

杜雪莲,王世杰,熊强辉,等. 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, 2016, 35(5): 586-593.  
DOI:10.11932/karst20160515

# 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

杜雪莲<sup>1,2</sup>, 王世杰<sup>2,3</sup>, 熊强辉<sup>1</sup>, 彭 韬<sup>2,3</sup>, 程安云<sup>2,3</sup>, 张 林<sup>2,3</sup>, 蔡先立<sup>2,3</sup>

(1. 贵州财经大学经济学院, 贵阳 550025; 2. 中国科学院普定喀斯特生态系统观测研究站, 贵州 普定 562100;  
3. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002)

**摘 要:**通过建立石漠化综合治理效益的评价指标体系,采集研究区治理前后环境、经济、社会等各项指标数据,运用模糊综合评价法对贵州省普定县陈家寨小流域综合治理效益进行了评价。研究结果表明:经过综合治理,研究区社会、经济得到了发展,生态环境明显改善。由于在洼地沟谷地带发展高效山地农业,种植辣椒、秋葵、何首乌、半夏、丹参等经济作物,人均收入和劳动生产率大幅提升,资金产投比和土地生产率提升明显,农产品商品率有所增加。通过对研究区山地坡面开展林分改造,林草覆盖率有所提高,土壤侵蚀模数和石漠化面积比例减少,贫困发生率、农村恩格尔系数和文盲率有所下降。研究区综合治理之后,经济效益评价等级由“差”变成了“中”,生态效益由“差”变成了“良”,社会效益仍然处于“差”,综合效益评价由“差”到“中”,其中经济效益增幅最大,这主要得益于小流域内利用道路积蓄雨水、修建集水池等抗旱设施,有效地解决了研究区的灌溉问题。

**关键词:**石漠化;综合治理;模糊综合评价;陈家寨小流域

中图分类号:X171 文献标识码:A 文章编号:1001-4810(2016)05-0586-08

## 0 引 言

石漠化是中国西南地区最严重的生态地质环境问题,严重威胁长江和珠江中下游的生态安全<sup>[1-2]</sup>。20世纪80年代以来,国家在西南喀斯特地区先后开展了“长防”和“长治”工程、退耕还林工程、“珠治”试点工程以及国家科技攻关项目等。从“十五”规划开始,国家在滇黔桂喀斯特地区开展石漠化综合治理。“十一五”规划纲要将石漠化地区综合治理列入国家11个生态保护重点项目之一。“十二五”规划纲要指出要逐步扩大石漠化综合治理规模。“十三五”规划纲要明确指出了要推进石漠化综合治理,开展典型受损

生态系统恢复和修复示范。很多学者从喀斯特石漠化地区地形地貌、土壤岩性、石漠化等级、社会经济条件等不同角度,针对不同区域提出了石漠化治理的措施和建议,探索出了一些较好的治理模式与方法<sup>[3-6]</sup>,主要包括生态农业模式<sup>[7-10]</sup>、水土保持模式<sup>[11-12]</sup>、植被恢复模式<sup>[13-14]</sup>、生态旅游模式<sup>[15]</sup>、生态移民模式<sup>[16]</sup>等。

贵州省是我国喀斯特地貌发育最为典型的省份之一,地貌类型复杂,地表土层瘠薄,人为活动造成生态更加脆弱,石漠化问题凸显。目前贵州喀斯特石漠化的治理及其效益评价研究多集中在花江示范区。左兴俊等<sup>[17]</sup>采用层次分析、分级赋值的方法,对花江

基金项目:国家重点研发计划(2016YFC0502300);国家自然科学基金项目(41203063);中国科学院战略性先导科技专项重大课题(XDA05070400)

第一作者简介:杜雪莲(1981-),女,博士,教授,主要研究方向为生态经济和喀斯特生态学。E-mail:duxuelian520@163.com。

收稿日期:2016-04-26

顶坛模式和清镇王家寨昌洞小流域治理模式进行了初步评价;杨洁<sup>[18]</sup>选取了 31 个指标对花江示范区治理项目效益进行了评价,在确定各项指标的理想值之后,得出的评分值表明示范区在发展社会经济、合理开发利用社区资源以及保护和建设生态环境方面取得一定成效;王德炉等<sup>[19]</sup>选择了 8 个主导因子,与其理想状态相比较,赋予因子不同的得分等级和权重,利用因子评分法,对花江地区治理效果进行了评价研究;苏维词等<sup>[20]</sup>探讨了喀斯特花江峡谷石漠化地区生态重建模式,并兼顾社会、经济、生态三方面的效益进行了对比研究,指出了它们的优点和存在的问题,并提出了相应的对策和建议。普定县是贵州省喀斯特发育最典型、最复杂,景观类型最丰富的一个片区,是中国西南喀斯特的典型代表,全县总面积为 1 091.98 km<sup>2</sup>,其中石漠化面积为 390 km<sup>2</sup>,占全县总面积的 35.80%。本研究以贵州省普定县陈家寨小流域为例,基于模糊理论方法对该区石漠化治理效益进行综合评价,以期提高综合治理措施的可靠性和科学性,并为石漠化防治的宏观决策提供依据。

## 1 研究区概况

陈家寨小流域位于贵州省安顺市普定县东北的三岔河右岸,属乌江上游三岔河流域,在普定县城关镇北部,距县城大约 8.5 km,其最高海拔 1 485 m,属典型的黔中喀斯特高原型峰丛洼地(图 1)。研究区土壤类型以黄壤旱作土与石灰土为主,土壤质地为重壤至轻黏,黄壤旱作土为酸性,石灰土为碱性。研究区面积约为 1.4 km<sup>2</sup>,治理前,流域内平整耕地约占总面积的 15%,主要分布于洼地和沟谷底部,山地约占 85%,顶部白云岩区域占总面积的 25%,有薄层土壤覆盖,主要为耐旱的草丛和人工种植稀疏柏树,中下部石灰岩区域约占总面积的 60%,石漠化较为严重,岩石裸露率在 85%左右。在山地基部土壤残留较多的石旮旯地种植玉米等作物。陈家寨小流域涉及陈家村、邓家寨和前寨 3 个村,其中涉及研究区治理的有 154 户,其中陈家村 76 户,邓家寨 35 户,前寨 43 户,共 400 余人。由于干旱缺水,农业主产玉米、油菜,生产结构单一。



图 1 研究区地理位置示意图

Fig. 1 Sketch map showing geographical location of the study area

研究区依托中国科学院普定喀斯特生态系统观测研究站,以集蓄水技术与管网化微型水利灌溉技术为核心,对区内进行了路面集水、沟渠引水、水池(窖)储水三位一体的坡面水系工程建设,已建成路面集雨蓄水池 15 个,总容量约 2 000 m<sup>3</sup>,年蓄水总量为 1 万 m<sup>3</sup>。蓄水池与蓄水窖间有 2 km PVC 管联通,修建高密度聚乙烯膜生态水窖 168 个,形成蓄水窖、水池、耕地交互连接的管网系统,实现集水、蓄水、供水的自动动态调节,有效解决了研究区灌溉问题,为发展特色山地农业奠定了物质基础。区内山地坡面部分种植柏树林、柏树一车桑子混交林、香椿林、构树林、梨树林、核桃林、枇杷林和樱桃林等,并开展相应的林分改造试验,在洼地沟谷地带种植辣椒、秋葵、黄瓜、何首乌、半夏、丹参等经济作物 200 余亩。

## 2 评价方法

### 2.1 指标体系的构建

在遵循石漠化效益评价指标体系构建的科学性、可比性、系统性和可操作性原则的基础上,通过吸收和借鉴已有的相关研究成果,结合本研究区特点,将

有代表性的指标纳入评价体系当中,建立了综合治理效益评价指标体系。评价指标体系分为 3 个层次:(1)目标层;(2)次目标层或分目标层,包括经济效益指标( $U_1$ ),生态效益指标( $U_2$ )和社会效益指标( $U_3$ );(3)指标层,即具体的评价指标。此次评价选取农民人均纯收入( $U_{11}$ ,单位:元),资金产投比( $U_{12}$ ),土地生产率( $U_{13}$ )和劳动生产率( $U_{14}$ )作为经济效益指标;选取林草覆盖率( $U_{21}$ ),土壤侵蚀模数( $U_{22}$ ,单位:t/km<sup>2</sup>·a)和石漠化面积比例( $U_{23}$ )作为生态效益指标;选取贫困发生率( $U_{31}$ )、农村恩格尔系数( $U_{32}$ )、文盲率( $U_{33}$ )和农产品商品率( $U_{34}$ )作为社会效益指标。

### 2.2 确定评价指标权重

本研究采用层次分析法通过专家打分确定权重,并进行一致性检验。由表 1 可知经济效益、生态效益和社会效益指标的权重分别为 0.528,0.333 和 0.140,说明普定县陈家寨综合治理过程中,经济效益是被优先考虑的。由综合权重排序可以得出在效益评价体系的 11 个指标中,农民人均纯收入和贫困发生率两个指标对综合治理的前后评价起着重要作用,贡献也是最大的。

表 1 研究区综合治理效益评价指标权重

Table 1 Indexes and weights for evaluation of comprehensive control in the study area

目标层	次目标层	权重	指标层	相对权重	组合权重
综合	经济效益指标	0.528	农民人均纯收入	0.585	0.309
			资金产投比	0.102	0.054
			土地生产率	0.246	0.130
			劳动生产率	0.067	0.036
治理	生态效益指标	0.333	林草覆盖率	0.105	0.035
			土壤侵蚀模数	0.258	0.086
			石漠化面积比例	0.637	0.212
效益	社会效益指标	0.140	贫困发生率	0.370	0.236
			农村恩格尔系数	0.354	0.225
			文盲率	0.199	0.127
			农产品商品率	0.076	0.048

### 2.3 建立隶属函数和评判模型

#### 2.3.1 确定评价因素样本集及评语集

根据评价目标所涉及的因素或者指标个数为  $n$  个,分别记为  $u_1, u_2, \dots, u_n$ ,则这  $n$  个评价因素构成因素样本集( $u$ ), $u = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 。本研究中的评价体系由 3 个一级指标和相应的 11 个二级指标构

成。一级指标: $U = (U_1, U_2, U_3)$ ;二级指标: $U_1 = (U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14})$ ;  $U_2 = (U_{21}, U_{22}, U_{23})$ ;  $U_3 = (U_{31}, U_{32}, U_{33}, U_{34})$ 。评语集是评价者对被评价对象的成就或特征预计可能发生的结果形成若干个等级。 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ ,其中  $V_j (j=1, 2, \dots, n)$  代表第  $j$  个评价结果, $n$  为总的评价结果数,在操作中要根据

具体问题将评价结果划分为几个层次,一般划分为 3 至 5 个等级。本研究的评价集设计为:  $V = \{ \text{优}(V1)、\text{良}(V2)、\text{中}(V3)、\text{差}(V4) \}$ 。

### 2.3.2 确定评价因素模糊权向量

综合评价结果不仅跟因素样本集中的各个因素评价有关,因素样本集的权重是因素相对重要性程度大小的度量,会对最终的评价结果产生很大的影响。本研究采用层次分析法(AHP)确定模糊权向量( $W$ )。

### 2.3.3 单因素评价,建立模糊关系矩阵

单因素模糊评价是单独评价因素集( $U$ )中的一个因素,以确定评价对象对评语集合( $V$ )的隶属程度。当  $U、V$  确定后,给指标因子与评价标准之间的边界模糊关系建立一个从  $U$  到  $F(V)$  上的模糊映射,从而得出单因素评价矩阵( $R$ ),即影响因素与评价对象之间的合理关系。 $R$  表示为式:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

由于评价指标体系的量纲不同,指标间数量差异较大,使得不同指标间在量上不能直接进行比较,并且缺乏可比性。本文采用直线型模糊无量纲化对各项指标值进行归一化处理。

对正向指标,采用半升梯形模糊隶属度函数

$$U(X_i) = \frac{X_i - X_{im}}{X_{im} - X_{in}} = \begin{cases} 1 & X_i \geq X_{im} \\ \frac{X_i - X_{in}}{X_{im} - X_{in}} & X_{in} < X_i < X_{im} \\ 0 & X_i \leq X_{in} \end{cases}$$

对逆向指标,采用半降梯形模糊隶属度函数

$$U(X_i) = \frac{X_{im} - X_i}{X_{im} - X_{in}} = \begin{cases} 1 & X_i \leq X_{in} \\ \frac{X_{im} - X_i}{X_{im} - X_{in}} & X_{in} < X_i < X_{im} \\ 0 & X_i \geq X_{im} \end{cases}$$

式中, $U(X_i)$  是第  $X_i$  实际数值的隶属度值, $X_i$  是实际值, $X_{im}$  是指标的上限值即最大值, $X_{in}$  是指标的下限值即最小值,可依据评价标准分别是基准值和理想值确定。

### 2.3.4 模糊合成,并进行综合评判

根据模糊变换原理,将赋予相对合理权重向量( $W$ )与模糊关系矩阵( $R$ )进行复合运算。模糊综合评价的基本公式为:

$$B = W \cdot R = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n) \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

其中  $B$  表示评判结果向量的决策集, $W$  为模糊集中各子集的权重向量, $R$  为经过模糊变换后的模糊评价矩阵。把一级评价结果  $B_i$  作为二级评价因素集,进行二级综合评价;将  $B$  归一化后按最大隶属度原则进行评价,得出结论。

## 3 陈家寨研究区治理效益综合评价

### 3.1 各效益评价指标数据收集

采取调查收集与实地调查相结合的方式获取研究区相关数据资料,通过收集和查阅研究区相关统计资料和文献,从文献、档案、报纸以及各种历史资料等社会信息中去采集研究区综合治理效益评价的必要资料与报道。2008 年和 2013 年经济效益和社会效益各指标数据来自研究区入户调查和社会经济统计资料。林草覆盖率和石漠化面积比例来自普定喀斯特生态系统观测站 2008 年及 2013 年的监测资料,陈家寨研究区岩石类型、土壤类型均与普定县陈旗小流域类似,土壤侵蚀模数采用彭韬等<sup>[21]</sup>在普定县陈旗喀斯特小流域样地的已有监测资料,采用空间代替时间的方式,使用该研究中的坡耕地和复合植被的土壤侵蚀模数替代 2008 年及 2013 年的土壤侵蚀模数。2008 年和 2013 年各指标值见表 2。从表 2 可以看出,经过综合治理,研究区社会经济得到了发展,生态环境明显改善。由于在洼地沟谷地带发展高效山地农业,种植辣椒、秋葵、何首乌、半夏、丹参等经济作物,人均收入和劳动生产率大幅提升,资金产投比和土地生产率提升明显,农产品商品率有所增加。研究区山地坡面部分种植了柏树林、柏树一车桑子混交林、香椿林、构树林、梨树林、核桃林、枇杷林等,林草覆盖率有所提高,土壤侵蚀模数和石漠化面积比例减少。贫困发生率、农村恩格尔系数和文盲率有所下降。

### 3.2 评价指标基准值和标准化值的确定

进行模糊综合评估要设定比较标准,评价指标的标准值指评价基准值和理想值。基准值是评价指标对于特定时间上一定范围总体水平的参照值,理想值或目标是研究区在经过某一时段的综合治理之后预计将要达到的值或理论上的最优值。由于喀斯特石漠化综合效益体系中的评价标准尚难统一,在参考国家有关标准和前人研究成果的基础上,结合专家意见以一个年份作为基准进行评估,测算评估的年度综合指数并进行比较。本研究以研究区项目实施之前

表2 研究区评价指标实际值和标准化值

Table 2 Actual values and standardization values of evaluation indexes in the study area

评价效益指标	2008年		2013年		
	实际值	标准化值	实际值	标准化值	
经济效益	农民人均纯收入/元/人	2 300	0.31	4 100	0.66
	资金产投比	2.9	0.45	3.3	0.65
	土地生产率/元/公顷·年	10 500	0.19	14 400	0.69
	劳动生产率/元/(劳·日)	7.7	0.18	14.7	0.65
生态效益	林草覆盖率/%	29.4	0.24	37.8	0.45
	土壤侵蚀模数/t/km <sup>2</sup> ·a	7.9	0.40	2.24	0.83
	石漠化面积比例/%	60	0.50	48	0.8
社会效益	贫困发生率/%	36.1	0.38	34.4	0.45
	农村恩格尔系数	52	0.47	48	0.71
	文盲率/%	38	0.07	34	0.20
	农产品商品率/%	15	0.09	40	0.55

的2008年数据确定为基准值,其数据来源主要是该区统计年鉴、文献参考资料、专项研究材料、专家咨询以及某些指标的间接计算。理想值取值的高低对评价结果的影响程度十分明显,理想值确定依据通常遵循以下标准:(1)客观标准:指在理想条件下整个系统可以达到的最高或最低值,如资金产投比。(2)社会规范标准:评价标准参照国家和省市有关工作文件和要求,尽量与目标预计的先进水平表示,如石漠化面积比例、农民人均纯收入、贫困发生率、文盲率、林草覆盖率、土壤侵蚀模数、恩格尔系数、劳动生产率、农产品商品率。

农民人均纯收入应与所在地域为目标,基准值来自治理前研究区统计资料,理想值数据参照安顺市2013年社会经济发展公报的数据。资金产投比基准值一般等于2,否则农业生产将无法维持,理想值取为基准值翻一番的数作为目标。劳动生产率、土地生产率基准值数据来自治理前土地产值的平均水平,理想值根据研究区预期所能达到的产值确定。石漠化面积比例和林草覆盖率基准值和理想值分别参照喀斯特土地石漠化现状评价等级强度和轻度石漠化岩石裸露率和植被覆盖率区间的中间值<sup>[8]</sup>。土壤侵蚀模数基准值结合研究区治理前实际情况确定,理想值采用彭韬等<sup>[21]</sup>在普定县陈旗喀斯特小流域中的幼林的土壤侵蚀模数。文盲率和恩格尔系数基准值、理想值的确定依据是研究区相关资料,同期相关统计年鉴和社会经济发展公报。贫困发生率基准值根据研究

区治理前实际情况确定,理想值是参考2013年国务院扶贫办所公布的贵州数据。农产品商品率理想值参考贵州省重点农产品批发市场建设发展规划,由于研究区在治理前农户基本自给自足,本研究将其基准值定为10%。各指标的基准值和理想值见表3。

表3 治理效益综合评价指标基准值和理想值

Table 3 Reference and ideal values of evaluation indexes for comprehensive management

评价指标	基准值	理想值
农民人均纯收入/元/人	740	5 800
资金产投比	2	4
土地生产率/元/公顷	9 000	16 800
劳动生产率/元/(劳·日)	5	20
林草覆盖率/%	20	60
土壤侵蚀模数/t/km <sup>2</sup> ·a	13.1	0.05
石漠化面积比例/%	80	40
贫困发生率/%	45	21.3
农村恩格尔系数	60	43
文盲率/%	40	10
农产品商品率/%	10	65

### 3.3 效益评价值的计算

利用前文所述两类函数,依据评价标准值对2008年和2013年各指标实际值标准化即确定其隶属函数(表2)。

运用模糊综合评价的基本模型  $B_i = W_i \cdot R_i$  单因

素评价,式中  $W_i$  为经济效益、生态效益和社会效益各效益评价指标的权重向量;评价矩阵  $R_i (i=1, 2, 3)$  为指标层各效益评价指标的实际值按隶属函数归一化计算而得。再用公式  $B=W \cdot R$  通过模糊矩阵合成进行因素的综合评价。本文将经济效益、生态效益、社会效益和综合效益评价结果按得分划分为 4 个等级(优、良、中、差)。模糊综合评价结果见表 4。

对项目实施前的 2008 年:

对经济效益评价为:  $B_1 = W_1 \cdot R_1 = (0.585,$

$$0.102, 0.246, 0.067) \times \begin{pmatrix} 0.31 \\ 0.45 \\ 0.19 \\ 0.18 \end{pmatrix} = 0.28$$

对生态效益评价为:  $B_2 = W_2 \cdot R_2 = (0.105,$

$$0.258, 0.637) \times \begin{pmatrix} 0.24 \\ 0.40 \\ 0.50 \end{pmatrix} = 0.45$$

对社会效益评价为:  $B_3 = W_3 \cdot R_3 = (0.370,$

$$0.354, 0.199, 0.076) \times \begin{pmatrix} 0.38 \\ 0.47 \\ 0.07 \\ 0.09 \end{pmatrix} = 0.33$$

将 C 层的生态效益、经济效益和社会效益的评价值  $B_i (i=1, 2, 3)$  作为高层次 B 层的模糊评价矩

阵 R, 则 B 层综合效益的评价为:

$$B = W \cdot R = (0.528, 0.333, 0.140) \times$$

$$\begin{pmatrix} 0.28 \\ 0.45 \\ 0.33 \end{pmatrix} = 0.35$$

对项目实施后的 2013 年:

对经济效益评价为:  $B_1 = W_1 \cdot R_1 = (0.585,$

$$0.102, 0.246, 0.067) \times \begin{pmatrix} 0.66 \\ 0.65 \\ 0.69 \\ 0.65 \end{pmatrix} = 0.67$$

对生态效益评价为:  $B_2 = W_2 \cdot R_2 = (0.105,$

$$0.258, 0.637) \times \begin{pmatrix} 0.45 \\ 0.83 \\ 0.80 \end{pmatrix} = 0.77$$

对社会效益评价为:  $B_3 = W_3 \cdot R_3 = (0.370,$

$$0.354, 0.199, 0.076) \times \begin{pmatrix} 0.45 \\ 0.71 \\ 0.20 \\ 0.55 \end{pmatrix} = 0.50$$

$B = W \cdot R =$

$$(0.528, 0.333, 0.140) \times \begin{pmatrix} 0.67 \\ 0.77 \\ 0.50 \end{pmatrix} = 0.68$$

表 4 治理效益综合评价

Table 4 Evaluation values of comprehensive control benefits

评语	经济效益		生态效益		社会效益		综合效益	
	2008 年	2013 年						
优(0.8~1)								
良(0.70~0.79)				0.77				
中(0.60~0.69)		0.67						0.68
差( $\leq 0.59$ )	0.28		0.45		0.33	0.50	0.35	

由表 4 可知,经过石漠化综合治理之后,研究区综合效益评价分值由 0.35 提高到 0.68,提高了近 1 倍,评价等级由“差”到“中”,从评价效益的分数可以看出经济效益 > 生态效益 > 社会效益,其中经济效益增长的幅度最大,其分值由 0.28 提高到 0.67,这主要得益于利用道路积蓄雨水、修建集水池机耕道等抗旱设施,这种蓄水模式可以涵养水资源,强化水源补

给,为发展经果林种植和生产耗水量大的农产品提供了很大帮助,这说明研究区的表层水资源高效利用与调蓄技术的使用对该区生态恢复和经济社会的发展起到了重要作用。生态效益由“差”转为“良”,分值由 0.45 提高到 0.77,得益于高效山地农业的发展和坡面的林分改造。社会效益的增长幅度最小,分值由 0.33 提高到 0.50,仍然处于“差”的等级,虽然提高最

不明显,但是已经向好的趋势发展。研究区的管理部门和当地政府通过向当地农户宣传项目政策,加强了农户的环境治理和环境保护的意识,逐步改变农户保守的发展观念,开始由自给自足的自然经济向山地高效可持续发展农业转变。

#### 4 结论与讨论

对陈家寨小流域研究区的综合评价结果表明,经过石漠化综合治理之后,经济效益评价等级由“差”变成了“中”,生态效益由“差”变成了“良”,社会效益仍然处于“差”,但有小幅提升,综合效益评价分值由“差”到“中”,评价结论与研究区的实际情况相符。区内集雨蓄水灌溉系统的建设实现了水资源的高效利用,缓解了喀斯特地区临时性干旱对高效山地农业发展的瓶颈,提升了研究区人均收入和劳动生产率;区内山地坡面通过林分改造和经果林种植实现了水源涵养和水土保持。由于区内治理项目实施时间不长,社会效益在短期内因其影响具有间接性和滞后性没有达到理想的状态,但随着治理进程的推进,其效益会逐渐凸显。随着生态环境与人类经济发展的矛盾加剧,人们对生态环境的高度重视,生态效益在综合效益体系中的地位不断上升并成为效益体系的主体,而经济、社会效益会逐渐成为生态效益的补充和实现形式。

本研究在选用数据时,经济和社会指标的数据主要自于研究区所在村的资料和实地调研材料,另外还有一些基础数据,如林草覆盖率,石漠化面积比来自普定喀斯特生态系统观测站,由于土壤侵蚀模数缺乏实地监测数据,参考和引用了与研究区情况类似的陈旗小流域的已有观测数据。模糊综合评价的基准值以当地治理前几年的统计资料为参考,指标的理想值主要通过参考同期贵州统计年鉴、社会发展公报以及相关喀斯特石漠化综合防治规划研究确定。由于数据的标准不一,会产生误差,要充分考虑石漠化评价的尺度问题,不同尺度上的石漠化评价应根据数据获取的可行性而有所区别,其次选用的评估方法不同则评价结果也有所差异,如何针对不同尺度评价范围选择适合的评价方法,还有待于今后进一步深入研究。

#### 参考文献

- [1] 王世杰. 喀斯特石漠化: 中国西南最严重的生态地质环境问题[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2003, 22(2): 120-126.
- [2] 王世杰. 喀斯特石漠化概念演绎及科学内涵的探讨[J]. 中国岩溶, 2002, 21(2): 101-104.
- [3] 苏维词, 周济祚. 贵州喀斯特山地的“石漠化”及防治对策[J]. 长江流域资源与环境, 1995, 4(2): 177-182.
- [4] 蔡运龙. 中国西南岩溶石山贫困地区的生态重建[J]. 地球科学进展, 1996, 11(3): 602-606.
- [5] 张军以, 戴明宏, 王腊春, 等. 生态功能优先背景下的西南岩溶区石漠化治理问题[J]. 中国岩溶, 2014, 33(4): 464-472.
- [6] 蒋忠诚, 李先琨, 覃小群, 等. 论岩溶峰丛洼地石漠化的综合治理技术: 以广西平果果化示范区为例[J]. 中国岩溶, 2008, 27(1): 50-55.
- [7] 胡宝清, 陈振宇, 饶映雪. 西南喀斯特地区农村特色生态经济模式探讨: 以广西都安瑶族自治县为例[J]. 山地学报, 2008, 26(6): 684-691.
- [8] 熊康宁, 黎平, 周忠发, 等. 喀斯特石漠化的遥感: GIS 典型研究[M]. 北京: 地质出版社, 2002.
- [9] 李先琨, 吕仕洪, 蒋忠诚, 等. 喀斯特峰丛区复合农林系统优化与植被恢复试验[J]. 自然资源学报, 2005, 20(1): 92-98.
- [10] 戴明宏, 张军以, 王腊春, 等. 西南岩溶小流域农业可持续发展优化模式研究[J]. 中国岩溶, 2015, 34(3): 254-259.
- [11] 白晓永, 熊康宁, 杨龙, 等. 喀斯特石漠化山区的水土流失及防治模式: 以贵州省镇宁县为例[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2005, 23(4): 34-38.
- [12] 罗林, 王兴明, 孟天友, 等. 喀斯特山区梯田与小型水工程集成配套的优化模式研究[J]. 中国水土保持, 2009, (3): 41-44.
- [13] 曾馥平, 王克林. 桂西北喀斯特地区 6 种退耕还林(草)模式的效应[J]. 农业生态环境, 2005, 21(2): 18-22.
- [14] 张喜, 崔迎春. 喀斯特山地退耕还林工程生态分区与适生模式筛选[J]. 贵州林业科技, 2005, 33(2): 46-52.
- [15] 张凤太, 苏维词. 重庆三峡库区岩溶山区乡村生态农业发展模式与对策[J]. 农业现代化研究, 2007, 28(2): 214-217.
- [16] 王克林, 李文祥, 李作威, 等. 提高异地扶贫开发科技含量促进环境移民区域可持续发展: 桂西北喀斯特地区异地扶贫开发可持续发展研究[J]. 农业现代化研究, 1998, 19(6): 337-341.
- [17] 左兴俊, 左太安, 徐树建. 贵州省典型喀斯特石漠化治理模式效益评价研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(28): 15792-15795.
- [18] 杨洁. 喀斯特生态环境治理综合效益评价研究[D]. 贵州师范大学, 2006.
- [19] 王德炉, 喻理飞, 熊康宁. 喀斯特石漠化综合治理效果的初步评价: 以花江为例[J]. 山地农业生物学, 2005, 24(3): 233-238.
- [20] 苏维词, 杨华. 典型喀斯特峡谷石漠化地区生态农业模式探析[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(4): 217-220.
- [21] 彭韬, 杨涛, 王世杰, 等. 喀斯特坡地土壤流失监测结果简报[J]. 地球与环境, 2009, 37(2): 126-130.

## 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

DU Xuelian<sup>1,2</sup>, WANG Shijie<sup>2,3</sup>, XIONG Qianghui<sup>1</sup>, PENG Tao<sup>2,3</sup>,  
CHEN Anyun<sup>2,3</sup>, ZHANG Lin<sup>2,3</sup>, CAI Xianli<sup>2,3</sup>

(1. School of Economic, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang, Guizhou 550025, China;  
2. Puding Karst Ecosystem Research Station, Chinese Academy of Sciences, Puding, Guizhou 562100, China;  
3. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550002, China)

**Abstract** The Chenjiashai catchment is located on the right bank of the Sancha river, the upper reaches of Wujiang river, northeast of Puding county, Anshun City, Guizhou Province, about 8.5 km to Puding county. Its highest elevation is 1,485 m, and the area is characterised by typical peak-cluster depression landforms in the karst plateau of central Guizhou Province. Based on the Puding karst ecosystem observation and research station of the Chinese Academy of Sciences (CAS), the slope water system facilities including road surface water collection, ditch diversion and water storage pool, which rely on the water conservancy technology and networked micro-irrigation technology, were constructed in the Chenjiashai catchment.

In order to improve the reliability and scientificity of comprehensive control measures, and to provide scientific basis for the government to make macro policy decision for the karst rocky desertification control, the effect of comprehensive control in the Chenjiashai catchment was evaluated by establishing an index system and fuzzy comprehensive evaluation method. The data of environmental, economic and social indicators before and after the comprehensive control show that the social economy has been developed and the ecological environment improved obviously after comprehensive management in the study area. Due to the development of high-efficiency mountainous agriculture by planting *Capsicum annuum*, *Abelmoschus esculentus* L. Moench, *Fallopia multiflora* (Thunb.) Harald, *Pinellia temata* (Thunb.) Breit. and *Salvia miltiorrhiza* Bge. in valleys, the per capita income, labor productivity, capital investment ratio and land productivity have been enhanced greatly. The commodity ratio of agricultural products and the coverage of forest and grass increased, with the soil erosion modulus and rocky desertification area decreased through the forest transformation on slopes. Poverty incidence, rural Engel coefficient and illiteracy ratio declined. According to the fuzzy comprehensive evaluation method, after the comprehensive control, the economic benefit level turned from "poor" to "medium", ecological benefit level turned from "poor" to "good", social benefit level remains "poor", and the comprehensive evaluation level turned from "poor" to "medium", which suggests that the comprehensive control of the karst rocky desertification in Chenjiashai catchment has been to a certain extent successful. The economic benefit increased at the highest rate, which was benefited from the drought-resisting facilities as the use of road surface water and ponding water for irrigation purpose in the study area. The high-efficient usage of water resources and flood storage technology in the study area have played a model role in drought resistance and mountain efficient agriculture development in karst areas.

**Key words** karst rocky desertification, comprehensive control, fuzzy comprehensive evaluation, Chenjiashai catchment

(编辑 黄晨晖)