



# 干热河谷植被恢复技术

主编 李昆 孙永玉

云南科技出版社

# 干热河谷植被恢复技术

主编：李 昆 孙永玉



云南出版集团公司  
云南科技出版社

· 昆 明 ·

图书在版编目 ( C I P ) 数据

干热河谷植被恢复技术/李昆, 孙永玉主编. —昆明: 云南科技出版社, 2011. 7

ISBN 978 - 7 - 5416 - 4619 - 5

I. ①干... II. ①李... ②孙 III. ①园林设计 - 研究 - 云南省 IV. ①TU986. 627. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 081528 号

云南出版集团公司

云南科技出版社出版发行

(昆明市环城西路 609 号云南新闻出版大楼 邮政编码: 650034)

昆明理工大学印务包装有限公司印刷 全国新华书店经销

开本: 889mm × 1194mm 1/16 印张: 字数: 千字

2011 年 7 月第 1 版 2011 年 7 月第 1 次印刷

印数: 1 ~ 1000 定价: 100.00 元

## 编写委员会

主 编	李 昆	孙永玉			
副主编	刘方炎	张春华	唐国勇		
编 委	李 昆	孙永玉	刘方炎	张春华	唐国勇
	崔永忠	罗长维	马姜明	张昌顺	崔 凯
	陈艳彬	彭 辉	李 立	彭兴民	廖声熙
	杨振寅				
统 稿	李 昆	孙永玉			

---

---

# 前 言

干热河谷主要分布于我国西南的金沙江、红河、怒江、澜沧江等流域的部分地段，海拔一般在1600m以下的河谷地区。另外，在云南省文山壮族苗族自治州境内的南盘江流域，四川省境内的雅砻江、安宁河、龙川江、岷江、大渡河等河流的中下游，贵州省南、北盘江和红水河流域等，也有一定面积的干热河谷分布，海南省西部的局部地区也有少量类似干热河谷的生态环境存在。概略计算，我国干热河谷分布面积约3.0万km<sup>2</sup>。

干热河热量资源丰富，大气和土壤干旱严重，自然植被中乔木层发育差，多为禾本科植物扭黄茅 (*Heteropogon contortus*)，间有坡柳 (*Dodonaea viscosa*) 等灌木树种的单优植物群落。土壤贫瘠，地表板结，变性土分布面积大，保水性能弱，山坡陡峭，加之植被稀少，干季凋落物难以分解，雨季随地表水流水，使土壤腐殖层发育差，地表物质易被搬运且移动快，只需中等程度的外部干扰，山坡的稳定性即遭破坏。所以，该地区的生态系统极度退化，植被稀疏，森林萎缩，结构与功能濒临崩溃，水土流失十分严重。其中，金沙江干热河谷水土流失面积达46.6%以上，流域水土流失面积占长江上游地区总流失面积的36.4%，年输沙量占宜昌站年输沙量的45.3%，与干热河谷日益严重的植被退化和自然灾害频发密切相关，如云南省东川已成为世界泥石流“博物馆”。给流域区内国家和人民群众的生命财产带来了极大威胁，严重阻碍了当地和中、下游地区经济社会的可持续发展，可能影响国与国之间的关系（红河、澜沧江、怒江等属涉外河流）。

目前，我国林地面积不足，森林质量低下，生态产品严重短缺，生态安全已成为影响和阻碍我国经济社会可持续发展的一个严重问题。干热河谷的植被恢复与生态治理，在我国西南几大江河流域，尤其在长江上游的生态环境保护与治理中占有十分重要的位置。该地区良好的植被状况和生态环境，对于整个流域的水土保持和生态治理，构建国土安全体系，保证国家西部大开发战略的顺利实施和西南水利水电资源的开发利用，改善和促进国与国之间的关系（红河、澜沧江、怒江等属涉外河流），为当地和长江中下游地区经济社会的可持续发展提供良好的生态安全屏障，均具有十分重要的意义。

从20世纪90年代起，我国在长江、珠江等大江大河流域启动了“长防”、“长治”、“珠防”等多项以水土保持和生态治理为主要建设内容的林业生态工程，中国林业科学研究院资源昆虫研究所也于此时深入金沙江流域的元谋干热河谷，围绕植被恢复和水土流失治理开展了系统的较大规模试验研究，营造了近万亩试验示范林，持续进行恢复过程及其效应研究，取得了一批阶段性科学实用的科研成果，总结提出“树种选择、容器育苗、提前预整地、适当密植和雨季初期造林”的干热河谷配

套造林技术，大大提高了该地区造林成活率和保存率。在此基础上，通过“十五”、“十一五”两个科技攻关（支撑）计划，进一步对干热河谷植被恢复与生态治理的相关应用基础、技术集成与创新、试验示范等进行了深入研究，在金沙江干热河谷典型地区——元谋盆地建立了“国家林业局云南元谋荒漠生态系统定位研究站”，编制了干热河谷生态恢复监测技术规程及其指标体系，逐步建立起与退化生境分类和立地区划相匹配的分类恢复、定向培育的技术途径等，取得了一系列丰硕研究成果。因此，迫切需要对以往的试验研究及其成果进行系统梳理，总结其10年来干热河谷植被恢复与生态治理研究和试验示范的经验教训，站在新的历史起点上，承前启后，继往开来。巩固“八五”以来的植被恢复与生态治理成果，为“十二五”期间长江防护林体系建设提供科技支撑，并为彻底遏制干热河谷生态环境退化和构建起长江流域绿色生态安全屏障奠定坚实的技术基础。

本书主要收录科技部公益性项目“干热河谷区生态综合整治技术研究及示范”（2000DIB50164）、“十一五”科技支撑专题“干旱干热河谷过渡区植被恢复技术”（2006BAD03A0304）和“干热河谷植被恢复抗逆植物材料筛选与快繁技术研究”（2006BAD03A0101），以及中国林业科学研究院院长基金项目“试验站长期定位观测与干热河谷山合欢沃岛效应研究”（Riricaf200803Z）的部分研究成果，其工作主要在国家林业局云南元谋荒漠生态系统定位研究站完成。内容主要包括干热河谷性质特征及其研究现状与趋势，适宜树种引进与选择的生理生态学基础，树种繁殖与营造林技术，人工植被的群落结构、功能与效益，植被恢复与森林资源培育及利用、病虫害及昆虫多样性等六大方面。

需要特别说明的是，干热河谷植被恢复、生态治理研究和元谋生态站建设，得到国家科技部、国家林业局、中国林业科学研究院以及资源昆虫研究所的大力支持，本书才得以编辑出版。在本书成稿出版之际，所有编（作）者对此表示衷心的感谢。由于篇幅有限，有些科技人员和研究生的成果未予纳入，但本书的研究成果凝聚了你们许多的辛劳和汗水，在此一并致谢。

由于编者水平所限，错误和疏漏在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2011年2月

# 目 录

## 第一章干热河谷综合研究

- 西南干热河谷植被恢复研究现状与发展趋势
- 干热河谷的气候本质特征与植被恢复
- 横断山区干热河谷气候及其对植被恢复的影响
- 金沙江干热河谷与岷江上游干旱河谷气候特征比较及植被恢复研究
- 萨王纳群落研究进展
- 西南地区植物资源生物多样性和保护利用
- 人工林地力的衰退与维护研究现状与趋势
- 人工林养分循环研究现状与进展

## 第二章干热河谷植被恢复适宜树种选择及繁殖栽培技术研究

- 金沙江干热河谷区适宜造林树种筛选研究
- 干热河谷不同海拔印楝适应性研究
- 金沙江干热河谷地区构树的 AFLP 分析
- 不同处理措施对构树种子萌发的影响
- 金沙江干热河谷地区几个适宜造林树种育苗技术研究
- 金沙江干热河谷造林树种育苗密度研究
- 6 种适宜于金沙江干热河谷造林树种的苗木施肥技术
- 川楝苗木失水处理对其活力及造林效果的影响
- 干热河谷不同整地措施造林成效研究
- 元谋干热河谷苏门答腊金合欢、新银合欢人工林天然更新初步研究

## 第三章干热河谷造林树种抗逆生理生态研究

- 金沙江干热河谷区几个造林树种的生态适应性变化
- 干热河谷柠檬桉苗期抗旱生理研究
- 云南元谋干热河谷地区 6 种植物种子的抗逆生理特性
- 木豆种子超干保存最适含水量的选择及其机制分析
- 元谋干热河谷 6 种树种叶片解剖特征与蒸腾作用研究
- 干热河谷 4 个树种叶温与蒸腾速率关系的研究
- 干热河谷引种沙漠蕨的抗旱生理研究
- 车桑子种子抗逆生理学特性及其对天然更新的影响
- 印楝 4 个种源抗旱能力的比较

## 第四章干热河谷人工植物群落结构与功能恢复研究

- 金沙江干热河谷几种引进树种人工植被的生态学研究
- 金沙江干热河谷植被恢复初期群落特征分析
- 元谋干热河谷不同人工林林下物种多样性的研究

钝叶黄檀异地保存林种群结构特征  
元谋干热河谷人工林的土壤养分效应及其评价  
不同利用方式下土壤活性有机碳含量及其分配特征  
元谋干热河谷不同人工林地土壤培肥效果比较研究  
施肥对干热河谷生态恢复区林木生长及土壤碳氮含量的影响  
不同人工林土壤培肥效果的主分量分析  
施肥对印楝幼林土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用

## 第五章干热河谷森林资源培育利用研究

金沙江干热河谷能源林树种及培育技术研究  
金沙江干热河谷退耕还林地川楝林生物量及林下物种多样性研究  
元谋干热河谷人工促进植被恢复技术研究  
印楝属植物的分类及分布  
印楝生物学特性及引种栽培  
印楝人工幼林生长规律的研究  
印度传统辣木引种栽培研究  
印度黄檀造林技术研究

## 第六章病虫害及昆虫多样性恢复研究

放牧对干热河谷明油子灌草丛群落的生物多样性影响  
干热河谷不同生境类型昆虫多样性研究  
元谋干热河谷麻疯树白粉病的发生及防治  
云南元谋干热河谷直翅目昆虫多样性初步研究  
元谋干热河谷象甲多样性初步研究  
元谋干热河谷赤桉纯林与混交林昆虫群落多样性比较  
节肢动物作为生物指示物对生态恢复的评价

# 第一章

---

---

## 干热河谷综合研究 **General Review**

# 西南干热河谷植被恢复研究现状与发展趋势

李 昆<sup>1,2</sup>, 刘方炎<sup>1,2,3</sup>, 孙永玉<sup>1,2</sup>

(1. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 昆明 650224; 2. 国家林业局云南元谋荒漠生态定位研究站元谋 6513002; 3. 北京林业大学生物科学与技术学院, 北京 100083)

**摘 要:** 干热河谷主要分布于长江、红河、怒江和澜沧江等流域中、上游地区。该区域气候干热、植被稀少、土壤干旱瘠薄、水土流失严重, 是我国西南地区典型的生态脆弱区, 也是我国植被恢复和生态治理极为困难的区域。本文通过回顾其植被恢复历程, 对现有植被演变过程、植被恢复的途径与方法、植物逆境适应保护机制研究、及其适宜树种筛选与引种, 植被恢复与特色资源培育利用等, 进行系统比较分析, 总结数十年来植被恢复研究与实践的成功经验和失败教训, 明确干热河谷植被恢复的现状与发展趋势, 承前启后, 继往开来, 加速构建长江上游绿色生态安全屏障, 为干热河谷地区及其所在江河流域的经济社会可持续发展, 实现西南地区森林“双增”目标做出应有的贡献。

**关键词:** 干热河谷; 植被恢复; 现状; 趋势

干热河谷热量资源丰富, 大气和土壤干旱严重, 自然植被中乔木林发育差, 多为禾本科植物扭黄茅 (*Heteropogon contortus*), 间有坡柳 (*Dodonaea viscosa*) 等灌木树种及草本植物组成的单优植物群落。土壤贫瘠, 地表板结, 变性土分布面积大, 保水性能弱, 山坡陡峭, 地表物质易被搬运且移动快 (何毓蓉 and 黄成敏, 1995)。干热河谷所谓的“干热”, 就是水分条件与热量条件的配合, “河谷”指的是地形因素 (金振洲 and 欧晓昆, 2000)。该区域年平均气温  $> 20.0^{\circ}\text{C}$ , 最冷月平均气温  $\geq 14.0^{\circ}\text{C}$  (1月),  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的年平均积温  $> 7500^{\circ}\text{C}$ ; 年平均降雨量 600 ~ 700mm, 年平均干燥度  $> 1.5$  (张荣祖, 1992)。干热河谷植被曾被称为“热带稀树草原植被 (Savanna)”, 即萨王纳植被 (吴征镒 *et al.*, 1980), 以后金振洲将其称为“半萨王纳植被 (Semi-Savanna)” (欧晓昆 and 金振洲, 1987)。1998年将元江、金沙江、怒江和澜沧江四大江河干热河谷植被定名为“河谷型萨王纳植被 (Savanna of valley type)” (金振洲 and 欧晓昆, 2000)。

干热河谷主要分布于长江、红河、怒江和澜沧江中、上游地区, 植被恢复和生态治理在整个流域的水土保持, 构建生态安全屏障中占有十分重要的位置。同时, 对于保证国家西部大开发战略的顺利实施和西南水利水电资源的合理开发利用, 改善和促进国与国之间的关系 (红河、澜沧江、怒江等属涉外河流), 促进当地和中下游地区经济社会可持续发展, 均具有十分重要的意义。

## 1 干热河谷植被恢复研究简单回顾

根据对干热河谷的认识, 以及逐步进行植被恢复实践的过程, 大概可分为缺乏认识的盲目恢复、模仿自然的试验探索、系统研究与试验示范、多目标可持续发展 4 个阶段。

第一阶段历时 20 世纪 50 ~ 60 年代。单纯从发展林业的角度考虑, 试图通过较为简单经济的技术途径, 在恢复干热河谷植被的同时培育大量森林资源。如采用飞机播种或人工撒播的方式, 营造云南松和思茅松, 开始干热河谷的植被恢复实践。

第二阶段历时 20 世纪 70 ~ 80 年代中。仿照当地的自然植被状况以灌木为主, 选择坡柳、黄荆 (*Vitex negundo*)、苦刺 (*Sophora vicifolia*) 等乡土植物进行植被恢复, 并初步试验造林效果, 认为灌草结合是最佳造林模式 (魏汉功 and 叶厚源, 1991)。

第三阶段历时 20 世纪 80 年代中到 90 年代末。开始气候、土壤、植被和植物区系、树种引

种驯化、造林技术等诸多方面的系统研究,筛选出 10 余种适宜造林树种,提出了“树种筛选、容器育苗、提前预整地和雨季初期造林”的综合配套技术。干热河谷植被恢复与生态建设进入真正认识、了解和有目的规模化实践的新时期。

第四阶段是从 21 世纪初以来至今。以多目标恢复植被为目的,将植被恢复与资源培育和利用相结合,与退化土地改良及保护利用相结合,与乡土树种和传统景观恢复相结合,综合考虑生态、经济和社会三大效益,推动地方经济发展和群众增收致富。最显著的标志,就是高价值、多用途树种的引进和培育,依靠自然力的可持续恢复技术,针对环境退化差异的分类恢复、定向培育技术,节水灌溉等高效水资源利用与土地集约经营技术、以往研究成果的普适性试验研究等。

## 2 干热河谷植被恢复研究现状

### 2.1 现有植被演变过程研究

植被学研究表明,西南干热河谷现存的具稀树草原性质的植被,其出现时间不会早于距今 150 万年前的更新世中期(欧晓昆,1988)。

元谋盆地是金沙江干热河谷的典型地段。元谋湾堡土林考古研究结果,在第四纪早更新世时期(距今 200 万年前),元谋盆地为浅水湖泊、周围平地及丘陵山地生长着温暖湿润气候条件下的榆科(Ulmaceae)、桦木科(Betulaceae)、杨柳科(Salicaceae)等植物组成的落叶阔叶林。当时的气候四季分明,温暖湿润(周跃 and 金振洲,1987;魏汉功 and 叶厚源,1991;吴佩珠 and 钱方,1991)。元谋古人类生活时期(距今 130 万~170 万年前)的植物孢粉组合显示,松属(*Pinus*)占 43.2%,桤木属(*Alnus*)占 9.0%,栲属(*Castanopsis*)占 1.2%,其他植物还有柏科(Cupressaceae)、桦木科(Betulaceae)、榆科(Ulmaceae)和壳斗科的青冈属(*Cyclobalanopsis*)和栎属(*Quercus*)等植物。也有少量热带、亚热带植物种属存在,植被主要为常绿针阔混交林。到中更新世时期(距今 60~80 万年前),河谷坝区植被为南亚热带常绿阔叶林及草地(张建平 *et al.*, 2000)。晚更新世(距今 10 万年前),木本、草本和蕨类植物各占 1/3。木本主要是松类植物,有少量胡桃科(Juglandaceae)、云杉属(*Picea*)、铁杉属(*Tsuga*)、栎属等植物;草本优势种为蒿属(*Artemisia*)植物,有少量的伞形花科(Umbelliferae)和禾本科植物(周国兴 and 张兴永,1984)。全新世(约 1 万年前至今)时,木本植物仅见松属、栎属、桤木属、榆属(*Ulmus*)等的树种,草本有禾本科(Gramineae)、莎草科(Cyperaceae)和蓼科(Polygonaceae)的植物,蕨类主要成分是水龙骨科的植物(Polypodiaceae)(周麟,1996)。

但也有学者认为上新世时期元谋干热河谷的植被已经分化,盆地周围山地生长有松科、壳斗科、樟科(Lauraceae)、胡桃科、金缕梅科(Hamamelidaceae)为主的连续或片状分布的常绿和落叶阔叶林;盆地内则是以禾本科、蔷薇科(Rosaceae)等植物为主,杂以大戟科(Euphorbiaceae)、豆科(Leguminosae)、忍冬科(Caprifoliaceae)、杨梅科(Myricaceae)的灌木或草本植物,以及榆科、桦木科等树木组成的稀树灌丛草原型植被。并认为该地区在 200 万~300 万年前的中晚上新世,已经发育成为金沙江流域的干热河谷盆地之一(刘耕武 *et al.*, 2002)。

### 2.2 植被恢复途径与方法

在植被恢复过程中,由于干热河谷区退化立地类型的差异,恢复植被的类型和方法也应不同。长期以来,许多学者在这方面进行了大量研究和探讨。干热河谷地理环境异质性程度较高,加之该区域植被破坏严重,可供参照的地带性原生植被很少,目前适宜干热河谷退化山地造林的乔木树种主要是引进树种(杨成源等,1996;周蛟等,2000;李昆等,2004),而且,土壤入渗能力强的石质山地有利于高大乔木的生长,侵蚀严重的泥质山地则相反(杨忠等,2000)。与退化生境分类和立地区划相结合的分类恢复、定向培育(李昆,2007),以及“树种选择、容器育苗、提前预整地、适当密植和雨季初期造林”(陈玉德等,1995),是干热河谷主要的植被恢复

途径和配套技术。在极强度退化类型区采取彻底封禁的自然恢复途径，强度退化类型区采取自然恢复为主，辅以一定水保工程措施的途径；重度退化类型区采取封禁条件下的灌草植被人工促进恢复途径，坡度较缓和土壤较厚地段可采用人工恢复的技术途径；中度退化类型区可以人工恢复为主，辅以严格封禁，引种生态适应性强的多用途乔木树种；轻度退化类型区则可以引种经济价值较高的经济林木和热带作物，通过雨养加灌溉措施，恢复人工经济型植物群落（叶厚源 and 魏汉功，1991；陈玉德 and 吴陇，1995；钟祥浩，2007）。并在植被恢复与生态治理规划设计时，尽量求得生态、经济和社会效益的统一（欧晓昆，1994）。同时，在立地条件好的地段营造高价值多用途树种、农用小径材或薪炭林，提高山区群众收入，解决干热河谷区生活燃料问题，以发展促恢复，加强现有植被保护，促进自然更新恢复（杜天理，1994）。

另外，针对干热的气候条件以及严重土壤退化，有学者提出了构建以乔木树种为主的复合农林系统，在林带内进行“胡同”式农业耕作（何毓蓉 and 黄成敏，1997）。有试验表明，适当加大初植密度，有利于提高干热河谷造林成活率和保存率（陈玉德等，1995；杨成源等，1996），但也有人试图通过减少群落植株密度和生物量，建立“适度”的乔木层密度，“适度”的灌草层结构的“适度”造林技术（费世民 *et al.*，2003），来促进该区域的植被恢复。

### 2.3 植物逆境适应保护机制

在低纬度地区的干热河谷，其主要气候特点就是干和热，旱季长达7个月以上，这期间植物的抗逆性、生态适应性及其适应保护机制等，在干热河谷植被恢复与生态治理中，适宜物种选择具有重要的理论意义和现实价值。

20世纪90年代以来，干热河谷植物生态适应性和生态保护机制的研究，主要集中在植物对高温、干旱环境的生理适应方面。李昆等通过实地观测，对金沙江干热河谷主要造林树种蒸腾作用进行研究，发现干热河谷造林比较成功的树种可分为蒸腾作用较强的乡土树种和桉树类树种，和以较弱的蒸腾作用度过旱季的相思类树种两大类（李昆 and 曾觉民，1999）。有研究表明，滇刺枣（*Zizyphus mauritiana*）、聚果榕（*Ficus recemosa*）和黄花槐（*Sophora xanthoantha*）等属于高蒸腾耗水树种，对干旱胁迫具有中度敏感性；坡柳、山毛豆（*Tephrosia candida*）、山合欢（*Albizia kalkora*）、苏门答腊金合欢（*Acacia glauca*）、印楝（*Azadirachta indica*）及木豆（*Cajanus cajan*）为亚高蒸腾耗水树种，对干旱胁迫具有弱度敏感性；干香柏（*Cupressus duclouxiana*）、圆柏（*Sabina chinensis*）及墨西哥柏（*C. lusitanica*）属于中度干旱敏感型树种（段爱国，2008）。实际上也是亚高蒸腾耗水和对干旱胁迫敏感性弱的树种，具有较强的生态适应性。毛枝青冈（*Cyclobalanopsis helferiana*）和三叶漆（*Terminthia paniculata*）叶片有发达的抗氧化系统，且对低温敏感，活性在干凉季达最高水平，对干热河谷环境也有较好的适应性（朱俊杰 and 曹坤芳，2008）。游离脯氨酸研究显示（李昆 and 曾觉民，1999），山毛豆、木豆、真珠相思（*Acacia podalyriifolia*）、大叶相思（*A. auriculiformis*）、台湾相思（*A. confusa*）、绢毛相思（*A. holosericeae*）、坡柳等树种，在旱季时游离脯氨酸累积较多；赤桉（泰国种源）（*Eucalyptus camaldulensis* var. *tailanthenensis*）、赤桉（*E. camaldulensis*）、柠檬桉（*E. citriodora*）、尾叶桉（*E. urophylla*）、大叶桉（*E. robusta*）、新银合欢（*Leucaena leucocephala*）、苏门答腊金合欢、滇刺枣等树种则无明显变化。可能干热河谷适宜造林树种的游离脯氨酸积累与抗旱性之间无明显的相关关系。

不同树种其水分生理指标的动态变化和水分生理特性不同，其适应方式也不同，但都强烈地受到干旱环境的影响。有人根据树种抗逆适应机制进行分类（高洁 *et al.*，2004），其中，乡土树种黄荆、滇榄仁（*Terminalia franchetii*）、小桐子（*Jatropha curcas*）等以旱季落叶方式；常绿树种度过旱季的方式则分为4类：一是低水势、气孔导度近似关闭的大叶相思、厚荚相思（*Acacia crassicaarpa*）、肯氏相思（*A. cunninghamia*）等；二是低水势、低气孔导度的赤桉、绢毛相思和坡柳等；三是较高水势、低气孔导度的新银合欢、柠檬桉等；四是较高水势、气孔导度近似关

闭的马占相思。作者认为第一、第二类树种更适宜干热河谷造林，但实际结果却是第二、第三类树种的造林效果更好（陈玉德等，1995；李昆等，2004，2007）。

## 2.4 适宜树种的选择与引种

从20世纪80年代中期到90年代初期，干热河谷植被恢复开始了适宜树种筛选的较大规模系统试验，先后选择近百种引进和乡土的阔叶树种。其中，山毛豆、台湾相思、新银合欢、苦刺、坡柳、钝叶黄檀（*Dalbergia obtusifolia*）和思茅黄檀（*D. szemaensis*）为适宜保留树种，并逐步用于营造近似天然林的人工恢复植被（叶厚源 and 魏汉功，1991）；赤桉、泡火绳（*Eriolaela malvacea*）、苦楝（*Melia toosendan*）、毛叶合欢（*Albizia mollis*）、阔荚合欢（*Albizia lebbek*）、金合欢（*Acacia farnesiana*）、铁刀木（*Cassia siamea*）等树种，前3年生长及成活情况均比较好，但以后则大量死亡。同时，木豆、大叶千斤拔（*Flemingia macrophylla*）和瓦氏葛藤（*Pueraria wallichii*）等高抗逆性物种在金沙江、红河等干热河谷造林成功（中国林科院资源昆虫研究所，1984）。

20世纪90年代开始，干热河谷植被恢复研究大量引进热带亚洲和澳大利亚热带半干旱半湿润区的阔叶树种，使干热河谷造林取得了突破性进展，筛选出大叶相思、绢毛相思、真珠相思、念珠相思（*Acacia torulosa*）、苏门答腊金合欢、赤桉（泰国种源）、柠檬桉、尾叶桉、细叶桉（*Eucalyptus tereticornis*）、印楝、新银合欢（乔木型）、木麻黄（*Casuarina equisetifolia*）等树种（陈玉德 and 吴隄，1995；杨成源 and 王长福，1996）。马占相思（*Acacia mangium*）等树种，死亡率偏高，但保存植株生长较高大，被认为可在局部水肥条件好的地方种植。而且，乡土与引进的乔灌木树种的实地造林比较试验结果，无论是造林成活率、保存率，还是生长状况（平均株高、胸径和长势等）和生物量，赤桉、厚荚相思、柠檬桉、窿缘桉（*Eucalyptus exserta*）、肯氏相思、大叶相思、台湾相思、珍珠相思、新银合欢、苏门答腊金合欢、印楝等引进树种，比乡土树种山合欢、黄荆、山黄麻（*Trema tomentosa*）、香须（*Albizia odoratissima*）、苦楝（*Melia azedarach*）生长更好，可为当地群众提供数量可观的农用小径材、薪炭材和非木材林产品（周蛟 and 马焕成，2000；李昆 *et al.*，2003；李昆 *et al.*，2004）。

## 2.5 植被恢复与特色生物资源的培育利用

随着适宜物种选择研究的深入，相应促进了树种配置和造林模式的研究。干热河谷区虽然水分资源缺乏，干旱期长，土壤贫瘠，但光热资源充沛，土地资源丰富，具有独特的温室环境资源优势，有利于发展特色种植业和加工业，如元谋盆地“金沙江畔大菜园”，其蔬菜外销量占云南全省冬春外销量的一半，农民卖菜收入达4.7亿，成为该县第一支柱产业（赵俊 and 木万福 *et al.*，2010）。在几大干热河谷区立地条件较好并有灌溉条件的地方，发展龙眼（*Dimocarpus longiana*）、余甘子（*Phyllanthus emblica*）、酸角（*Tamarindus indica*）、番石榴（*Psidium guajava*）、毛叶枣（*Zizyphus rugosa*）、台湾青枣、食用木豆等经济林木（陈玉德 and 谭保邦，1990）。在退化山地上，将生态治理与资源培育及开发利用结合，走生态林业的道路，营建紫胶寄主林，培育优良寄主久树（*Schleichera oleosa*）放养紫胶蚧（*Kerria lacca*）以生产优质紫胶（喻赞仁，1992；李昆 *et al.*，2003）；营建木豆、新银合欢等木本饲料林，麻疯树、木薯（*Manihot esculenta*）等生物能源林，新银合欢与桉树混交的水土保持林（刁阳光，1994），农用小径材、薪炭材水土保持林（伍聚奎 and 周蛟，1996；杨成源 *et al.*，1996）等，与防护林相结合的多目标人工生态系统。

现在，利用优越自然条件，将生态治理与高价值林产品资源培育结合的多目标恢复经营模式，已成为主要发展趋势。高价值印度黄檀在金沙江、红河和怒江干热河谷被广泛引种栽培（石雷等，2010）；红河干热河谷嘎洒段，规模化种植杞果+菠萝、高档柑橙水果+柱花草等作

物, 营造柠檬桉油材两用丰产林 (刘中天 and 任金成, 1993); 金沙江干热河谷鹤庆—永胜段, 用川楝 (*Melia toosendan*) 与云南草寇 (*Alpinia henryi*) 等食 (药) 用作物间作, 大力发展林药产业; 选育和发展优质高纤维品种, 使云南鹤庆纸厂的电池用纸占西南地区 70% 的市场份额; 在金沙江和红河干热河谷, 印楝农药原料林, 辣木食用、工业用原料林等发展到 10 万亩规模; 在林下间种香叶天竺葵 (*Pelargonium hortorum*) 等。极大提高了经济效益, 开创了干热河谷植被恢复与经济发展良性互动的崭新局面。

### 3 干热河谷植被恢复发展趋势

#### 3.1 植被恢复与气候变化

气候变暖似乎已成为全球气候变化的一种趋势。由于金沙江干热河谷地理环境的特殊性, 近 50 年来的局地小气候变化同全球气候变暖趋势并不一致 (Zhanget al., 2002)。上世纪近 50 年间, 年均降雨量增加 131.8mm, 气温降低 1.1 °C (第宝锋 et al., 2006)。当然也有不同看法 (丁斌 et al., 2006)。

干热河谷植被的变化与气候变化, 尤其是与降水量和气温变化具有极大相关性, 而植被对降水的影响存在时滞性。有研究说, 当地植被影响降水量变化本身存在的时滞大约为 10 余年, 因此当地植被恢复需要一定时期才能带来相应的生态效应 (张斌 et al., 2009; 樊毅 et al., 2010)。在全球气候变化的大背景下, 干热河谷气候变化状况及其对植被恢复的影响势必成为今后关注和考虑的重点。

#### 3.2 植被恢复与长江生态防护林体系建设

干热河谷大多位于各大江河流域中、上游地区, 金沙江干热河谷即处于长江上游。据报道, 长江上游的年土壤侵蚀总量为 16 亿 ~ 22.4 亿 t (余剑如 et al., 1991; 虞孝感等, 2003), 从长江流域径流与输沙率变化来看, 流量变化在金沙江流域地区以自然因素影响为主 (张强 et al., 2008), 但金沙江干热河谷区水土流失面积超过 46.6%, 占长江上游地区总流失面积的 36.4%, 年输沙量占宜昌站以上年输沙量的 45.3% (杨万勤 et al., 2002)。因此, 干热河谷在整个长江流域生态建设中占有极其重要的地位。

#### 3.3 植被恢复与农业生产环境改善

土地利用/土地覆被变化 (LUCC) 对生态环境的影响是当今全球环境变化研究的热点和核心领域。干热河谷植被恢复对当地农业生产环境的改善作用也存时滞性。在侵蚀陡坡的植被恢复中, 在 3 年多时间内的保土、增肥和改良不会产生明显作用, 土壤容重依然偏大 (聂小军 et al., 2008); 对农田的防护和局地小气候改善的作用也不会很大。但是, 森林, 尤其是防护林对农业生产系统的保障作用是巨大的。植被恢复与农业生态环境改良的关系, 将是林业服务国家经济建设的重要方面和研究重点。

#### 3.4 植被恢复与多目标经营

随着我国经济社会的高速发展, 植被恢复重建已与农田基本建设、农村山水林田路综合整治、农村能源建设、资源培育与深加工产业培植等紧密结合。因此, 高价值优良品种培育, 多用途树种引种驯化与丰产培育, 多功能防护林营建和高效经营利用, 分类恢复、定向培育与可持续经营等方面的研究, 将成为干热河谷植被恢复的研究重点, 其成果将得到迅速转化, 并在生产中做出重大贡献。

## 4 结语

在长期强度的人为干扰和严酷的自然环境双重压力下, 干热河谷的生态系统极度退化, 结构与功能濒临崩溃, 严重制约了该地方经济社会的可持续发展, 是我国典型的生态脆弱带和极度退

化区,也是我国造林极端困难地区之一,但也是我国林业生态建设的主战场。

鉴于干热河谷植被恢复和生态治理已有一定的人才队伍、技术储备和经验积累,以及该区域在整个长江、珠江、红河、澜沧江和怒江等流域的防护林体系建设中的重要地位和关键环节,进一步加强其相关研究,加紧构建与大体系结合的干热河谷生态防护林子系统,在人工启动和辅助下,依靠自然力实现干热河谷可持续的植被恢复,是满足本区域和所在江河中、下游地区经济社会可持续发展要求,实现我国西南地区森林“双增”目标的重要保证。

## 参考文献

- [1] Zhang, J., Zhong, Y., Wang, D., Zhang, X., 2002. Climate change and causes in the Yuanmou dry-hot valley of Yunnan, China. *Journal of Arid Environment* 51, 153-162.
- [2] 陈玉德, 谭保邦. 1990. 云南干热河谷的植物资源及开发利用研究. *林业科学研究*, 3, 638-641.
- [3] 陈玉德, 吴陇. 1995. 云南元谋干热河谷区营造水土保持林的技术措施及初步成效. *林业科学研究*, 8, 340-343.
- [4] 第宝锋, 崔鹏, 黄胜, 于勇. 2006. 近 50 年金沙江干热河谷区泥沙变化及影响因素分析——以云南省元谋县为例. *中国水土保持科学*, 4, 20-24.
- [5] 刁阳光. 1994. 金沙河干热河谷人工林生态经济功能研究. *林业科技通讯*, 26-27.
- [6] 丁斌, 顾显跃, 缪启龙. 2006. 长江流域近 50 年来的气温变化特征. *长江流域资源与环境*, 15, 531-536.
- [7] 杜天理. 1994. 西南地区干热河谷开发利用方向. *自然资源*, 1, 41-45.
- [8] 段爱国. 2008. 干热河谷主要植被恢复树种蒸腾耗水特性及适应机制评价. *中国林业科学研究院*.
- [9] 樊毅, 周芸, 邹玥, 李靖. 2010. 西南干热河谷降水蒸发变化趋势分析. *人民长江*, 41.
- [10] 费世民, 王鹏, 陈秀明, 魏渠河, 陈宾, 雷彻洪, 涂代伦. 2003. 论干热河谷植被恢复过程中的适度造林技术. *四川林业科技*, 24, 10-16.
- [11] 高洁, 曹坤芳, 王焕. 2004. 干热河谷 9 种造林树种在旱季的水分关系和气孔导度. *植物生态学报* 28, 186-190.
- [12] 何毓蓉, 黄成敏. 1995. 云南省元谋干热河谷的土壤系统分类. *山地研究*, 13, 73-78.
- [13] 何毓蓉, 黄成敏. 1997. 云南省元谋干热河谷的土壤退化及旱地农业研究. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 3, 56-60.
- [14] 金振洲, 欧晓昆. 2000. 元江、怒江、金沙江、澜沧江干热河谷植被. 昆明: 云南科技出版社: 327.
- [15] 李昆, 崔永忠, 张春华. 2003. 金沙江干热河谷退耕还林区造林树种的育苗技术. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 27, 89-92.
- [16] 李昆, 曾觉民. 1999a. 金沙江干热河谷主要造林树种蒸腾作用研究. *林业科学研究*, 12, 244-250.
- [17] 李昆, 曾觉民. 1999b. 金沙江干热河谷造林树种游离脯氨酸含量与抗旱性关系. *林业科学研究*, 12, 103-107.
- [18] 李昆, 张春华, 崔永忠, 赵一鹤, 施永泽. 2004. 金沙江干热河谷区退耕还林适宜造林树种筛选研究. *林业科学研究*, 17, 555-563.
- [19] 李昆. 2007. 金沙江干热河谷适宜树种筛选与植被恢复研究. 北京林业大学博士研究生论文.
- [20] 刘耕武, 李代芸, 黄翡, 傅启龙. 2002. 云南元谋盆地上新世甘棠组植物和孢粉组合及其古气候意义. *古生物学报*, 41, 1-9.
- [21] 刘中天, 任金成. 1993. 新平县干热河谷生态林业“综示”为热区合理开发开创了新途径. *云南林业调查规划*, 29-30.
- [22] 聂小军, 张建辉, 刘刚才, 南岭, 苏正安. 2008. 金沙江干热河谷侵蚀陡坡植被恢复对土壤质量的影响. *生态环境*, 17, 1636-1640.
- [23] 欧晓昆. 1988. 元谋干热河谷植物区系研究. *云南植物研究*, 10, 11-18.
- [24] 欧晓昆. 1994. 金沙江干热河谷的资源植物及其生态特征. *植物资源与环境*, 3, 42-46.
- [25] 欧晓昆, 金振洲. 1987. 元谋干热河谷植被的类型研究 I. 群丛以上单位. *云南植物研究*, 3.

- [26] 石雷, 梁英扬, 邓疆. 2010. 印度黄檀适生区的气候因子研究, 林业科学研究, 23 (2): 191 - 194.
- [27] 魏汉功, 叶厚源. 1991. 金沙江干热河谷旱季土壤含水率评价立地质量的研究. 西部林业科学, 2.
- [28] 吴佩珠, 钱方. 1991. 用氨基酸测年法对“元谋人”年代的初步研究. 人类学学报, 10, 194 - 199.
- [29] 吴征镒, 王献溥, 中国植被编辑委员会. 1980. 中国植被. 北京: 科学出版社.
- [30] 伍聚奎, 周蛟. 1996. 云南中部高原干热河谷薪炭林树种选择营技术及经营模式研究综述. 西南林学院学报, 16, 191 - 204.
- [31] 杨忠, 张建辉, 徐建忠, 等. 2000. 元谋干热河谷不同岩土组成坡地桉树人工林生长特征初步研究. 水土保持学报, 14 (5): 1 - 5
- [32] 杨成源, 王长福. 1996. 元谋干热河谷薪炭林造林及效益研究. 西南林学院学报, 16, 236 - 248.
- [33] 杨万勤, 王开运, 宋光煜, 宫阿都, 何毓蓉. 2002. 金沙江干热河谷典型区生态安全问题探析. Chinese Journal of Eco-Agriculture 10, 3.
- [34] 叶厚源, 魏汉功. 1991. 金沙江干热河谷防护林营造技术试验研究. 西部林业科学, 2.
- [35] 喻赞仁. 1992. 元江河谷热带坝区自然优势及其开发. 自然资源学报, 7, 235 - 239.
- [36] 张斌, 史凯, 刘春琼, 艾南山, 刘刚才, 覃发超. 2009. 元谋干热河谷近 50 年分季节降水变化的 DFA 分析. SCIENTIA GEOGRAPHICA SINICA, 29.
- [37] 张建平, 王道杰, 王玉宽, 文安邦. 2000. 元谋干热河谷区生态环境变迁探讨. 地理科学, 20, 148 - 152.
- [38] 赵俊, 木万福, 李善燕, 等. 2010. 元谋冬春蔬菜产业发展现状分析, 北方园艺, 1: 216 - 218.
- [39] 中国科学院青藏高原综合科学考察队 (张荣祖主编). 1992. 横断山区干旱河谷. 北京: 科学出版社.
- [40] 钟祥浩. 2007. 干热河谷区生态系统退化及恢复与重建途径: 以云南金沙江典型区为例.
- [41] 周国兴, 张兴永. 1984. 元谋人: 云南元谋古人类与古文化图文集. 昆明: 云南人民出版社.
- [42] 周蛟, 马焕成. 2000. 元谋干热河谷引种造林试验及树种选择研究. 西南林学院学报, 20, 78 - 84.
- [43] 周麟. 1996. 云南省元谋干热河谷的第四纪植被演化. 山地研究, 14, 239 - 243.
- [44] 周跃, 金振洲. 1987. 元谋干热河谷植被的类型研究 II. 群丛以下单位. 云南植物研究, 9, 1 - 3.
- [45] 朱俊杰, 曹坤芳. 2008. 元江干热河谷毛枝青冈和三叶漆抗氧化系统季节变化. 植物生态学报, 32, 985 - 993.

## Study status and development trends on vegetation restoration of dry-hot valley, Southwest, China

Li Kun<sup>1,2</sup>, Liu Fangyan<sup>1,2,3</sup>, Sun Yongyu<sup>1,2</sup>

(1. Research Institute of Resources Insects, CAF, Kunming 650224; 2. Desert Ecosystem Station in Yuanmou County, State Forestry Administration of China Yuanmou 6513002; 3. College of Biological Sciences and Biotechnology, BeiJing Forest University, BeiJing 100083, China)

**Abstract:** Dry-hot Valley is mainly distributed in the upstream region of Yangtze River, Red River, Nu River and Lancang River, etc. They are typical ecologically fragile areas in southwest of China, with hot and dry climate, sparse vegetation, drought and barren soil, and seriously water and soil erosion. Restoration and ecological management of vegetation in the area are extremely difficult. This paper reviewed the history of its restoration, the evolution of the existing vegetation, approaches and methods of vegetation restoration, protection of plant stress adaptation, selection and introduction of suitable tree species, vegetation recovery and cultivation characteristics of resource utilization. According to systematic comparative analysis, we sum up decades of research and practice of successes and failures about vegetation restoration, determined that the status and development trend on vegetation restoration of the dry and hot valleys. Our goal is to carry on the past heritage and open up the future, to accelerate green building security barrier of Yangtze River, to make due contribu-

tion for dry – hot valley region and its host river basin's economic and social sustainable development, and to come true " double increase" forest of southwest China.

**Key words:** Dry-hot valley; vegetation recovery; current status; study trends