被、进行人工造林(种草)、实施退耕还林还草以及改良牧场等工程<sup>[3-5]</sup>。

贵州省的石漠化面积从2005年到2022年减少了60%以上，北盘江流域仍是中、重度石漠化广泛分布的区域，也是贵州省石漠化最严重的地区之一。为此，本文对贵州省北盘江流域的石漠化治理成效进行监测与评估<sup>[6-7]</sup>，了解现有治理措施的效果，能为北盘江流域及其他喀斯特区进一步优化治理策略提供科学依据。

### 1 研究区概况

北盘江流域位于贵州省的西南部和云南省的东部，其经纬度范围为北纬24° 51' -26° 45'、东经103° 50' -106° 20' 之间。干流长度约449km，流域面积约2.58×10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>。流域内为山地、高原、峡谷等地形，地势西北高东南低，海拔由西北的2828m向东南逐渐递减至234m<sup>[8]</sup>。

### 2 材料与方法

本研究使用的Landsat TM/OLI遥感影像和数字高程模型（DEM）来源于地理空间数据云平台，地表覆盖数据获取自Zenodo数据共享平台（<https://zenodo.org/records/12779975>）。归一化植被指数（NDVI）数据、国内生产总值（GDP）、土壤类型、人口密度、年降水量数据来自国家科技资源共享服务平台，岩性数据来源于地质云：<https://geocloud.cgs.gov.cn>。

本研究旨在以北盘江流域为研究区根据2005、2010、2015、2020年的遥感影像、地表覆盖、NDVI、基岩裸露率、土壤裸露率及DEM数据来对研究区的石漠化进行提取及分级后通过FLUS模型对北盘江流域的石漠化演变进行模拟来预测2030、2040、2050年的石漠化情况，并评价石漠化治理工程的成效。

(1) 基岩裸露率（FR）：基岩裸露率是石漠化的重要影响因素之一。石漠化过程中，植被遭破坏，土壤逐渐流失，基岩逐渐暴露，其计算公式为：

$$FR = \frac{NDRI - NDRI_R}{NDRI_R - NDRI_0} \quad (1)$$

(2) 石漠化等级划分：对于石漠化的分级标准，现没有固定且唯一的分级标准，在本文中在以水文地质图中岩溶区与非岩溶区的划分为基础后结合岩溶区的基岩裸露情况后将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、重度石漠化的等级体系<sup>[9]</sup>。

表1 岩溶区石漠化强度分级标准表

强度等级	基岩裸露 (%)	植被+土壤 (%)	土壤侵蚀	农业利用价值
无石漠化	<15	>75	不明显	宜水保措施的农用地
潜在石漠化	15~25	75~85	较明显	坡耕地和林地
轻度石漠化	25~40	60~75	较明显	临界宜林牧
中度石漠化	40~60	40~60	明显	难利用地
重度石漠化	60~100	0~40	严重	难利用地
非喀斯特	非可溶性岩石区			

(3) FLUS模型预测：本文构建FLUS模型来预测石漠化，并使用Kappa系数进行精度验证，本研究Kappa系数值为0.89，可见Kappa>0.8，表明此次模拟效果良好且精度高。

表2 FLUS模型领域权重

类型	非喀斯特	无石漠化	潜在石漠	轻度石漠	中度石漠化	重度石漠化
领域权重	0.59	1	0.01	0.17	0.31	0.38

### 3 结果与分析

#### 3.1 石漠化现状

2020年，北盘江流域的石漠化总面积为1.91×10<sup>3</sup>km<sup>2</sup>，占流域内岩溶区总面积的12.01%，各等级石漠化中是以轻度石漠化和中度石漠化为主，潜在石漠化的面积为3.15×10<sup>3</sup>km<sup>2</sup>占20%，因石漠化过程不仅受环境的影响还受人类活动的影响该部分面积存在一定的风险，因此合理调整潜在石漠化区的产业结构及水土保持等工程是不可或缺的。

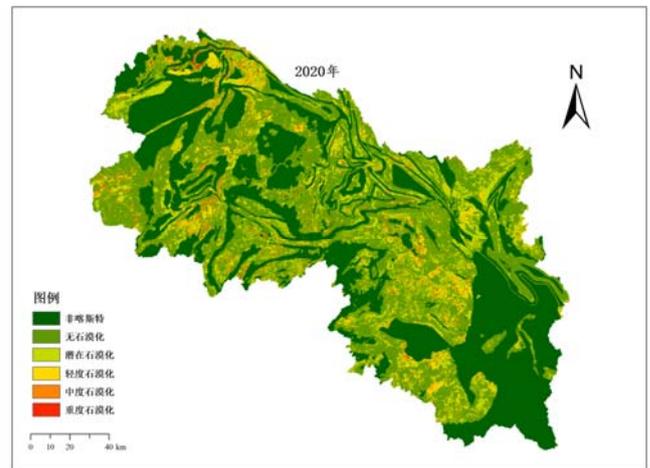


图1 2020年石漠化分布图

从提取的2020年石漠化(图1)可见2020年北盘江流域总体的石漠化空间分布情况：轻度、中度、重度石漠化较明显集中于贵州省的威宁县、盘州市、兴仁市、晴隆县、关岭县、镇宁县、西秀区、安龙县、云南省宣威市，石漠化较为严重的地区为流域的西北部、西南部及中下游地区。

#### 3.2 石漠化变化特征

时间变化上2005-2020年，无石漠化面积持续增加，增加面积为2005年的40%，表明至2020年石漠化总面积有所减少。轻度石漠化、中度石漠化、重度石漠化各减少了1.78×10<sup>3</sup>km<sup>2</sup>、0.41×10<sup>3</sup>km<sup>2</sup>、0.16×10<sup>3</sup>km<sup>2</sup>，对比于2005年总面积减少2.4×10<sup>3</sup>km<sup>2</sup>，减少幅度为55%说明15年间石漠化的治理取得了显著成效，同时也表明重度石漠化的治理还存在一定的难度。2010年-2015年间石漠化面积减少速率最快，说明在2015的石漠化治理取得了突破性进展，治理效果取得显著进步。

空间分布上2005-2020年北盘江流域的中上游毕节市、宣威市南部及中下游晴隆县、关岭县、兴仁市、安龙县、贞丰县西

部石漠化减少最为明显。石漠化空间分布上表现为：轻度、中度石漠化集中连片分布面积较广；重度石漠化面积较小且分布零散，岩溶区石漠化总体呈现出西部重-中部轻-东部重的空间格局。

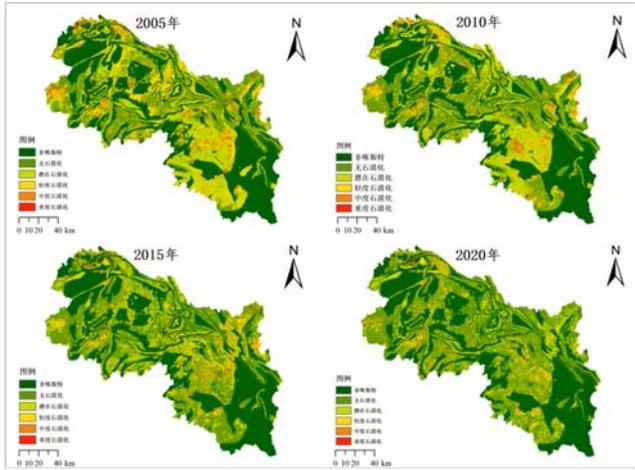


图2 石漠化图

据石漠化数据与土地利用数据总和叠加分析得出：2005-2020年石漠化面积随着林地、水体、建设用地、未利用地四个地类面积的增加而减少，两者呈负相关关系；随着灌木林地、草地面积的减少石漠化面积也随着减少两者呈正相关关系，且其中草地减少的面积为 $1.01 \times 10^3 \text{ km}^2$ 远大于灌木林地减少 $0.34 \times 10^3 \text{ km}^2$ ，故石漠化的面积主要集中在草地，部分集中于灌木林地。

表3 土地利用类型及面积

	耕地	林地	灌木	草地	水体	建设用地	未利用地	总计
	/km <sup>2</sup>	(km <sup>2</sup> )						
2005年	10762.76	11833.29	1857.89	2080.17	42.55	68.84	0.01	26645.51
2010年	10617.37	12346.27	1790.79	1692.24	88.33	90.93	0.0054	26625.94
2015年	11317.5	12246.66	1614.42	1236.64	101.96	108.75	0.02	26625.95
2020年	10647.31	13143.21	1521.49	1065.37	107.01	141.39	0.1791	26625.94

3.3 石漠化工程治理成效分析

(1) 自然因素和人类活动共同促进石漠化面积减少：表3中2005-2020年水域面积的不断扩大从而使得水域周边的土壤含水量增加同时促进植物根系的生长从而达到该地区的水土保持意味地表植被覆盖度将得到提高，故石漠化面积将逐渐减少。同时，通过植被恢复工程、水土保持技术及土壤改良措施，大量曾经处于石漠化威胁或轻度退化的土地重新恢复为健康的生态系统，植被覆盖率显著提升，水土流失得到了有效遏制。

(2) 石漠化面积总体锐减：石漠化总面积从2005年 $4.27 \times 10^3 \text{ km}^2$ 降至2020年的 $1.91 \times 10^3 \text{ km}^2$ ，降幅达55.2%。各等级石漠化均大幅缩减，表明治理工程有效遏制了石漠化扩展趋势，减轻了石漠化程度。

(3) 无石漠化区域显著扩张：无石漠化面积从2005年的 $6.53$

$\times 10^3 \text{ km}^2$ 增至2020年的 $1.08 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，增幅达66.3%，反映出治理措施促进了生态系统修复，使大量区域摆脱石漠化状态，生态环境持续改善。

(4) 潜在石漠化面积持续下降：潜在石漠化从2005年的 $5.3 \times 10^3 \text{ km}^2$ 降至2020年的 $3.15 \times 10^3 \text{ km}^2$ ，降幅达41.2%，说明治理工程有效干预了石漠化演变进程，减少了石漠化发生的潜在风险，使生态系统向良性方向发展。

3.4 石漠化趋势预测

预测2050年无石漠化面积相较于2020年增加了 $5.54 \times 10^3 \text{ km}^2$ ，潜在石漠化减少了 $5.77 \times 10^3 \text{ km}^2$ ，轻度石漠化减少了 $3.45 \times 10^2 \text{ km}^2$ ，中度石漠化减少了 $1.47 \times 10^2 \text{ km}^2$ ，重度石漠化减少了 $35.8 \text{ km}^2$ ，各等级的石漠化面积将呈现逐渐递减的态势，但是由于石漠化的复杂性及许多影响因素的不确定性导致北盘江流域的石漠化将长期存在。

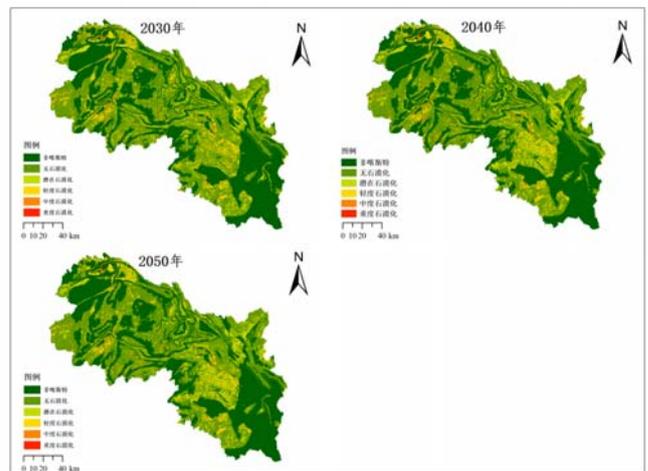


图3 FLUS模型预测图

由图3可知，预测得到的2030年、2040年及2050年，随时间推移，石漠化程度逐渐减轻，各等级石漠化面积将逐渐减少，但2050年北盘江流域的石漠化仍然存在，其较集中于上游的北部、西南部、南部及中下游南部。

4 结论

(1) 截至2020年，北盘江流域的石漠化总面积为 $1.91 \times 10^3 \text{ km}^2$ ，减少总面积为 $2.4 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。各等级石漠化面积均有不同程度的减少。石漠化面积总体以轻度石漠化和中度石漠化为主，分布于流域的中上游的毕节市、宣威市南部及中下游的晴隆县、关岭县、兴仁市、安龙县、贞丰县西部石漠化减少最为明显。

(2) 2005-2020年间北盘江流域的石漠化在逐渐减少其治理工作取得了显著成效，研究区的生态环境得到了有效的改善。石漠化面积的缩减，是人为因素(治理办法的实施)与自然因素合力的结果。石漠化空间分布上表现为：轻度、中度石漠化集中连片分布面积较广；重度石漠化面积较小且分布零散，岩溶区石漠化总体呈现出西部重-中部轻-东部重的空间格局。

(3) FLUS模型预测得到的2030年、2040年及2050年石漠化较

集中于上游的北部、西南部、南部及中下游南部。随着时间推移,石漠化程度逐渐减轻,各等级石漠化面积将逐渐减少,但由于石漠化的治理具有一定的复杂性,其石漠化问题将长期存在。

#### [基金项目]

2024贵州师范学院大学生创新创业训练计划项目(国家级)“基于FLUS模型的北盘江流域石漠化模拟及石漠化治理工程成效评价”(S2024142230469)。

#### [参考文献]

- [1]陈起伟,熊康宁,蓝安军.基于“3S”的贵州喀斯特石漠化现状及变化趋势分析.中国岩溶,2007(01):37-42.
- [2]邓大鹏,刘琦,卢耀如,等.贵州贞丰—关岭花江喀斯特石漠化地区土壤厚度的空间分布特征[J].水文地质工程地质,2023,50(01):197-206.
- [3]王克林,岳跃民,陈洪松,等.喀斯特石漠化综合治理及其区域恢复效应[J].生态学报,2019,39(20):7432-7440.
- [4]涂纯,罗为群,蒋忠诚,等.可持续发展实验区石漠化时空演变及其驱动机制研究——以广西恭城县为例[J].中国岩

溶,2024,43(01):114-125.

[5]杜文鹏,闫慧敏,甄霖,等.西南岩溶地区石漠化综合治理研究[J].生态学报,2019,39(16):5798-5808.

[6]高山,付涛,周成,等.广西贺巴高速来都段石漠化边坡植被恢复和生态防护技术的应用分析[J].科学技术与工程,2023,23(21):9251-9259.

[7]郑永春,王世杰.贵州山区石灰土侵蚀及石漠化的地质原因分析[J].长江流域资源与环境,2002,(05):461-465.

[8]王小凤,杨广斌.贵州省北盘江流域喀斯特石漠化变化特征及治理成效分析[J].长江科学院院报,2023,40(08):77-83.

[9]刁慧鹏,王世杰,白晓永,等.西南典型喀斯特地区石漠化时空演变特征——以贵州省普定县为例[J].生态学,2018,38(24):8919-8933.

#### 作者简介:

张琴秀(2000--),女,苗族,贵州黔南人,本科,从事石漠化治理与可持续发展研究。