

毕节石桥小流域水土保持综合治理生态监测与效益评价

熊康宁¹, 王恒松², 刘云³

(1. 贵州师范大学 中国南方喀斯特研究院, 贵阳 550001;

2. 黔东南民族职业技术学院, 贵州 凯里 556000; 3. 贵州财经学院, 贵阳 550004)

摘要:为及时准确地了解喀斯特生态环境的质量状况和变化原因,调控生态环境保护措施,避免其进一步恶化,选择毕节石漠化综合治理区——毕节石桥小流域进行 4 a 的连续生态监测,分析实施水土保持措施的综合治理费用及其所带来的经济、生态和社会效益。监测结果表明:水土保持措施实施后,土壤肥力增加,土壤结构得到改良,林草植被覆盖度提高,局地小气候得到改善。土壤侵蚀深度减小,水土流失得到有效控制,生态系统功能发挥效应,经济效益为 2 215.2 万元,生态效益为 3 452.53 万元,社会效益显著。对毕节石桥小流域水土保持效益分析表明,在喀斯特地区实施综合治理取得了经济、生态和社会三方面效益的统一,实现了流域生态良性循环,水土保持治理综合效益非常显著,项目切实可行。

关键词:水土保持;生态监测;生态效益;效益评价;石桥小流域

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)04-0010-06

Ecological Monitoring and the Evaluation on the Benefits of Comprehensive Management for Soil and Water Conservation in Shiqiao Watershed of Bijie City, Guizhou Province

XIONG Kang-ning¹, WANG Heng-song², LIU Yun³

(1. Institute of South China Karst, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China;

2. College of Ethnic Minority Profession Technology, Guizhou Southeast, Kaili, Guizhou

556000, China; 3. Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550004, China)

Abstract: In order to find out the quality and changing causes of karst ecological environment, and regulate protective measures that prevent it further deterioration, integrated management of desertification in Bijie City was choosed to monitor the ecological benefits. In Shiqiao watershed of Bijie City, ecological monitoring has carried out four years. The results showed that the soil fertility, soil structure, vegetation coverage and microclimate had been improved after comprehensive control for soil and water conservation. Meanwhile, soil erosion was effectively controlled because of ecosystem functions playing its positive effect, and economic profit of 22.15 million Yuan and ecological benefits of 34.52 million Yuan were obtained, respectively. The benefit analysis showed that the integration of economic benefit, ecological benefit and social benefit were realized and watershed virtuous ecological circle was achieved. We can finally gain a conclusion that the comprehensive benefit of management for soil and water conservation is highly significant and project is feasible.

Key words: soil and water conservation; ecological monitoring; ecological benefits; benefit evaluation; Shiqiao watershed

水土流失是喀斯特地区目前所面临的重大环境问题之一,由水土流失导致的土地石漠化、使土地生产力下降,地表植被覆盖率锐减、水源涵养能力削弱、地表水源泉枯竭、而且导致土地资源丧失、粮食减产,

甚至危及到人类的生存。贵州不仅是西南喀斯特核心地带,喀斯特分布面积占全省面积的 73.8%^[1],还是全国土壤侵蚀最严重的地区之一。据资料统计:2005 年,全省水土流失总面积为 7.3 万 km²。喀斯

收稿日期:2011-08-31

修回日期:2011-12-28

资助项目:贵州省科技计划课题“贵州喀斯特石漠化生态系统综合整治技术与模式的研究与示范”(黔科合 S 字[2007]1060);“贵州喀斯特石漠化综合防治工程技术研究中心建设”(黔科合社 J 字[2008]4002 号)

作者简介:熊康宁(1958—),男,贵州省威宁县人,教授,主要从事喀斯特与洞穴、资源与环境及石漠化治理等方面的研究。E-mail: xiongkn@163.com

特地区环境生态问题已成为当前国际地学研究的焦点之一。近十几年来,国内外科研机构不少地学工作者对此课题进行了大量研究,获得了许多有意义的研究成果^[2-4]。学者们对贵州喀斯特地区开展的水土流失研究集中在喀斯特分布区的土壤侵蚀现状^[5-12]、水土流失防治及生态恢复措施建立,为喀斯特山区土地资源的可持续利用和环境的改善起到了重要的作用。但对喀斯特环境水土保持综合治理的生态监测及效益评价等方面的研究尚不多见,因此本文以贵州毕节石桥小流域石漠化生态综合治理区为研究对象,重点研究喀斯特生态建设过程中水土保持生态监测及效益问题,为喀斯特地区及其类似环境进行生态综合治理,促进当地经济社会建设和可持续发展提供理论参考。

1 小流域概况

石桥小流域位于毕节市东南部的鸭池镇和梨树镇境内,距离市区 13 km,总面积 41.52 km²,喀斯特面积占总面积的 63.47%,其中无石漠化面积占总面积的 17.32%,潜在石漠化面积占总面积的 21.51%,石漠化面积占总面积的 24.64%。石漠化土地中,轻度、中度、强度石漠化面积分别占土地总面积的

19.16%,4.17%,1.31%。

该区属亚热带湿润季风气候区,流域内年平均气温 14.03℃,≥10℃的积温 4 166℃,平均日照时数 1 377.7 h,无霜期 258 d。该流域年均降雨量 863 mm,主要集中在 7—9 月,占全年总降雨的 52.4%。植被为亚热带常绿阔叶林,原生植被多被破坏,多为次生林,大部分分布在山坡上部。野生植被是以刺梨、救军粮、杜鹃为主的藤、刺、灌丛及以青杠、松、桦木、杉木为主的用材林。人工造林主要为零星分布的桃、李、梨、花椒、杜仲等。小流域地貌属中山类型区,地势起伏大,最高海拔 1 742.3 m,最低海拔 1 425 m,相对高差 317.3 m。流域内喀斯特地貌广泛发育,地表水下渗强烈,地表旱灾较为严重。土壤类型主要为黄壤土及紫砂土,在岩溶洼地和山间平地有水源的地方分布少量水稻土,土层较薄。2005 年底小流域内总人口 21 298 人,人口密度为 513 人/km²,人地矛盾尤为突出。植被覆盖率为 5.6%,植被盖度为 23.54%,土地利用极不合理,生产用地占总土地面积的 63.1%,且坡耕地多,占总土地面积的 36.9%(表 1)。耕作方式落后,部分坡耕地因山高坡陡,水土流失非常严重,逐渐变为石旮旯土,耕作难度越来越大(表 2)。

表 1 毕节石桥小流域土地利用现状

土地类型	水田	旱地	有林地	灌木林地	其他林地	草地	河、塘水面	居民点、公共用地	裸岩石砾地	合计
面积/km ²	2.00	19.98	5.13	9.25	1.26	0.96	0.20	2.29	0.45	41.52
百分比/%	4.81	48.12	12.35	22.31	3.03	2.31	0.49	5.51	1.07	100

表 2 毕节石桥小流域水土流失现状

土地类型	面积/km ²	百分比/%
微度侵蚀	12.56	30.26
轻度侵蚀	12.59	30.33
中度侵蚀	9.45	22.75
强度侵蚀	4.81	11.59
极强度侵蚀	2.11	5.08
合计	41.52	100.00

在毕节石桥小流域,选择具有代表性的 23 个径流小区作为治理措施实施后的水土流失监测对象,对小流域不同的样地不同治理模式的生态效益进行监测(表 3)。

2 监测内容和试验方法

水土流失监测的主要内容及方法如下:一是植被状况监测,包括植被类型、植物群落数量、生物多样性等,采用样方调查法;样方面积为 20 m×10 m,每个样方分为 4 个 10 m×10 m 测定乔木层,每个 10 m×

10 m 的样方中测 1 个 5 m×5 m 的灌木层样方,1 个 2 m×2 m 的草本层样方,记录项目包括乔木的高度、胸径和冠幅;灌木和草本的高度、盖度、株数;生境因子,如海拔、坡度、坡向、土壤类型等^[13]。二是土壤性状监测,包括土壤结构、水分、密度、孔隙度等物理性质指标等,采用环刀浸水法测定土壤容重、孔隙度;用筛法和比重计速测法测量各级土壤颗粒含量。三是土壤蓄水保水监测,包括土壤层持水蓄水能力、土壤入渗过程及入渗量等,采用环法渗透法。四是土壤养分测定,包括有机质含量、全氮含量、全磷含量、全钾含量等。五是径流量及侵蚀量监测,包括地表径流量、土壤侵蚀量(侵蚀模数)等,采用径流小区法和侵蚀监测法。六是小流域小气候监测,包括空气干湿度、光照度、大气温度等,采用仪器测量法。

3 监测结果与分析

3.1 生物效应变化

在治理期间,随着不同工程及生态措施的布设,

小流域内各种植被的数量特征,如种类、总体个数、群落高度、平均冠幅等指标在 2006—2009 年呈增加趋势,尤其以草本生物量增长最快,强度石漠化土地、中度石漠化土地、轻度石漠化土地分别增加了 9,10,15 g/m²,说明在生态治理过程中,不同土地利用类型的植被群落建群种类数量特征趋于顺向演替,尤其是草

本和灌木增长最快,上述 3 类土地在 2006 年只有 6 种,2009 年分别增加了 2,3,5 种草被植物。研究区 2006—2009 年 4 a 的植被盖度分别为 23.5%,48.6%,62.31%,64.47%,表明进行生态治理后,退耕还林及其他配套措施的实施使得这一区域植被很快得以恢复,植被覆盖率有明显的提高。

表 3 毕节石桥小流域径流监测小区概况

小区 编号	设置 目的	小区规格/ (m×m)	集流池规格/ (m×m×m)	坡度/ (°)	坡向	坡位	土壤 类型	土层厚 度/cm	土地利用 方式
1	坡改梯	20×5	1.5×1.5×0.7	0	西偏北 30°	下坡	黄壤	100—120	耕地
2	经果林	20×10	1.3×1.3×1.2	18	西偏北 30°	下坡	黄壤	50—60	梯平地
3	坡度小区	10×2.5	0.5×0.5×0.6	40	南	中坡	黄壤	100—150	坡耕地
4	坡度小区	10×2.5	0.5×0.5×0.6	30	南偏西 10°	中坡	黄壤	100—150	坡耕地
5	坡度小区	10×2.5	0.5×0.5×0.6	15	南偏西 45°	下坡	黄壤	100—150	坡耕地
6	坡度小区	20×5	1.5×1.5×1.5	10	南偏西 45°	下坡	黄壤	100—150	坡耕地
7	坡度小区	20×5	1.5×1.5×1.5	5	南偏西 45°	下坡	黄壤	100—150	坡耕地
8	标准小区	10×2.5	0.5×0.5×0.6	5	南偏西 45°	中坡	黄壤	30—40	坡耕地
9	标准小区	10×2.5	0.5×0.5×0.6	5	南偏西 45°	中坡	黄壤	30—40	坡耕地
10	坡度小区	10×2.5	0.5×0.5×0.6	20	南偏西 45°	下坡	黄壤	100—150	坡耕地
11	坡度小区	10×2.5	0.5×0.5×0.6	25	南偏西 45°	下坡	黄壤	100—150	坡耕地
12	水保林	20×10	1.5×1.5×1.2	27	南偏西 45°	中坡	黄壤	20—40	荒山荒坡
13	坡长小区	2.5×25	1.6×0.8×0.9	15	北偏南 25°	下坡	黄壤	100—150	坡耕地
14	坡长小区	2.5×20	1.6×0.8×0.9	15	北偏南 25°	下坡	黄壤	100—150	坡耕地
15	坡长小区	2.5×15	1.6×0.8×0.9	15	北偏南 25°	下坡	黄壤	100—150	坡耕地
16	坡长小区	2.5×10	1×0.5×0.6	15	北偏南 25°	下坡	黄壤	100—150	坡耕地
17	坡长小区	2.5×5	1.×0.5×0.7	15	北偏南 25°	下坡	黄壤	100—150	坡耕地
18	荒山荒坡	20×5	1.5×1.5×1.2	26	北偏南 25°	下坡	黄壤	80—100	荒山荒坡
19	作物小区	20×5	1.5×1.5×1.5	15	北偏南 25°	下坡	黄壤	100—150	坡耕地
20	作物小区	20×5	1.5×1.5×1.5	15	北偏南 25°	下坡	黄壤	100—150	草地
21	梯土小区	20×5	1.5×1.5×1.2	26	东偏西 15°	下坡	砂壤	30—60	草地耕地
22	作物小区	20×5	1.5×1.5×1.4	15	东偏西 15°	下坡	砂壤	50—80	坡耕地
23	作物小区	20×5	1.5×1.5×1.4	15	东偏西 15°	下坡	砂壤	50—80	坡耕地

3.2 土壤效应变化

通过生态治理,2006—2009 年,不同土地类型的土壤有机质含量均呈现增加趋势,强度石漠化、中度石漠化、轻度石漠化分别增加了 23.59,35.61,28.06 g/kg;在生态治理过程中,由于大量种植的林草迅速从土壤中吸收大量的 N 素,土壤中全氮含量会先经历一个下降过程,然后随着治理时间的延长,林下小

环境的改善,植被的固氮作用,逐渐出现富集现象,从而出现逐渐上升的趋势。而全磷、全钾含量则表现为持续增长的趋势,不同等级石漠化的规律不明显,原因可能与全 N、全 P、全 K 分布不均有关。2009 年与 2008,2007,2006 年相比较,各等级石漠化全氮、全磷、全钾都有较大变化,表现为强度石漠化>中度石漠化>轻度石漠化>潜在石漠化(表 4)。

表 4 不同等级石漠化土壤全氮、全磷、全钾和有机质含量年际变化

石漠化 类型	全氮				全磷				全钾				土壤有机质含量			
	2006	2007	2008	2009	2006	2007	2008	2009	2006	2007	2008	2009	2006	2007	2008	2009
强度	2.15	2.03	2.23	2.46	0.45	0.51	0.88	0.89	7.5	8.6	8.9	8.8	12.9	18.66	33.72	36.49
中度	2.25	1.61	1.5	1.73	0.43	0.48	0.75	0.77	19.6	22.1	24.5	25.3	12.52	14.89	38.59	48.13
轻度	1.38	1.42	1.18	1.89	0.24	0.37	0.82	0.86	18.5	18.7	22.8	21.48	13.26	23.5	41.32	49.52
潜在	1.43	1.35	1.22	1.61	0.52	0.54	0.73	0.8	20.4	19.2	26.9	25.75	13.87	32.06	44.17	50.36
无	1.35	1.6	2.85	2.91	0.56	0.99	1.01	1.09	21.4	23.1	30.72	32.16	31.01	38.95	48.63	52.77

由于研究区开展生态治理,不同等级石漠化植被盖度逐年提高,植物根系对土壤的改造作用也逐渐增强,土壤孔隙度增加,土壤容重减小。强度石漠化、中度石漠化、轻度石漠化容重分别由 2006 年的 1.36, 1.34, 1.24 g/cm³ 降至 2009 年的 1.28, 1.28, 1.20 g/cm³, 土壤孔隙度增加的百分比分别达到 37.6%, 38.5%, 42.3%。土壤酸碱度对土壤养分存在的形态和有效性、土壤的理化性质、有机质的合成与分解、氮磷等营养元素的转化与释放,以及植物的生产发育都有很大的影响。在生态治理作用下,相应的配套措施使植被得到恢复,改善了土壤的 pH 值,土壤酸碱度向中性改善。

3.3 小气候效应变化

随着治理时间的推移,各等级石漠化样地植被盖度均得到不同程度的提高,系统开放性降低,光照直接进入生物群落的强度降低,使得群落系统温度降低,从而减少了水分扩散,空气湿度逐渐提高。年际变化上,2009 年比 2008 年、2007 年、2006 年各等级石漠化平均光照强度都有所下降,反映了随生态治理时间的深入,植被覆盖率的提高,生态系统更加稳定,植被结构更具层次性。不同土地类型气温的日变化表现为 4 月>8 月>12 月。年际变化同期比较 2009 年总体优于 2006 年,一般情况下,植被盖度、灌丛生物量、草本生物量、优势度等指标与林内气温日较差存在负相关,气温日较差的减小反映了因生态治理使得植被调节林内温度的能力增强,有效地减少了林内空气温度的变化。

不同土地类型植被覆盖率不同使得样地内空气相对湿度也有差异,日变化表现为早晨最大,午后最小;月份变化表现为 8 月>12 月>4 月,这与贵州雨季多集中在 6—9 月有关,喀斯特地区水文赋存具有二元结构,雨季的 8 月地表水补给地下水,旱季的 12 月地下水补给地表水,但到第二年 4 月地表和地下水的赋存总量则大幅下降。生态治理过程中,土壤结构和水分条件好转,土壤储热性能和导热性能也向良性化发展。各等级石漠化一天中 14:00 土壤温度最高,总体上土壤温度随土层深度增加呈下降趋势,表现为:5 cm>10 cm>15 cm>20 cm,变化为强度石漠化>中度石漠化>轻度石漠化>潜在石漠化,且差值都有所减少,反映了随着植被覆盖率的提高,植被对土壤温度的调节作用,降低了土壤的最高温度,提高了土壤的最低温度,同时,空气湿度、土壤结构及含水量等均有所改善,土壤上下层间热量传导更容易,即土壤导热率变大,减少了不同深度土壤间的温度差,有利于植被物理和化学过程的进行。

3.4 水土保持效应变化

监测显示,随着治理措施的落实,植被覆盖与植物生物量的增加减弱了地表径流,降低了土壤侵蚀量,生态系统整体处于比较稳定的状态,生态系统功能发挥效应。

4 生态效益分析及评价

水土保持项目的主要功能是保护土壤和涵养水源。小流域综合治理的效益可以归纳为经济效益、生态效益和社会效益三方面。根据现行国标(GB/T15774—1995)《水土保持综合治理效益计算方法》,参照前人对综合治理经济效益预测评价和投资效果分析以及计算方法等研究成果^[14-18],结合本研究的生态监测数据,采用有无水土保持项目对比法计算水土保持措施的生态效益。据此计算出小流域的经济效益和社会效益。

毕节石桥小流域水土保持措施是按照山顶封山育林、山腰大于 25°种植经果林、林下种草种药、山脚水利水保坡改梯,坡面建坝蓄水拦泥的总体方略进行,形成从坡到沟,从沟头到沟口的综合防治体系。综合治理期限分为近期 5 a(2005—2009),中期 10~20 a,远期 30 a。规划治理面积 41.52 km²,其中坡改粮(果)54.90 hm²,经果林 73.5 hm² 退耕还林 99.77 hm²,封禁治理 110.12 hm²,水保林 42.42 hm²,粮草间作 30 hm²,坡面沉沙池 45 座,谷坊 2 座,蓄水池和水井 753 口等工程。自 2005 年开始实施近期 5 a 规划,到 2009 年底各项措施都已经落实到位,该流域水土保持综合治理工程共总投资约 490 万元,工程措施运行费按总投资的 5%,经计算年运行费为 24.5 万元。计算得到 20 a 项目总投资费用为 980 万元。

根据毕节主要农产品市场价格,以各项水土保持措施增产产品的经济效益计算为基础,从各项工程始效年开始计算,至效益期末结束,按上述治理面积计算,以货币定量表示,各项目年效益产量产值逐年计算累加。从 2006 年到 2025 年共计 20 a,以 2006 年为基准年,折现率为 12%。经计算各类水保措施的直接经济效益为 2 215.2 万元(表 5)。

表 5 石桥小流域水土保持措施经济效益指标

项目	生效时间/a	木材/ m ³	薪柴/ kg	果品/ kg	新增产值/ 万元
退耕还经果林	2		230	15000	882
坡改梯(粮/果)	2			20000	660.47
荒山造林	5	2.81	320		9.75
育封管护林	3	1.05	2750		14.1
沼气池					648.88

水土保持的生态效益前 1~3 a 为律定低效益阶段,4~7 a 为效益稳定增长阶段,5 a 以后为效益显著阶段^[19]。对综合治理区的生态效益定量分析,以中期规划(20 a)为例,从保土价值和蓄水价值两方面来评估。保土价值估算从保持土壤肥力、减少土地废弃、减轻江河湖库淤积等几方面估算水土保持工程措施生态服务功能价值。喀斯特石漠化地区水土流失严重,土壤肥力降低,大量的有机质被带走。由于生态恢复而获得的保持土壤肥力的生态服务功能价值占绝大多数,据此可以计算保持土壤肥力潜在的生态经济价值作为保土价值。其计算公式为^[19]

$$E_r = \sum S \times C_i \times P_i \quad (i = N, P, K)$$

式中: E_r ——保持土壤肥力价值(万元/a); $\sum S$ ——水土保持措施减蚀保土量(万 t/a); C_i ——土壤中有氮、磷、钾含量; P_i ——氮、磷、钾的价格。

根据全国土壤普查结果,全国土地范围内,N 含量为 0.37%,P 含量为 0.108%,K 含量为 2.239%;结合当地实际情况,参照当年化肥平均市场价格,综合计算得到该项目的保土价值为 168.47 万元/a。

蓄水价值是利用得到的涵养水源的物质质量价值量乘以水的单位价格获得。按 2006 年当地自来水单价为 1.8 元/ m^3 计算,该项目的保水效益为 34.62 万元/a。石桥小流域水土保持项目的生态效益为保土价值和蓄水价值之和,即为 203.09 万元/a,2006—2025 年的 20 a 中以第 4 年后效益稳定增长(17 a)作估算,获得了石桥小流域生态效益总收益为 3 452.53 万元(表 6)。

随着喀斯特石漠化综合治理措施整体方略的深入推进,生态环境和交通条件得到改善,生态系统恢复功能加强,小流域林草覆盖度由治理前的 23.5% 到 2009 年的 64.47%,预计到治理期末可望达到 80% 以上。治理过程中的各项工程和生物措施的实施,形成了完整的防御体系,使全流域现有的水土流失得到初步治理,径流量、泥沙流失量得到控制,水土保持功能发挥效应,平均每年向下游减少输送泥沙 1.37 万 t。减轻洪涝灾害,改善农业生产条件,达到合理利用资源的目的。水源得到保持和涵养,生态环境有了较大的改善,土地利用率和生产率明显提高,土地利用方式趋于合理,农村产业结构得到合理的调整,土地利用产出逐年增加,当地居民生活水平逐年提高,到 2025 年治理期末,人均纯收入由治理前(2005 年)的 957 元将增加至 1 537 元。流域综合治理的总效益是经济效益、生态效益和社会效益之和为 5 667.73 万元。显示出了小流域的综合治理具有较

好的生态效益和社会效益,是一项惠民富民的系统工程。

表 6 石桥小流域水土保持措施生态效益指标表

项目	保蓄水效益定额/ ($m^3 \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)	蓄水效 益/ m^3	保土 效益/t
坡改梯	800	43920	2745
水池或水井	9.8	7379.4	—
坡面沉沙池	1	45	36
谷坊	10	20	200
水土保持林	420	17816.4	1696.8
经果林	460	79704.2	5198.1
粮草间作	420	12600	1050
育封管护林	280	30833.6	2753

5 讨论与结论

本文结合近年来关于贵州喀斯特石漠化综合治理区生态效益监测的研究成果^[20],及其水土保持综合治理工程技术和生态措施的实施,来探讨生态监测方法对喀斯特地区石漠化治理保持水土生态监测实施过程中的生态功能发挥的效应。在毕节石桥小流域进行生态效益监测过程中,综合考虑了地质地貌、气候、水文、土壤和生物等自然地理因子对生态效益的影响,从生物效应、土壤效应、小气候效应和水土保持效应等几方面对治理后的生态效益进行监测,分析了生态效益各因子的时间变化。通过 4 a(2006—2009 年)的水土流失综合治理,监测样地的植被生长状况良好,水土保持效益明显。植被群落数量特征、优势度随石漠化等级的减小而增大,物种多样性和均匀度降低,植被覆盖率有明显提高,从 2006 年的 23.5% 提高到 2009 年的 64.47%。尤其是草本植物对表层土壤的保护非常有效,固土保水作用明显,解决了一下雨坡面就产生土壤侵蚀的问题。植被覆盖度的提高,使得生态环境改善,林内系统温度降低,空气相对湿度均有提高,平均光照强度有所下降;夏季土壤温度降低,缩小了土壤温度纵深之差;土壤的孔隙度增加,土壤容重减小;土壤侵蚀模数总体呈下降趋势,由 2006 年的平均值为 0.864 mm/a 下降到 2009 年的平均值为 0.72 mm/a。从土地类型来看,土壤侵蚀深度表现为强度石漠化>中度石漠化>轻度石漠化>潜在石漠化>无石漠化。说明随着治理年限的延长,植被覆盖与植物生物量的增加,小气候和土壤理化性质得到了改善,土壤流失状况得到了改变,地表径流减弱,土壤侵蚀性降低,生态环境逐年好转,生态系统保水和保土能力逐步增强。

根据毕节石桥小流域石漠化综合治理过程的生态系统监测数据,综合分析研究了小流域内生态系统

恢复功能带来的生态服务功能。结果表明,随着治理措施的实施,生态功能发挥效益后,小流域的综合效益凸显,构建了新的水土保持型生态农业,小流域内水土流失量显著减少,农作物产量稳步增长,当地居民生活水平显著提高,生态环境明显改善,产生了较好的经济效益、生态效益和社会效益,综合治理效益显著。应用环境经济学的有关理论与方法对石漠化综合治理的效益进行了量化计算,以治理的中期规划(20 a)的有效发挥时间 17 a 计算出小流域水土保持治理的经济效益为 2 215.2 万元,生态效益为 3 429.58 万元,综合治理的总效益为 5 667.73 万元。总投资费用仅为 980 万元,水土保持产出经济净现值为 1 235.2 万元,实现了流域生态良性循环,水土保持综合治理效益非常显著,可以看出该水土保持综合治理项目合理可行。

致谢:杨正怀、张芳挺、周文龙等同学参加了野外监测、采样和实验测量,以及匿名审稿专家为完善本文提出的建设性意见,在此,表示诚挚的感谢。

参考文献:

- [1] 熊康宁,黎平,周忠发,等.喀斯特石漠化的遥感(GIS)典型研究:以贵州省为例[M].北京:地质出版社,2002.
- [2] 柴宗新.试论广西岩溶区土壤侵蚀[J].山地研究,1989,7(4):255-259.
- [3] 彭建,杨明德.贵州花江喀斯特峡谷水土流失状态分析[J].山地学报,2001,19(6):511-515.
- [4] 盛海洋,丁爱萍.水土流失的地质背景与水土保持问题[J].国土资源与环境,2002(4):30-33.
- [5] 张雅梅,熊康宁,安裕伦,等.花江喀斯特峡谷示范区土壤侵蚀调查[J].水土保持通报,2003,23(2):19-22.
- [6] 梅再美,熊康宁.喀斯特地区水土流失动态特征及生态效益评价:以贵州清镇退耕还林(草)示范区为例[J].中国岩溶,2003,22(2):136-143.
- [7] 龙俐,熊康宁,王代懿.贵州花江喀斯特峡谷水土流失及治理效果[J].贵州师范大学学报:自然科学版,2005,23(3):13-19.
- [8] 龙明忠,杨洁,吴克华.喀斯特峡谷区不同等级石漠化土壤侵蚀对比研究:以贵州花江示范区为例[J].贵州师范大学学报:自然科学版,2006,24(1):25-31.
- [9] 罗海波,钱晓刚.喀斯特山区退耕还林(草)保持水土生态效益研究[J].水土保持学报,2003,17(4):31-36.
- [10] 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,2002,11(5):462-467.
- [11] 高华端,李锐.贵州省地质背景下的区域水土流失特征[J].中国水土保持科学,2006,4(4):26-32.
- [12] 王恒松,熊康宁,刘云.喀斯特地区地下水水土流失机理研究[J].中国水土保持,2009(8):11-15.
- [13] 刘创民,李昌哲,苏云良,等.北京九龙山灌丛植被的物种多样性分析[J].林业科学研究,1994,7(2):143-148.
- [14] 涂兴文.水土保持效益计算方法几个问题的探讨[J].中国水土保持,1988(12):24-26.
- [15] 赵忠.应用灰色系统法预测任家溪小流域水土保持经济效益[J].中国水土保持,1993(7):43-47.
- [16] 郭轶群,赵文君.穆棱河流域水土保持综合治理经济评价[J].黑龙江水专学报,2003,30(4):33-34.
- [17] 何有华,孙浩峰.县域水土保持综合治理经济效益评价方法[J].中国水土保持,1997(7):25-27.
- [18] 刘斌,李宝山,郝中州.浅析黄河流域水土保持投资对区域经济的影响[J].中国水土保持,2000(12):35-36.
- [19] 党志良,林启才,史淑娟.水土保持综合治理效益分析与评价:以丹凤县陈家沟小流域为例[J].西北大学学报:自然科学版,2010,40(3):535-539.
- [20] 熊康宁,梅再美,彭贤伟.喀斯特石漠化生态综合治理与示范典型研究:以贵州花江喀斯特峡谷为例[J].贵州林业科技,2006,34(1):5-8.