

“十二五”国家重点图书出版规划项目

典型生态脆弱区退化生态系统恢复技术与模式丛书

干热河谷退化生态系统典型 恢复模式的生态响应与评价

刘刚才 纪中华 方海东 杨艳鲜 沙毓沧 等著



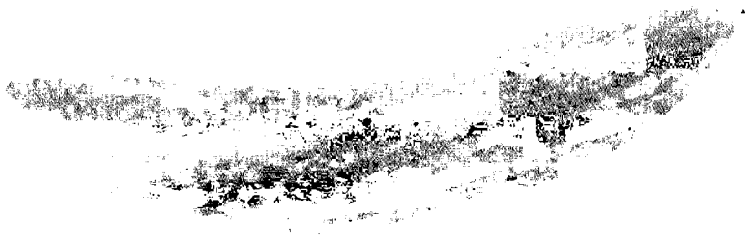
科学出版社

“十二五”国家重点图书出版规划项目

典型生态脆弱区退化生态系统恢复技术与模式丛书

干热河谷退化生态系统典型 恢复模式的生态响应与评价

刘刚才 纪中华 方海东 杨艳鲜 沙毓沧 等著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要针对干热河谷的成因机制,阐述了干热河谷退化生态系统的特征及其区域分布规律,以及退化生态系统的退化机制;重点针对干热河谷典型退化生态系统的5种典型恢复模式,详细论述了这些模式的特征和技术标准,阐述了这些模式下的土壤生态响应、生物群落结构特征和生物群落功能特征,并对这些模式进行了生态和社会经济评价,以及可持续性和适宜性评价,提出了有关的科学评价体系和方法,指出了该区目前比较优化和适宜的生态恢复模式及体现恢复模式生态、经济和社会效益相统一的具体途径,同时提出了该区下一步生态恢复的措施和对策。

本书可供生态学、恢复生态学、环境科学、水土保持学等领域的科技工作者和高校学生,以及环境保护、生态建设与水土保持、农业生产等领域的管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

干热河谷退化生态系统典型恢复模式的生态响应与评价 / 刘刚才, 纪中华, 方海东等著. —北京: 科学出版社, 2011

(典型生态脆弱区退化生态系统恢复技术与模式丛书)

“十二五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-03-030983-9

I. 干… II. 刘… III. 干谷-生态恢复-研究-中国 IV. X171.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第087912号

责任编辑: 李 敏 张 菊 王晓光 / 责任校对: 赵桂芬

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年6月第一版 开本: 787×1092 1/16

2011年6月第一次印刷 印张: 15 1/2 插页: 2

印数: 1—1 000 字数: 370 000

定价: 60.00元

如有印装质量问题, 我社负责调换

总 序

我国是世界上生态环境比较脆弱的国家之一，由于气候、地貌等地理条件的影响，形成了西北干旱荒漠区、青藏高原高寒区、黄土高原区、西南岩溶区、西南山地区、西南干热河谷区、北方农牧交错区等不同类型的生态脆弱区。在长期高强度的人类活动影响下，这些区域的生态系统破坏和退化十分严重，导致水土流失、草地沙化、石漠化、泥石流等一系列生态问题，人与自然的矛盾非常突出，许多地区形成了生态退化与经济贫困化的恶性循环，严重制约了区域经济和社会发展，威胁国家生态安全与社会和谐发展。因此，在对我国生态脆弱区基本特征以及生态系统退化机理进行研究的基础上，系统研发生态脆弱区退化生态系统恢复与重建及生态综合治理技术和模式，不仅是我国目前正在实施的天然林保护、退耕还林还草、退牧还草、京津风沙源治理、三江源区综合整治以及石漠化地区综合整治等重大生态工程的需要，更是保障我国广大生态脆弱地区社会经济发展和全国生态安全的迫切需要。

面向国家重大战略需求，科学技术部自“十五”以来组织有关科研单位和高校科研人员，开展了我国典型生态脆弱区退化生态系统恢复重建及生态综合治理研究，开发了生态脆弱区退化生态系统恢复重建与生态综合治理的关键技术和模式，筛选集成了典型退化生态系统类型综合整治技术体系和生态系统可持续管理方法，建立了我国生态脆弱区退化生态系统综合整治的技术应用和推广机制，旨在为促进区域经济开发与生态环境保护的协调发展、提高退化生态系统综合整治成效、推进退化生态系统的恢复和生态脆弱区的生态综合治理提供系统的技术支撑和科学基础。

在过去 10 年中，参与项目的科研人员针对我国青藏高原高寒区、西南岩溶地区、黄土高原区、干旱荒漠区、干热河谷区、西南山地区、北方沙化草地区、典型海岸带区等生态脆弱区退化生态系统恢复和生态综合治理的关键技术、整治模式与产业化机制，开展试验示范，重点开展了以下三个方面的研究。

一是退化生态系统恢复的关键技术与示范。重点针对我国典型生态脆弱区的退化生态系统，开展退化生态系统恢复重建的关键技术研究。主要包括：耐寒/耐高温、耐旱、耐



盐、耐瘠薄植物资源调查、引进、评价、培育和改良技术，极端环境条件下植被恢复关键技术，低效人工林改造技术、外来入侵物种防治技术、虫鼠害及毒杂草生物防治技术，多层次立体植被种植技术和林农果木等多形式配置经营模式、坡地农林复合经营技术，以及受损生态系统的自然修复和人工加速恢复技术。

二是典型生态脆弱区的生态综合治理集成技术与示范。在广泛收集现有生态综合治理技术、进行筛选评价的基础上，针对不同生态脆弱区退化生态系统特征和恢复重建目标以及存在的区域生态问题，研究典型脆弱区的生态综合治理技术集成与模式，并开展试验示范。主要包括：黄土高原地区水土流失防治集成技术，干旱半干旱地区沙漠化防治集成技术，石漠化综合治理集成技术，东北盐碱地综合改良技术，内陆河流域水资源调控机制和水资源高效综合利用技术等。

三是生态脆弱区生态系统管理模式与示范。生态环境脆弱、经济社会发展落后、管理方法不合理是造成我国生态脆弱区生态系统退化的根本原因，生态系统管理方法不当已经或正在导致脆弱生态系统的持续退化。根据生态系统演化规律，结合不同地区社会发展特点，开展了生态脆弱区典型生态系统综合管理模式研究与示范。主要包括：高寒草地和典型草原可持续管理模式，可持续农—林—牧系统调控模式，新农村建设与农村生态环境管理模式，生态重建与扶贫式开发模式，全民参与退化生态系统综合整治模式，生态移民与生态环境保护模式。

围绕上述研究目标与内容，在“十五”和“十一五”期间，典型生态脆弱区的生态综合治理和退化生态系统恢复重建研究项目分别设置了11个和15个研究课题，项目研究单位81个，参加研究人员463人。经过科研人员10年的努力，项目取得了一系列原创性成果：开发了一系列关键技术、技术体系和模式；揭示了我国生态脆弱区的空间格局与形成机制，完成了全国生态脆弱区区划，分析了不同生态脆弱区面临的生态环境问题，提出了生态恢复的目标与策略；评价了具有应用潜力的植物物种500多种，开发关键技术数百项，集成了生态恢复技术体系100多项，试验和示范了生态恢复模式近百个，建立了39个典型退化生态系统恢复与综合整治试验示范区。同时，通过本项目的实施，培养和锻炼了一大批生态环境治理的科技人员，建立了一批生态恢复研究试验示范基地。

为了系统总结项目研究成果，服务于国家与地方生态恢复技术需求，项目专家组组织编撰了《典型生态脆弱区退化生态系统恢复技术与模式丛书》。本丛书共16卷，包括《中国生态脆弱特征及生态恢复对策》、《中国生态区划研究》、《三江源区退化草地生态系统恢复与可持续管理》、《中国半干旱草原的恢复治理与可持续利用》、《半干旱黄土丘陵区退化生态系统恢复技术与模式》、《黄土丘陵沟壑区生态综合整治技术与模式》、《贵州喀斯特高原山区土地变化研究》、《喀斯特高原石漠化综合治理模式与技术集成》、《广西

岩溶山区石漠化及其综合治理研究》、《重庆岩溶环境与石漠化综合治理研究》、《西南山地退化生态系统评估与恢复重建技术》、《干热河谷退化生态系统典型恢复模式的生态响应与评价》、《基于生态承载力的空间决策支持系统开发与应用：上海市崇明岛案例》、《黄河三角洲退化湿地生态恢复——理论、方法与实践》、《青藏高原土地退化整治技术与模式》、《世界自然遗产地——九寨沟与黄龙的生态环境与可持续发展》。内容涵盖了我国三江源地区、黄土高原区、青藏高寒区、西南岩溶石漠化区、内蒙古退化草原区、黄河河口退化湿地等典型生态脆弱区退化生态系统的特征、变化趋势、生态恢复目标、关键技术和模式。我们希望通过本丛书的出版全面反映我国在退化生态系统恢复与重建及生态综合治理技术和模式方面的最新成果与进展。

典型生态脆弱区的生态综合治理和典型脆弱区退化生态系统恢复重建研究得到“十五”和“十一五”国家科技支撑计划重点项目的支持。科学技术部中国 21 世纪议程管理中心负责项目的组织和管理，对本项目的顺利执行和一系列创新成果的取得发挥了重要作用。在项目组织和执行过程中，中国科学院资源环境科学与技术局、青海、新疆、宁夏、甘肃、四川、广西、贵州、云南、上海、重庆、山东、内蒙古、黑龙江、西藏等省、自治区和直辖市科技厅做了大量卓有成效的协调工作。在本丛书出版之际，一并表示衷心的感谢。

科学出版社李敏、张菊编辑在本丛书的组织、编辑等方面做了大量工作，对本丛书的顺利出版发挥了关键作用，借此表示衷心的感谢。

由于本丛书涉及范围广、专业技术领域多，难免存在问题和错误，希望读者不吝指教，以共同促进我国的生态恢复与科技创新。

丛书编委会

2011 年 5 月

前 言

横断山区的怒江、澜沧江、金沙江、雅砻江、大渡河、岷江、元江及川西东北角的白水河都分布有“干旱河谷”，当地人民称它们为“干坝子”或“干热坝子”。这是横断山区最突出的自然景观之一，不仅在科学上引人注目，而且由于这类河谷区气温偏高，大部分地区没有“死冬”，雨量虽然偏少，但有河水与地下水可以利用，所以耕地虽少，但人口稠密，一向是农业发展的重要地域。随着我国大西南地区的开发，它们的地位日显重要，堪称横断山区的“宝地”。

干旱河谷是我国典型的生态脆弱带之一，是西南山区一种特殊的地理区域和气候类型，也是我国生态系统退化的典型区域之一。其范围包括金沙江、雅砻江、大渡河、岷江等干支流和怒江、澜沧江、元江等江河中下游沿岸江河面以上一定范围的干旱、半干旱河谷地带，总面积约 1.2 万 km²，人口约 500 万。主要分布于云南和四川两省的元江、怒江、金沙江与澜沧江四大江河的河谷地带，涉及元江流域 12 个县、怒江流域 6 个县、金沙江流域 20 个县、澜沧江流域 5 个县，贵州和广西亦有少量分布。

干热河谷是干旱河谷的重要组成部分（约占 40%），是与周边地区湿润、半湿润等景观不相协调的、引人注目的、独特的地理生态景观，以纵向岭谷横断山脉中段三江并流区，即 28°N~30°N 的怒江、澜沧江和金沙江峡谷段的干热河谷较为典型，较横断山中、北部的干暖河谷和干温河谷更具特殊性，具有光热资源丰富、气候干旱燥热、水热矛盾突出、植被覆盖率低、水土流失严重、生态恢复困难、社会经济条件差等特点。同时，河谷区内光热资源丰富，是自然资源利用开发潜力大、特色资源丰富而经济潜力很大的地区，在国民经济中具有举足轻重的作用。例如，元谋河谷被列为国家 A 级绿色无公害蔬菜基地，被称之为“金沙江畔大菜园”。因此，干热河谷区一直以来被列为“长江中上游防护林体系建设工程”、“长江中上游水土保持工程”、“天然林保护工程”、“长江中上游的生态恢复工程”、“退耕还林工程”和“西部大开发”等的重点治理区。可见，干热河谷区在国家和地方层面上都具有重要的地位，对国民经济的可持续发展和“西部大开发”具有举足轻重的作用。因此，干热河谷植被恢复的有关研究具有重要的现实意义。

但是，干热河谷区内存在突出的生态环境问题，特别是水热矛盾突出，生态恢复极其困难，沟蚀崩塌明显，侵蚀产沙严重。相关的科学问题也迫切需要解决，如干热河谷的成因机制与区内气候的特殊性机制，植被演化和恢复过程与健康生态系统的形成机制，沟蚀崩塌形成机理，干热河谷生态恢复群落特征及可持续发展演替机制等。针对这些科学问

题,在该区域已经作了大量的相关研究,特别是20世纪80年代以来,依托国家攻关或科技支撑计划项目,开展了大量的生态恢复研究和试验示范工作,取得了明显的研究进展。主要研究了退化生态系统的特征和类型,并从不同的退化程度和类型,以及不同的母质和母岩特性入手,针对不同退化生态系统特征设计了恢复技术和模式,取得了较好的生态、经济和社会效益。最近,我们引入生态系统的协容发展和系统免疫的理念,正开展着生态系统恢复过程和健康系统形成机制等方面的研究,确立了生态恢复的思路是从“诊断”(退化研究)到“建模”(恢复模式试验)到再“诊断”(模式评价)到再“建模”(模式优化)的“四步曲”恢复程序。

本书是近10年相关研究的部分成果,主要针对干热河谷的成因机制,阐述了干热河谷退化生态系统的特征及其区域分布规律,以及退化生态系统的退化机制;重点针对干热河谷退化生态系统的几种典型恢复模式,详细论述了这些模式的特征和技术标准,阐述了这些模式下的土壤生态响应和生物多样性响应以及生态恢复模式的生态功能等,并对这些模式进行了生态和社会经济评价,以及可持续性和适宜性评价,同时提出了该区下一步生态恢复的措施和对策。

在成书过程中,得到了众多相关学者的大力支持,参与本书各章节编写的主要人员如下:第1章,刘刚才、郭芬芬、沙毓沧、钟祥浩;第2章,张斌、刘刚才、金杰、刘淑珍、何毓蓉、黄成敏;第3章,纪中华、杨艳鲜、李建增、潘志贤、龙会英、史亮涛、张明忠、钱坤建、韩学琴;第4章,刘刚才、魏雅丽、郭芬芬、南岭、张丹、陈安强;第5章,方海东、纪中华、张明忠;第6章,方海东、纪中华、何璐;第7章,纪中华、张斌、刘刚才、代富强;第8章,纪中华、杨艳鲜、沙毓沧、方海东、刘刚才、熊东红。刘刚才、纪中华、方海东、杨艳鲜和沙毓沧承担了全书的内容和结构设计,最后由刘刚才、纪中华等完成了全书的统稿和定稿。

本书主要是这些作者已有研究工作的总结,相关的科学问题并不是都完全解决了,必然有不完善之处,相关的研究仍然在深度和广度上继续进行着。同时,由于成书时间仓促,难免有疏漏之处,敬请读者批评指正。

另外,本书的完成和出版得到了国家科技支撑计划课题(2006BAC01A11)等的资助,以及科学出版社的大力支持。在此,一并对他们和本书的作者、参加本项工作的所有人员致以真诚的谢意!

刘刚才 纪中华

2011年5月

目 录

总序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 干热河谷的分布及其主要特征	1
1.2 干热河谷退化生态系统恢复研究进展概况	4
1.3 干热河谷退化生态系统恢复的理论基础与思想方法	7
第 2 章 干热河谷退化生态系统的特征与退化机理	14
2.1 区域的水环境退化	14
2.2 土壤退化	15
2.3 区域气候特征及其演变趋势	27
2.4 植被退化过程及现状	42
2.5 金沙江河谷荒漠化特征	45
2.6 生态系统退化程度的定量评价	50
第 3 章 干热河谷退化生态系统的典型植被恢复模式及关键技术	59
3.1 干热河谷退化生态系统的典型植被恢复重建模式	59
3.2 干热河谷生态治理关键技术	62
3.3 干热河谷节水技术体系	66
3.4 干热河谷退化生态系统植被恢复主栽物种的栽培技术	73
第 4 章 干热河谷典型植被恢复模式的土壤生态效应	99
4.1 干热河谷的典型植被恢复模式	99
4.2 土壤主要生态效应特征	103
第 5 章 干热河谷典型植被恢复模式的群落结构特征	130
5.1 干热河谷银合欢人工林群落结构特征	130
5.2 干热河谷银合欢人工林物种多样性	136
5.3 干热河谷银合欢人工林生物量特征	141
第 6 章 干热河谷典型植被恢复模式的群落功能特征	148
6.1 干热河谷银合欢人工林土壤水分特性	148
6.2 干热河谷银合欢人工林水土保持效益	153
6.3 干热河谷银合欢人工林土壤改良效益	157
6.4 干热河谷银合欢人工林对降水的截留效应	164
6.5 干热河谷银合欢林改善小气候效应	169
第 7 章 干热河谷退化生态系统典型恢复模式的评价	172

7.1 典型模式效益评价	172
7.2 适宜性评价	193
7.3 可持续性评价	199
7.4 元谋干热河谷生态恢复的可持续性评价	203
第8章 干热河谷退化生态系统恢复的措施与对策	211
8.1 主要措施与主要对策	211
8.2 干热河谷的长期定位监测站及其主要研究方向	217
参考文献	225

第1章 绪论

1.1 干热河谷的分布及其主要特征

1.1.1 分布及面积

干热河谷是我国典型的生态脆弱带之一，是西南山区一种特殊的地理区域和气候类型，也是我国生态系统退化的典型区域之一（杨兆平和常禹，2007）。其范围包括金沙江、雅砻江、大渡河、岷江等干支流和怒江、澜沧江、元江等江河中下游沿岸江河面以上一定范围的干旱、半干旱河谷地带，总面积 1.2 万 km²。主要分布于云南和四川两省的元江、怒江、金沙江和澜沧江四大江河的河谷地带，涉及元江流域 12 个县、怒江流域 6 个县、金沙江流域 20 个县、澜沧江流域 5 个县，贵州和广西亦有少量分布。

根据科学考察报告（张荣祖，1992），在我国横断山区，干热河谷的长度为 1123 km，面积为 4840 km²；干暖河谷的长度为 1542 km，面积为 4290 km²；干温河谷的长度为 1578 km，面积为 2480 km²。整个横断山区干旱河谷的总长度为 4243 km，面积为 11 610 km²（表 1-1），分布在元江、怒江、金沙江、安宁河、大渡河、岷江、白龙江、雅砻江和澜沧江两边。

表 1-1 横断山区干热河谷及其他干旱河谷的分布及其长度、面积、宽度

类型	亚类型	类型代码	河段（大致位置）	干热河谷长度（km）	面积（km ² ）	宽度（m）
干热	半干旱偏湿	H ₁₋₁	元江（元江县）	218	1 160	400
		H ₁₋₂	怒江（怒江坝）	103	420	200~300
	半干旱	H ₂₋₁	金沙江（金江街一对坪）	802	3 260	400
干暖	半干旱偏湿	W ₁₋₁	大渡河（泸定）	81	150	300
		W ₁₋₂	雅砻江（麦地龙—金河）	384	590	300
		W ₁₋₃	金沙江（大县、东义）	360	690	400
		W ₁₋₄	澜沧江（表村、旧州）	76	100	300~400
		W ₁₋₅	安宁河（西昌、米易）	160	1 120	200~300
	半干旱	W ₂₋₁	金沙江下游（永善）	138	370	300~400
		W ₂₋₂	大渡河（丹巴）	89	120	400~500
		W ₂₋₃	金沙江（宾川）	196	980	300~400
		W ₂₋₄	元江（南涧）	7	10	200~300
	半干旱偏干	W ₃₋₁	金沙江（奔子栏）	51	160	700~800

续表

类型	亚类型	类型代码	河段 (大致位置)	干旱河谷 长度 (km)	面积 (km ²)	宽度 (m)
干温	半干旱偏湿	T ₁₋₁	金沙江下游 (东朗南)	94	110	300 ~ 400
		T ₁₋₂	岷江 (茂汶)	108	110	200 ~ 300
	半干旱	T ₂₋₁	白龙江 (南坪)	34	50	300 ~ 400
		T ₂₋₂	岷江 (两河口)	53	60	300 ~ 400
		T ₂₋₃	大渡河 (金川)	103	150	400 ~ 500
		T ₂₋₄	雅砻江 (雅江)	101	110	300 ~ 400
	半干旱偏干	T ₃₋₁	金沙江 (巴塘、得妥)	498	920	400 ~ 800
		T ₃₋₂	澜沧江 (盐井)	190	370	700 ~ 800(1000)
		T ₃₋₃	怒江 (怒江桥)	397	600	700 ~ 800(1000)
	合计				4 243	11 610

从地理分布来看 (图 1-1), 干热河谷大部分分布在怒江下游、金沙江下游和元江。干暖河谷主要分布于澜沧江中游、金沙江中游、雅砻江下游、大渡河下游等地段, 在地理分布上比干热河谷的分布偏北一些。干温河谷主要分布于怒江上游、澜沧江上游、金沙江上游、大渡河上游。在纬度上又比干暖河谷偏北一些。在横断山区, 河谷之间没有太大的海拔差距, 影响温度的主要原因就是太阳高度角, 亦即纬度不同, 太阳高度角不同, 所得到的太阳能量也不同, 即得到横断山区干旱河谷从南往北依次是干热河谷、干暖河谷、干温河谷。

1.1.2 主要特征

干热河谷是干旱河谷的重要组成部分 (约占 40%), 是与周边地区湿润、半湿润等景观不相协调的、引人注目的、独特的地理生态景观, 以纵向岭谷横断山脉中段三江并流区, 即北纬 28°~30°的怒江、澜沧江和金沙江峡谷段的干热河谷较为典型 (明庆忠和史正涛, 2007), 较横断山中、北部的干暖河谷和干温河谷更具特殊性, 具有光热资源丰富、气候干旱燥热、水热矛盾突出、植被覆盖率低、水土流失严重、生态恢复困难、社会经济条件差等特点; 同时, 也是自然资源利用开发潜力大、特色资源丰富而经济潜力很大的地区。

干热河谷不同于其他干旱河谷类型。它在气候、土壤和植被等方面都表现出明显的特征 (表 1-2): 平均气温明显高于其他干旱河谷, 无冬季气候; 土壤属于南热带类型, 一般是红壤、燥红土等; 农作物以热带亚热带为主, 作物一年两熟以上。除此之外, 干热河谷具有以下特征。

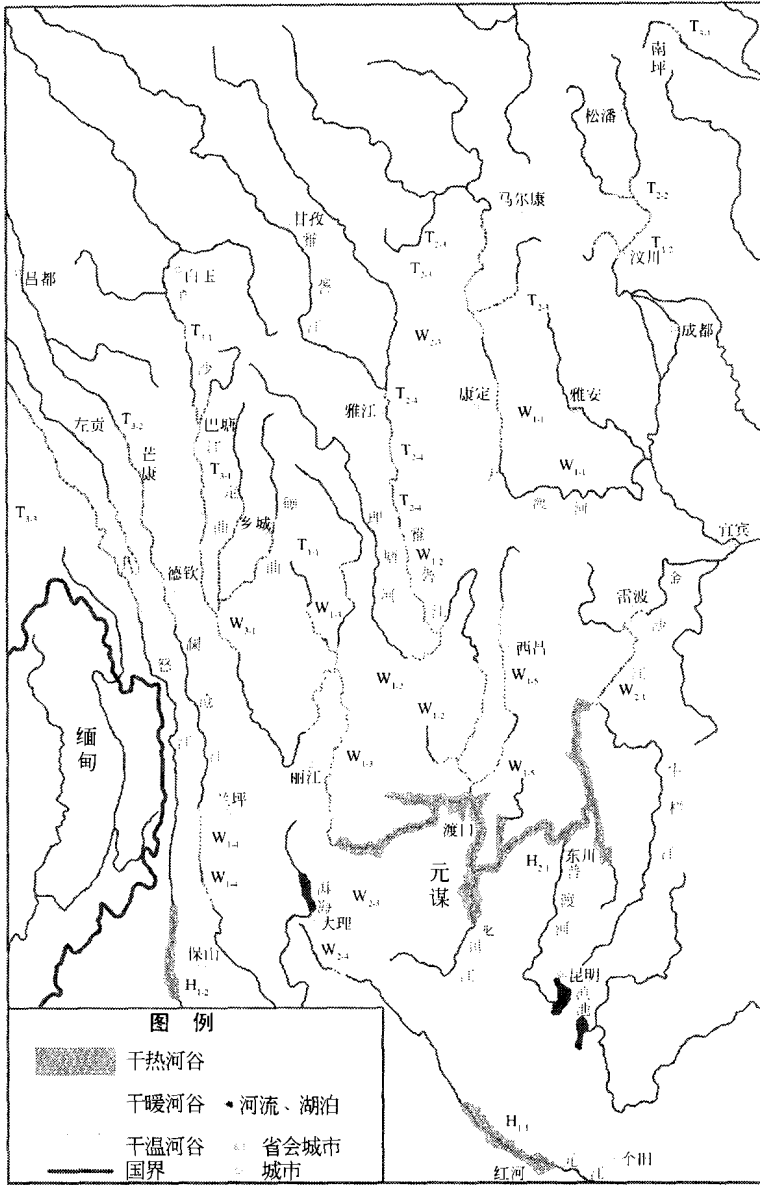


图 1-1 干热河谷在横断山区的分布示意图 (张荣祖, 1992)

表 1-2 干热河谷与其他干旱河谷的基本特征比较

类型	干热河谷	干暖河谷	干温河谷
最冷月平均气温 (°C)	> 12	12 ~ 5	5 ~ 0
最暖月平均气温 (°C)	28 ~ 24	24 ~ 22	22 ~ 16
日均温 ≥ 10°C 天数 (天)	> 350	350 ~ 251	250 ~ 151
植被类型	稀树灌木草丛为主, 中生小叶灌丛	稀树灌木草丛为主, 小叶落叶灌丛	小叶落叶有刺, 灌丛

续表

类型	干热河谷	干暖河谷	干温河谷
土壤类型	燥红土	褐红土	褐土
农作物及其熟季	甘蔗、双季稻，一年三熟	甘蔗、水稻、小麦，一年两熟	小麦、玉米，基本上是早作两熟

1) 植被覆盖稀疏。由于干旱少雨、土壤贫瘠，干热河谷地区植被极为稀疏，大多为低矮、多刺的旱生性灌丛和草本植物，平均覆盖度仅为25%。在一些地区原始植被遭到破坏之后，已经明显出现寸草不生的荒漠化演变趋势，生态恶化发展到危机状态（沈有信等，2002）。

2) 土壤贫瘠、水土流失严重。干热河谷地区主要以燥红土、红壤等为主，土壤质地黏重，养分贫瘠。区内沟蚀崩塌严重，以元谋盆地为例，该盆地内沟壑密度为3.0~5.0 km/km²，土壤侵蚀模数高达1.64万 t/(km²·a)，盆地内河流（龙川江）泥沙含量明显高于金沙江的其他支流（表1-3）（钟祥浩，2000）；而且，该区域内新老冲沟类型繁多，正在发育的冲沟所占比例较大。

表 1-3 金沙江流域的含沙量状况

(单位: kg/m³)

河流名称		站名	20世纪60年代	20世纪70年代	20世纪80年代
金沙江干流		屏山	1.62	1.66	1.83
		华弹	1.30	1.27	1.62
金沙江支流	安宁河	湾滩	1.16	1.18	2.12
	龙川江	黄瓜园	3.81	5.32	6.65
	黑水河	宁南	1.25	1.55	2.76
	昭觉河	昭觉	1.54	1.28	2.90
	美姑河	美姑	1.53	1.64	2.02
	横江	横江	1.08	1.54	1.82

3) 崩塌、滑坡、泥石流等自然灾害频发。植被稀疏和土地的不合理利用，导致水土流失严重，加之陡坡地区和岩石破碎带，使得干旱河谷地区崩塌、滑坡、泥石流等自然灾害发生较为频繁（杨兆平和常禹，2007），造成的经济损失十分巨大。据统计，云南元谋县1950~1990年的严重旱灾发生频率增长了20%。

1.2 干热河谷退化生态系统恢复研究进展概况

1.2.1 研究进程及其内容

由于新中国成立初期对森林保持生态平衡作用的认识不够，森林受到严重的破坏，引发一系列的生态安全问题，如水土流失、泥石流等。1953年以来，该区以飞播、撒播、点

播、小块状全垦撒播、带状整地撒播等方式营造大面积的思茅松和云南松，因经营水平不高，保存率相当低（邓戈，1981）。20世纪80年代开始，一些学者从气候、土壤、地貌、植被等方面展开研究，研究重点是如何恢复植被、提高造林成活率，包括：①造林规划上，遵循“适地适树”这个原则（叶厚源，1986）；根据立地不同又分为荒山造林、水源林、防护林、四旁绿化等（邓戈，1981）；林间结构上，也从当初的纯林带发展为乔、灌、草三层立体结构，并且更加注重乡土灌木的作用。②提高造林成活率技术，由原来的飞播，撒播，点播等粗糙的造林技术，发展到移植、容器苗造林、营养杯造林（叶厚源，1986）。③在造林树种的选择上，从乡土先锋树种思茅松，到引进外来物种，如台湾相思（胡云春和李义林，1984）、灰白牧豆（袁杰，1984）、白头树（冷洪万，1986）、柚木（叶厚源等，1987）等。同时，对该区的种质资源进行了较为详细的研究（周跃，1987；金振洲等，1987；欧晓昆和金振洲，1987；金振洲等，1988；欧晓昆，1988；曹敏和金振洲，1989）。

20世纪90年代，学者们分别对干热河谷的土壤、植被、气候变迁等方面进行了深入的研究，并且把土壤、植被、气候等作为一个整体来研究。首先对元谋干热河谷的土壤进行了系统分类，把金沙江干热河谷的土壤分为铁铝土、变性土、初育土3个土纲和燥红土、紫色土、红壤、冲积土4个主要土类（何毓蓉和黄成敏，1995），并对典型土类的物理化学性质进行了研究（黄成敏和何毓蓉，1995；黄成敏和何毓蓉，1997；何毓蓉和黄成敏，1999）；并开展了以土壤为核心的干热河谷荒漠化评价（刘刚才和刘淑珍，1999）。在植被方面，较80年代更深入，例如，研究了土壤中氮磷钾或昆虫对植物种生长的影响（温波，1993；喻赞仁，1994），典型旱生群落结构、植物种组成规律等（朱华，1990）；在评价造林是否成功方面不再依据简单的存活率，而是从生态学指标上定量的研究其生长状况（刁阳光，1993），并从植物生理生态的角度分析比较了树种和立地条件这两个维度下植物种对环境的适应性（李昆和曾觉民，1999；贾利强，2003）。

进入21世纪，学者们对干热河谷的研究更为重视，主要为以下几个方面。

1) 物种选择与引进。在干热河谷修复植物种的选择上，广泛引种并推广适应性以及利用价值比较大的物种，如以中国林业科学研究院资源昆虫研究所带头的科研队伍就在金沙江干热河谷推广印楝的种植，并对印楝的生长特性、适应性进行了研究（贾利强，2003；张燕平，2005；崔永忠，2006；李伟，2006；秦纪洪，2006；林文杰等，2007；黄俊怡，2009）；同时，重视草种的引进和推广，如桂花草（龙会英，2006；龙会英，2007）、百喜草（龙会英等，2001）、坚尼草（龙会英，2007）等。

2) 生态恢复的效应研究。重点研究了车桑子、银合欢、桉树等的生态学特性、抗旱性特征、水土保持能力等（马焕成等，2002；郑科，2003；高洁等，2004；方海东等，2005；赵琳，2006；彭辉等，2009）；对各种农林、林草等生态农业模式对土壤理化性质的改良和水土保持作用做了大量的研究（张建平和王道杰，2000；纪中华，2003；纪中华等，2005；刘光华，2005；张映翠，2005；杨艳鲜等，2006；张明忠，2007；杨艳鲜，2009）。

3) 生态恢复的基础性和定位观测研究。在此期间，中国林业科学研究院资源昆虫研究所建有云南元谋荒漠化生态系统定位观测站，中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所和云南省农业科学院联合建有云南元谋干热河谷崩塌沟蚀观测站，在干热河谷区初步建立了长期的观测和研究基地，并进一步对干热河谷退化生态系统展开了调查、评价和恢

复重建工作(杨万勤, 2001; 张建辉, 2002; 第宝锋, 2004; 郎南军, 2005), 沟蚀崩塌等基础性研究也逐步有了成果(Xiong et al., 2009)。

1.2.2 主要研究成果

1.2.2.1 干旱(热)河谷的成因

目前, 干旱河谷的形成主要有以下几大观点(张荣祖, 1992; 明庆忠和史正涛, 2007):

1) 地史原生论: 认为干热河谷的出现是在自然地理环境演化中的必然产物, 即是河谷深切、气候变热变干在地史期间就形成目前的格局和现象。但这种观点不能圆满地解释红河干热河谷子遗的冷热性的河谷季雨林种属成分。

2) 焚风效应说: 认为横断山区的山脉走向, 大体上均垂直于西南季风或东南季风, 山脉迎风坡截流较多的雨水, 背风坡少雨, 下山风又增温, 致使河谷地区产生干旱现象, 愈向内陆, 这种河谷干旱现象愈明显, 这种观点从气象学原理出发较易为人们所接受。

3) 山谷风局地环流说: 如国外学者 Schwein 认为主要是山谷风形成的局地环流所导致的, 地形封闭, 河谷深陷, 山谷中温度的日变化引起山谷风的昼夜环流, 这种局地环流周而复始, 长期作用的结果是使谷地干燥的气流上升, 形成具有一定垂直幅度的干旱现象, 而谷地气流上升至一定高度所形成的云雾带又恰好与山地森林的存在相吻合。

4) 人类活动干扰次生说: 认为现代干热河谷是由于人为扰乱砍伐原生的森林植被而引发环境突变所形成的, 侧重在河谷由湿热环境转变为干热环境时森林植被对环境变化的影响, 但忽略了自然气候效应的影响; 虽然也有人提出了自然-社会系统综合成因说, 认为在理论上干旱河谷的形成因素不可能是单一的, 应包括大气环流、区域性环流和局地环流三种。

因此, 关于干旱河谷的成因机制, 还是不完全清楚。最近, 有学者(赵树华和于建彬, 2007)提出了这方面研究的新思考: 认为干热河谷是局地地-气-水-生-人交互作用及耦合效应的综合产物。

1.2.2.2 生态恢复区划

纪中华等(2006)根据水是该区主要制约因素的基础上, 将金沙江干热河谷脆弱生态系统分为3种小系统, 即雨养生态系统、集水补灌系统、适水灌溉系统。钟祥浩(2000)针对干热河谷区生态系统退化特征, 将干热河谷划分为极强度退化、强度退化、重度退化、中度强度和轻强度退化5种主要类型, 提出退化生存系统恢复与重建的关键在于土壤水分条件的改善, 根据现有土壤和母质的残存情况, 提出自然恢复、重建和改建等建设新的生态系统的途径。张建平和王道杰(2000a)依据农业生态系统差别把元谋县划分为平坝农业生态系统区、坝周低山丘陵农业生态系统区、中山农业生态系统区、中高山农业生态系统区4个类型, 并以此对不同类型进行植被恢复。张信宝等(2003)根据气候带和岩土类型的组合, 进行了元谋干热河谷森林植被恢复适宜性分区, 分为6种坡地岩土类型, 3个气候带, 分为森林植被恢复适宜区、较适宜区、较不适宜区、不适宜区和极不适宜区5个区, 是对干热河谷地区植被恢复分区的一种新的探索。

1.2.2.3 生态恢复技术体系

近年来许多学者对如何在金沙江干热河谷进行植被恢复进行了一些实践和探索。纪中华等(2005)根据元谋干热河谷生态环境脆弱、水分短缺、干热资源充足等特点,按照生态学、生态经济学、系统科学的原理设计规划干热河谷退化坡地立体种养复合生态农业模式,即“乔+灌+草+羊+沼气+蚯蚓+鸡”模式。经多年实践证明,所建的典型优化模式综合效益明显,使系统得以可持续发展,该模式在干热河谷有广泛的推广前景。同时,针对不同退化程度的系统所具有的典型特点,提出了金沙江干热河谷不同退化系统的生态恢复及治理模式,即重度退化生态系统采取冲沟生态恢复模式、中度退化生态系统采取退化坡地生态恢复模式、轻度退化生态系统采取立体种养综合治理模式。杨忠等(1999)从坡地类型划分、林草种选择及乔灌草人工混交植被类型配置、整地、育苗、定植和抚育管理等方面阐述了金沙江干热河谷植被恢复的主要技术体系。杨万勤等(2002)针对金沙江热河谷的生态环境退化特点,提出植被恢复与重建技术必须结合生物措施,土壤生态措施和工程措施,并认为生物措施是最根本的治理途径,首先是筛选和培育一批耐旱、耐瘠薄且能培肥土壤的植物,其次根据植物相克相生原理和群落共生原理,采用合理的搭配和栽培技术,防止水土流失。

1.2.2.4 生态恢复效应及其评价

对该区植被恢复的各种效应,也有不少学者作过相应的研究。李建增等(2001)对金沙江干热河谷退化坡地雨养酸角林进行了水保效益和经济效益分析,结果发现6 m×6 m种植方式对水土保持效益最佳。杨艳鲜等(2006)对元谋干热河谷区4种旱坡地生态农业模式的水土保持效益进行了系统的研究,结果表明与对照模式“罗望子+裸地”相比,建立的4种模式均体现了良好的水土保持效果,其中“罗望子+木豆+柱花草”模式截持降雨能力、增加地表盖度能力、改善土壤物理性状能力、提高蓄水保水能力、防治水土流失效果最佳。何璐等(2006)通过对金沙江干热河谷生态经济林的3种典型复合种植模式的观测分析,表明三种复合种植模式的经济产投比、土地生产率的关系为:龙眼+台湾青枣模式>龙眼+香叶天竺葵模式>龙眼单作模式。方海东等(2005)对金沙江干热河谷银合欢人工林植被恢复区的生态经济价值进行了量化评估,结果表明生态服务功能价值已超过46.1万元/hm²,其中直接使用价值为3.7万元/hm²,占总生态经济价值的8.1%,间接使用价值为42.3万元/hm²,占总生态经济价值的91.94%。

1.3 干热河谷退化生态系统恢复的理论基础与思想方法

1.3.1 生态恢复的一般理论方法

1.3.1.1 恢复生态学的定义

据彭少麟和陆宏芳(2003)总结,恢复生态学自Aber和Jordan于1985年提出以来,