

岩溶断陷盆地典型县域石漠化治理综合效益评价 ——以云南建水县为例

肖林颖^{1, 2, 3)}, 吴秀芹^{1, 2, 3)*}, 周金星^{1, 2, 3)}, 肖桂英⁴⁾

1)北京林业大学水土保持学院, 北京 100083; 2)北京林业大学水土保持国家林业局重点实验室, 北京 100083;
3)北京林业大学云南建水荒漠生态系统国家定位研究站, 云南建水 654399;
4)云南省建水县林业技术推广所, 云南建水 654399

摘要: 云南省建水县境内分布有建水盆地、曲江盆地两大盆地, 是岩溶断陷盆地区的典型代表, 并且是石漠化综合治理工程“十三五”建设的重点县域, 近十年来石漠化治理产生了明显的成效。为探究岩溶断陷盆地石漠化治理的成效, 文章以建水县为例, 基于 2007—2017 年 Landsat TM 数据, 森林资源二类调查数据、石漠化监测数据及社会经济年鉴数据, 借助主成分分析法、熵值法建立了建水县石漠化治理效益评价体系, 对建水县石漠化治理效益进行了综合性评价。研究表明: ①2013 年以前综合效益及生态、经济、社会效益均呈现出上升的趋势, 2013 年以后, 各项效益上升幅度开始减小。②建水县石漠化治理综合效益及经济、社会、生态效益存在正向可持续性, 且经济和生态效益的可持续性要明显高于社会效益。③从指标层来看, 限制社会效益的主要因素为外出打工人口增加率及空巢老人数目增加率, 区域吸引力不足。生态效益中植被覆盖增加和石漠化面积减少在人口较少、生态修复力度较大的山区更为明显。而经济效益中, 粮食产量上升趋势明显低于二三产业经济生产总值占比和经济作物收益的增加趋势。建水县石漠化治理以来, 产业结构得到了改善, 石漠化面积减少, 居民满意度得到了提升。

关键词: 植被覆盖; 时空变化; 石漠化治理模式; 效益评价; 建水县

中图分类号: P642.252 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2020.121601

Comprehensive Benefit Evaluation of Rocky Desertification Control in the Typical County of Karst Fault Basin: A Case Study of Jianshui County, Yunnan Province

XIAO Lin-ying^{1, 2, 3)}, WU Xiu-qin^{1, 2, 3)*}, ZHOU Jin-xing^{1, 2, 3)}, XIAO Gui-ying⁴⁾

1) School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083;
2) Key Laboratory of State Forestry Administration on Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083;
3) Yunnan Jianshui Desert Ecosystem National Positioning Research Station, Yunnan, Jianshui 654399;
4) Technology Extension Institute of Jianshui County of Yunnan Province, Yunnan, Jianshui 654399

Abstract: To investigate the contribution of the Comprehensive Rock Desertification Control Project to environment, the authors set up a comprehensive efficiency evaluation index system of the Comprehensive Rock Desertification Control Project. Principal component analysis method and entropy method were used to evaluate the comprehensive efficiency of Rock Desertification Control Project of Jianshui, which is a typical county in 13th Five-Year Plan in the Comprehensive Rock Desertification Control Project. The efficiencies of three types, ecological efficiency, economic efficiency and social efficiency, were evaluated. The results are as follows: ①During 2007–2013, comprehensive benefits and ecological, economic, and social benefits showed an upward trend. However, the increasing range began to decrease from 2013. ②Positive sustainability appeared in the

本文由国家重点研发计划(编号: 2016YFC0502500; 2016YFC0502506)和国家自然科学基金(编号: 41671080)联合资助。

收稿日期: 2020-09-13; 改回日期: 2020-12-08; 网络首发日期: 2020-12-17。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 肖林颖, 女, 1995 年生。硕士研究生。地图学与地理信息系统专业。E-mail: 18404969305@163.com。

*通讯作者: 吴秀芹, 女, 1974 年生。教授。主要从事 3S 应用、土地利用变化方面的研究。E-mail: wuxq@bjfu.edu.cn。

comprehensive benefits and economic, social and ecological benefits of rocky desertification control in Jianshui County. And the economic and ecological benefits in sustainability were significantly higher than the social benefits. Among the economic benefits, the rise of grain output was obviously lower than the increasing trend of the proportion of the secondary and tertiary industries in the total economic output and the income of cash crops. In Summary, from the beginning of the control of rocky desertification in Jianshui County, the industrial structure has been improved, the area of rocky desertification has been reduced, and the satisfaction of residents has been improved.

Key words: NDVI; temporal and spatial variation; stone desertification control model; benefit evaluation; Jianshui County

石漠化是一种典型的土地退化过程,广泛分布于中国的西南地区,为了有效遏制和修复石漠化,中国西南地区近年来采取了一系列的生态修复措施。根据《中国石漠化状况公报》(国家林业局,2018),截至2016年底,西南岩溶地区主要涉及黔、滇、桂、湘、鄂、渝、川和粤八省,石漠化面积1007万公顷,与2011年相比,年均缩减率为3.45%。为了在保障农民经济水平提高的同时,有效地实施生态治理工程,国内外学者在生态治理工程效益评估方面开展了大量研究,大多数是以“社会-经济-自然”为研究对象(魏轩等,2020),利用“纯定量”、“定性和定量结合”的方法对生态工程实施效益进行评价。定量研究大多通过数学方法对生态工程进行评价,如通过主成分分析、熵权法等方法建立评价模型(Trac et al., 2007; 郑国权等, 2016; 张雪松等, 2019)和通过计算生态系统服务对生态修复工程评价的方法(颜俨等, 2019; Talukdar et al., 2020)等。为了防止“过量化”,很多学者采用“定性和定量”结合的方式对生态治理工程进行评价,这类研究更多地采用了更贴合实际意义的定性指标,比如居民满意度、生态实施自愿度等(Uchida et al., 2003; Démurger and Pelletier, 2015)评估生态工程效益的可持续性。相比较而言,定量研究更适用于大范围的社会调查和效益评价。而定性和定量结合的方法,使评价在定量计算的基础上更加具体化,不仅可以对综合效益进行系统性评价,还可以针对区域实际问题进行细节化评价,能相对综合地反映生态工程的效益。本研究即采用了定性和定量结合的手段,结合问卷调查结果对石漠化治理综合效益进行了评价,研究既建立了普适性的评价体系,又提出了具有地域特征的评价指标,兼顾了系统性和针对性。

岩溶断陷盆地是新生代断裂活动形成的岩溶盆地,包括滇东至四川攀西(昌)盐源地区及贵州西部的43个县,总面积达11.03万 km^2 ,其中岩溶区(纯碳酸盐岩)占比为47.29%和25.98%,非岩溶区为52.71%。断陷盆地石漠化面积占总面积的83.21%,其中建水县是典型的石漠化区域,是红河州石漠化

问题最严重的区域之一。建水县于2008年被国家林业局列为云南省石漠化综合治理试点县,并且早在2005年开始石漠化监测和综合治理工作(张清等, 2019),作为第一期、第二期石漠化综合治理试点工程区,建水县实施了退耕还林、珠防工程、能源建设等工程,对石漠化问题进行了多元化治理,有效地遏制了石漠化的发展,生态、经济、社会的治理和发展均取得了显著成效(曹建华等, 2004)。为了客观评价这些治理工程的综合效益,研究采用“定性和定量结合”的手段,在建立建水县石漠化综合治理效益评价体系的同时,对建水县石漠化治理综合效益评价体系的各评价指标进行可持续性分析,将效益实现时间上的延展,以期对断陷盆地石漠化综合治理及效益评价提供科学依据。

1 研究区概况

建水县隶属云南省红河哈尼族彝族自治州,位于云南省南部,红河中游北岸,102°33'18"—103°11'42"E, 23°12'42"—24°10'32"N之间,其境内的建水盆地、曲江盆地是岩溶断陷盆地的典型代表。全县南北长107 km,东西宽58 km,国土面积3789 km^2 ,其中山区、半山区占国土面积的89%(图1)。建水县境内河流分属南盘江水系和红河水系。建水县属南亚热带高原季风气候,四季不明显,干湿季分明,雨热同季,夏酷暑,冬无严寒,四季温暖,少雨干旱。年平均气温18.5℃,最高年达19.3℃(1981年),最低年达17.7℃(1971), $\geq 0^\circ\text{C}$ 的有效积温为3 126.21℃。年平均降雨800 mm左右,但时空分布不均匀,全年80%的降雨量集中在5—10月,因而冬春较干旱。由于岩溶地貌土层薄,降水下渗快,水土保持能力差,加上人类不合理的土地利用方式导致建水县石漠化情况严重。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与处理

本文所用数据主要为:2007—2017年每年4—9月的Landsat TM/ETM+系列数据,获取自美国地质

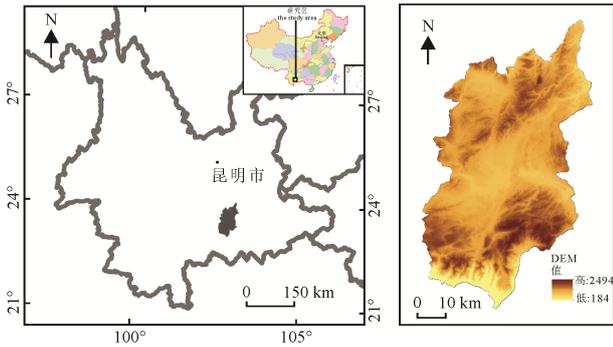


图 1 建水县位置(a)、DEM(b)
Fig. 1 Overview of the study area (a), DEM (b)

调查局(<https://earthexplorer.usgs.gov/>), 空间分辨率为 30 m×30 m, 共计 20 期, 进而获得基于像元的 NDVI 数据, 以表征当年的植被覆盖状况。

石漠化分布数据及治理模式数据来自建水县 2006 年森林资源二类调查数据及 2005 年、2011 年云南省石漠化监测数据。经济数据来自于 2007—2017 年云南省经济社会年鉴, 社会数据来源于社会问卷和入户调查数据(问卷共 200 份, 均匀分布于研究区域内, 被访群体包括专家、农民、学生等)。

2.2 研究方法

2.2.1 评价指标体系建立

目前石漠化治理效益评估体系还不够完善, 且指标数值获取方法尚未规范, 不同研究者对同一区域估算结果差异较大。通过对前人相关文献总结(孙建等, 2019; 蒋璇等, 2020; 文林琴和栗忠飞, 2020; 王家录等, 2020; 王飞跃等, 2020), 确立 3 个层次 10 个指标的综合效益指标体系(表 1)。

2.2.2 客观熵权法

1850 年, 德国物理学家鲁道夫·克劳修斯提出熵的概念(William, 1988)。熵值能有效判断事件的随机性和均匀程度, 如果指标的离散程度越大, 熵值越小, 则该指标对综合评价的影响(权重)越大, 反之,

表 1 建水县石漠化治理综合效益评价指标体系
Table 1 Evaluation index system of comprehensive benefit of rock desertification control in Jiانشui County

目标层	准则层	指标层
生态效益 A		植被覆盖度增加率 A1
		石漠化面积减少率 A2
		林木成本收益增加率 B1
		粮食收益增加率 B2
经济效益 B		经济作物收益增加率 B3
		二三产业经济生产总值占比增加率 B4
		新增就业人数增加率 C1
		居民可支配收入增加率 C2
社会效益 C		居民满意度 C3
		外出打工人口增加率 C4

则越小(薛建春等, 2019)。计算公式如下:

(1) 计算第 j 项指标 i 样本占该指标的比重 p_{ij} , 其中 x_{ij} 为指标值。

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (1)$$

(2) 确定各指标熵值 e_j 。

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (2)$$

其中, $k = \frac{1}{\ln n} > 0$, 满足 $e_j \geq 0$ 。

(3) 确定各指标权重 h_j 。

$$h_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m 1 - e_j} \quad (3)$$

2.2.3 主成分分析法确定权重

主成分分析能够从高维变量系统中筛选出主要独立的综合因子, 既保留原始主要信息, 也使彼此互不相关(胡钢等, 2019)。该方法应用于生态环境治理评价中, 具有较高实用性, 能客观、准确和全面地评价生态环境治理情况, 基本公式为:

$$D=C \times R \quad (4)$$

$$(m \times r) = (m \times n) \times (r \times n) \quad (5)$$

式中, D 是由 m 个年份对 r 个评价因子组成的矩阵; C 是因子载荷矩阵; R 是因子得分矩阵, 表示各因子的贡献率。本研究采用软件 Matlab 进行主成分分析。

2.2.4 可持续性分析

本文采用 Hurst 指数来评价各类效益的可持续性(Mcleod and Hioel, 1978; 郑海潮, 2019), 基本原理如下:

对于一个时间序列 $\{\zeta(\tau)\}(\tau=1, 2, \dots, n)$, 定义均值序列:

$$\langle \zeta \rangle_\tau = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} x(t), \tau=1, 2, \dots, n \quad (6)$$

计算累积离差 $X(t, \tau)$:

$$X(t, \tau) = \sum_{u=1}^t (\zeta(u) - \langle \zeta \rangle_\tau), 1 \leq t \leq \tau \quad (7)$$

极差 R 序列定义为:

$$R(\tau) = \max_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) - \min_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau), \tau=1, 2, \dots, n \quad (8)$$

标准差 S 序列计算公式为:

$$S(\tau) = \left(\frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} (\zeta(t) - \langle \zeta \rangle_\tau)^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \tau=1, 2, \dots, n \quad (9)$$

$$\frac{R(\tau)}{S(\tau)} = (c\tau)^H \quad (10)$$

式中 C 为常数; H 为 Hurst 指数。当 $H=0.5$, 表示序列是一个标准的高斯分布, 不具有持续性; $H>0.5$ 表示时间序列具有持续性, 即时间序列对过

去的趋势有依赖性,就是指未来的变化状况与过去时间序列的趋势相同, H 值越接近 1, 持续性越强; $0 < H < 0.5$ 表示时间序列具有反持续性, 即未来的变化状况与该序列趋势相反, H 值越接近 0, 反持续性越强。

2.2.5 建水县石漠化治理综合效益评价指标体系权重确定

为了矫正熵权法由于样本个数不同带来的数据误差, 研究结合熵权法和主成分分析法建立建水县石漠化治理综合效益评价体系。根据建水县石漠化治理综合效益评价体系(表 2), 建水县生态效益: 经济效益: 社会效益组合权重之比为 18.52:31.77:48.69。自石漠化治理以来, 建水县社会效益和经济效益较生态效益熵权和方差较大, 数据波动更为明显。

3 结果与分析

3.1 建水县石漠化治理综合效益评价

从 2007—2017 年, 建水县石漠化治理效益来看(图 2), 除 2015 年外, 其它各年效益均为正向。其中, 2013 年以前较 2013 年以后综合效益及生态、经济、社会效益年增幅更大。

3.1.1 建水县石漠化治理社会效益

根据居民满意度问卷和入户调查数据(图 3), 在影响社会效益的各项指标中, 生态环境改善不满意率占 0.13%, 交通便利程度不满意率占 1.15%, 生活质量改善程度不满意率 12.55%, 居民对石漠化治理带来的生态环境、生活质量和交通情况的改善均较为满意。而外出打工人数增加率及空巢老人数目增加率达到了 70%以上, 区域吸引力减弱是影响石漠化治理社会效益的主要因素。

3.1.2 建水县石漠化治理生态效益

植被覆盖度增加率和石漠化面积减少率为建水县石漠化治理生态效益的重要评价指标。根据 2007—2017 年建水县石漠化区域动态变化特征(图 4)得到, 建水县新增石漠化区域主要集中在海拔相

对较小的人口密集区, 这些区域由于人类活动强度过大, 人地矛盾突出, 导致石漠化面积扩大, 石漠化程度加剧。而新增非石漠化区域主要分布在东北部生态治理区域。从 2007—2017 年植被指数变化来看, NDVI 变化主要呈现“东西升高, 中部降低”的特点, NDVI 上升的区域仍然分布在东西人口密度

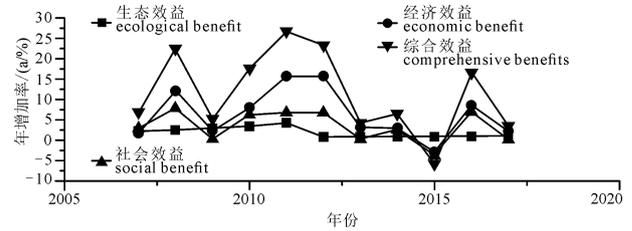


图 2 建水县石漠化综合治理效益年度变化情况
Fig. 2 Annual change of benefits of rocky desertification control in Jianshui County

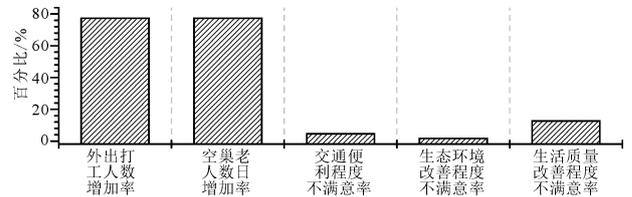


图 3 建水县石漠化综合治理社会效益调查情况
Fig. 3 Survey on social benefits of rocky desertification control in Jianshui County

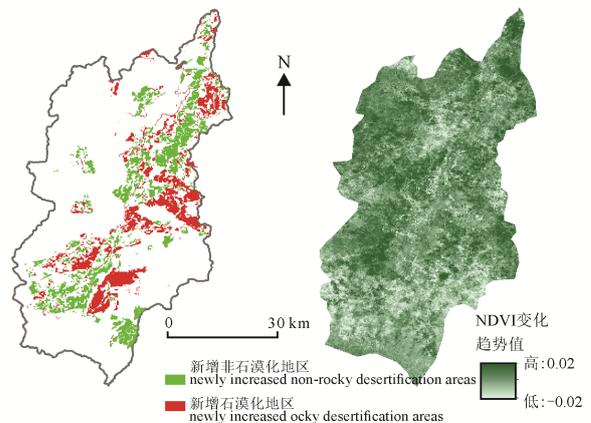


图 4 建水县 2007—2017 年石漠化区域及植被变化特征
Fig. 4 Characteristics of rocky desertification region and vegetation change in Jianshui County during 2007—2017

表 2 建水县石漠化治理综合效益评价指标权重

Table 2 Weights of comprehensive benefit evaluation indexes of rocky desertification control in Jianshui County

目标层	准则层	指标层	熵权法权重	主成分分析权重	组合权重	准则层权重
生态效益 A		植被覆盖度增加率 A1	0.23%	0.58%	0.42%	18.52%
		石漠化面积减少率 A2	26.49%	9.71%	18.10%	
综合效益	经济效益 B	林木成本收益增加率 B1	6.05%	0.28%	3.14%	31.77%
		粮食收益增加率 B2	1.85%	13.06%	7.46%	
		经济作物收益增加率 B3	16.73%	11.92%	14.33%	
		二三产业经济生产总值占比增加率 B4	1.12%	12.56%	6.84%	
社会效益 C		新增就业人数增加率 C1	16.22%	11.92%	14.07%	48.69%
		居民可支配收入增加 C2	20.59%	12.68%	16.64%	
		居民满意度 C3	2.60%	12.18%	7.39%	
		外出打工人数增加率 C4	8.08%	13.11%	10.59%	

较小的山区。建水县石漠化治理生态效益在人口较少、生态修复力度较大的山区体现更为明显。

3.1.3 建水县石漠化治理经济效益

在建水县经济效益评价指标中,经济作物收益增加率,粮食收益增加率及二三产业经济生产总值占比增加率是对经济效益影响较大的因子。根据趋势分析的结果(图 5),三个因子均处于逐年上升的趋势当中,其中粮食收益上升趋势明显低于二三产业占比和经济作物收益的增加趋势。建水县石漠化治理以来,产业结构得到了改善,经济作物的精细化种植逐渐代替粗放的粮食种植,第一产业为主的产业结构逐渐转向一二三均衡的产业结构。

3.2 建水县石漠化治理效益可持续性

建水县石漠化治理综合效益及经济、生态、社会效益 hurst 指数均大于 0.5,证明在时间序列上具有持续性,即时间序列对过去的趋势有依赖性(表 3)。而其中经济效益持续性最强,其次为生态效益,社会效益的可持续性相对较低。从各指标层来看,生态效益中,石漠化面积减少率指标 hurst 指数为 0.97,石漠化治理效果较好且具有较高的持续性;在经济效益中,粮食收益增加率和二三产业经济生产总值占比增加率 hurst 指数相对较高,正向持续性较强,经济作物收益增加率 hurst 指数小于 0.5,具有反向可持续性;在社会效益中,居民可支配收入增加率 hurst 指数为 0.98,说明居民收入增长趋势具有较高的可持续性,而新增就业人数增加率 hurst 指数小于 0.5,具有反向可持续性,后期新增就业人数存在减少的可能性。

4 讨论

从本文的研究结果来看,建水县石漠化综合治理效益在生态、经济、社会方面均有提升,且经济效益的发展具有先导性,拉动着社会和生态效益的提升。生态修复的效果明显且具有显著的可持续性,但由于人类活动区域逐渐扩大导致的新增石漠化区域扩大是不可忽视的一个重要问题。由于生态修复的关键区域大多位于经济社会发展水平较差的农村,居民大多属于低收入人群,人地关系紧张,

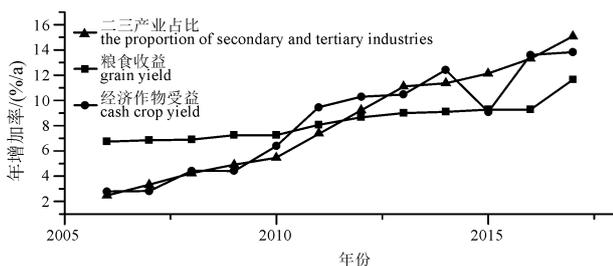


图 5 建水县经济效益指标年度变化情况

Fig. 5 Annual change in economic performance indicators of Jianshui County

表 3 建水县石漠化治理赫斯特指数
Table 3 Hurst Index for rock desertification control in Jianshui County

目标层	Hurst 指数	准则层	Hurst 指数	指标层	Hurst 指数	
综合效益	0.77	生态效益 A	0.77	植被覆盖度增加率 A1	0.66	
				石漠化面积减少量 A2	0.97	
		经济效益 B	0.79	0.79	林木成本收益增加率 B1	0.63
					粮食收益增加率 B2	0.75
					经济作物收益增加率 B3	0.35
					二三产业经济生产总值占比增加率 B4	0.80
		社会效益 C	0.62	0.62	新增就业人数增加率 C1	0.35
					居民可支配收入增加率 C2	0.98
					居民满意度 C3	---
					外出打工人数增加率 C4	---

导致人类活动对生态系统的干扰程度仍然呈现一个上升的趋势,新增石漠化区域的扩大是人地关系问题的突出表现。生态、经济、社会效益中经济效益增幅最大,可持续性最高。但是林木及经济作物收益可持续性较差,今后林木和经济作物的抚育和维护将是保障经济效益可持续发展的关键。社会效益是限制综合效益可持续发展的主要因素,且影响社会效益的主要因素为区域吸引力不足。因此,提升区域吸引力,改善社会民生,保证经济、社会、生态协调可持续发展是目前建水县石漠化治理需要重点解决的问题(边红燕, 2014; 朱昌丽等, 2020)。

石漠化区域的生态修复是一个系统工程,需要一个综合而全面的评价方案。在过去的研究中,往往强调石漠化治理生态效益的提升(孙建等, 2019; 蒋璇等, 2020; 文林琴和栗忠飞, 2020; 王家录等, 2020; 王飞跃等, 2020),这种提升在短期内或者特定区域内十分有效。但是生态修复的基本目标应该是促进全面、稳定、持续的生态修复和农村发展(Wang et al., 2019)。为了实现这个目标,必须把生态修复和社会经济发展结合起来,改善居民的生产生活方式,以减少其对生态资源的依赖,改善传统的人地关系,从而促进持续和稳定的生态修复。因此,需要对现有石漠化治理措施的生态、经济、社会效益进行全面评价,从而为进一步生态修复提供科学依据。与本文研究结论相似,现有的同类研究也表明石漠化综合治理以来区域社会、经济、生态效益均得到了发展。其中杜雪莲等(2016)通过模糊综合评价法对贵州省普定县陈家寨小流域进行了石漠化治理综合评价,并认为该流域经济效益增幅最大,这主要得益于小流域内的抗旱工程措施。王钰

(2015)通过调查统计的方法对贵州省石漠化综合治理工程进行了效益评价,证明石漠化治理在促进经济社会发展的同时,极大的改善了生态环境。本研究在借鉴同类综合效益评价研究的基础上,通过定性定量相结合的手段对生态、经济、社会效益及其指标进行了量化,为生态工程综合效益评价提供了一种研究范式,不仅相对客观评估了建水县石漠化治理的综合效益,还可为进一步石漠化综合治理提供了科学依据。

岩溶区域由于其特殊的地质结构,导致石漠化进程的发展更容易受到人类活动的影响。断陷盆地位于滇东高原和云贵高原之间,地质结构复杂,人地关系紧张。生态修复和石漠化治理已经成为断陷盆地可持续发展的重要措施。在今后的研究中,对于各效益的指标选取应该更加注重岩溶区域的区域性和特殊性,添加一些区域性指标,充分考虑生态脆弱区的特点。此外,由于数据限制,文章选择的时间范围较小,可能某些指标的评价存在一定的偶然性。今后,将进一步考虑区域的特殊性,在更长时间序列的数据基础上,建立更符合区域特点的评价模型,以期得到更为可靠的结论。

5 结论

本文利用 Landsat 数据、建水县森林资源二类调查数据、云南省石漠化监测数据、及建水县社会经济年鉴数据借助主成分分析法、熵值法、hurst 分析等方法,对建水县石漠化治理综合效益进行了评价,并探讨了各项指标的可持续性,得出以下结论:

(1)2007—2017 年间建水县石漠化治理效益除 2015 年外均为正向效益,治理效益在治理前八年效益逐年上升,第八年以后效益增幅开始减小。

(2)从不同效益的影响指标来看,限制社会效益的主要因素为外出打工人数增加率及空巢老人数目增加率,人口净流入减少说明区域吸引力不足。生态效益中植被覆盖度增加和石漠化面积减少在人口较少、生态修复力度较大的山区更为明显。而经济效益中,粮食收益上升趋势明显低于二三产业经济生产总值占比和经济作物收益的增加趋势。说明石漠化治理以来,产业结构得到了改善,经济作物的精细化种植逐渐代替粗放的粮食种植,第一产业为主的产业结构逐渐转向一二三产业均衡的产业结构。

(3)从可持续性来看,建水县石漠化治理综合效益及经济、生态、社会效益 hurst 指数均大于 0.5,证明各项效益均有正向可持续性。而在生态、经济、社会效益中经济效益持续性最强,其次为生态效益,社会效益的可持续性相对较低。生态效益中,石漠化面积减少率指标 hurst 指数为 0.97,证明石漠化治理效果较好且具有较高的持续性;在经济效益中,粮食收益增加率和二三产业经济生产总值占比增加

率 hurst 指数相对较高,正向持续性较强;在社会效益中,居民可支配收入增加比例 hurst 指数为 0.98,说明居民收入增长趋势具有较高的可持续性,而新增就业人数增加率 hurst 指数小于 0.5,具有反向可持续性,后期新增就业人数可能会减少。

Acknowledgements:

This study was supported by National Key Research and Development Program of China (Nos. 2016YFC0502500 and 2016YFC0502506), and National Natural Science Foundation of China (No. 41671080).

参考文献:

- 边红燕. 2014. 喀斯特石漠化治理的惠及民生模式及社会效益分析[D]. 贵阳: 贵州师范大学.
- 曹建华, 袁道先, 章程, 蒋忠诚. 2004. 受地质条件制约的中国西南岩溶生态系统[J]. 地球与环境, 32(1): 1-8.
- 杜雪莲, 王世杰, 熊强辉, 彭韬, 程安云, 张林, 蔡先立. 2016. 基于模糊综合评价法的小流域喀斯特石漠化治理综合效益评价——以贵州省普定县陈家寨小流域为例[J]. 中国岩溶, 35(5): 586-593.
- 国家林业局. 2018. 中国石漠化状况公报[N]. 中国绿色时报, 2018-12-4(3).
- 胡钢, 徐翔, 张维明, 周璠. 2019. 基于主成分分析的网络节点重要性指标贡献评价[J]. 电子学报, 47(2): 358-365.
- 蒋璇, 何松涛, 周洁, 毛洪斌. 2020. 乡村振兴背景下广西石漠化地区发展蚕桑产业的成效和建议[J]. 广西蚕业, 57(2): 40-45.
- 孙建, 刘子琦, 朱大运, 李渊, 李开萍, 王进. 2019. 石漠化治理区不同生态恢复模式土壤质量评价[J]. 水土保持研究, 26(5): 222-228.
- 王飞跃, 刘子琦, 李渊, 程雯. 2020. 石漠化治理区火龙果果实品质评价[J]. 西南农业学报, 33(4): 867-874.
- 王家录, 李维杰, 王勇, 任娟, 高敏. 2020. 2005—2014 年重庆石漠化地区 NDVI 的时空变化及其与气候因子相关性分析[J/OL]. 水土保持研究, 1: 1-7.
- 王钰. 2015. 贵州省石漠化综合治理试点工程效益评价[J]. 中国水土保持, (4): 57-59.
- 魏轩, 周立华, 韩张雄, 王娅, 陈勇, 杨国靖. 2020. 生态脆弱区生态工程效益评价的比较研究[J]. 生态学报, 40(1): 377-383.
- 文林琴, 栗忠飞. 2020. 2004—2016 年贵州省石漠化状况及动态演变特征[J]. 生态学报, 40(17): 5928-5939.
- 薛建春, 郑海潮, 王雅荣. 2019. 基于熵值法的呼包鄂区域土地利用效益与城市化水平耦合协调研究[J]. 水土保持通报, 39(3): 256-262.
- 颜俨, 姚柳杨, 郎亮明, 赵敏娟. 2019. 基于 Meta 回归方法的中国内陆河流域生态系统服务价值再评估[J]. 地理学报, 74(5): 1040-1057.
- 张清, 肖桂英, 李乡旺, 曾永云, 顾汪明, 万龙. 2019. 云南省建水县岩溶石漠化治理对策初探[J]. 湖南林业科技, 46(5): 77-83.
- 张雪松, 张茂茂, 王全喜, 李德寿, 何炬, 侯瑞. 2019. 基于 CW-GRAP 模型的随州市土地整治综合效益评价[J]. 水土保持研究, 26(3): 318-330.
- 郑国权, 温美丽, 杨宪杰, 杨龙, 宫清华. 2016. 广东省小流域综合治理效益评价指标体系的理论构建[J]. 中国农村水利

水电, (7): 86-91.

郑海潮. 2019. 呼包鄂土地利用综合效益与城市化耦合协调研究[D]. 包头: 内蒙古科技大学.

朱昌丽, 周忠发, 吴跃, 谭玮颀, 马国璇, 安丹. 2020. 基于格网的石漠化地区生态系统服务与经济空间耦合[J]. 水土保持通报, 40(3): 189-194, 325.

References:

- BIAN Hong-yan. 2014. The livelihood model and social benefit analysis of karst rocky desertification control[D]. Guiyang: Guizhou Normal University(in Chinese with English abstract).
- CAO Jian-hua, YUAN Dao-xian, ZHANG Cheng, JIANG Zhong-cheng. 2004. Karst ecosystem by geological condition in Southwest China[J]. Earth and Environment, 32(1): 1-8(in Chinese with English abstract).
- DÉMURGER S, PELLETIER A. 2015. Volunteer and satisfied Rural households' participation in a payments for environmental services programme in Inner Mongolia[J]. Ecological Economics, 116: 25-33.
- DU Xue-lian, WANG Shi-jie, XIONG Qiang-hui, PENG Tao, CHENG An-yun, ZHANG Lin, CAI Xian-Li. 2016. Evaluation on effect of small catchment comprehensive control in karst rocky desertification areas based on fuzzy comprehensive evaluation method: A case study of the Chenjiashai catchment in Puding county, Guizhou Province[J]. Carsologica Sinica, 5(5): 586-593(in Chinese with English abstract).
- HU Gang, XU Xiang, ZHANG Wei-ming, ZHOU Yun. 2019. Contribution analysis for assessing node importance indices with principal component Analysis[J]. Acta Electronica Sinica, 47(2): 358-365(in Chinese with English abstract).
- JIANG Xuan, HE Song-tao, ZHOU Jie, MAO Hong-bin. 2020. Effects and suggestions on the development of sericulture industry in Guangxi rocky desertification areas under the background of rural revitalization[J]. Guangxi Sericulture, 57(2): 40-45(in Chinese with English abstract).
- MCLEOD A I, HIOEL K W. 1978. Preservation of the rescaled adjusted range: 1. A reassessment of the Hurst Phenomenon[J]. Water Resources Research, 14(3): 491-508.
- State Forestry Administration. 2018. China Rock Desertification Communique[N]. China Green Times, 2018-12-4(3)(in Chinese).
- SUN Jian, LIU Zi-qi, ZHU Da-yun, LI Yuan, LI Kai-ping, WANG Jin. 2019. Evaluation on soil qualities of different ecological restoration models in rocky desertification control area[J]. Research of Soil and Water Conservation, 26(5): 222-228(in Chinese with English abstract).
- TALUKDAR S, SINGHA P, SHAHFAHAD, MAHATO S, PRAVEEN B, RAHMAN A. 2020. Dynamics of ecosystem services (ESs) in response to land use land cover (LU/ LC) changes in the lower Gangetic plain of India[J]. Ecological Indicators, 112: 106-121.
- TRAC C J, HARRELL S, HINCKLEY T M, AMANDA C. 2007. Reforestation programs in Southwest China: Reported success, observed failure, and the reasons why[J]. Journal of Mountain Science, 4(4): 275-292.
- UCHIDA E, XU J, ROZELLE S. 2003. "Grain For Green" In China: Cost-Effectiveness and Sustainability of a Conservation Set-Aside Program[J]. Land Economics, 81(2): 247-264.
- WANG Fei-yue, LIU Zi-qi, LI Yuan, CHENG Wen. 2020. Evaluation of pitaya fruit quality in rocky desertification control area[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 33(4): 867-874(in Chinese with English abstract).
- WANG Jia-lu, LI Wei-jie, WANG Yong, REN Juan, GAO Min. 2020. Spatial-temporal variation of NDVI and its responses to hydrothermal condition in rocky desertification area of Chongqing city from 2005 to 2014[J/OL]. Research of Soil and Water Conservation, 1: 1-7(in Chinese with English abstract).
- WANG Jie-yong, LIU Yan-jiao, LI Yu-rui. 2019. Ecological restoration under rural restructuring: A case study of Yan' an in China's loess plateau[J]. Land Use Policy, 87: 87-104.
- WANG Yu. 2015. Benefit evaluation of pilot project of comprehensive control of Rocky Desertification in Guizhou Province[J]. Soil and Water Conservation in China, (4): 57-59(in Chinese with English abstract).
- WEI Xuan, ZHOU Li-hua, HAN Zhang-xiong, WANG Ya, CHEN Yong, YANG Guo-jing. 2018. A comparative study on the evaluation of ecological engineering benefits in ecologically fragile areas[J]. Journal of Ecology, 40(1): 377-383(in Chinese with English abstract).
- WEN Lin-qin, LI Zhong-fei. 2020. Evolution characteristics of rocky desertification during 2004—2016 in Guizhou Province, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 40(17): 5928-5939(in Chinese with English abstract).
- WILLIAM H. C. 1988. Rudolph Clausius and the road to entropy[J]. College Physics, 1(12): 438-477.
- XUE Jian-chun, ZHENG Hai-chao, WANG Ya-rong. 2019. A Study on Land Use Benefit and Urbanization Level in Hohhot-Baotou-Ordos Region Based on Entropy Method[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 39(3): 256-262(in Chinese with English abstract).
- YAN Yan, YAO Liu-yang, LANG Liang-ming, ZHAO Min-juan. 2019. Revaluation of ecosystem services in inland river basins of China: Based on meta-regression analysis[J]. Acta Geographica Sinica, 74(5): 1040-1057(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Qing, XIAO Gui-ying, LI Xiang-wang, ZENG Yong-yun, GU Wang-ming, WAN Long. 2019. A preliminary study on the countermeasures of karst rocky desertification management in Jianshui county in Yunnan province[J]. Hunan Forestry Science and Technology, 46(5): 77-83(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Xue-song, ZHANG Mao-mao, WANG Quan-xi, LI De-shou, HE Ju, HOU Rui. 2019. Evaluation on the Comprehensive Benefit of Land Consolidation in Suizhou City Based on CW-GRAP Model[J]. Research of Soil and Water Conservation, 26(3): 318-330(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Guo-quan, WEN Mei-li, YANG Xian-jie, YANG long, GONG Qing-hua. 2016. Theoretical construction of indicator system of benefit assessment for comprehensive management in small watersheds of Guangdong province[J]. China Rural Water and Hydropower, (7): 86-91(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Hai-chao. 2019. Study on coupling coordination between land use comprehensive benefit and urbanization in Hohhot-Baotou-Ordos[D]. Baotou: Inner Mongolia University of Science and Technology(in Chinese with English abstract).
- ZHU Chang-li, ZHOU Zhong-fa, WU Yue, TAN Wei-yi, MA Guo-xuan, AN Dan. 2020. Spatial coupling between ecosystem services and economy based on grid in rocky desertification area[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 40(3): 189-194, 325(in Chinese with English abstract).