

## 水土流失区小流域生态修复的理论与实践

陈奇伯<sup>1</sup>, 陈宝昆<sup>1</sup>, 董映成<sup>2</sup>, 王震洪<sup>1</sup>

(1. 西南林学院, 云南 昆明 650224; 2. 云南省姚安县水土保持办公室, 云南 姚安 675300)

**摘要:** 提出了退化生态系统修复的理论依据, 并根据生态系统的受损程度, 提出了修复步骤和可能的生态系统修复结果。对长江上游有自然恢复条件的洋派河小流域退化生态系统修复进行了分析, 结果显示, 经过 4 年人为诱导修复, 小流域复合生态系统的生态系统类型增加, 较稳定和趋于正向进展演替生态系统的水平分布面积扩大, 人为重点修复生态系统的立体垂直结构逐渐显现, 生物多样性和生物量增加, 土壤理化特性得到改良, 土壤流失减轻, 森林覆被率提高, 修复效果明显。

**关键词:** 生态修复; 水土流失; 小流域

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2004)01-0168-03

## Theory and Practice of Ecological Restoration in Small Watershed of Soil Eroded Area

CHEN Qi-bo<sup>1</sup>, CHEN Bao-kun<sup>1</sup>, DONG Ying-cheng<sup>2</sup>, WANG Zhen-hong<sup>1</sup>

(1. Southwest Forestry College, Kunming 650224, China;

2. Office of Water and Soil Conservation of Yaoan County, Yaoan 675300, Yunnan, China)

**Abstract:** The theory, procedure and possible results of ecological restoration are put forward. The ecological restoration in Yangtze upper-reaches is researched. The results show that the ecological elements, structures and functions get better by the measures of the man-made restorations for the degenerated ecologies. The ecological types are increased, and the area of the stable ecological types is added while the area of the fragile ones is decreased. In general the soil properties of physical and chemical are improved, the water and soil losses are under control and the biodiversity is richer.

**Key words:** ecological restoration; soil and water loss; small watershed

水力侵蚀区是我国土壤侵蚀面积最大、侵蚀强度最剧烈、危害最严重的水土流失区域。生态脆弱区域严重的水土流失, 不但造成熟化表土层的流失变薄, 降水资源转化成地表径流以后白白损失浪费, 土壤养分随流失土壤和地表径流而流失, 土壤物理性能变差, 泥沙下泄淤积, 最终导致土地生产力的下降甚至丧失, 植被恢复困难。

我国对水土流失的治理, 不论在千沟万壑的黄土高原, 还是风沙肆虐的茫茫沙漠, 特别在大江大河的中上游地区, 都取得了令世人瞩目的成绩。而根据 2002 年全国水土流失公告资料, 全国还有 356 万 km<sup>2</sup> 的水土流失面积需要治理。因此, 要在本世纪中叶实现全国水土流失区域基本得到治理的目标, 任重而道远。面对如此严峻的形式, 我国水土保持决策部门适时调整了新时期水土流失治理的新思路, 强调生态优先, 注重发挥生态系统自我调节机制进行人为参与诱导下的生态修复新思路。但受损生态系统的受损机制不同, 受损程度不同, 相应的管理对策、防治方略也不同。

由于生态系统自然演替的规律性, 退化生态系统可以从

受损状态中得到恢复或人为诱导修复, 使生态系统的结构与功能得到逐步协调<sup>[1]</sup>。生态修复就是在人类的参与和诱导下, 再植一个系统组成要素多样、结构稳定、功能协调、抗干扰和自我维持能力强, 既保持部分原有特性又包括对人类有益的新特性的状态。长江上游是我国长江流域的生态屏障, 这一地区陆生生态系统的稳定与否, 关系到本地区 and 长江中下游生态环境和社会经济的健康与发展。另外, 长江上游的气候条件、土壤条件和地带性植被分布等, 都有利于退化生态系统的恢复与修复。因此, 开展这一地区的生态修复试点和生态系统修复效果研究, 对我国大面积水土流失区的生态环境建设具有重要的指导意义。

### 1 水土流失区生态修复的理论基础

#### 1.1 生态系统的自组织功能原理

生态系统是一定空间内生物群落与物理环境之间通过物质循环、能量流动、信息传递、相互作用、相互依存而形成的生态功能单元。生态系统的物种数量越多、结构越复杂, 抵抗外界

收稿日期: 2003-08-26

基金项目: 云南省教育基金项目(02ZY059)资助

作者简介: 陈奇伯(1965-), 男, 博士, 副教授, 主要从事土壤侵蚀与流域管理方向的教学与科研工作, 发表论文 20 余篇。

干扰的能力就越强,生态系统的稳定性就越好。生态系统的自组织反馈机制使它具有自我调节的功能,即生态系统在受到不超过生态阈值的外界干扰后,仍然能在一定时间内保持其结构与功能的相对稳定状态,或偏离生态平衡后能在很短的时间内恢复到原始状态<sup>[2]</sup>。而如果外来干扰超过生态系统的自我调节能力,受损生态系统就不能自然恢复到其原初稳定状态,需要人为的调节诱导和修复,否则,将长期保持受损状态。

### 1.2 干扰景观恢复与重建的景观生态学原理

景观是处在生态系统之上,大地区域之下的中间尺度,由不同类型的生态系统组成<sup>[2]</sup>。小流域系统是典型的景观生态系统,由农田生态系统、森林生态系统和坝库、池塘水域生态系统等不同类型生态系统组成。小流域系统产生的干扰会对流域内的几乎所有生态系统产生作用,如暴雨对一个流域系统的干扰,不但会使流域系统中最脆弱的坡面农田生态系统受损,疏林或幼林等郁闭条件差的森林生态系统也会受到水土流失危害,坝库、池塘等水域生态系统也会受到洪水威胁或淤积损失。自然和人为对生态系统的干扰在自然界无处不在,直接影响景观的稳定。一般来说,景观受到外界干扰时变化越小,能够保持其相对稳定状态的时间越长,干扰后恢复到原来状态的时间越短,景观就越稳定。由于景观生态系统在一定范围内有一定的恢复力、抵抗力和持久性,所以干扰景观具有自然的恢复能力和在人为控制下的重建可能。

### 1.3 生态系统的自然演替规律

任何生态系统无时无刻不处在变化、发展和自然演替的过程中。在以前没有生长过植被的原生裸地上首先出现先锋植物,以后相继产生一系列植物群落替代过程的原生自然演替序列,一般是裸岩、地衣、苔藓、草被、灌木、乔木。而原来有过植被覆盖,由于某种原因原有植被消失了,自然演替就要在这种裸地上进行次生演替。当发生于裸露地面的植被群落经过一系列发展变化,总趋势朝向逐渐符合于当地主要生态环境条件方向进行的进展演替,是退化生态系统修复的目标。进展演替的结果,植被特征一般表现为植被种类由少到多,结构由简单到复杂,由不稳定变得逐渐稳定,同时植被群落越来越能够充分利用环境资源。退化生态系统的修复,就是要利用生态系统的自然演替规律,人为创造利于进展演替的生态环境,构建植被种类繁多、立体垂直结构复杂、水平斑块结构多样的相对稳定生态系统。

### 1.4 生态控制系统工程学原理

生态控制系统是指人类控制人类以外的生物及其生态环境整体。即人类在生态系统中,控制它向有利于人类的方向发展。生态控制系统工程模式<sup>[5]</sup>如图 1 所示:

## 2 受损生态系统的修复与调控

一个复合生态系统或景观生态系统,在遭到强度干扰,严重受损的情况下,若不及时采取措施,受损状态就会进一步加剧,直至自然恢复能力丧失和长期保持受损状态。要对受损生态系统进行人为修复,其调控步骤主要包括:(1)停止或减缓使生态系统受损的干扰,如滥砍滥伐、过度放牧、陡坡垦荒、围湖造田等行为;(2)对受损生态系统的受损程度、受损等级、可能修复的前景等进行调查和评价;(3)根据对受损生态系统的调查结果,提出生态系统修复的规划,并进行具体修复措施的设计;(4)根据规划要求和设计方案,实施受损生态系统的修复措施,包括生态系统组成要素、生态系统结

构和功能的修复。

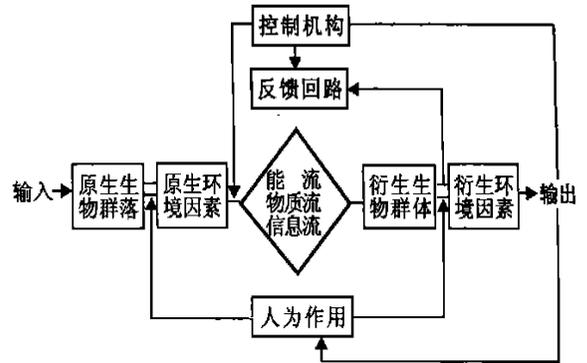


图 1 生态控制系统工程模式图

由于受损生态系统的自组织能力,景观生态系统的抵抗力、恢复力和持久性,以及自然植被群落的自然进展演替规律性,受损生态系统可以从自然干扰和人为干扰所产生的位移中得到自然恢复或人为修复,生态系统的结构和功能将得以逐步协调。不同程度受损生态系统的恢复或修复结果主要有<sup>[3]</sup>:(1)恢复到它原来的状态,这类生态系统的受损程度低,或生态系统已经建立起了与干扰相适应的机制,从而能保持生态系统的稳定性,受损后能恢复到与原来生态系统完全一样的状态,如作物萎蔫之前的短期生理干旱;(2)重新获得一个既包括原有特性,又包括了对人类有益的新特性的状态,如疏幼林改造;(3)由于管理技术等使用,形成一种改进的和原来不同的状态,如荒地全面人工造林;(4)因干扰不能及时移去,或适宜条件不断损失的结果,生态系统保持受损状态,如剧烈侵蚀造成的母岩裸露。

## 3 长江上游洋派河小流域生态修复实践

### 3.1 洋派河小流域生态修复条件分析

洋派河小流域位于云南省楚雄州姚安县西部,是长江上游金沙江的二级支流。属北亚热带低纬度高原季风气候区,气候特点是春暖秋凉,冬无严寒,夏无酷暑,温度年较差小,日较差大,雨热同期,夏秋多雨冬春连旱,干湿季分明,日照充足。土壤以紫色页岩风化形成的紫色土为主,成土母质含泥比重大,土层较薄,抗蚀性能差,构造盆地周围母质局部裸露,水土流失严重,面蚀和沟蚀等水力侵蚀形式分布广泛,植被破坏后不易恢复。自然分布的主要地带性植被类型为中亚热带半湿性长绿针阔混交林,现存植被大部分为以次生云南松、华山松和以栎类为主的针阔混交林,萌生性的阔叶薪炭林、灌木丛及荒山草被等<sup>[4]</sup>。

洋派河小流域土地总面积 49.48 km<sup>2</sup>。在实施生态修复之前的 1998 年,有林地面积 16.21 km<sup>2</sup>、灌木林 2.58 km<sup>2</sup>、经济林木 0.95 km<sup>2</sup>。农地中坡耕地面积占 18.5%;荒山荒坡面积大,占流域总面积的 42.1%;疏幼林面积占流域面积的 5.1%;其它难利用地、非生产性用地和水域面积等占流域总面积的 4.8%。流域内轻度、中度和强度土壤侵蚀面积分别占流域总面积的 26.1%、35.2% 和 18.9%。

### 3.2 流域复合生态系统组成要素的修复

单一生态系统的类型和数量就是小流域复合生态系统

的组成要素。为了修复洋派河小流域系统中生态功能最脆弱坡地农田生态系统,由森林生态系统退化形成的荒山荒坡不能发挥森林生态系统功能的疏幼林地,经过从 1999 年至 2002 年 4 年的人为诱导修复,流域内增加了针对陡坡耕地的人工梯田,针对荒山荒坡的水土保持坡面防护林和经济果木林,针对疏幼林的人工封育保护区、针对沟道水土流失的小型水利水保工程等新的生态系统类型,并且相对稳定生态系统类型的面积或开始向正向进展演替方向发展的生态系统类型面积有了显著增加,脆弱生态系统类型面积明显减少。

根据 2002 年底统计,流域内坡改梯面积增加了 0.37 km<sup>2</sup>,水土保持林面积增加了 6.92 km<sup>2</sup>,经济果木林增加 2.98 km<sup>2</sup>,封禁治理面积增加 4.86 km<sup>2</sup>,谷坊、拦沙坝、蓄水塘池等小型水利水保工程增加 103 处,水土流失面积治理率达到 95.3%。修复后的植被分布面积完全郁闭后,森林覆被率可望达到 75.0% 以上。

通过 4 年生态修复措施的实施,作为生态系统重要组成部分的动物种群数量也明显增加。根据对流域管护人员和附近居民的调查访问,发现在修复后的封育管护区和水土保持林等地域范围,出现了以前很少见到的高原兔 *Lepus oiostolus*、长耳兔 *A. siootus*、松雀鹰 *Accipiter virgatus*、山斑鸠 *Streptopelia orientalis*、草游蛇 *Amphisma stolata*、雉鸡 *Phasianus colchicus*、白鹭 *Egretta garzetta*、白头鹎 *Pycnonotus sinensis*、山雀 *Parus major* 等动物。

### 3.3 流域复合生态系统结构与功能修复

#### 3.3.1 流域系统结构得到改善

选择小流域内主要生态系统类型的典型地段,各设置 3 个重复的 1 m<sup>2</sup> 样方,对生物多样性、生物量、群落结构特征进行了测定。结果显示,森林生态系统严重退化为荒山荒坡后,经过实施人为参与的不同修复措施封育管护和建设水土保持林后,单位面积生物量都显著提高,水土保持林提高最明显,单位面积地上部分生物量是荒地的 10.4 倍;生物多样性显著增加,封育管护区增加最明显,植物物种是荒地的 3 倍,物种个体数量是荒地的 1.7 倍;群落结构得到改善,人工水土保持林已形成了较明显的立体垂直结构,虽然由直播苗云南松、车桑子和移栽苗黑荆树组成的乔灌混交林密度较大,但黑荆树生长很快,移栽后 2~3 年就可郁闭,以后随着林分的自然演替生长和人为疏伐经营,最终地带性分布的云南松将占据林分主体,这也顺利解决了坡面水土保持林短、中、长期的防护效益问题。

#### 3.3.2 土壤理化性能得以改良

为了比较修复后生态系统土壤物理性能改良的效果,以退化生态系统荒地、陡坡耕地作为对照,对实施了修复措施

的生态系统类型和同一类型不同土层的土壤物理特性进行了分析和研究。结果表明,在不同生态系统类型的土壤垂直剖面上,荒地的平均土壤容重分别比水保林和封育管护区大 7.2% 和 17.7%;坡耕地比梯田大 9.7%。显然水土保持林的营造和封育管护措施的实施,使其植被覆盖率增高,根系发达且分布广泛,土层疏松,土壤质地明显得到改良;陡坡耕地整修为梯田后,耕作层土壤的容重明显减小,土壤通气能力增强,土壤物理性能开始向良性转化。在不同生态系统类型的不同土层间,均明显地存在,随土层深度增加土壤容重逐渐增大的趋势,说明,实施不同修复措施后,越往表土层,土壤物理性能的改良效果越好。

按不同土层有机质含量的平均值计算,流域内水土保持林地和封育管护区的有机质含量分别比对照荒地高 47.0% 和 14.4%;显然水土保持林地内乔、灌、草本植物混生,水湿条件较好,有利于微生物的活动,枯枝落叶的分解速度较快;荒地的土壤含水率低,植被郁闭度低,有机质来源少,微生物活动弱,有机质含量就低。所有生态系统类型的全 N 含量都低于 0.1%,随土层的深度的增加,含 N 量减少。其中由于人工施肥、水土保持和气候条件优越等的作用,梯田的全 N 含量大于坡耕地 22.5%。水土保持林和封育管护区的全 N 含量分别大于荒地 48.4% 和 41.8%。梯田的全 P 含量大于坡耕地 15.8%;水土保持林和封育管护区分别大于荒地 27.1% 和 13.6%。

#### 3.3.3 水土流失减轻

流域系统土壤流失明显减轻。根据在洋派河小流域设立的 15 坡面标准径流小区 2002 年雨季 13 场产流降雨资料,封育管护自然恢复坡面的土壤流失量分别比荒地和坡耕地减少 36.3% 和 32.7%,水土保持林坡面的土壤流失量分别比荒地和坡耕地减少 32.9% 和 29.2%。

## 4 小 结

(1) 提出受损生态系统恢复与修复的理论根据主要是生态系统的自组织功能原理,干扰景观恢复与重建的景观生态学原理,生态系统的自然演替规律和生态控制系统工程原理。并根据生态系统的受损程度,提出了受损生态系统的 4 种可能修复结果和修复步骤。

(2) 长江上游有自然恢复条件的退化生态系统,经过 4 年人为参与的不同措施修复,小流域复合生态系统的组成要素、生态系统结构和功能都得到一定程度的改善。生态系统类型增加,较稳定和趋于正向进展演替生态系统的水平分布面积扩大,人为重点修复生态系统的立体垂直结构逐渐显现,生物多样性和生物量增加,土壤理化特性得到改良,水土流失面积减少,土壤流失减轻,森林覆被率提高,修复效果明显。

### 参考文献:

- [1] 章家恩,徐棋.恢复生态学研究的一些基本问题探讨[J].应用生态学报,1999,10(1):109-112
- [2] 焦巨仁.生态修复的探索与实践[J].中国水土保持,2003,(1):10-12
- [3] 王礼先.流域管理学[M].北京:中国林业出版社,1999.26-40
- [4] 董映成.继往开来再创新世纪姚安水保辉煌[J].彝州经济研究,2001,(6):66-68
- [5] 关君蔚.运筹帷幄,决胜千里——从生态控制系统工程谈起[M].北京:清华大学出版社,2000.107-116