

# 干热河谷生态修复模式及其效应

## ——以中国科学院东川泥石流观测研究站为例

崔鹏, 王道杰, 韦方强

(中国科学院、水利部 成都山地灾害与环境研究所, 610041, 成都)

**摘要** 金沙江干热河谷水土流失严重, 滑坡、泥石流等山地灾害强烈, 生态环境十分脆弱。以中国科学院东川泥石流观测研究站为研究区, 根据立地条件和植物生物学特性, 提出了荒坡地乔灌草恢复性生态修复模式和坡耕地农、林、牧开发性生态修复模式, 并对生态修复效应进行了监测和调查。结果表明: 通过生态修复, 林草地地表径流量降为裸地的 14.9%, 泥沙流失量降为裸地的 6.4%; 修复灌草地稳渗率为 0.58 mm/min, 裸地稳渗率为修复灌草地的 62%, 退化灌草地为修复灌草地的 84%; 植物品种由 10 余种发展到 30 多种, 土壤种子库密度由 300 余粒/m<sup>2</sup> 增加到 1 217~1 450 粒/m<sup>2</sup>, 动物种类增加 10 多种; 坡耕地产量从 750~1 500 kg/hm<sup>2</sup> 增加到 4 500~6 000 kg/hm<sup>2</sup>, 人均年经济收入从 200 元增加到 800~1 000 元。

**关键词** 干热河谷; 生态修复; 生态模式; 生态效应

## Model and effect of ecological restoration of dry-hot valley:

A case study of the CAS Dongchuan Debris Flow Observation Station

Cui Peng, Wang Daojie, Wei Fangqiang

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Resources, 610041, Chengdu, China)

**Abstract** The ecological environment of dry-hot valley along Jinsha River is heavily fragile, resulting from that mountain hazards have occurred frequently such as landslide, debris flow and heavy soil erosion and water loss. According to soil conditions at different sites and biological characteristics of plants, two ecological restoration models are introduced by the case study of the Dongchuan Debris Flow Observation Station, CAS. The restorative measures are employed to bare slope by planting trees, shrubs and herbs. And the other one is applied to slope farmland by the way of integrated agriculture measures. And effects of ecological restoration are also monitored and invested, which demonstrate that the surface runoff is only 14.9% and soil loss is 6.4% respectively on the slopes treated by planting trees and herbs, compared to that on bare slopes. The final infiltration ratio is 0.58 mm/min on restored shrub-herb land, and is only 62% on bare slopes and 84% on degraded shrub-herb land respectively. The amount of plant species increases from 10 to 30 after restoration. The soil seed-bank density increases from 300 grains/m<sup>2</sup> to 1 217 grains/m<sup>2</sup> ~ 1 450/m<sup>2</sup>. The animal species increases by 10 species. The productivity of slope farmland rises from 750~1 500 to 4 500~6 000 kg/hm<sup>2</sup>. The per capita annual income increases from 200 to 800~1 000 RMB.

**Key words** dry-hot valley; ecological restoration; ecological restorative pattern; ecological restorative effect

金沙江干热河谷气候炎热干燥, 水热矛盾突出, 生态环境十分脆弱<sup>[1-2]</sup>。金沙江一级支流小江及其

支沟两岸地形陡峭, 植被覆盖率低, 加之历史上的采薪炼铜和现代的陡坡垦植, 致使地表植被稀疏、土层

收稿日期: 2005-02-03 修回日期: 2005-03-19

项目名称: 国家 973 项目“长江上游环境变化与产水产沙作用机制”(2003CB415202); 国家杰出青年科学基金项目(40025103)

第一作者简介: 崔鹏(1957—), 男, 研究员。主要研究方向: 山地灾害和水土保持。E-mail: pengcui@imde.ac.cn

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

裸露,坡面侵蚀和沟谷侵蚀强烈,崩塌、滑坡和泥石流灾害十分严重<sup>[3]</sup>,每年将大量的泥沙输入小江,成为小江及金沙江下游的严重侵蚀区和重点产沙区。无论是生态退化类型还是产沙类型,这一地区的生态修复和泥沙控制都具有典型性和示范意义。许多学者对干热河谷区生态修复作了大量的研究工作<sup>[4-7]</sup>。本文以位于小江流域蒋家沟干热河谷区中国科学院东川泥石流观测研究站及其周边的生态修复为例,总结研究区生态修复模式,并分析生态修复效应,以期为干热河谷的生态建设工程提供参考。

## 1 研究区自然概况

中国科学院东川泥石流观测研究站位于小江流域蒋家沟,地处小江深处大断裂带和干热河谷区。流域内老构造错综复杂,新构造运动强烈,岩层十分破碎,加之西南季风气候和人类不合理的经济活动,致使水土流失、崩塌、滑坡及泥石流等灾害活动十分强烈<sup>[8]</sup>,给当地经济建设和人民生命财产造成巨大损失。

区内年均气温 20.2 °C,极端最高气温 40.9 °C,极端最低温度 -6.2 °C,年活动积温 7 177 °C,年日照 2 292.4 h,年太阳辐射总量 138.8 kJ/cm<sup>2</sup>,相当于南亚热带的热量条件;年均降水量 691.3 mm,88%的降水集中在 5—10 月,年均蒸发量为 3 752.7 mm,蒸发量是降水量的 5 倍多,相对湿度为 54%,属半干旱气候区。区内光热资源丰富,但水热失调,降雨分配不均,成为当地生态修复的主要限制因素。站区及周围生态修复以前,植被覆盖率极低,绝大部分地区植被覆盖率低于 10%,植被类型主要为稀树草丛。

## 2 生态修复模式

研究区地形复杂,坡度陡峭,干旱缺水,生态脆弱,土地生产力低,农民生活贫困。为了促进生态修复与社会经济发展相结合,实现可持续发展,根据立地条件及物种的生物学特性,笔者探索了恢复性生态修复模式和开发性生态修复模式。

### 2.1 物种选择

在干热河谷区生态修复中,选择物种时应考虑以下 5 方面的生物学特性:1)耐旱、耐热、耐瘠薄,抗逆性强,适生性广;2)生长速度快,萌芽力及覆盖能力强,能在短期内起到水土保持作用;3)自我繁殖和更新能力强;4)具有结瘤固氮和改土功能;5)有一定的利用价值和经济效益。选择植物品种时应当以乡土植物为主,适当引进外地种。

在这一地区比较适合以生态效益为主的植物有:新银合欢(*Albizia julibrissin*)、攀枝花(*Bombax malabaricum*)、锥连栎(*Quercus franchetii*)、红椿(*Tooa sinensis*)、台湾相思(*Acacia ridii*)、大叶相思(*Acacia auriculiformis*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)等乔木;坡柳(*Dodonaea viscosa*)、苦刺(*Sophora davidii*)、膏桐(*Thespesia Soland*)、马桑(*Cariaria sinica*)、车桑子(*Dodonaea angustifolia*)等灌木;旱茅(*Eremopogon delavayi*)、黄背草(*Themeda triandra* var. *japonica*)、剑麻(*Agave americana*)、香根草(*Vetiveria zizanioides*)、大翼豆(*Phaseolus atropaeocarpareus* var. *siraro*)、新诺顿豆(*Neolotonis wightii*)、白喜草(*Paspalum notatum*)、双花草(*Dichanthium annulatum*)、拟金茅(*Eulaliopsis binata*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、芸香草(*Cymbopogon distans*)等草本。

以经济效益为主的植物有:石榴(*Punica granatum*)、梨(*Pyrus pyrifolia*)、枣(*Zizyphus sativa*)、芒果(*Mangifera indica*)、龙眼(*Dimocarpus longan*)、无花果(*Ficus canica*)、葡萄(*Vitis* sp.)、核桃(*Juglans sigillata*)等果树;花椒(*Zanthoxylum bungeanum*)、板栗(*Castanea mollissima*)、油橄榄(*Phyllanthus emblica*)、油桐(*Vernixia fordii*)、蓖麻(*Ricinus communis*)等经济林木;西瓜(*Citrullus lanatus*)、黑花生(*Arachis hypogaea*)、大蒜(*Allium sativum*)、洋葱(*Allium cepa*)、甜玉米(*Zea mays*)、豌豆(*Pisum sativum*)、菜豆(*Phaseolus vulgaris*)等蔬菜作物。此外,大部分亚热带花卉和观赏植物也适合种植。

### 2.2 荒坡地乔灌草恢复性生态修复措施

研究区干湿季节分明,6—10 月雨水充足,其他月份降雨少,蒸发大,多热风。种植时间一般在 6 月至 7 月中上旬。种子直播以雨季刚来临为宜。定植幼苗应在雨后定植沟和定植穴内土层 20~40 cm 浸润时进行。依据坡面特征和立地条件,主要采用以下 5 种生态修复措施。

1)在坡度极陡、土层瘠薄、人工恢复植被效果较差的荒坡,实施封山育林育草循序治理的修复措施。首先进行封禁恢复,划定封禁区,禁止割草、放牧、开荒,保护好现有的稀疏灌丛和低矮草被,加快植被自然恢复速度,促进土壤种子库中生命力强、保存时间长的植物种子发芽,增加植物群落的生物多样性,使植被从逆向演替逐步转为正向演替。在封禁区自然植被恢复到一定程度、小区生态环境有所改善时,人工种植部分抗逆性强、改土效果好的植物品种,以加快生态环境向良性方向发展。

2) 在坡度较缓、坡面较完整的荒坡地上, 进行水平阶造林。水平阶有利于拦蓄天然降水, 改善土壤水、肥、气、热状况, 提高苗木成活率和保存率, 促进苗木生长<sup>[9]</sup>。造林步骤为: 在 10—12 月期间整地, 挖出的土在次年 1—4 月曝晒; 在雨季来临前将曝晒后的土回填; 6—7 月雨季来临时开始种植。在技术上要求, 回填土面低于水平阶面 10 cm 左右, 水平阶面宽 1 m, 呈反坡状, 长度随地形而定, 尽量连续就势弯曲, 开挖深度 0.4 m, 阶间距 3 m, 乔木株距 2 m, 灌木株距 1 m。树种以新银合欢、台湾相思、大叶相思、红椿、香椿、刺槐及赤桉为主, 灌木为马桑、苦刺、车桑子及坡柳为主。

3) 在坡度较陡、地形破碎、土层较薄、难以开挖水平阶的荒坡地上, 进行鱼鳞坑造林。鱼鳞坑拦蓄天然降水效果较水平阶差, 但整地工程量较小, 在地形破碎的荒坡地上作业方便, 是蓄水保土、立地条件较差下造林的重要工程措施之一。鱼鳞坑为半圆形, 外高内低, 规格为 0.80 m × 0.6 m × 0.4 m (长径 × 短径 × 深度), 在下沿修 0.2 ~ 0.4 m 高的弧状土埂。鱼鳞坑在坡面上沿等高线布设, 上、下两行呈“品”字形排列, 乔木株行距为 2 m × 3 m, 灌木株行距为 1 m × 2 m。鱼鳞坑造林整地、回填时间及树种同水平阶造林。

4) 在坡度较缓、土层较厚、水分较好的沟谷及阴坡, 进行撒播和小穴直播。在沟谷及难以施工的破碎山坡进行撒播, 在施工便利的阴坡和坡脚进行小穴直播。灌木草本多采用混合撒播, 乔木以小穴直播为主。草种以大翼豆、新诺顿豆、白喜草、双花草、拟金茅及芸香草为主, 灌木和乔木树种同水平阶造林。

5) 在滑坡体、沟头及道路沿线带状穴植生物篱墙。生物篱墙对于小型滑坡体、沟头及道路沿线等不稳定坡积物具有拦挡和稳固作用<sup>[10]</sup>。研究区生物篱墙植物品种以剑麻和香根草为主, 实施带状穴植。剑麻带为 3~4 行, 株行距为 30 cm × 40 cm, 带间距为 5 m; 香根草带为 4~5 行, 株行距为 20 cm × 30 cm, 带间距为 3 m。带间种植大翼豆、新诺顿豆等覆盖性能好、固氮改土能力强的抗旱性草种。一般在滑坡体及道路沿线种植剑麻, 沟头和坡积物荒坡地上种植香根草。

### 2.3 坡耕地农林牧开发性生态修复措施

干热河谷区土地退化比较严重, 对该区坡耕地实施农、林、牧开发性生态修复, 有利于退化土地恢复、生态环境改善和农村经济收入增加, 其治理措施

归纳为 2 个方面。

1) 坡度大于 25° 的陡坡耕地, 实施退耕还林还草。在土层瘠薄的陡坡退耕地种草, 草种以铺地木兰、新诺顿豆及紫花苜蓿为主。在土层较厚、肥力中等的陡坡退耕地, 种植生态林或林草套种, 树种以新银合欢、台湾相思、大叶相思、红椿、香椿、刺槐及赤桉为主, 草种同上。在土层较厚、肥力较高、有一定水源条件的退耕坡地, 种植经济林果和牧草, 经济林果品种为石榴、小枣、梨、花椒、油桐、油橄榄、核桃及板栗等, 牧草以豆科为主。退耕后种植的牧草可恢复土壤肥力, 并可作为饲料圈养家畜; 生态林和经济林果不仅对防治水土流失、修复生态环境具有重要作用, 而且其木材和果实还是改善当地农民经济收入的重要途径。

2) 将坡度较缓的耕地和泥石流堆积台地, 按果农、果蔬和果牧模式建设。果树主要为石榴、枣、梨、芒果和葡萄等高价值的优良品种; 蔬菜主要为反季节的蕃茄、西瓜、甜玉米和菜豆; 农作物主要为红薯 (*Ipomoea batatas*)、花生、豌豆。具体措施为: 在果树幼龄期间, 果树行间种植农作物、蔬菜和瓜果; 在果树较大、树冠封行时, 果树行间种植优质豆科牧草和绿肥; 在果园地埂种植香根草、剑麻护坎。香根草、剑麻防治地埂崩塌, 减少水土流失; 绿肥可以改良与培肥土壤, 提高土地生产力; 牧草可供圈养家畜, 圈肥施于果园; 家畜、水果、蔬菜和粮食直接作为商品增加农民收入, 形成高效良性的复合生态系统。

## 3 生态修复效应

生态修复的效应, 主要表现在减轻水土流失、构建良好群落、发展地方经济等 3 方面<sup>[11]</sup>。

### 3.1 截流拦沙效应

中国科学院东川泥石流观测研究站不同土地利用类型人工径流场的观测数据结果见表 1。

林草地截流拦沙效果显著, 裸地和坡耕地水土流失严重。林草地年均产流量为 62.79 L, 产沙量为 158.10 g, 径流的平均含沙量为 2.52 g/L。裸地年均产流量为 422.00 L, 产沙量为 2475.88 g, 径流的平均含沙量为 5.87 g/L, 其产流量、产沙量及含沙量分别为林草地的 6.7、15.7、2.3 倍。坡耕地年均产流量为 373.78 L, 产沙量为 1844.05 g, 径流的平均含沙量为 4.93 g/L, 其产流量、产沙量及含沙量分别为林草地的 6.0、11.7、2.0 倍。这主要是由于林草地利用乔灌木多层次的整体效应, 对雨水进行层层截留, 枯枝落叶层对土壤的保护, 根系对土壤固结能力的提

表 1 东川泥石流观测研究站不同土地利用条件下径流量和泥沙量

Tab. 1 The surface runoff and soil amount of different land-use conditions in debris flow observation station of Dongchuan

年份	林草地		裸地		坡耕地	
	径流量	泥沙量	径流量	泥沙量	径流量	泥沙量
	L	g	L	g	L	g
2000 年	84.19	159.17	473.24	2 179.69	377.99	1 763.78
2001 年	83.48	127.86	604.53	2 174.00	631.34	2 781.45
2002 年	20.69	187.27	188.25	3 073.95	112.00	986.92
平均值	62.79	158.10	422.00	2 475.88	373.78	1 844.05

注: 林草地为人工种植的新银合欢和天然恢复的旱茅、黄背草、芸香草等草本植物; 裸地为坡耕地退耕后自然现状, 基本无植被; 坡耕地为横坡种植的花生或红薯。

高, 以及林地土壤结构的改善, 从而增强了土壤的抗蚀能力。坡耕地比裸地的产流产沙量低, 主要是因为采用了横坡种植的措施, 使水土流失得到一定程度的控制。可见, 通过生态修复和采用横坡种植等水保措施, 对控制水土流失具有重要的作用, 特别是林草恢复措施表现出显著的生态功能。

### 3.2 增强土壤入渗效应

2003 年 8 月, 通过人工降雨实验, 对中国科学院东川泥石流观测研究站附近不同土地利用类型土壤入渗能力进行了研究。实验设计为: 布设 3 个径流场, 分别为裸地、退化灌草丛地和人工修复灌草地; 径流场面积为 5 m × 5 m, 四周用铁皮围护, 下端设有集水箱, 定时观测产流量, 并取样测定泥沙量。人工降雨由侧喷式喷头以对喷的方式产生, 降雨均匀度达到 80% 以上。

实验过程中, 裸地在降雨 31 min 后出现地表径流, 降雨 61 min 后地表产流率趋于稳定; 退化灌草丛地在降雨 34 min 后出现地表径流, 降雨 79 min 后地表产流率趋于稳定; 修复灌草地在降雨 75 min 后开始出现地表径流, 降雨 150 min 后地表产流率趋于稳定。根据人工降雨强度和产流变化情况, 通过水量平衡原理, 对不同土地利用类型土壤入渗性能进行了推算。由图 1<sup>[7]</sup> (图中 x 轴起点为地表产流的起始时刻) 可知: 修复灌草地, 随着降雨时间的延长, 土壤入渗率下降速度十分缓慢; 裸地土壤入渗率下降十分迅速; 退化灌草土壤入渗率下降速度介于二者之间。修复灌草地土壤入渗率最高, 稳渗率为 0.58 mm/min; 裸地土壤入渗率最低, 稳渗率为 0.36 mm/min, 仅为修复灌草地稳渗率的 62%; 退化灌草丛地

则介于两者之间, 稳渗率为 0.49 mm/min, 为修复灌草地稳渗率的 84%。可见, 生态修复能显著提高土壤入渗能力, 改善土壤水分状况。

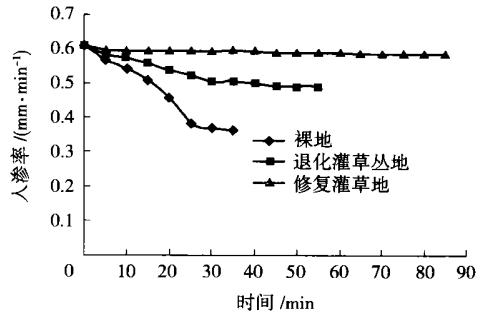


图 1 不同土地利用条件下土壤入渗率

Fig. 1 Soil infiltration ratio under different land-use conditions

### 3.3 群落构建效应

在自然恢复区, 通过 10 年来的封禁修复, 地表植被由退化草丛演变为灌木草丛, 植被盖度由 5% 增加到 60%。地表植被群落以阳性耐旱的禾本科物种为主, 主要有香茅 (*Cymbopogon distans*)、黄茅草、龙须草 (*Eulaliopsis binata*)、荩草 (*Arthraxon hispidus*)、黄背草等。土壤种子库种类由修复前的 10 多种增加到 20 多种, 密度由 300 多粒/m<sup>2</sup> 增加到 800 多粒/m<sup>2</sup>。

在人工修复区, 通过引进和种植多种植物, 地表植被由稀树草丛演变为多层次、多结构的乔灌草复合群落, 植被盖度由 10% 增加到 80%。地表植被群落中相对耐阴物种逐渐增加, 如九头狮草 (*Peristrophe japonica*)、苦蒿 (*Artemisia codonoccephala*)、黄花香茶菜 (*Robdosia sulponeata*)。土壤种子库种类有 30 多种, 密度为 1 217 ~ 1 450 粒/m<sup>2</sup>。林内地面温度比修复前降低 27%, 土壤含水量增加 2.8 倍, 地面枯枝落叶层增厚, 干热气候特征在局地小范围内有所缓和。鸟的种类和数量大幅度增加, 松鼠、野兔、青蛙、蛇等动物陆续出现。

综上所述, 通过生态修复, 已经基本上遏制了生态环境的退化, 在较大程度上改善了生态环境与生态系统的结构和功能, 促进了群落的良性演替。

### 3.4 经济效益

通过对治理前后当地居民的生活条件 and 经济收入进行实地调查, 在实施恢复性和开发性生态修复后, 生态修复区的荒山秃岭已经绿化, 坡耕地成为果农、果蔬和果牧复合种植区。调查表明: 治理前, 坡耕地产量约 750 ~ 1 500 kg/hm<sup>2</sup>, 年人均粮食约 200

kg, 人均年经济收入约 200 元左右, 当地居民生活极为贫困; 治理后, 坡耕地产量增加到 4 500~6 000 kg/hm<sup>2</sup>, 年人均粮食增加到 400 kg 以上, 人均年经济收入增加到 800~1 000 元左右, 当地居民生活水平得到显著改善<sup>[4]</sup>。生态修复不仅具有生态效益, 而且提高了耕地的生产力和农民的经济收入, 改善了当地居民的生产条件和生活水平, 有利于促进社会稳定和可持续发展。

#### 4 小结

干热河谷水热矛盾突出, 土地生产力低下, 植被恢复困难, 生态环境十分脆弱。为改善生态环境, 提高当地居民生活水平, 实现流域内社会、经济和生态可持续发展, 通过不懈的努力, 中国科学院东川泥石流观测研究站在站区的生态修复方面取得了成效, 带动并指导周边农民开展了卓有成效的生态修复。笔者将多年的生态修复总结为荒坡地乔灌草恢复性生态修复模式和坡耕地农、林、牧开发性生态修复模式, 同时对生态修复的效益进行了较系统的研究。主要结果为:

1) 有效地控制了水土流失。人工植被恢复区的林草地的地表径流量仅为对照地(裸地)的 14.9%, 泥沙流失量仅为 6.4%。

2) 遏制了生态退化, 促进了群落结构的良性演替, 增加了生物多样性。通过生态修复, 改善了生态环境, 形成了乔灌草复合群落结构, 植物品种由治理前的 10 多种发展为 30 多种, 土壤种子库密度由 300 多粒/m<sup>2</sup> 增加到 1 217~1 450 粒/m<sup>2</sup>, 动物种类增加了 10 多种, 局地干热气候得到缓和。

3) 产生了较大的经济效益。开发性生态修复后, 年人均粮食从 200 kg 增加到 400 kg 以上, 人均年经济收入从 200 元增加到 800~1 000 元左右, 当地

居民生活水平得到明显提高。

中国科学院东川泥石流观测研究站全体工作人员, 特别是张有富研究员, 在站区及其附近的生态修复方面作了大量的工作。本文是集体成果的体现。在此对所有为上述工作做出贡献的人士表示衷心的感谢!

#### 5 参考文献

- [1] 张荣祖. 横断山区干旱河谷. 北京: 科学出版社, 1992
- [2] 杜天理. 西南地区干热河谷开发利用方向. 自然资源, 1994(1): 41-45
- [3] He Y P, Xie H, Cui P, et al. GIS-based hazard mapping and zonation of debris flows in Xiaojiang Basin, southwest China. *Environmental Geology*, 2003, 45(2): 286-293
- [4] 张有富. 干热河谷气候区荒坡生物治理技术. 山地研究, 1998, 16(3): 248-251
- [5] 张有富. 云南蒋家沟泥石流区干热退化山地引种拟金茅的技术与效果. 山地学报, 2000, 18(6): 563-567
- [6] 沈有信, 刘文耀, 张彦东. 东川干热退化山地不同植被恢复方式对物种组成与土壤种子库的影响. 生态学报, 2003, 23(7): 1454-1460
- [7] 王道杰, 崔鹏, 朱波, 等. 金沙江干热河谷植被恢复技术及生态效应. 水土保持学报, 2004, 18(5): 95-98
- [8] Cui Peng, Wei Fangqiang, Li Yong. Sediment transported by debris flow to the lower Jinsha river. *International Journal of Sediment Research*, 1999, 14(4): 67-71
- [9] 王进鑫, 黄宝龙, 罗伟祥. 造林整地工程对人工幼林系统径流输移的影响. 中国水土保持科学, 2004, 2(3): 36-40
- [10] 陈务豪, 曾念辉, 王寿林, 等. 香根草植物篱护坡反季节施工技术. 中国水土保持科学, 2004, 2(3): 130-131
- [11] 刘震. 我国水土保持的目标与任务. 中国水土保持科学, 2003, 1(4): 1-5