

# 云贵高原小流域生态系统治理效益研究

——以云南省牟定县龙川河小流域为例

王震洪<sup>1</sup>, 段昌群<sup>2</sup>, 徐以宏<sup>3</sup>, 张世彪<sup>3</sup>, 起联春<sup>3</sup>

(1.西南林学院, 云南 昆明 650224; 2.云南大学, 云南 昆明 650091; 3.牟定县水土保持办公室, 云南 楚雄 675500)

**摘要:** 利用卫星遥感技术、径流小区集水技术与水土保持生态经济效益评价方法对1989年开始治理的龙川河小流域土壤侵蚀、土地利用现状、水土保持林蓄积量、流域林草覆盖率进行了比较研究,定量地探讨了龙川河小流域治理和维护8a来生态、经济及社会效益情况。研究表明,以小流域为单元的水土流失治理,生态系统功能的增强十分显著,在云贵高原地区的水土流失治理工作中具有较强的代表性。

**关键词:** 云贵高原; 小流域治理; 生态系统修复; 生态经济效益

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2000)05-0025-04

中图分类号: S157.2, S181

## Benefit of Small Watershed Ecosystem Harness in Yunnan-Guizhou Plateau

WANG Zhen-hong<sup>1</sup>, DUANG Chang-qun<sup>2</sup>, XU Yi-hong<sup>3</sup>, ZHANG Shi-biao<sup>3</sup>, QI Lian-chun<sup>3</sup>

(1. Resources Academy, South West Forest College, Kunming 650224, Yunnan Province, PRC; 2. Yunnan University, Kunming 650091, Yunnan Province, PRC; 3. Office of Soil and Water Conservation, Muding County 675500, Yunnan Province, PRC)

**Abstract** The satellite remote sensing technology, the method of the surface runoff collection of erosion plot and the evaluation method of agricultural eco-economy are used to investigate the soil erosion, the situation of land use, the storage volume of soil and water conservation woods, the coverage of forest and grass, the increasing output of grain, the storage volume of closure-preserved forest and young growth in restored Longchuan small watershed, Muding county, Yunnan province, which has been harnessed for 8 years. It indicates that after five-year harness and preservation, the soil erosion amount decreases from 594.00 t of 1989 to 177.00 t of 1997, as occupies 29.7% of the 1989's erosion amount. Among the types of land use, the square of dry land decreases 499.40hm<sup>2</sup>; the one of terrace increases 517hm<sup>2</sup>; the square of man-made woods increases 9484hm<sup>2</sup>. The storage amount of soil and water conservation woods is 223460m<sup>3</sup> per year and that of closure preserved forest and young growth is 53171m<sup>3</sup>. The coverage of forest and grass goes up to 74.6% of 1997 from 38.95% of 1989; the total amount of grain is 2.89×10<sup>7</sup> kg, increased by 34.3%; the amount of agricultural product is 4935kg/hm<sup>2</sup>; the pure income of a farmer is 511yuan.

**Keywords** Yunnan-Guizhou plateau; small watershed harness; ecosystem restoration; eco-economic profit

小流域生态系统治理功能效益的研究分析是对以小流域为单元的水土流失综合治理措施优劣的评价,它的科学与否,直接影响着小流域治理方法或措施的优化及改进。然而,关于流域治理后的效益研究,由于经费和技术的原因,过去多采用抽样调查及统计分析的方法,利用卫星遥感结合流域综合治理措施的定位观测研究不够。随着西部大开发战略的实施,中央对解决水土流失问题决心的增强,以小流域为单元的水土流失治理投资力度将进一步加大,有必要在这

方面做深入研究,探索出一套科学实用的方法,对小流域治理效益做出快速高效的鉴定,以便优化各种治理措施。研究组选择了金沙江流域的二级支流龙川河小流域为实例进行研究。

### 1 研究区概况和研究方法

#### 1.1 龙川河小流域自然及治理概况

龙川河小流域位于云南省牟定县中部,总面积280.9km<sup>2</sup>,海拔1745~2660m,属北亚热带季风气候。

收稿日期: 2000-04-24

资助项目: 水利部长江上游水土保持委员会办公室资助项目

作者简介: 王震洪(1966-),男(汉族),理学博士,讲师和水土保持工程师。研究方向为高原山地生态学。获云南省科技进步三等奖一项,发表

论文1篇。电话:(0871)3863022

候,多年平均降雨 871.1 mm,年降雨多集中在 6—10 月;流域治理前水土流失面积 180.13 km<sup>2</sup>,占流域面积 63.58%,侵蚀模数为:轻度 1 800 t/(km<sup>2</sup>·a),中度 3 800 t/(km<sup>2</sup>·a),强度 6 500 t/(km<sup>2</sup>·a),极强度 11 600 t/(km<sup>2</sup>·a)。年侵蚀总量相当于流失 20 cm 厚耕作层 170 hm<sup>2</sup>。该流域于 1989 年进行规划治理,坚持以营造水土保持防护林、坡地改梯田为主,小型水利水保工程为辅的治理原则。199 年治理结束并开始维护,其治理措施完成的情况见表 1。

表 1 龙川河小流域治理措施完成情况

项 目	规划数	实施完成数	验收合格数
治理面积 /hm <sup>2</sup>	18 013	17 453	17 253
治理程度 /%		100	99
坡改梯 /hm <sup>2</sup>	573	573	513
水土保持林 /hm <sup>2</sup>	8 406	6 427	6 273
种草 /hm <sup>2</sup>	247	133	133
封禁治理 /hm <sup>2</sup>	4 847	7 833	7 795
保土耕作 /hm <sup>2</sup>	2 073	2 567	2 493
拦蓄工程 /件	1 123	1 153	1 153
渠道工程 /km	167	248	248
总投资 /10 <sup>3</sup> 元	8 167	12 492	12 492

## 1.2 研究方法

1.2.1 土壤侵蚀面积及模数 土壤侵蚀面积及模数的研究是在流域内 3 种典型地貌即丘陵、中山、高山区按林地、坡耕地和荒山荒坡分 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 35° 坡度类型布设径流小区,进行野外产流及产沙观测,得出侵蚀定量数据。在此基础上,建立小区所在区域同类型区土壤侵蚀量和卫星影像图提取的植被盖度、坡度的函数关系,计算全流域不同植被盖度和坡度图斑的土壤侵蚀量<sup>[1]</sup>。

1.2.2 流域土地利用现状动态 由卫星影像图提取 13 种土地利用类型的面积并和治理前各利用类型进行比较<sup>[2]</sup>。

1.2.3 农作物增产增值 农作物增产增值主要由坡改梯和保土耕作措施直接获得。在小流域内分别选择低山、中山、高山地貌的村公所各一个作为研究的代表区,在每个典型区内,分 3 种坡度类型即 10°~15°, 15°~20°, 25°~30° 各 0.33 hm<sup>2</sup> 典型坡耕地跟踪调查记录措施前和措施后农作物产量、农作物栽培管理过程中各种成本及工程实施总投入,然后计算单位面积措施农作物年增产量和单位面积措施年增加的纯收入<sup>[3,4]</sup>。根据单位面积措施年增产量和增值(纯收入),计算出整条流域措施年增产或增值。

1.2.4 水土保持林措施及封禁治理林分蓄积量 对小流域内广泛栽植的 3 个水土保持林树种直干桉、云南松、黑荆形成的人工林和封禁治理的云南松针阔混

交林、常绿叶阔林及它们形成的次生林利用径阶等比标准木法测定不同群落建群种、优势种林分蓄积量。首先,在流域内选择不同龄级的典型人工林和进行封禁的 4 种典型群落各 3 片,每片分别代表好、中、差 3 种生长类型中的 1 种。然后,在每片里做 10 m×10 m 样方 1 个进行每木检测,所有龄级的人工林和封禁的 4 种典型群落共设置调查标准地 3 块,单位面积林分蓄积量按 3 种生长类型的平均值计算。人工林群落是同龄林,调查累积的林分蓄积计算年均蓄积;封禁治理的类型在调查时用生长锥钻取木芯,查定立木年轮,幼年树计数轮生枝数确定每木的生长年数,然后计算样地立木平均生长年数,在此基础上得到单位面积年林分蓄积量。根据得到的参数计算不同林种的总蓄积量<sup>[5]</sup>。林草覆盖率调查由卫星影像图提取,流域治理经济效益指标从流域内的统计机构收集有关的数据整理而得<sup>[6]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤侵蚀量和侵蚀模数

通过研究得土壤侵蚀现状如表 2 由表 2 可以看出,5 a 的治理及维护之后,整个流域土壤侵蚀面积由原来的 63.58% 降至 26.25%。治理后极强度、强度、中度侵蚀等高侵蚀类型面积显著减小,轻度、无明显侵蚀等侵蚀类型面积显著增加。高侵蚀面积减少的程度一般都能达到 80%,土壤侵蚀总量减少了 70.3%。

表 2 龙川河小流域土壤侵蚀状况

项 目	治理前	治理后	递增率 /%
总计			
土地总面积 /km <sup>2</sup>	283.3	283.3	
流失总面积 /km <sup>2</sup>	180.1	74.4	-58.72
流失面积比例 /%	63.6	26.3	-33.98
轻度			
流失面积 /km <sup>2</sup>	74.9	57.4	23.42
占流失总面积 /%	41.6	82.8	41.23
中度			
流失总面积 /km <sup>2</sup>	90.9	15.3	-83.19
占流失总面积 /%	50.4	16.1	-34.34
强度			
流失总面积 /km <sup>2</sup>	12.8	1.6	-87.10
占流失总面积 /%	7.1	1.0	0.86
极强度			
流失面积 /km <sup>2</sup>	1.6	0.1	-94.2
占流失总面积 /%	0.9	0.1	-0.80
剧烈			
流失面积 /km <sup>2</sup>	0.0	0.0	0.00
占流失总面积 /%	0.0	0.0	0.00
土壤侵蚀总量 / (t·km <sup>-2</sup> )	594 000	177 000	-70.3

注:流失面积比例为流失总面积与土地总面积之比。

### 2.2 土地利用现状的动态

土地利用现状的变化见表 3 由表 3 可以看出,由于水土流失综合治理,农业人均耕地和基本农田分别

增加了 7.2% 和 15.2%。梯平地面积增长了 250%，坡耕地面积减少了 60.9%。林地面积增加了 33.5%，各种林地面积都有显著的增加，这有利于土壤侵蚀的控制和经济效益的提高。总土地面积中荒山减少了 94.9%。

表 3 治理前和治理后土地利用变化

项 目	治理前	治理后	递增率 %
土地总面积 /hm <sup>2</sup>	280.94	280.9	
人均耕地 /hm <sup>2</sup>	1.12	1.2	7.2
人均基本农田 /hm <sup>2</sup>	0.07	0.08	15.2
占土地总面积 %	19.20	19.1	-0.1
水 田 /hm <sup>2</sup>	4399.00	436	-0.7
耕地 梯平地 /hm <sup>2</sup>	207.00	724	250.0
坡耕地 /hm <sup>2</sup>	820.00	321	-60.9
小 计 /hm <sup>2</sup>	5426.00	5406	-0.4
占土地总面积 %	35.9	69.4	33.5
有林地 /hm <sup>2</sup>	3607	7354	103.9
疏幼林地 /hm <sup>2</sup>	3968	5142	29.6
灌木林地 /hm <sup>2</sup>	1533	4866	217.4
经济林地 /hm <sup>2</sup>	1070	2062	92.7
小 计 /hm <sup>2</sup>	10178	19424	90.8
占土地总面积 %	0.01	0.00	0.0
草地 面积 /hm <sup>2</sup>	149	0.00	-10.0
占土地总面积 %	29.1	1.5	-27.6
荒山 面积 /hm <sup>2</sup>	8010	418	-94.9
林草覆盖度 %	38.9	74.6	35.7
占土地总面积 %	15.3	10.0	-5.3
水域 /km <sup>2</sup>	625	740	18.4
其它 难利用地 /hm <sup>2</sup>	8	82	917.4
非生产用地 /hm <sup>2</sup>	3697	2023	-45.3
小 计 /hm <sup>2</sup>	4330	2845	-34.3

### 2.3 作物增产增值情况

根据不同地貌特征的村公所坡地改梯地前后农作物生产情况的跟踪,得到了夏粮、秋粮单位面积增收量。夏粮种植小麦,改后比改前增收 855 kg/hm<sup>2</sup>,秋粮玉米比改前增产 945 kg/hm<sup>2</sup>;全年共计增产 1800 kg/hm<sup>2</sup>;粮食增值(纯收入)情况全年增 236.4 元/hm<sup>2</sup>,改前纯收入是 -258.6 元/hm<sup>2</sup>,改前与改后相比增值 1995 元/hm<sup>2</sup>(玉米、小麦、油菜、烟叶等作物总平均),其中种植烟草可增产 795 kg/hm<sup>2</sup>,增值 3840 元/hm<sup>2</sup>。按以上定额计算,整个流域生态系统坡改梯措施从第 6a 起共计增产粮食 1032000 kg/a,增值 1143800 元/a(纯收入)。从坡地改梯地措施的增产增值可以看出,每年的增加额是十分显著的,这项措施有利于上游地区群众增加收入,提高其治理的积极性。

保土耕作措施主要有顺坡耕作改横坡耕作、沟垄

种植等。这种改制可增粮食 180 kg/(hm<sup>2</sup>·a),该措施全年共增粮食 448800 kg。

### 2.4 水土保持林及封禁治理林分蓄积量

利用上述方法求得人工营造的桉树—黑荆混交林、桉树纯林、云南松纯林及云南松针阔混交林、常绿阔叶林等单位面积年林分蓄积量见表 4、5。整条流域分不同林型的年林分蓄积量分别是:桉树—黑荆混交林 7.589×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>;桉树纯林 5.902×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>;云南松纯林 8.855×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,人工林合计为 22346×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。封禁的类型年林分蓄积量共计 53171.41 m<sup>3</sup>。从表 4、表 5 及以上结果可以看出,人工林年林分蓄积量比封禁的类型要高,这说明,在流域治理中,水土保持林对恢复流域的第一性生产力具有十分重要的意义。因此,在流域治理中大规模营造人工防护林是恢复流域第一性生产力的首选措施。

表 4 不同林型林分蓄积量

林 型	林龄 / a	调查林分面积 / m <sup>2</sup>	调查林分总株数 / 株	样地蓄积量 / m <sup>3</sup>	林分蓄积量折算 / (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )
桉树—黑荆混交林	3.0	300	150	0.47	5.25
	6.0	300	132	7.92	43.95
直干桉纯林	2.5	300	234	0.50	6.60
	4.0	300	216	1.95	16.20
	6.0	300	208	8.33	46.35
云南松纯林	4.0	300	340	1.20	10.05
	37.95	6.0	300	325	6.83

表 5 不同林型林分蓄积量

调查林型	调查优势种	平均林龄 / a	蓄积量 / m <sup>3</sup>	单位面积年蓄积 / (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	全流域年蓄积 / m <sup>3</sup>
云南松针阔混交林	云南松、栎类	11.00	2.95	9.00	15480
常绿阔叶林	栎类	14.80	3.33	5.25	8047
次生常绿阔叶林	栎类	4.55	0.20	1.35	1706
次生针阔混交林	云南松、栎类	5.85	0.49	2.85	4075
云南松纯林	云南松	18.00	6.85	12.75	24064

### 2.5 流域林草覆盖度

通过 5a 治理和 3a 维护,林草覆盖率由治理前的 38.9% 上升到现在的 74.6%,比治理前增长了 52%。根据调查结果,林草覆盖率提高主要是大规模营造人工防护林的结果。另外,在利用辐射样线法测定林草覆盖度进行大规模的流域调查中,笔者也采用了其他的方法如树冠投影法和它进行比较,发现两种方法得到的结果基本上是一致的,但前者测定效率要比后者高得多。

## 2.6 经济效益指标情况

龙川河小流域治理前粮食总产量是  $2.152 \times 10^7$  kg, 单产  $3.045 \text{ kg/hm}^2$ , 人均产量  $324 \text{ kg}$ , 农业及各业产值  $2.05 \times 10^7$  元, 农业人均产值  $308.8$  元, 农业人均纯收入  $33$  元。到验收时粮食总产  $2.89 \times 10^7$  kg, 较治理前增  $34.3\%$ , 产量  $4.935 \text{ kg/hm}^2$ , 较治理前增加  $62.1\%$ ; 人均产量  $432 \text{ kg}$ , 较治理前增加  $33.03\%$ ; 农业总产值  $2.908 \times 10^7$  元, 较治理前增加  $41.8\%$ ; 农业人均纯收入  $51$  元, 较治理前增加  $54.40\%$ 。小型水利水保工程设施建设和有效灌溉面积较治理前增加了  $55.2\%$ 。

## 3 结 论

### 3.1 土地利用现状的改变促进了土壤侵蚀的控制

土壤侵蚀量的减少与治理前后土地利用状况关系十分密切。在治理前后, 各种土地利用类型面积具有明显的差异, 如治理前坡耕地、荒山面积较大, 而治理之后, 梯平地、林地显著增加。因此, 在类似的水土流失区, 水土流失的治理要突出土地利用方式的调整, 改变不合理的土地利用方式。

### 3.2 坡改梯和保土耕作措施有利于增加群众收入

坡改梯和保土耕作是针对坡耕地上的水土流失问题而设计的。当有充足的资金和劳力时, 将坡耕地通过工程的办法改成梯平地, 从根本上解决土壤侵蚀的问题; 当资金和劳力不足时, 坡耕地中将有一部分无法实施坡改梯工程, 这部分坡耕地可采取保土耕作的办法解决水土流失的问题。这两个措施在流域生态系统中由于发挥了保持水土和改良土壤的作用, 在控制土壤侵蚀的同时, 还能促进农作物产量的提高, 增加农民的经济收入。因此, 在云贵高原经济落后地区, 这类型措施既可以提高群众的经济收入, 又能够解决水土流失的问题, 有利于调动群众的治理积极性。

### 3.3 综合治理是流域治理效益实现的关键

云贵高原地区小流域治理的主要任务是改善生态环境, 调整土地利用结构和提高上游地区土地生产力<sup>[2,4]</sup>。总体来说, 一方面要从全局考虑, 控制泥沙向下游输移, 削减洪峰对长江中下游地区的侵袭。另一方面又要解决上游群众的经济需要。在龙川河流域的具体实施过程中, 通过增加投入, 采取营造大规模的水土保持防护林, 建设各种水土保持拦蓄工程, 实施保土耕作和坡改梯, 开展封山育林等生物工程、农业和预防监督综合治理措施, 发挥各措施优势和弥补不足, 使流域生态系统的生态、经济效益得到了明显提高, 这说明综合治理能够充分发挥各措施的有效性。

龙川河流域土壤侵蚀的有效控制是随着流域内林草覆盖度和各种人工林、天然林的林分蓄积量的增加而实现的。综合治理在某种意义上说是对生态系统投入了大量的物质和能量, 促进了系统内物质和能量流动, 修复了生态系统平衡的网络关系, 积累了大量的生物量, 使各级防护体系趋向完善, 促进了流域治理目标的实现。

### 3.4 流域综合治理后生态与经济系统已协调一致

龙川河流域通过治理后, 流域粮食产量、人均产粮、农业总产值、农业人均纯收入等显著增加, 水土流失得到有效控制, 在流域内, 生态系统和经济系统已趋于协调一致。与治理前各经济指标呈增长趋势, 水土流失也呈增长趋势形成了鲜明的对照。但是, 土壤侵蚀并没有降低到很低的水平, 这与流域仍然存在一定程度的土壤侵蚀有关等。建议在类似流域治理中, 大规模生态恢复工程完工之后, 要开展一些辅助生态恢复工程, 如林内种草、间伐、疏林补植、建设生态坡等, 促进各层次防护体系更加完善。

在土地利用结构的调整方面, 人类经济活动使景观呈破碎化趋势, 生态恢复工程前后, 景观完整性恢复不明显。景观的完整性有利于各种资源的保护, 包括生物多样性保护, 土地资源的保护, 森林资源的保护等。因此, 生态规划要考虑历史的景观特征, 努力使生态恢复工程后的新景观具有某种原始的完整性特征, 即使不能实现这一目标, 采取的各种措施也要使新景观具有某种完整的历史景观的成分。

参加该项工作的人员还有何以保、刘先秋、谭锡保、刘洪、梁国江等同志。

#### [参 考 文 献]

- [1] 王礼先, K. N. Brooks. 长江中上游水土保持及环境保护 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1995. 19-24.
- [2] 杨玉坡, 等. 长江上游防护林研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1993. 158-165.
- [3] 王震洪, 等. 从生态经济观论小流域及小流域综合治理 [J]. 生态经济, 1997, 8(6): 22-26.
- [4] 李志魁. 黄土高原小流域治理效益评价与系统评估研究 [J]. 生态学报, 1998, 8(3): 241-247.
- [5] 林业部调查规划院. 森林调查手册 [Z]. 中国林业出版社, 1980. 38-54.
- [6] David P. Pail. Aerial Photography and Image Interpretation for Resource Management [M]. New York, U.S.A., 1981. 12-25.
- [7] Gregresen H M, Brooks K N, Dixon J A, Hamill L S. Guidelines for Economics Appraisal of Watershed Management Projects [Z]. FAO. Conservation Guide 16, Rome. 1987. 23-36.