

干旱河谷

生态恢复与持续管理的科学基础

包维楷 庞学勇 李芳兰 周志琼 等 著



科学出版社

干旱河谷生态恢复 与持续管理的科学基础

包维楷 庞学勇 李芳兰 周志琼 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是一部全面系统地阐述横断山区北段干旱河谷生态恢复与持续管理的科学基础的学术专著。本书对国内外有关干旱河谷地区气候、土壤、植被、植物多样性、植物对干旱的适应、生态退化、生态恢复与管理实践的研究现状与最新进展进行了详细论述。同时,着重在原始资料和数据基础上,强化综合研究,总结了作者十多年来在干旱河谷气候特点及变化趋势、土壤特征及其空间格局、植被组成与更新能力的空间格局、代表性植物群体和土壤对干旱环境胁迫的适应机制、岷江柏生存状态与珍稀濒危机制、乡土植被恢复试验、特色农业发展及其特点等诸多方面取得的研究进展和创新成果。客观评估了过去40年来干旱河谷造林实践的生态效应,介绍了以乡土植物为目标的植被恢复试验研究进展与成果,基于科学认识,提出了干旱河谷生态、恢复与持续管理策略。

本书可供植物学、地植物学、恢复生态学、土壤学、地学、保护生物学、国土规划等领域的科研工作者以及高等院校的师生参考,对从事干旱区、荒漠区生态治理的科研人员和各级业务部门的管理人员也具有重要参考意义。

图书在版编目(CIP)数据

干旱河谷生态恢复与持续管理的科学基础/包维楷等著. —北京:科学出版社, 2012

ISBN 978-7-03-033262-2

I. ①干… II. ①包… III. ①岷江—干旱区—河谷—生态恢复—研究 ②岷江—干旱区—河谷—生态管理—研究 IV. ①X171.4 ②X321.271

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第000790号

责任编辑:张会格 孙 青/责任校对:刘小梅
责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencecp.com>

骏志印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年1月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2012年1月第一次印刷 印张:45

字数:1 050 000

定价:158.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《干旱河谷生态恢复与持续管理的科学基础》

编辑委员会及分工

主 编：包维楷

副主编：庞学勇 李芳兰 周志琼

各章分工如下：

前 言 包维楷

第一章 包维楷

第二章 庞学勇 何其华 包维楷

第三章 庞学勇 王红梅 王春明 何其华 包维楷 何永华

第四章 李芳兰 包维楷 李彦娇 方志强 王 晶

第五章 李彦娇 周志琼 包维楷 何 晓 吴福忠 吴 宁 辜 彬

第六章 周志琼 冷 俐 包维楷

第七章 李芳兰 吴福忠 周志琼 包维楷 王红梅 吴 宁

第八章 吴福忠 尤 琛 庞学勇 包维楷 李芳兰

第九章 朱林海 包维楷 李芳兰 庞学勇 周志琼 吴福忠 冷 俐

何丙辉

第十章 包维楷 王 丽 庞学勇 袁志忠 徐 亮 郝冰清 牟林春

姚 莉 何丙辉

第十一章 丁建林 向 双 陈庆恒 陈 栋

第十二章 包维楷

附 表 方志强 李芳兰 李彦娇

前 言

干旱河谷是横断山区独特的自然景观，其独特性可体现在三个方面。其一，干旱河谷是湿润性气候下的局部干旱区，是区域气候背景下的特殊气候带。根据干旱河谷23个气象站资料统计，年降水量为300~700 mm，而年蒸发量是1500~2200 mm，为降水量的2~6倍；在季节上呈现出冬春季降水少而夏秋季降水多的特点。根据热量条件判断，河谷并不是“死冬”，一些干热干暖河谷冬天只要有水保障植物就能生长。其二，干旱河谷与高山峡谷地貌紧密联系，没有高山峡谷地貌就没有河谷干旱气候。其三，河谷植被深受干旱气候控制，呈低矮的灌丛、草丛植被景观，完全不同于区域热带、亚热带和温带地带性植被性质，而类同于世界干旱气候区植被性质。因此，科学认识干旱河谷山地生态系统在要素组成特征、生物多样性及其资源、生态功能及其变化等方面的独特性是干旱河谷山地生态保护、恢复与持续管理的科学基础。

干旱河谷在横断山区社会经济发展中的地位突出，具有不可替代性。在横断山区沿江河的狭长干旱地段及其邻近过渡带，集中分布着区域75%~80%的村落、55%~58%的城镇（乡镇、区、县、州）、80%的人口、55%~60%的农业耕地、90%以上的企业，成为区域社会、经济和文化的重心；干旱河谷是区域交通、信息、物资、能源和对外交流的通道和咽喉，成为横断山区社会经济发展的走廊带。在狭小的河谷空间内，人类活动、经济发展与自然的关系紧密，相互制约，是典型的自然-社会-经济复合的山地系统。干旱河谷的保护、利用与持续管理事关横断山区区域持续发展与生态安全。

干旱河谷分布于横断山区大江大河及其主要支流的谷底，地形封闭，地质条件不稳定，气候多变，土层浅薄，峡谷坡陡，地质灾害频繁，具有独特的高度脆弱性、低抗扰动性以及生态恢复的困难性。干旱河谷深受人类活动扰动，如水电站施工、交通建设、村落扩展、城镇发展、陡坡垦殖、牛羊放牧、开山取石、人工造林等的影响，一直是横断山区突出的“麻烦”地带。在不断加剧的全球变化和人为活动下，干旱河谷山地生态系统应如何有效保护和利用？退化后如何恢复？应当采取什么持续管理策略才能遏制生态退化，保障区域发展？这些问题长期以来一直影响着区域发展决策。强化干旱河谷生态环境要素、结构与功能过程及其时空变化研究，加深对干旱河谷山地的科学认识是回答上述问题的理论基础。

由于空间分布范围广，干旱河谷不仅呈现出自然（气候、土壤、植被）多样性，也呈现出人文（社会结构、经济基础与文化传统）的复杂性。干旱河谷从南到北可划分为干热、干暖、干温、干凉气候类型及多样的亚型，具有比较明显的区域差异性特点。因此，横断山区干旱河谷生态保护、恢复与持续管理应当植根于各干旱河谷区域特点，并形成与自然、社会、经济相适应的策略才能真正有效。要揭示干旱河谷自然-社会-经济复合生态系统结构、功能及其格局与变化，有针对性地开展生态恢复，选择具体干旱河谷类型进行是可行的途径。岷江干旱河谷是横断山区北段（27°N~33°N）干旱河谷的缩影，无论是自然条件，还是社会与经济及其作用关系均具有突出的代表性。因此，我们选择干温河谷代表性突出的岷江干旱河谷，开展了比较系统的工作，试图回

答横断山区北段干旱河谷的共性问题，为区域生态恢复、社会经济发展提供科学依据，这是本书出版的初衷。

我首次“体会”岷江干旱河谷是1992年7月，那是刚到中国科学院成都生物研究所工作后的第2次出差。其后不断有机会频繁穿越岷江干旱河谷，从都江堰到茂县、松潘，从汶川到理县，从茂县到黑水，从春天到冬天，不断观察岷江干旱河谷气候、土壤、植被、人文、物产；频繁的干旱河谷见闻给我留下了难以忘怀的印象，促使我萌发了科学认识干旱河谷的原动力。1992~1995年主要开展干旱河谷农林复合经营系统的调查研究，加深了我对于干旱河谷光、热、土壤与河谷农业发展的认识。然而真正开始干旱河谷植物生态学研究工作还是1995年参加了陈克明研究员主持的“九五”攻关课题“长江上游困难地段（干旱河谷、干热河谷、喀斯特石质山区）植被恢复与造林技术研究”（1995~2000年）后。第一个工作就是设计试验通过定位监测方法探讨常规低成本措施对土壤水分的改良效应，比较不同物种的生长效应。1997年有幸考察了金沙江宁南段的干热河谷。而真正独立思考干旱河谷问题是1998年左右，始于对中日合作飞虹植被恢复试验示范地，以及阿坝藏族羌族自治州林业科学研究所设在茂县、汶川、理县等地造林技术试验地的多次观察和了解后，发现岷江干旱河谷造林成本高，但效果并不如意。在通过对横断山区干旱河谷研究文献的广泛查阅和分析后，意识到对于干旱河谷的许多已有认识仍然是表象的、缺乏科学依据，甚至是错误的；而对于干旱河谷环境、植被起源、演化以及现代的动态变化等深层次科学问题认识模糊，严重制约着干旱河谷的植被恢复、保护和发展。1999年在开展澜沧江人类活动对高山草甸的影响研究时，深入考察了澜沧江上游与金沙江中游的干旱河谷。1999年底，初步设计干旱河谷研究思路并规划分步实施的计划。但是要系统开展研究首先遇到的是课题与经费保障问题，这于我而言是十分困难的，只有通过把握机遇去慢慢实现。幸运的是2000年获得了中国科学院的一个重要方向性专题的（2001~2004年）支持，开展了岷江柏珍稀濒危机制与保育原理研究，不仅系统开展了岷江柏的保护生物学研究，也启动了干旱河谷土壤、植被与植物多样性空间分布格局研究，以及启动了干旱河谷植物种子生态学研究，还对大渡河上游干旱河谷以及白龙江干旱河谷进行了系统调查。此外，中国科学院成都生物研究所知识创新工程也持续2年支持开展了干旱河谷土壤水分动态监测和研究；在2001年启动的中国科学院西部行动计划岷江项目（2001~2005年）中，获得支持开展了干旱河谷植物生态学研究；2005年启动的中国科学院西部行动计划岷江项目二期把干旱河谷作为项目的重要内容之一纳入，开展了更深入的研究工作。我们在茂县的飞虹乡黑水河与岷江干流交汇后的两河口建立了定位研究站，从2005年开始一直对气候、土壤、植被、造林地等进行系统的调查与监测。

从2000年开始，我们在原有工作的基础上分步骤开展了干旱河谷植被、土壤、气候等方面的调查研究，先后有12个研究生完成了相关干旱河谷生态学研究。10余年来我们发表了100余篇科技论文（SCI论文16篇），另有大量资料未曾公开发表。

本书的目的是系统总结我们以岷江干旱河谷为主的生态学研究成果与认识，特别强调揭示这一典型山地生态系统的规律性和时空差异性、植物在干旱河谷的空间分布及其对于干旱环境的适应性。希望通过本书以及先后发表的100余篇论文，能够对干旱河谷山地生态系统研究做出自己的贡献，为干旱河谷生态保护、恢复与管理实践提供一定的科技支撑，为其他干旱河谷的研究和管理实践提供新资料。

本书重点回答以下几个方面的问题：① 岷江干旱河谷气候、土壤、植被与植物多样性组成的空间差异性及其变化；② 乡土植物和土壤对河谷干旱贫瘠环境的适应过程、机制与植被恢复策略；③ 干旱河谷乡土优势植物生长、繁殖和更新能力及其空间差异性；④ 植被自然更新恢复能力及其空间差异性；⑤ 干旱河谷植被恢复实践的生态环境效应以及植被恢复措施和策略的科学性与适宜性；⑥ 干旱河谷乡土植物多样性及其保护价值；⑦ 珍稀濒危的岷江柏分布现状及其珍稀濒危机制与保护策略；⑧ 河谷特色农业发展及其方向等。通过对上述问题的分析和揭示，结合过去干旱河谷植被恢复管理实践，进一步发展科学有效的干旱河谷生态保护、恢复与持续管理策略，并进一步深化需要深入解决的一些科学问题。

本书涉及跨越 10 年的研究工作。在 10 年来的艰辛工作过程中得到了许多热情的支持和帮助。衷心感谢中国科学院成都生物研究所的刘照光（已故）、陈庆恒、陈克明等先生在我们开展研究工作初期的热情指导、支撑、鼓励和帮助，本书中的不少想法也是在学习他们并不断与他们深入讨论过程中形成的。在野外调查、定位研究中曾得到茂县、汶川、理县、松潘县地方相关部门的积极配合和支持，当地林业局和科技局甚至派出技术人员直接参与野外调查、试验管理，保证了我们野外调查取样工作的顺利开展，特别感谢汶川林业局的王俊华、赵文，茂县林业局的许卫宏、吴晓峰，理县林业局的汪明，理县科技局的陈绍柏，阿坝藏族自治州林业科学研究所的黄泉、吴宗兴（现在四川省林业科学研究院工作）等诸位同仁的热情帮助；岷江柏的调查也得到四川省马尔康县林业局、小金县林业局、丹巴县林业局、金川县林业局以及甘肃省舟曲县林业局的协助和支持。前后曾参与部分野外调查与取样工作的同事还有中国科学院成都生物研究所的陈建中高级实验师、闫晓丽和张咏梅博士，硕士研究生朱珠、鲍文、吴虹玥、李武彬、吴文妍、刘俊华等，以及茂县山地生态系统定位研究站的朱亚平、唐宗平、李贵全、官福安等；课题组钟凤先女士参与种子生态学实验工作，中国科技大学的曾藩同学实习期间完成了木兰种子对环境胁迫的实验研究；土壤化学分析由中国科学院茂县山地生态系统定位研究站、中国科学院成都生物研究所公用实验室、中国科学院红壤生态站完成，得到白景文、宗海宏、裴健等的热情帮助。本书的研究工作是在中国科学院西部行动计划项目（2000～2009 年）（KSCX1-07、KZCX2-XB2-02）、重要方向性项目（KZCX3-SW-339）的资助下完成的，也得到科技部“十五”科技攻关岷江课题（2001BA606A-05）的部分支持，特此衷心感谢！我还要感谢：陈庆恒研究员热情审阅了本书部分章节并提出了很好的修改建议，研究生吴晓丽、王素娟、幸福等协助进行了部分校对。

虽然岷江干旱河谷的科学研究比其他干旱河谷都多，但对这一特殊生态系统的认识目前仍然还是有限的，进一步增强我们对干旱河谷的科学认识，促进干旱河谷的深入研究是本书出版的愿望。我们深知，本书虽是在历经 10 年的岷江干旱河谷生态研究基础上写成的，但由于我们的知识和能力限制，时间匆忙，虽多次修改，其中定然还有不少缺点和不足，一些观点也会有争论性，敬请批评和指正，这必将促使我们持续展开的横断山区干旱河谷研究工作更好、更深入。

包维楷

2010 年 8 月于成都

目 录

前言

第一章 岷江干旱河谷及其生态保护问题	(1)
第一节 岷江干旱河谷空间分布及其区位优势	(2)
第二节 岷江干旱河谷的生态环境问题	(5)
第三节 横断山区干旱河谷研究现状与方向	(17)
本章小结	(20)
第二章 岷江干旱河谷气候时空格局特征	(21)
第一节 干旱河谷气候基本特征及成因	(21)
第二节 岷江干旱河谷气候的空间差异性	(31)
第三节 岷江干旱河谷气温与降水变化趋势分析	(37)
本章小结	(41)
第三章 岷江干旱河谷土壤时空间变化	(42)
第一节 干旱河谷土壤性状空间变化与特点	(43)
第二节 干旱河谷土壤短期动态变化与特点	(80)
第三节 干旱河谷土壤水分时空变化	(99)
本章小结	(137)
第四章 岷江干旱河谷植物组成及群落特点	(138)
第一节 乡土维管植物组成及其功能性状特点	(139)
第二节 群落结构与物种丰富度的空间格局及特点	(149)
第三节 岷江干旱河谷中心地段植被的微尺度空间格局	(158)
第四节 干旱河谷灌丛生物量及其空间分布特征	(174)
第五节 干旱河谷豆科植物多样性、结瘤能力及其空间格局	(179)
本章小结	(186)
第五章 干旱河谷植物生长繁殖与更新能力	(188)
第一节 灌木生长繁殖、更新及其空间差异	(189)
第二节 干旱河谷灌丛自然更新潜力	(218)
本章小结	(251)
第六章 干旱河谷植物种子性状及其对环境因子的响应	(253)
第一节 干旱河谷植物种子性状及休眠特征	(253)
第二节 种子萌发对温度、水分和光照的响应及种间差异	(273)
第三节 多苞蔷薇瘦果性状及休眠特征在海拔梯度上的变化	(285)
本章小结	(295)
第七章 代表性灌木群体对干旱环境的适应与策略	(297)
第一节 植物对干旱胁迫的适应相关研究现状	(298)

第二节 灌木幼苗对干旱胁迫的反应	(311)
第三节 白刺花幼苗对干旱胁迫与氮施用的反应	(365)
第四节 灌木叶片生态解剖结构在海拔梯度上的变化及其影响因素	(379)
本章小结	(384)
第八章 干旱河谷土壤对干旱胁迫、施氮及植物生长的响应	(386)
第一节 土壤对干旱胁迫与不同豆科灌木种植后的短期反应	(387)
第二节 土壤对干旱与氮施用的反应	(403)
第三节 野外施 N 对白刺花生长土壤的影响	(413)
本章小结	(418)
第九章 干旱河谷植被恢复实践评估	(420)
第一节 传统的干旱河谷造林实践评估	(422)
第二节 乡土植物种子直播试验:萌发、出苗、存活与生长	(440)
第三节 乡土灌木幼苗移栽后的生长分析与评价	(450)
第四节 白刺花幼苗野外移栽条件下的生长、养分利用对施氮的反应	(454)
本章小结	(458)
第十章 岷江柏珍稀濒危机制与保育策略	(460)
第一节 岷江柏生物学特点	(460)
第二节 自然分布状况及其变化	(471)
第三节 岷江柏个体生长过程及其特点	(475)
第四节 岷江柏结实能力与种子特性	(479)
第五节 岷江柏木林的区系组成、群落类型、演替动态特点	(506)
第六节 岷江柏生存环境状况评估	(516)
第七节 岷江柏种群生态学与自然更新能力评估	(545)
第八节 岷江柏遗传多样性评估	(563)
第九节 岷江柏保护与种群恢复策略	(580)
本章小结	(590)
第十一章 岷江干旱河谷农业发展及特点	(591)
第一节 岷江干旱河谷农业发展历史	(592)
第二节 岷江干旱河谷林果资源发展的生态适宜性	(598)
第三节 岷江干旱河谷农林主要复合经营类型及其演变	(611)
第四节 岷江干旱河谷农业生产的技术特点	(618)
第五节 岷江干旱河谷生态农业发展的优势与存在的问题	(629)
第十二章 干旱河谷生态恢复及持续管理策略	(634)
第一节 干旱河谷生态恢复与管理实践的基本认识	(634)
第二节 干旱河谷生态恢复与持续管理策略	(641)
第三节 干旱河谷生态恢复目标、途径与方法	(646)
本章小结	(649)
参 考 文 献	(650)
附表 岷江干旱河谷维管束植物及其性状	(692)

第一章 岷江干旱河谷及其生态保护问题

干旱河谷是横断山区众多河流深切后形成的著名自然景观之一，主要分布在金沙江、怒江、澜沧江、元江、雅砻江、岷江、大渡河、安宁河、白龙江等及其支流峡谷的下段，海拔分布垂直幅度 200 ~ 1000 m (张荣祖, 1992)，一直是西南山区社会、经济和农业发展的重要地区。无论从地形地貌、气候与植被状况，还是社会经济条件及人类活动来看，岷江干旱河谷均是横断山区北段干旱河谷的缩影。

岷江干旱河谷位于岷江的上游，而岷江上游流域位于 $N30^{\circ}45' \sim N33^{\circ}09'$ ， $E102^{\circ}33' \sim E104^{\circ}15'$ ，面积 23 037 km^2 (包维楷等, 2007)，是一个重要的生态过渡与民族文化走廊带 (图 1.1)。其地貌上处于横断山区与四川盆地的过渡交错区，是青藏高原向东部低山丘陵区的过渡，气候上是东部的亚热带气候与西部暖温带气候的过渡区，植物多样性上是中国-喜马拉雅植物区系向中国-日本森林植物区系的过渡区，文化上是东部以蜀文化为代表的大汉文化向西部藏、羌为典型的民族文化融合过渡带。因此，岷江上游在四川省各类 (地质地貌、自然地理、植被、气候、土壤、民族文化、生物多样性保护) 区划中都是东西分界线的穿越区。岷江上游生态多样性独特而复杂，山地生态系统结

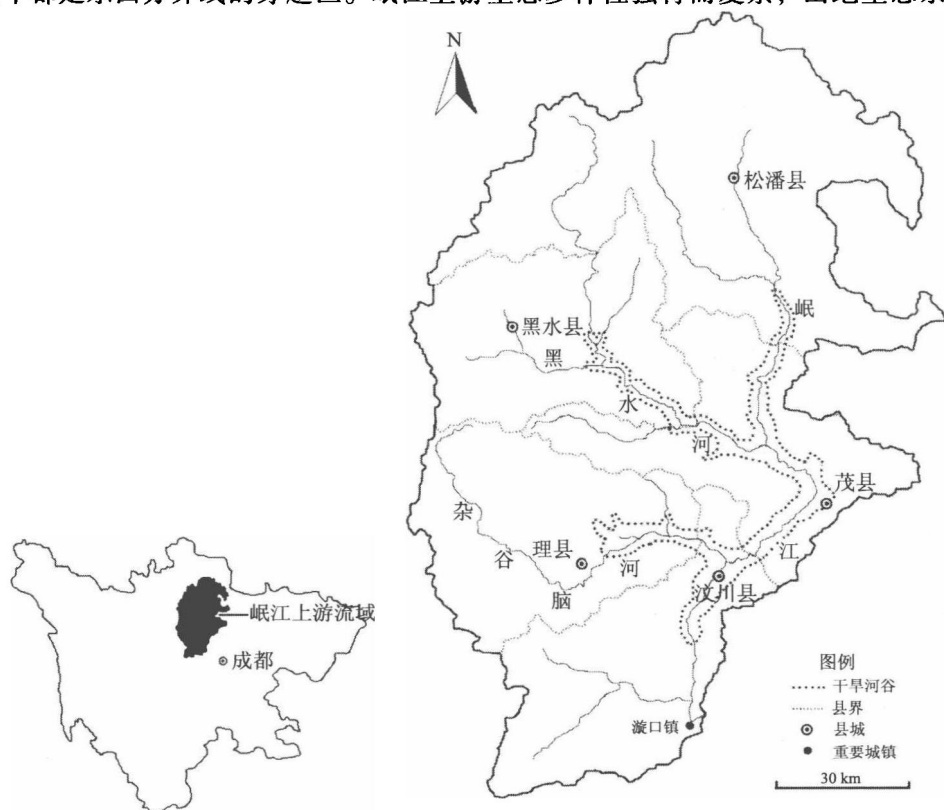


图 1.1 岷江干旱河谷地理位置示意图

构、功能及其变化与效应对四川盆地与成都平原的持续发展具有重要的影响，是蜀文化及成都平原繁荣发展的重要生态安全屏障，显示岷江上游流域在四川省自然、社会、经济与民族团结的形成、演化和发展中的不可替代性。

岷江干旱河谷是岷江上游流域生态安全中最为脆弱而不稳定的部分，承受着强烈的人为扰动，成为区域生态安全保障的关键。本章将介绍岷江干旱河谷的空间范围及其重要性，揭示当前岷江干旱河谷存在的生态环境问题。

第一节 岷江干旱河谷空间分布及其区位优势

弄清干旱河谷空间分布范围和面积是科学认识横断山区干旱河谷生态系统的基础。在《横断山区干旱河谷》中，郑度等首次计算出横断山区干旱河谷干流总长度为 4105 km，总面积为 1.123 万 km^2 （张荣祖，1992），随后 30 年来尚未见其空间分布的新报道。根据我们最近 10 年来对各河流干旱河谷分布空间的调查，以植物区系性质、气候、土壤等综合考虑来判断，这一面积显然严重偏小。主要因为：① 一些支流分布的干旱河谷面积未被计算，如鲜水河谷；② 对各主河谷的统计也因河谷宽窄不一、分布海拔幅度变化大而使面积值计算偏低。初步估计，整个横断山区干旱河谷面积至少超过 2.65 万 km^2 ，占横断山区面积的 5% ~ 6%，增加的面积主要是干暖与干温河谷类型。查明各干旱河谷分布及其面积是认识干旱河谷景观的基础，仍然需要进一步强化。

一、岷江干旱河谷的空间分布与面积

除金沙江中下游干热河谷之外，岷江干旱河谷也是横断山区研究相对集中的干旱河谷区域之一，有关其空间分布的报道较多。在《横断山区干旱河谷》一书中，报道的岷江干旱河谷长 161 km，垂直海拔幅度 200 ~ 400 m，面积 170 km^2 ；杨钦周（2007）在原来的基础上根据多年考察确定岷江支流杂谷脑河、孟通沟、三叉沟、龙溪沟以及另一支流赤不苏河等主要支流的下段也是干旱河谷，一般分布在江面海拔 1300 ~ 1760 m 地段干燥谷坡，垂直幅度 200 ~ 400 m，上限海拔 1600 ~ 2200 m（2400 m）不等，合计岷江干旱河谷总长度约 200 km，总面积约 210 km^2 ；杨兆平等（2007）采用遥感影像解译方法研究了岷江干旱河谷的变化，确定干旱河谷区分布于海拔 1200 ~ 3200 m 的范围内，从 1974 年的 931.4 km^2 ，扩展到 1995 年的 1173.5 km^2 ，2000 年进一步扩大到 1230.8 km^2 ；最近，蔡凡隆等（2009）也采用遥感影像解译方法调查了川西干旱河谷的分布面积，约 9508.9 km^2 ，其中岷江干旱河谷分布于 $\text{E}103^\circ 46' 09''$ 、 $\text{N} 32^\circ 15' 11''$ （松潘县境）至 $\text{E}103^\circ 28' 03''$ 、 $\text{N} 31^\circ 16' 58''$ （汶川县境）江段及其支流，干流长度 216.7 km，离江面高度 500 ~ 900 m，面积 765.8 km^2 ；此外，也有人报道岷江干旱河谷面积 4700 km^2 ，占岷江上游面积的 20.8%（陈安勇，1998）。现有岷江干旱河谷面积为 170 ~ 4700 km^2 ，差异如此之大，实难让人相信。因此，查明岷江干旱河谷分布面积，澄清事实仍然是必要的。从 1999 年起，我们陆续以张荣祖（1992）的报道为基础，对岷江干旱河谷及其支沟进行了大量深入细致的地面调查，一一踏查干流河谷及所有支沟存在的干旱河谷及其分布上限，估计峡谷宽度，最后计算了各部分的海拔幅度及面积（表 1.1）。

表 1.1 岷江干旱河谷空间分布范围与面积估计

区域	地段	海拔与幅度/m	沟谷长(宽)度/km	估计面积/km ²
正河谷	汶川绵虢乡至茂县飞虹乡两河口大桥	起段: 1150 ~ 1300 (阳坡)	93 (2 ~ 4)	294
		终段: 1600 ~ 2200 (阳坡)		
		海拔幅度 100 ~ 700		
	茂县飞虹乡两河口大桥至松潘镇江关	起段: 1600 ~ 2200 终段: 2200 ~ 2300 (阳坡) 海拔幅度 100 ~ 400	76 (0.5 ~ 2.5)	82
杂谷脑河谷	汶川威州镇至理县甘堡	起段: 1400 ~ 1800 (阳坡) 终段: 1800 ~ 2000 (阳坡) 海拔幅度 100 ~ 600	55 (2 ~ 5)	166
	各支沟	海拔幅度 100 ~ 300		
黑水河谷	茂县飞虹乡两河口大桥至黑水县色尔古	海拔幅度 100 ~ 500	36 (1 ~ 4)	95
	各支沟 (如雅都沟、回龙沟、三龙沟等)	海拔幅度 100 ~ 300	20 (1 ~ 2)	24
其他支流河谷	雁门沟、板子沟、龙洞沟、大沟、渭门沟、飞虹沟、黑虎沟等	海拔幅度 100 ~ 500	19 (1 ~ 3)	32
小计				720

总体上, 我们估计的岷江干旱河谷分布面积为 720 km² 左右, 在海拔 1100 ~ 2200 m, 在谷底以上 100 ~ 700 m 的海拔幅度以及 1 ~ 5 km 水平宽度范围内, 其面积占岷江上游流域总面积的 3.1%。岷江上游五县 (汶川、茂县、理县、黑水、松潘) 均存在干旱河谷, 其中茂县的干旱河谷分布面积最大, 汶川次之, 松潘县的分布面积较小。

比较起来, 我们估计的总面积接近蔡凡隆等 (2009) 的估算值, 但海拔幅度与干流长度更小, 而支流分布面积更大; 总面积远比杨兆平等 (2007) 的估算值低。多年的调查表明, 干旱河谷不可能分布到云雾带之上, 因为干旱河谷是地形地貌与气候综合形成的产物。在岷江河谷, 云雾带 (山体最大降水高度) 在汶川绵虢一带一般为海拔 2100 ~ 2300 m, 而在茂县一般为海拔 2300 ~ 2600 m, 上游松潘岷江乡一般为海拔 2700 ~ 3100 m。杨兆平等 (2007) 认为干旱河谷可分布于海拔 3200 m 的事实显然不符合气候海拔变化规律性特点 (包维楷等, 2007), 多年实地调查的事实也不支持他们所述干旱河谷面积如此快速扩大的观点。

河谷干旱程度受河流走向以及与支流交汇影响而存在差异。岷江干旱河谷分布随河谷地貌形态与走向表现出明显的空间差异性特点。东西与南北走向的河流交汇处往往是干旱河谷的干旱中心, 降水少而蒸发量很大, 这显然与地形风大、风频直接相关。例如, 东西走向的杂谷脑河与南北走向的岷江交汇的汶川县威州镇附近, 年彭曼干燥度达到 2.0 ~ 2.8, 大沟、龙洞沟与岷江交汇的茂县凤仪镇干燥度达到 2.1 ~ 3.2; 而黑水河与岷江交汇的茂县飞虹乡的两河口地段年干燥度更高, 达 2.7 ~ 4.6。此外, 这些干旱中心地段干旱河谷分布面积往往更大, 海拔分布幅度更大, 植被更稀疏、低矮、盖度小, 物种组成更单一, 即使在夏季群落也呈灰绿色的荒漠景观外貌。此外, 除干旱河谷

上下游两端外,干旱程度的阴阳坡差异并没有预期的那样明显,而是受坡度与地形的再分配作用更显著。深入揭示干旱河谷各生态环境要素在复杂地理空间上的组合及其特点是科学认识干旱河谷生态系统格局、过程、功能与效应的关键。

二、岷江干旱河谷的区位优势与特点

干旱河谷(海拔1100~2200 m)处于岷江峡谷下段,虽然面积不大(约720 km²),但一直是四川盆地进入川西高原的必经之路,是一条人口、社会、经济发展与文化交流的廊道,是区域社会经济文化发展的核心地带。

(一) 区域人口与城镇村落集中分布区

岷江干旱河谷主要分布于五县(汶川、茂县、理县、黑水、松潘),虽然面积不大,分别只占五县面积的1%~5%,但一直是这些县人口分布的中心地带,是区域人类居住中心、村落城镇发展中心。五县本地人口32万,但生活在干旱河谷区的人口超过18万,占区域人口的56%左右,其中汶川县生活在干旱河谷的人口超过了59%,茂县占到了58%。岷江上游流域人口密度为18人/km²,但干旱河谷的人口密度达到了23.6人/km²,已接近素以垦殖指数高而闻名的四川盆地丘陵山区。岷江上游有622个乡村聚落(行政村)94368户,80%分布在海拔2200 m以下的干旱河谷段。聚落分布密度为2.5个/km²,聚落规模为107户489人;而根据陈国阶等(2006)的调查,杂谷脑河理县段有近19%的村落分布于海拔2000 m以下的干旱河谷,而59%的村落分布于2000~2700 m的地带。这些均表明干旱河谷也是岷江河谷村落集中分布区与人口集中分布地带。此外,5个县城中的4座、16个乡镇分布于河谷地带,这说明岷江干旱河谷也是上游市场与经济中心。因此,干旱河谷是岷江上游区域社会经济发展的关键地带,也是人民群众生产生活活动强烈扰动地带,是区域社会发展的重心之一。

(二) 高山峡谷区农业发展精华之地

干旱河谷光热资源丰富,人口稠密,各种农业耕作活动均主要发生在河谷地带,是区域耕地与农田主要分布区,因此一直是该区域内各少数民族农业活动的中心。汶川、茂县和理县三县耕地与园地面积(4.54万hm²)(包维楷等,2007)中,有45%的面积分布于海拔2200 m以下的干旱河谷内,是岷江上游粮食生产的“主产区”,也是特色经济作物与果树发展的核心地带。岷江上游的特色经济林木苹果、青脆李、枇杷、甜樱桃、花椒基本上全部分布于干旱河谷,并沿河谷形成了特色产业带。岷江上游是成都市的二线蔬菜基地,85%的蔬菜基地(包括番茄、大蒜、辣椒、白菜、莴笋、萝卜等)分布于有灌溉条件的干旱河谷冲积台地或河滩地上。此外,区域畜牧业发展也依赖于干旱河谷资源,牲畜以牛、羊、猪、马为主,其中黄牛、山羊和猪等的养殖主要在干旱河谷区,其数量占区域牲畜数量的81%(包维楷等,1999a)。可以看出,干旱河谷一直是岷江上游的农业精华之地,支撑着农民致富增收与区域农业产业发展。因此,干旱河谷是区域农业、农村、农民问题的重点,其生态安全和持续管理是区域农业农村经济持续发展的保障。

(三) 川西北区域交通、能源、通信与物资集散运输中心

干旱河谷位于山高坡陡的峡谷之中,可接性相对好些,因此一直是横断山区与外界联系不可替代的廊道,岷江干旱河谷也不例外。汶川大地震充分证明,干旱河谷公路是外界进入岷江上游的必要途径,是不可缺少的生命线。岷江上游区域生产生活严重依赖外来进口,包括所需的物资,如大米、粮油、日用品、农业生产物资、建材等。干旱河谷交通中断意味着区域失去了生产生活物资依靠。干旱河谷带也是输电、通信光缆进入川西不可替代的区域,更是交通、通信、物资分配进入整个地区的中心。因此,干旱河谷生态安全直接关乎区域社会经济发展与多民族群众的生产生活,是区域社会经济安全运行的生态保障。此外,近20年来,因交通运输这一优势,民族区域的工业发展也主要集中在干旱河谷。

第二节 岷江干旱河谷的生态环境问题

干旱河谷一直是区域人口、村落、政治、经济、文化、市场的中心,是川西区域社会、经济发展与文化的枢纽和动力区以及区域社会经济可持续发展的关键地带,成为区域持续发展关注的重点,西部大开发10年来新建的基础设施大多数也集中在干旱河谷地带。在过去几十年中,人口的迅速增加与社会经济的快速发展,使干旱河谷生态系统在人类长期开发利用的基础上,承载了严重甚至是前所未有的频繁干扰和过度利用,成为地区社会经济发展引发的人类活动最强烈而集中的地带,不仅河谷局部地段植被严重退化,生态急剧恶化,水土流失严重,山地灾害频繁,也不断吞噬着区域社会经济发展成果,削弱区域可持续发展的基础,甚至动摇了整个山地系统的生态安全,直接威胁着成都平原区的发展和中下游地区的生态安全。因此,干旱河谷的生态环境问题突出,环境直接阻碍着区域发展,也显著增大了社会发展成本,使干旱河谷许多开发活动并不经济。

一、生态退化基本事实分析

近20年来岷江干旱河谷面临的最严重生态问题是生态退化,且在不断恶化,引起了一系列生态失调问题。岷江干旱河谷退化是不争的事实,有许多现象和依据可资佐证。

(一) 道路沿线生态严重退化带

岷江干旱河谷内的国道、省道与县道公路旅程有345 km,乡村基本公路有165 km,总计约有510 km。这些道路大多数是通过坡面切割修建形成的,而路面路基开挖土石残留物常常就地向坡下或河流推送,覆盖原有的自然植被或坡耕地,形成裸露地表,并暴露在强烈的自然侵蚀作用下。因此,交通道路线(宽40~200 m)通常是退化最为严重的地带,而在局部盘山公路这一退化地带常宽达500~600 m。根据我们对干旱河谷道路的详细调查,当前岷江干旱河谷中严重退化的道路沿线面积已有86 km²,约占干

旱河谷面积 (720 km²) 的 12%。道路沿线地带退化后, 基本未采取任何有效治理措施, 局部陡峭的坡面进行了处理, 但因技术制约而大多失败。当前道路沿线仍然处于严重生态退化状态, 植被覆盖率常常不到 20%, 受自然侵蚀和坡面松散堆积物重力作用, 坡面不断发生位移和下滑, 经常发生局部滑坡或崩塌, 水土流失严重, 呈严重不稳定状态。由于气候干旱与土壤侵蚀共同作用, 裸地阶段的自然演替缓慢, 目前道路沿线的植物主要是一些自然入侵的先锋性耐旱、喜光、种子细小的风媒草本植物广布种, 也有一些边坡治理引入的外来草种。道路沿线严重的生态退化是当前岷江干旱河谷整治面临的最紧迫问题。

(二) 村落生态退化岛

村落是人口聚居地, “岛状” 分散在岷江干旱河谷中。村落岛生态环境事关社会主义新农村建设与家园工程建设, 控制村落周边区水土流失, 塑造与村落建筑和谐的植物群落景观, 美化环境是重要内容。但是, 当前干旱河谷村落附近人为活动类型多样 (如砍材、取石、积肥、垦荒、房屋建造、放牧、耕种), 干扰影响时间长, 往往也是生态退化地段, 形成了以村落为核心的生态退化岛 (包维楷等, 2000; 包维楷和刘照光, 1999)。主要表现在植被结构与生产力的退化, 植物有性繁殖能力下降, 喜阴湿的植物衰退; 土壤板结、生物地球化学循环能力退化, 水土流失严重。村落退化岛的退化程度与村落大小、社会经济状况、周围植被资源状况、地形地貌条件、生活传统方式有直接关系。被调查的 60 个村落中, 82% 的村落周边存在不同程度的生态退化事实或现象。初步统计, 干旱河谷村落生态退化岛占村落数量的 70% ~ 85%, 各村落退化岛呈不规则状分布, 退化程度不一, 面积 0.5 ~ 2 km² 不等。初步估计村落退化岛总面积占干旱河谷面积的 5.2% ~ 6%。在一些地段, 村落生态退化岛也与荒山造林、公路建设后的退化地段重叠, 多重干扰破坏后退化程度往往更重。

(三) 荒山造林退化片

岷江干旱河谷所在五县一直是长江上游水土流失治理工程与长江防护林建设工程实施县, 也是 1998 年启动的天然林保护工程与退耕还林工程实施的重点县。因此, 从 20 世纪 80 年代初期开始, 岷江干旱河谷一直是国家生态工程实施的重点地区, 也是最近 (2010 年) 国家确定的 16 个国家级水土流失重点预防保护区之一。从 60 年代初开始, 在岷江干旱河谷汶川、茂县、理县等局部地段就开展了系列的干旱河谷造林技术试验, 形成了一套技术方法, 主要是水平带状整地后采用鱼鳞坑营造技术, 营造岷江柏、臭椿、滇柏、藏柏、油松、辐射松、侧柏、刺槐、元宝枫等树种, 造林也采用过营养袋带土栽植、人工浇水保苗、窝穴覆盖等技术措施。特别是 90 年代, 在国家生态工程投入与支持下, 地方林业部门在岷江干旱河谷开展了大面积的荒山荒坡造林工程建设 (郭晓鸣, 2001)。当前规模化干旱河谷造林工程区分布于岷江干流、杂谷脑河与黑水河沿岸, 初步调查统计, 多年来干旱河谷荒山带状整地造林片区面积至少有 220 km², 占干旱河谷面积的 30% 左右。造林整地切断坡面, 强烈扰动地表, 翻动土壤, 破坏原有植被覆盖以及土壤结皮, 由于河谷风大风频, 特别是午后整地造林会立即通过扰动产生严重的土壤流失和大气粉尘污染, 整地后长期暴露土壤进一步受到大雨、暴雨 (尽管次

数少)、风蚀等的影响,水土流失进一步加剧。许多造林工程区造林带植被覆盖率在造林多年(6~16年)后仍然无法恢复到整地造林前的水平,而新造林树种因恶劣的环境制约而生长缓慢,大多成为小老头树(朱林海等,2009)。此外,一些造林地段采用灌溉也引起了局地的滑坡与崩塌,进一步加剧水土流失。坡度越大,整地造林裸露地表面积比例越大,植被覆盖破坏越严重,整地后的土壤退化越严重,水土流失更强烈。虽然国家投入大量人力和物力,地方主管部门付出了巨大的努力和艰辛,但干旱河谷荒山荒坡植被恢复不仅成效甚微,还形成了新的退化状态。除了造林技术措施与适宜物种应用存在问题外,严重造林整地干扰与特殊的脆弱环境是干旱河谷造林地退化的根本原因。

(四) 严重的水电工程退化段

岷江上游河流年总径流量 $153.5 \times 10^9 \text{ m}^3$, 水能蕴藏量约 800 万 kW, 可开发的水能源 395 万 kW (王洪梅和彭林, 2008; 范继辉等, 2005), 是我国流域水电开发最早的区域之一。岷江上游干流河道至少有梯级开发的大中型水电站 13 座(图 1.2), 而支流杂谷脑河有 9 座, 黑水河上有 5 座, 都是引水式电站(王洪梅和彭林, 2008; 范继辉等, 2006; 2005)。这些电站建设工程引水隧洞长, 施工支洞多, 工程弃渣量大, 堆放场地狭小, 大量弃渣沿岷江河岸堆放, 且大多未采取有效的水土保持与环境保护措施, 形成了独特的岷江河谷弃渣“污染”带, 已危及行洪安全与交通安全, 给区域环境和生态景观造成了难以估量的危害和消极影响。这些都使岷江河谷形成了割裂破碎的情景, 成为成都至九寨沟旅游热线上难堪的景象, 在国内外游客中造成了负面影响(范继辉等, 2005)。

岷江水电工程建设首先是直接占用和破坏了土地资源, 引起局部地段生态退化。电站建设工程也通过新修道路、切割山地剖面, 引发滑坡崩塌以及泥石流灾害, 进一步破坏土地与植被。并且形成不同程度的弃渣场, 大量土石被直接倾倒入河岸或河道内, 显著抬高河床, 拥塞河道, 河流被切割成不同的退化段。根据最近的调查统计, 目前分布于岷江干旱河谷中的大中型电站有 26 座, 干旱河谷区支沟上的小型或微型电站至少有 100 余座。水电站建设工程先后破坏荒山荒坡灌草地与耕地面积约 25 km^2 , 新成弃渣场地至少占用了 8 km^2 的荒山灌丛草丛, 还占用河道面积约 2 km^2 。

其次, 水电工程建设已显著破坏了河流的形态、结构与功能, 使生物群落遭受毁灭性破坏。河流及其流域是一个有生命的生态系统, 据初步估算, 岷江干旱河谷区生态环境总需水量 $34.81 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。其中, 河道生态需水量约 $25.2 \times 10^8 \text{ m}^3$, 植被需水量 $7.97 \times 10^8 \text{ m}^3$, 农业灌溉需水量 $1.52 \times 10^8 \text{ m}^3$, 工业需水量 $2.4 \times 10^6 \text{ m}^3$, 城镇需水量约 $1.0 \times 10^7 \text{ m}^3$ (许敬梅和黄成敏, 2006)。谢宝丰和刘香军(2008)的计算表明, 岷江上游河流基本生态环境需水量为 $36.15 \times 10^8 \text{ m}^3$, 污染防治需水量为 $15.05 \times 10^8 \text{ m}^3$, 河道外生态环境需水量为 $16.02 \times 10^8 \text{ m}^3$, 岷江上游河流总生态需水量为 $52.17 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。生态需水量随流域生态演替发展而变化。但是, 在岷江上游流域水电规划和各电站工程设计过程中基本上没有考虑河流的生态需水量与河流的连通性, 建成后也根本没有考虑河流生态系统结构与功能的优化调控和持续管理。在梯级电站的围堵与流水改道作用下, 岷江上游河流生态系统发生了显著变化。引水式电站还因引走了大量水源, 使河流下泄量急剧降低, 涵洞引水使大坝下游往往出现几千米的河床干涸, 出现严重的冬半年(11~4

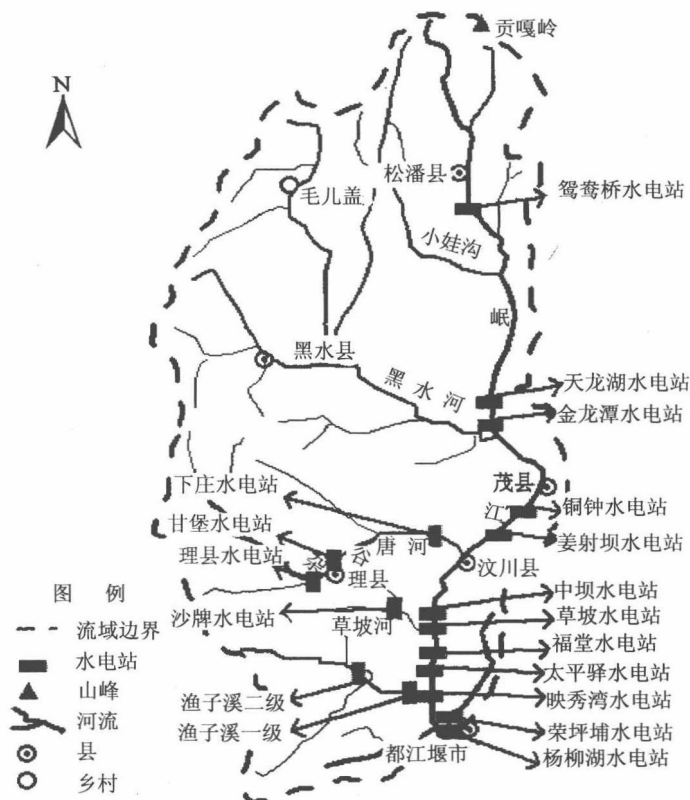


图 1.2 岷江上游主要水电站分布示意图 (仿王洪梅和彭林, 2008)

月)断流(表 1.2),使河道岩石裸露,河岸部分植被因缺水出现枯萎、死亡等现象(范继辉等, 2006)。初步统计,岷江干旱河谷冬季干流断流干枯或河床裸露 80% 的河段长达 75 km。由于水量严重减少或缺乏,河流径流过程显著改变,闸址以上一定长度的江段水体库化,水体流速、水深、水质、河床底质等均将发生一定变化;闸坝到厂房这一段河道不同程度地脱水,致使水体水环境发生较大变化。原来流动的水静止后,经过化学、热力和物理性变化,严重降低水体自净能力,引起水质退化与富营养化,局部生活废水污染就引起严重的污染物累积与水质恶化,严重污染水库和下游的河流。

表 1.2 四川福堂水电站建成前后脱水江段流量月变化 (单位: m^3/s) (范继辉等, 2006)

断 面		月 份											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
闸址	天然	94	87	90.5	146	406	694	643	305	315	274	168	113
断面	引水后	0	0	0	0	155	443	392	54	64	23	0	0
绵虢	天然	94.4	87.3	90.9	146.6	407.6	697.2	646.4	307.2	316.5	275.5	169.3	115.3
断面	引水后	0.4	0.3	0.4	0.6	156.6	446.2	395.4	56.2	65.5	24.5	0.9	0.5
以下	天然	98.2	90.6	94.4	152.2	422.7	726.7	678.4	327.9	330.9	289.3	177.1	118.5
断面	引水后	4.2	3.6	3.9	6.2	171.7	475.7	427.4	76.9	79.9	38.3	9.1	5.5

资料来源: 福堂水电站可行性研究报告。