

基于 GIS 查询的生态重建模式构建及其成本效益分析 ——以贵州省猫跳河流域为例^{*}

许月卿, 周东, 冯艳

(中国农业大学 资源与环境学院 土地资源管理系, 北京 100193)

摘要:我国西南喀斯特山区地形破碎,土层瘠薄,生态环境非常脆弱,通过社会投入对退化土地进行生态重建是实现生态、经济和社会可持续发展的必然途径。以贵州省猫跳河流域为案例区,以蓄水、治土、造林为核心,将生物、工程、技术措施相结合,在 GIS 技术支持下,通过对研究区土壤侵蚀状况及社会经济条件的查询,得到不同治理措施的面积及空间分布情况。各种治理措施面积为 98 232 hm²,占研究区面积的 31.52%。其中封禁治理占治理总面积的 28.1%,荒山造林占治理总面积的 16.4%,退耕还林还草占治理总面积的 6.78%,6°~25°坡耕地治理占治理总面积的 48.72%。在此基础上,分析了各种治理措施的成本和效益,探讨了重建模式的可行性,为指导当地生态重建和实现土地资源可持续利用提供科学依据。

关键词:生态重建;成本效益;GIS;空间查询;贵州猫跳河流域

中图分类号:X171.1;TP79

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2010)03-0189-07

Establishment of Ecological Rehabilitation Based on GIS and Analysis of Its Cost and Benefit - A Case Study of Maotiao River Watershed, Guizhou Province

XU Yue-qing, ZHOU Dong, FENG Yan

(Department of Land Resources Management, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: Owing to the extremely poor soil cover and fragmentized terrain and physiognomy, the geological environment in the karst region of southwestern China is extremely fragile. It is necessary for ecological rehabilitation to achieve ecological, economic and social sustainable development through social investment. Taking Maotiao River watershed as a case study, with water, governance territory, afforestation as the core, combined biological, engineering, technical measures, the area and spatial distribution of different ecological rehabilitation were achieved through inquiring about the soil erosion and social-economic condition with a GIS environment in the study area. The total area with control measures amounts to 98 232 hm², accounting for 31.52% of the study area. Among the total area with control measures, closing hillside for erosion conservation accounts for 28.1%, afforestation on barren mountains accounts for 16.4%, farmland returning to forest and grassland accounts for 6.78%, and slope cultivated land with 6°~25° accounts for 48.72%. In addition, the cost and benefit of ecological rehabilitation were analyzed. This paper provides a scientific basis for ecological rehabilitation and sustainable use of land resource of the study area.

Key words: ecological rehabilitation; cost and benefit; GIS; spatial inquiry; Maotiao River watershed of Guizhou province

^{*} 收稿日期:2009-12-01

基金项目:国家自然科学基金项目“西南喀斯特山区不同土地利用格局下的土壤侵蚀经济损失评估”(40701091)

作者简介:许月卿(1972-),女,河北省定州市人,博士,副教授,主要从事土地利用变化与可持续利用、土地资源评价、土地利用规划等方面研究。E-mail:xmoonq@sina.com.

我国西南喀斯特地区地形破碎,土层瘠薄,生态环境非常脆弱,以土壤侵蚀为特征的土地退化成为喀斯特地区的主要环境退化^[1]。在人口增长和经济发展的压力下,让退化土地自然恢复的思路已不切实际,必须通过社会投入对退化土地进行生态重建,以实现生态、经济和社会相协调的可持续发展^[2]。近年来随着国家在西南喀斯特山区科研项目的开展和当地政府、企业和农户的努力探索,在实践中形成了一系列包括生物措施、工程措施、耕作措施、管理措施等途径的生态重建模式^[3-7]。生物措施主要是植树造林、封山育林并结合人工抚育进行林草恢复,让退化的生态系统逐渐恢复到原始状态。工程措施包括坡改梯、修建蓄水池、引水渠、小水窖等配套水利设施建设。耕作管理措施主要指培肥土壤、改善土壤条件与结构、改变耕作方式、实施横坡耕作种植与免耕耕作方法、改善灌溉条件等。西南喀斯特山区地形破碎,自然、社会、经济条件区域差异显著,其生态重建必须根据区域内的生态环境现状和自然、社会、经济状况,进行系统、科学的统一规划和治理^[8]。鉴于此,该文以贵州省猫跳河流域为案例区,针对喀斯特生态环境缺水、缺土、缺林的特点,以蓄水、治土、造林为核心,将生物、工程、技术措施相结合,在 GIS 技术支持下,通过对研究区土壤侵蚀状况及社会经济条件的查询,得到不同治理措施的面积及空间分布情况;在此基础上,分析各种治理措施的成本和效益,探讨重建模式的可行性,为指导当地的生态重建和实现土地资源可持续利用提供科学依据。

1 研究区概况

猫跳河流域位于贵州省中部,属长江水系,是乌江的一条主要支流,全长约 180 km。流域面积 3 116 km²,在行政辖区上涉及息烽、修文、清镇、贵阳市、平坝、西秀区和长顺 7 个县(市、区)。流域内地势南高北低,地形起伏较大,平均海拔 1 310 m,相对高差达 987 m。流域属于亚热带季风湿润气候,年平均气温 13.8℃,年均降雨量 1 300 mm。流域内地貌类型繁多,山地、丘陵、谷地、坝子、湖泊均有分布,是一个典型的喀斯特流域。流域内原生植被破坏殆尽,裸岩分布较广泛,较大的地势高差和较强的降水导致水土流失严重,深刻地影响着当地生态环境和农牧业生产条件。

2 数据来源与方法

基于 GIS 空间查询的生态模式构建涉及到研

究区土地利用图、土壤侵蚀图、坡度图、坡向图、距离村庄居民点、公路与河流的缓冲区等图件。从研究区 1:5 万地形图上获得河流、公路、坡度和坡向分布图,从研究区 2002 年土地利用现状图提取农村居民点分布图,在 GIS 技术支持下,生成研究区土地斑块距离农村居民点、公路与河流不同距离的缓冲区图。根据修正的土壤流失方程 RUSLE 模型,得到 2002 年土地利用现状格局下的土壤侵蚀空间分布图。在 ArcInfo 9.0 软件平台下,将上述图件均转成 30 m × 30 m 的栅格图。本文土地利用图、土壤侵蚀图、坡度图、坡向图、距离农村居民点、公路与河流的缓冲区图分别记为:land、erosion、slope、aspect、countrysidedis、roaddis、riverdis。生态重建成本效益分析数据主要来自实地调查、相关文献资料以及流域生态规划报告等。

3 基于 GIS 的生态重建模式空间查询

3.1 查询原则

坚持全民规划、突出重点、先易后难、稳步推进的原则;坚持生态优先,兼顾生态、经济和社会效益,适地适树,分类经营,乔、灌、竹、草相结合的原则;人工促进封山育林坚持以“以封为主,人工促进,封育结合,提高成效”的原则;6°~25°坡耕地以“提高耕地质量、增加耕地数量、防止水土流失”为主攻方向,使基本农田建设达到“方便耕作、保水保肥、抗旱排涝(洪)、稳产增产”的要求,增加有效耕地面积。坚持生态重建模式空间不重叠原则,即查询到适合某一种生态重建模式的用地不再为其他生态重建模式占用。

3.2 生态重建模式空间查询条件与语句

(1) 封禁治理。对土壤侵蚀较严重的有林地、灌木林地、坡度在 25°以上立地条件差的荒草地以及裸岩山地进行封禁治理,使其逐渐恢复植被。封育方式采用全封,封育年限 5 a。查询条件语句:

Fengjinzhibili = con [erosion > 25 and landtype = 有林地 or erosion > 25 and land = 灌木林 and erosion > 50 and slope > 25 and land = 荒草地 or land = 裸岩, land]

式中:Fengjinzhibili——采取封禁治理的栅格;erosion——土壤侵蚀强度[t/(hm²·a)];landtype——土地利用类型;slope——坡度;land——土地利用图

(2) 荒山造林。对土壤侵蚀比较严重且坡度小于 25°、立地条件较好的荒草地进行植树造林,绿化荒山,提高植被覆盖率,以减小水土流失,改善生态

环境。查询条件语句：

Huangshanzaolin = con [erosion > 50 and slope < 25 ° and land = 荒草地 , land]

式中：Huangshanzaolin ——采取荒山造林的栅格；erosion、landtype、slope、land 同上。

(3) 退耕还林还草。对于大于 25 ° 的坡耕地全部退耕还林还草。其中在交通条件好、水源丰富、土壤侵蚀小、坡度较小、立地条件好、背风向阳且离村庄较近的地方种植果树和经济林,以提高农民经济收入。在土壤侵蚀较小且距离村庄、河流、公路较近的地方种草,发展养禽畜业。在土壤侵蚀较重、不易耕作、生产条件差、离村寨较远的地方种植水保林。查询条件语句：

Tuigeng = con [slpoe > 25 ° and landtype = 旱地 , land]

Fruit = con [erosion < 25 and road = 1 km and slope < 35 ° and town = 1 km , Tuigeng]

Ecoforest = con [erosion < 25 and road = 1 - 2 km and slope < 35 ° and town = 1 - 2 km , A]

Grass = con [erosion < 50 and slope < 35 ° and town = 3 km , B]

Shuibaolin = con [Isnull (B - Grass)]

式中：Tuigeng ——采取退耕还林还草的栅格；Guoshu ——种植果树林栅格；Ecoforest ——种植经济林栅格；Grass ——种草的栅格；Shuibaolin ——种植水保林的栅格；town = 1 km ——距离农村居民点 1 km；road = 1 ~ 2 km ——距离公路 1 ~ 2 km；A - Tuigeng - Guoshu 即退耕还林还草栅格 - 果树林栅格；B - A ——种草栅格；erosion、landtype、slope、land 同上。

(4) 坡耕地治理 (6 ° ~ 25 °)。6 ° ~ 25 ° 的耕地是贵州省基本农田的主要组成部分,应采取保护与整治并重的措施,改土培肥,改良作物品种,地膜覆盖,增加地表覆盖率,提高土地产出率。15 ° ~ 25 ° 坡耕地利用与整治主要是采取坡改梯工程措施,对坡面实行梯化,并配套小水池、引水渠、水窖等设施,建设高标准农田。同时对这部分土地进行土壤培育,改善土壤条件与结构,使跑水、跑土、跑肥的“三跑土”变成保水、保土、保肥的“三保土”。查询条件语句：

Pogengdi = con [slope > 6 ° and slope < 25 ° and landtype = 旱地 , land]

Pogaiti = con [erosion > 50 and slope = 15 ° - 25 ° and town = 1 km , Pogengdi]

Fruit = con [erosion < 25 and aspect > 67.5 and aspect < 292.5 and town = 1 km and road = 1 km and river = 1 km , A]

Baotu = con [Isnull (A - Fruit)]

式中：Pogengdi ——6 ° ~ 25 ° 坡耕地栅格；Pogaiti ——坡改梯栅格；Fruit ——果木林栅格；Baotu ——保土耕作栅格；A ——Pogengdi - Pogaiti；aspect ——坡向图 (东:67.5 ° - 112.5 °,东南:112.5 ° - 157.5 °,南:157.5 ° - 202.5 °,西南:202.5 ° - 247.5 °,西:247.5 ° - 292.5 °,西北:292.5 ° - 337.5 °)。

3.3 查询结果分析

根据上述组合查询条件,得到各种治理模式的面积 (表 1 和表 2)。各种治理措施面积总和为 98 232 hm²,占研究区面积的 31.52 %。其中封禁治理面积 27 606.44 hm²,占治理面积总和的 28.1 %;荒山造林面积 16 112.94 hm²,占治理措施总面积的 16.4 %;退耕还林还草面积 6 661.19 hm²,占治理措施总面积的 6.78 %;6 ° ~ 25 ° 坡耕地治理面积 47 851.43 hm²,占治理总面积的 48.72 %。

在采取封禁治理措施的地类中,有林地面积 1 351.19 hm²,占封禁治理面积的 4.89 %;灌木林地面积 3 323.56 hm²,占治理措施面积的 12.04 %;草地面积 5 576.75 hm²,占治理措施面积的 20.2 %;裸岩山地面积最大,占封禁治理面积的 62.87 %。荒山造林全部来自荒草地。在退耕还林面积中,种植果树林 616 hm²,经济林 483.88 hm²,分别占退耕还林面积的 9.25 %和 7.26 %,二者合计 16.51 %,符合国家规定的在退耕还林 (草) 中经果林不能大于 20 % 的标准。种草面积 667.75 hm²,占退耕还林 (草) 总面积的 10.02 %;水土保持林 4 893.56 hm²,占治理措施总面积的 73.47 %。在 6 ° ~ 25 ° 坡耕地治理面积中,坡改梯面积 1 1061.75 hm²,占坡耕地治理面积的 23.12 %;果树林面积 5 271.31 hm²,占坡耕地治理面积的 11.02 %;保土耕作 31 518.38 hm²,占坡耕地治理面积的 65.86 %。

表 1 治理措施面积及比例

治理措施	栅格/个	面积/hm ²	占治理面积比例/%	占研究区面积比例/%
封禁治理	441703	27606.44	28.10	8.86
荒山造林	257807	16112.94	16.40	5.17
退耕还林	106579	6661.19	6.78	2.14
6 ° ~ 25 ° 坡耕地	765623	47851.43	48.72	15.35
合计	1571712	98232	100	31.52

表 2 治理措施组成结构

重建措施	地类	栅格/个	面积/hm ²	比例/%
封禁治理	有林地	21619	1351.19	4.89
	灌木林	53177	3323.56	12.04
	草地	89228	5576.75	20.20
	裸岩	277679	17354.94	62.87
	合计	441703	27606.44	100.00
荒山造林	荒草地	257807	16112.94	100.00
	果木林	9856	616.00	9.25
	经济林	7742	483.88	7.26
	合计	106579	6661.19	100.00
退耕还林	种草	10684	667.75	10.02
	水保林	78297	4893.56	73.47
	合计	106579	6661.19	100.00
6°~25°	坡改梯	176988	11061.75	23.12
	果木林	84341	5271.31	11.02
	坡耕地	504294	31518.38	65.86
	保土耕作	504294	31518.38	65.86
合计	合计	765623	47851.44	100.00

4 生态重建模式成本效益分析

4.1 生态重建模式的成本分析

(1)封禁治理。封山育林需要结合人工抚育,通过人工补植增加植被覆盖率,尽快恢复植被系统。根据实地调查,适合当地进行补植的水保林树苗有:柳杉、马尾松、杉木、滇柏、旱莲等,单位面积封禁治理费用为 1 050 元/hm²,包括种苗费、设备费、劳务费及其它费用。流域封禁治理面积为 27 606.44 hm²,投资费用为 2 898.68 万元(表 3)。

表 3 封禁治理投资费用

费用	投资/万元	比例/%
种苗费	207.05	7.14
设施投资设备费	517.62	17.86
整地费	227.75	7.86
栽植费	165.64	5.71
管护费	1159.47	40.00
防火费	207.05	7.14
宣传费	124.23	4.29
其它费	289.87	10.00
合计	2898.68	100.00

(2)荒山造林。流域荒山造林选用的生态林有滇柏、马尾松、松杉、花椒、旱莲等树种,荒山造林用工日数为 135 工日/hm²,单位面积荒山造林投资费用为 750 元/hm²,包括种苗费、劳务费、病虫害防治及其它费用。流域荒山造林面积为 16 112.94 hm²,荒山造林投资费用为 1 208.47 万元,其中种苗费所占比例最大,占总投资费用的 46.2%(表 4)。

(3)退耕还林还草。退耕还林还草坚持生态优先的原则,退耕地种植生态林的树种主要有杉树、马

尾松、沙棘、刺槐、喜树、楸树、女贞等树种,其单位面积投资费用为 2 829 元/hm²,流域退耕地种植生态林的面积的 4 882.31 hm²,种植生态林投资费用为 499.59 万元(表 5)。

表 4 荒山造林投资费用

项目	投资/万元	比例/%
种苗费	558.31	46.2
林地清理用费:	65.26	5.4
整地挖坑用费	174.02	14.4
栽植用费:	96.68	8.0
抚育用费	157.10	13.0
管护用费	60.42	5.0
其它	96.68	8.0
合计	1208.47	100

表 5 生态林投资费用

项目	投资/万元	比例/%
种苗费	275.77	55.20
营造林费	149.88	30.00
其它	73.94	14.80
合计	499.59	100.00

流域种植经济林的树种有花椒、楠竹、杜仲、花椒等树种,种植密度为 1 950 株/hm²,考虑到实际耗损,种植密度按 2 145 株/hm²来计算,单位面积经济林投资费用为 2 829 元/hm²,研究区退耕地种植经济林 483.88 hm²,投资费用为 136.89 万元(表 6)。

退耕地种植果树林树种有板栗、布朗李、桃子、李子、杨梅等树种,种植密度 675 株/hm²,考虑到实际耗损,种植密度按 750 株/hm²来计算,单位面积退耕果树林投资费用为 4 050 元/hm²,包括种苗费、劳务费、肥料费等。研究区退耕地种植果树 616 hm²,投资费用合计总共为 249.48 万元(表 7)。

退耕地种草面积为 667.75 hm²,单位面积退耕地种草投资费用 1 500 元/hm²,研究区退耕种草投资费用为 100.16 万元。

按照国家规定,退耕还林工程由中央投资种苗补助费 750 元/hm²,补助粮食 2 250 kg/hm²,补助现金 300 元/hm²,补助年限生态林 8 a,经果林 5 a,种草 2 a,按粮食平均价格 1.4 元/kg 计算,则研究区种苗补助费为 499.59 万元,补助粮食折款 18 939.2 万元,补助现金 1 803.7 万元,总共补助 21 242.5 万元。

研究区退耕还林还草总投资费用为 22 228.62 万元,其中中央补助金占费用的 95.56%,生态林投资费用占总投资费用的 50.66%,其次是经济林,占总投资的 25.29%,果树林占 13.88%,种草占 10.15%(表 8)。

表 6 种植经济林技术指标及投资费用

种类	种苗/(株·hm ⁻²)		单位面积投资费用/(元·hm ⁻²)					投资/万元
	种植密度	按 10 %耗损率	种苗费	整地	打坑种植	肥料费	小计	
花椒、南竹、杜仲	1950	2145	429	600	750	1050	2829	136.89

表 7 种植果树林技术指标及投资费用

种类	种苗/(株·hm ⁻²)		单位面积投资费用/(元·hm ⁻²)					投资/万元
	种植密度	按 10 %耗损率	种苗费	整地	打坑种植	肥料费	小计	
板栗、布朗李、 杨梅、桃子、李	675	750	1500	600	750	1200	4050	249.48

表 8 退耕还林还草投资总费用

项目	投资/万元	比例/ %
果树林	136.89	1.12
经济林	249.48	0.62
种草	100.16	0.45
生态林	499.59	2.25
退耕补助金	21242.5	95.56
合计	22228.62	100

表 10 沼气池、水利设施投资费用

配套设施	单价	投资费用/万元
沼气池	1000 元/个	10000
蓄水池	2200 元/30m ³	660
机耕道	12500 元/km ²	625
引水渠	50000 元/km ²	500
排水沟	8000 元/km ²	800
合计		12585

(4) 坡耕地治理(6°~25°)。研究区 6°~25° 的坡耕地进行坡改梯面积 11 061.75 hm²,单位面积坡改梯投资费用为 7 500 元/hm²,则坡改梯投资总费用为 8 296.31 万元。种植果树面积 5 271.31 hm²,单位面积果树种植费用 4 050 元/hm²,果树总投资为 2 134.88 万元。

保土耕作包括种植绿肥、施用生石灰、秸秆还田、平衡施肥等措施,研究区保土耕作投资总费用为 1 239.08 万元,其中种植绿肥 673.7 万元,生石灰 174.93 万元,秸秆还田 7.5 万元,平衡施肥 354.58 万元,其它费用 28.37 万元(表 9)。

表 9 保土耕作投资费用

措施	单价/(元·hm ⁻²)	投资/万元
1 种植绿肥	862.5	815.54
2 生石灰	555	174.93
3 秸秆还田	秸秆还田机 1500 元/台	15.00
4 平衡施肥	562.5	354.58
5 其它	60	56.73
合计		1416.78

(5) 配套设施建设。在经果林和 6°~25° 坡耕地内,便于干旱季节灌溉和耕作,需配套小水窖、引水渠、机耕道等工程设施,以保障苗木健壮成长和农业生产。研究区共需建立 30 m³ 的蓄水池 2 000 个,机耕道 200 km,引水渠 50 km,排水沟 500 km。按一个 30 m³ 的蓄水池投资 2 000 元,机耕道投资 12 000 元/km,引水渠 50 000 元/km,排水沟 8 000 元/km 计算,研究区引水渠、蓄水池、机耕道等配套设施共投资 1 290 万元(表 10)。

(6) 生态重建总投资费用。研究区生态重建总投资费用为 50 768.74 万元,其中退耕补助金占投资费用的 41.84%,坡改梯投资费用占总投资的 16.34%,封禁治理占总投资的 5.71%,果木林投资占 4.7%,水利耕作配套设施建设占 5.09%,荒山造林占 2.38%,保土耕作占 2.79%,退耕水保林占 0.98%,退耕经济林占 0.27%,退耕种草占 0.2%(表 11)。

表 11 研究区生态重建总投资费用

项目	投资/万元	比例/ %
封禁治理	2898.68	5.71
荒山造林	1208.47	2.38
退耕水保林	499.59	0.98
退耕经济林	136.89	0.27
退耕果木林	249.48	0.49
退耕草	100.16	0.20
退耕补助金	21242.50	41.84
坡改梯	8296.31	16.34
果木林	2134.88	4.21
保土耕作	1416.78	2.79
水利、耕作配套设施	2585.00	5.09
沼气池	10000.00	19.70
合计	50768.74	100.00

4.2 生态重建模式的效益分析

(1) 保土、蓄水生态效益。研究区生态重建措施实施后,封禁治理的 3 323.56 hm² 灌木林、5 576.75 hm² 灌草地和 17 354.94 hm² 裸岩山地将全部达到有林地标准,加上荒山造林 16 112.94 hm² 和退耕还林 4 882.31 hm²,新增森林面积 47 250.5 hm²,森林覆盖率由现在的 19.76% 提高到 33.87%,增加 14.11%。加上旱改田坡改梯和水利工程建设,研究区内水土流失得到很好地控制。定量研究表明,森林植被增加使坡耕地减少 1%,水土流失将减少 4.8%。

利用 RUSLE 模型对治理后的土地利用结构进行土壤侵蚀模拟,结果表明研究区平均土壤侵蚀模数为 11.7 t/(hm²·a),比 2002 年平均土壤侵蚀模数降低 16.9 t/(hm²·a),减少土壤流失量 526.7 万 t。根据研究区土壤养分含量数据,可计算出减少养分流失 31.3 万 t,减少养分流失价值 20 796.05 万元,其中减少有机质损失 2 512.89 万元,减少氮损失 3 679.9 万元,减少磷损失 871.5 万元,减少钾损失 13 731.7 万元。减少水分流失 153.63 万 m³,减少水分流失价值 261.17 万元。减少泥沙淤积 109.93 万 m³,价值 219.86 万元,减少泥沙滞留 151.15 万 m³,价值 982.51 万元。

森林和草地可以对降水进行三次分配。降水的 18%~25% 为林冠截留或蒸发,有 55%~68% 的降水渗入地下,从而改变大气降水和径流过程,减少径流和洪峰流量,达到很好的水源涵养作用。通过坡面和沟道工程综合配置,流域内形成了林地、梯田、谷坊等骨干工程的节节拦蓄,微地形的改变,形成了较完整的群体防护体系,土层增厚,枯枝落叶增多,土壤的团粒结构和理化性能明显改善,拦蓄和调蓄径流能力大大提高。各项措施的保水效益可根据参考效益定额计算。各项措施的蓄水定额及效益见表 12。通过治理每年涵蓄保水 2 339.93 万 m³,蓄水效益 5 849.82 万元。

表 12 蓄水效益计算表

项目	梯田	水保林	果木林	封禁	农耕	经济林	合计
面积/hm ²	11061.75	20995.25	5887.31	27606.44	29942.46	483.88	
保存率	0.95	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	
生效面积/hm ²	10508.66	18895.73	5298.58	24845.79	26948.21	435.49	
蓄水定额/(m ³ ·hm ⁻²)	270.00	300.00	240.00	300.00	225.00	240.00	
蓄水量/万 m ³	283.73	566.87	127.17	745.37	606.33	10.45	2339.93
蓄水效益/万元	709.33	1417.18	317.91	1863.43	1515.84	26.13	5849.82

各种治理措施实施后,研究区增加森林面积 47 250.5 hm²,按每公顷森林每天吸收二氧化碳 1 000 kg,释放氧气 730.5 kg,每天森林可吸收二氧化碳 4 727.4 万 kg,释放氧气 3 451.6 万 kg。每公顷森林每天可吸附灰尘 36 000 kg,分泌杀菌素 1 999.5 kg,则每天吸附灰尘 170 101.8 万 kg,分泌杀菌素 9 447.7 万 kg。项目措施实施后,水质得到净化,研究区的人畜饮水水质得到改善。此外,在防风固沙、调节气候、保护生态平衡等方面也带来重大生态效益。

(2) 节能效益。流域由于燃料较为紧缺,取暖、做饭等日常生活能源主要依靠作物秸秆和枝条,加之使用旧灶,既浪费了大量热量和能源,又造成了滥砍乱伐,作物秸秆不能还田等恶性循环。项目建设沼气池 10 万个,可节约柴草 109.5 万 t,或 20 万 t 煤,或 950 万 kW·h。通过推广使用沼气池,既节省了劳力、又缓解了造林与烧柴之间的矛盾,同时又带动了林业和农业的发展。

(3) 经济效益。本研究项目效益的计算只计由于项目措施带来的农林牧业的直接经济效益,衍生效益不作考虑。农作物产品价格及农业成本中的各种投入均采用当地现行价格计算。

研究区荒山造林、退耕地种植的生态林面积为 20 995.25 hm²,按 90% 保存率累计生效面积 18 895.72 hm²,生态林在成林后单位面积生态林生产木材 4.5 m³/hm²,则研究区年产木材 85 030.76

m³,按市场价格 500 元/m³,则研究区生态林年经济效益 4 251.5 万元(表 13)。

退耕经济林面积 483.87 hm²,按 90% 的保存率累计生效面积 435.49 hm²,按单位面积经济林产出 22 500 元/hm²,则研究区经济林年收入 979.855 万元。

退耕果树林和 6°~25° 坡耕地果树林面积合计为 5 298.6 hm²,5 a 后进入盛果期,按平均单位面积产水果 7 500 kg/hm²,价格 2 元/kg,则单位面积效益 15 000 元/hm²,则果树林年总经济效益 7 947.87 万元。

退耕种草面积 667.75 hm²,按 2 hm² 草场饲养 3 头成年产奶牛计算,每头奶牛每天产鲜奶 15 kg,一个分泌乳期 300 d,则研究区每年牛奶收入为 901.46 万元。

封禁治理面积 27 606.44 hm²,按 90% 保存率计算,有效面积为 24 845.79 hm²,按单位面积增产木材 0.1 m³,市场价格按 500 元/m³,则研究区封禁治理年效益为 1 863.4 万元。

坡改梯面积 11 061.75 hm²,按 90% 的保存率计算,有效坡改梯面积为 9 955.57 hm²,坡改梯增产定额 450 kg/hm²,粮食价格按 1.5 元/kg,年增产效益为 672 万元。

6°~25° 坡耕地施用绿肥、平衡施肥面积 15 759.2 hm²,粮食产量增加增产定额为 750 kg/hm²,粮食价格按 1.5 元/kg,年增产效益为 1 772.9 万元。其它保土耕作面积 15 759.19 hm²,按 90% 的

保存率计算,实际有效面积 14 183.27 hm²,增产定额 750 kg/hm²,粮食价格按 1.5 元/kg,年增产效益为 1 595.62 万元。

各项措施生效后的年效益为 19 984.59 万元。其中果木林效益最大,占年效益的 21.27%,其次是生态林,其效益占年效益的 21.27%(表 13)。

表 13 生态重建治理措施经济效益

治理措施	坡改梯	水保林	果木林	经济林	封禁治理	种草养畜	保土耕作
年实施面积/hm ²	11061.75	20995.25	5887.31	483.87	27606.43	667.75	29942.45
保存率/%	90%	90%	90%	90%	90%	95%	90%
生效面积/hm ²	9955.57	18895.725	5298.58	435.49	24845.79	634.36	26948.21
增产定额	450 kg/hm ²	4.5 m ³ /hm ²	7500 kg/hm ²		1.5 m ³ /hm ²		750 kg/hm ²
增产量(×10 ⁴)	448 kg	8.50 m ³	3973.9 kg		3.72 m ³		2245.68 kg
单价	1.5 元/kg	500 元/m ³	2 元/kg	22 500 元/hm ²	500 元/m ³		1.5 元/kg
增产效益/万元	672	4251.5	7947.87	979.84	1863.4	901.46	3368.52
年效益/万元				19984.59			

(4) 社会效益。各项治理措施实施所产生的效益,除部分经济效益可以定量计算外,还带来大量难以用货币计算的社会效益。治理前农、林、草用地结构为 1 0.45 0.52,种植业用地和荒山灌草地比例较大,农业停留在广种薄收状态,水土流失严重。治理后农、林、草用地结构调整 1 0.9 0.4,增加林业用地面积,缩小陡坡旱耕地和荒山荒坡面积,农、林、牧得到全面发展。通过采取坡改梯和保土耕作措施,极大地提高了粮食产量,按单位面积坡改梯、保土耕作增加粮食 450 kg/hm² 计算,节约耕地 2 992.35 hm²,节约劳动工日 22.44 万个,按每个工日创收 10 元计算,则年增收 224.43 万元。通过综合治理后初步形成了水土流失及水旱灾害防治体系,有利于控制和缓解干旱、暴雨、洪灾、泥石流等自然灾害的发生,极大地提高了土地生产力,解决了农户燃料问题、饲料问题,提高了人民的生产、生活水平。喀斯特生态环境将逐步得到改善,生态重建与经济发展相互促进,农村经济向现代市场农业转化,农村与农业将持续发展。

5 结 论

(1) 在 GIS 技术支持下,通过对研究区不同退化土地状况及社会经济条件的查询,得到不同治理措施的空间分布情况。各种治理措施面积为 98 232 hm²,占研究区面积的 31.52%。其中封禁治理占总治理面积的 28.1%,荒山造林面积占治理措施总面积的 16.4%,退耕还林还草占治理措施总面积的

6.78%,6°~25°坡耕地治理占治理总面积的 48.72%。

(2) 研究区生态重建总投资费用为 50 768.74 万元,各种生态重建措施实施后年经济效益为 19 984.59 万元,其中以果木林经济效益最大,占年经济效益的 39.77%。项目实施后,森林覆盖率提高 14.11%,土壤侵蚀模数降低 16.9 t/(hm²·a),保土 526.59 万 t,保肥价值 20 796.05 万元,蓄水效益 5 849.83 万元。

参考文献:

[1] 蔡运龙. 中国西南喀斯特山区的生态重建与农林牧业发展:研究现状与趋势[J]. 资源科学,1999,21(5):37-41.

[2] 蔡运龙,蒙吉军. 退化土地的生态重建:社会工程途径[J]. 地理科学,1999,19(3):198-204.

[3] 彭晚霞,王克林,宋同清,等. 喀斯特脆弱生态系统复合退化控制与重建模式[J]. 生态学报,2008,28(2):811-820.

[4] 蒋忠诚,李先琨,曾馥平,等. 岩溶峰丛山地脆弱生态系统重建技术研究[J]. 地球学报,2009,30(2):155-156.

[5] 苏维词. 中国西南岩溶山区石漠化治理的优化模式及对策[J]. 水土保持学报,2002,16(5):24-28.

[6] 何腾兵. 贵州喀斯特山区水土流失状况及生态农业建设途径探讨[J]. 水土保持学报,2000,14(10):28-34.

[7] 李阳兵,谢德体,魏朝富. 岩溶生态系统土壤及表生植被某些特性变异与石漠化的相关性[J]. 土壤学报,2004,41(2):196-202.

[8] 许月卿. 喀斯特山区生态经济区划及生态建设研究[J]. 中国农业资源与区划,2007,28(6):31-34.