

环境工程教学案例系列

生态恢复

工程案例解析

胡进耀 陈劲松 罗明华 阮期平 董廷旭 编 著



科学出版社

环境工程教学案例系列

生态恢复工程案例解析

胡进耀 陈劲松 罗明华 阮期平 董廷旭 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

目前介绍西南地区生态恢复(修复)案例教材,特别是高寒湿地和地震灾后生态修复技术方面案例教材极少见。本书根据教学需要,围绕西南地区山地丘陵生态恢复、地震灾后生态修复、矿山生态修复、高寒湿地生态修复、生态清洁型小流域建设等方面,先概述了每个方面的原理和技术方法,然后展示了9个典型案例。这些案例均来源于编委会成员参与的项目,并参考、吸收了其他学者的研究成果,形成本书。教材案例原创性强,并有较为突出的典型性和特殊性。

本教材适合环境工程、生态恢复、水土保持、林学等专业研究生和本科生使用,可作为相关专业研究生教材和本科生参考书。

图书在版编目(CIP)数据

生态恢复工程案例解析/胡进耀等编著. —北京:科学出版社,2017.11

ISBN 978-7-03-054236-6

I. ①生… II. ①胡… III. ①生态恢复—生态工程—案例 IV. ①X171.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第208309号

责任编辑:张 展 郑述方 / 责任校对:韩雨舟

责任印制:罗 科 / 封面设计:墨创文化

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>

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年11月第 一 版 开本:16(787×1092)

2017年11月第一次印刷 印张:14

字数:340千字

定价:43.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《生态恢复工程案例解析》

编写委员会

胡进耀(绵阳师范学院)
陈劲松(四川师范大学)
罗明华(绵阳师范学院)
董廷旭(绵阳师范学院)
刘泉(绵阳师范学院)
吴庆贵(绵阳师范学院)
黄天志(绵阳师范学院)
邓东周(四川省林业科学研究院)
余凌帆(四川省林业科学研究院)
向莉(西南民族大学)
杨敬天(绵阳师范学院)
何云晓(绵阳师范学院)
阮期平(绵阳师范学院)
谢欢欢(绵阳师范学院)
任三强(安康市石泉县水利局)
廖茂芪(四川师范大学)
李可念(四川师范大学)

前言

越来越多的高校将提高学生实践能力,建设应用型大学作为人才培养的重要目标和定位,但生态专业实践教学教材一直较为匮乏。李洪远等(2010)介绍了40个国外生态恢复案例,国内生态恢复工程案例教材仍较少。北京林业大学等单位的教师撰写了一些北方林业生态工程方面的著作。但目前介绍西南地区生态恢复(修复)案例教材,特别是地震后的生态修复技术方面的案例教材极少见到。由于南方地区尤其是西南地区典型的地貌类型及环境特点,对生态修复提出了特殊的要求。与北方案例相比,它们有较为突出的典型性和特殊性。南方地区开设环境工程、生态恢复、水土保持专业的院校也有不少,对这方面书籍有较强的需求。

本书编写委员会,由绵阳师范学院、四川省林科院、四川师范大学等单位的教师共同组成。编写委员会通过总结提炼各位教师亲自参与的生态恢复(修复)工程项目,并参考、吸收了其他学者的研究成果,编成本书。其中,第1章、第2章由四川师范大学陈劲松教授主笔;第3章由吴庆贵博士主笔;第4章由四川省林业科学研究院余凌帆高级工程师主笔;第5章、第6章、第11章、第12章由胡进耀教授主笔;第7章、第9章由黄天志博士主笔;第8章由董廷旭教授主笔;第10章由谢欢欢主笔;第13章、第14章由刘泉博士主笔;全书由胡进耀教授统稿。西南民族大学在读博士研究生向莉负责校对,四川省林业科学研究院高级工程师邓东周、研究生谢欢欢参与了第12章的起草工作,张生参与了第8章的起草工作。本书的出版,得到了绵阳师范学院“研究生教学质量工程建设”等项目的资助。由于水平有限,编写仓促,疏漏错误难免,希望读者批评指正。

胡进耀

2017年7月8日

目 录

第一篇 山地、丘陵生态恢复	1
第 1 章 山地植被恢复原理与技术	3
1.1 退化植被恢复重建涉及的主要生态学原理	3
1.2 退化植被恢复重建的一般步骤与方法选择	5
第 2 章 岷江上游植被恢复案例	7
2.1 内容提要	7
2.2 引言	7
2.3 相关背景介绍	8
2.4 主体内容	15
第 3 章 川中丘陵区低效柏木林生态系统结构优化与功能提升示范	24
3.1 内容提要	24
3.2 引言	24
3.3 案例背景	25
3.4 主体内容	25
3.5 案例实施过程及主要结果	26
第二篇 地震灾后生态修复	33
第 4 章 地震灾后大熊猫栖息地生态修复和重建研究	35
4.1 国外地震灾后生态修复和重建研究	35
4.2 国内地震灾后生态修复和重建研究	38
4.3 地震灾后大熊猫栖息地生态修复的基本问题	40
第 5 章 天全二郎山大熊猫栖息地主食竹恢复技术研究	43
5.1 内容提要	43

5.2 引言	43
5.3 相关背景介绍	43
5.4 主体内容	46
5.5 反思	57
第6章 四川小寨子沟大熊猫栖息地修复案例	58
6.1 内容提要	58
6.2 引言	58
6.3 相关背景介绍	58
6.4 主要内容	62
6.5 案例启示	72
第三篇 矿山生态修复	73
第7章 矿山生态修复原理与技术	75
7.1 矿山生态修复时序和内容	75
7.2 矿区生态修复对象	76
7.3 矿区主要生态修复技术	77
第8章 香泉乡青岗树采石场生态修复案例	84
8.1 内容提要	84
8.2 引言	84
8.3 相关背景介绍	85
8.4 主体内容	92
8.5 案例启示	100
第9章 贵州青龙煤矿区土地复垦生态恢复工程	102
9.1 内容提要	102
9.2 引言	102
9.3 相关背景介绍	102
9.4 主体内容	105
9.5 案例启示	108
第四篇 高寒湿地生态修复	109

第 10 章 湿地生态修复原理、技术	111
10.1 概述	111
10.2 湿地生态修复理论基础与技术	112
10.3 若尔盖湿地生态修复技术与方法	121
第 11 章 若尔盖湿地公园保护与修复案例	129
11.1 内容提要	129
11.2 引言	129
11.3 相关背景介绍	129
11.4 主体内容	134
11.5 案例启示	142
第 12 章 若尔盖沙化治理案例	143
12.1 内容提要	143
12.2 引言	144
12.3 相关背景介绍	144
12.4 主体内容	146
12.5 案例启示	160
第五篇 生态清洁型小流域建设	163
第 13 章 生态清洁小流域原理与技术	165
13.1 小流域治理理论基础	165
13.2 生态清洁小流域建设措施体系布局	166
13.3 非传统水保措施单项工程设计	168
13.4 案例分析——安康市石泉县鲁家沟生态清洁小流域综合治理工程	173
13.5 结语	189
第 14 章 重庆市大河小流域生态清洁型小流域建设工程案例	190
14.1 内容提要	190
14.2 引言	190
14.3 工程背景	190
14.4 主体内容	195
主要参考文献	208

第一篇

山地、丘陵生态恢复



第 1 章 山地植被恢复原理与技术

退化的森林生态系统严重影响其多种生态功能的发挥,植被恢复与重建是提高森林生态系统结构与功能的有效途径,对植物群落的演替规律、种群动态、植被恢复与重建技术及模式的研究可为植被恢复与重建提供科学依据,具有重要的理论意义和现实意义。植被恢复(vegetation restoration)是指运用生态学原理,通过保护现有植被、封山育林或营造人工林、灌、草植被,修复或重建被毁坏或被破坏的森林和其他自然生态系统,恢复其生物多样性及生态系统功能。植被是生态系统中物质循环与能量流动的中枢,植被恢复是退化生态系统中恢复与重建的首要工作。

在实践中,调查和认知退化环境与当地社会、经济关系是开展恢复工作的前提,其次是确定恢复与重建目标,以确定在恢复重建工作中应该采取的对策,以及与其配套的技术方法。

从我国近几十年的山地森林恢复与重建的实践历史来看,主要有两类目标:一类是以水源涵养、水土保持林等生态效益发挥为主要目标,突出恢复和重建生态型植被,却忽略了其经济效益的充分发挥,导致群众不积极参加,恢复实施困难,也难以持续发展,最根本的原因是没有充分考虑地方群众脱贫致富的经济需求,无法调动群众的积极性;另一类是以短期经济效益的获取为目标的经济型植被的重建,没有考虑环境退化的现实和生态学规律的制约,致使环境进一步退化,如此,经济效益也难以持续。植被恢复和重建必须同时考虑生态学 and 经济学原则,必须同时考虑人类经济发展的愿望和环境治理的现实,兼顾生态和经济效益。

1.1 退化植被恢复重建涉及的主要生态学原理

1. 资源充分利用原理

自然群落是在长期自然选择下形成的,对环境资源的利用较充分,因此在建造植物群落时必须模仿自然群落结构。多层次匹配是自然群落的结构特征,是植物群落尤其是森林的普遍现象,表现为结构在时间、空间上的多样化。这样,亦可有效避免物种结构单一、生物多样性低的问题。

2. 物种的生态适应性和适宜性原理

物种的选择是植被恢复和重建的基础。物种的生物学和生态学特性决定了其正常生长发育要求一定的生态条件,只能分布在一定的区域范围内,即具有生态适应性。因此具体环境中的物种选择必须遵循生态适应性原理,做到适地适物种,这是确保植物正常生长发育、形成稳定的群落结构、充分发挥其应有的生态功能的重要基础。另一方面,

物种具有一定的功能价值。或有突出的经济功能，能提供人们需要的产品；或有突出的生态功能，能较好地固土保水，改良土壤；或二者兼备，即具有适宜性。

3. 共生原理

第一种是共生关系，共生是指不同物种的有机体或系统合作共存。共生的结果使所有共生者都大大节约物质能量，减少浪费和损失，使系统获得多重效益，共生者之间差异越大，系统多样性越高，共生效益也越大。如豆科植物的根系共生，双方均获利。第二种是附生关系，附生植物与被附生植物在空间上紧密联系，彼此间不进行物质交流。一个种得到好处，另一个种不受损害或只受轻微的损害。第三种共生关系是双方适应性增强的附着关系，彼此间不存在接触，其结果表现为双方共益，或群体增益(facilitation)。

4. 植物群落演替原理

演替指植物群落更替的有序变化发展过程。演替的过程和方向决定于外界因子对植物群落的作用、植物群落自身对环境作用的响应变化，群落中植物组成、植物繁殖体的散布和群落中植物之间的相互作用等因素。演替按发展方向可分为进展和逆行两类，由简单而稀疏的植被发展到森林群落称进展演替；当受到干扰和破坏，由森林群落又发展到稀疏植被、灌丛，甚至裸地，称逆行演替。逆行演替导致植被结构破坏，引起功能退化和环境退化。因而恢复和重建植被必须遵循生态演替规律，促进进展演替，重建其结构，恢复其功能。在选择物种时，考虑选择处于进展演替前一阶段的某些物种，加快演替进程。消除干扰和破坏，将植被恢复和重建的人工植物群落建立在进展演替的基础上。

5. 生态位原理

生态位是指某一种群存在的条件。生态位理论告诉我们，生态位和种群存在一一对应关系，即一定的种群要求一定的生态位，反过来，一个生态位只能容纳一个特定规模的生物种群。自然群落随着演替向顶极群落阶段发展，其生态位数目增多，物种多样性也增多，空白生态位逐渐被填充，生态位逐渐饱和。农业人工植物群落内杂草、病虫害易于侵入，正是由于人为使物种单一化，而产生了较多空白生态位。应用生态位原理，把适宜的物种引入，填补空白的生态位，使原有群落的生态位逐渐饱和，这不仅可以抵抗病虫害的侵入，增强群落稳定性，也可增加生物多样性，提高群落生产力。

1.2 退化植被恢复重建的一般步骤与方法选择

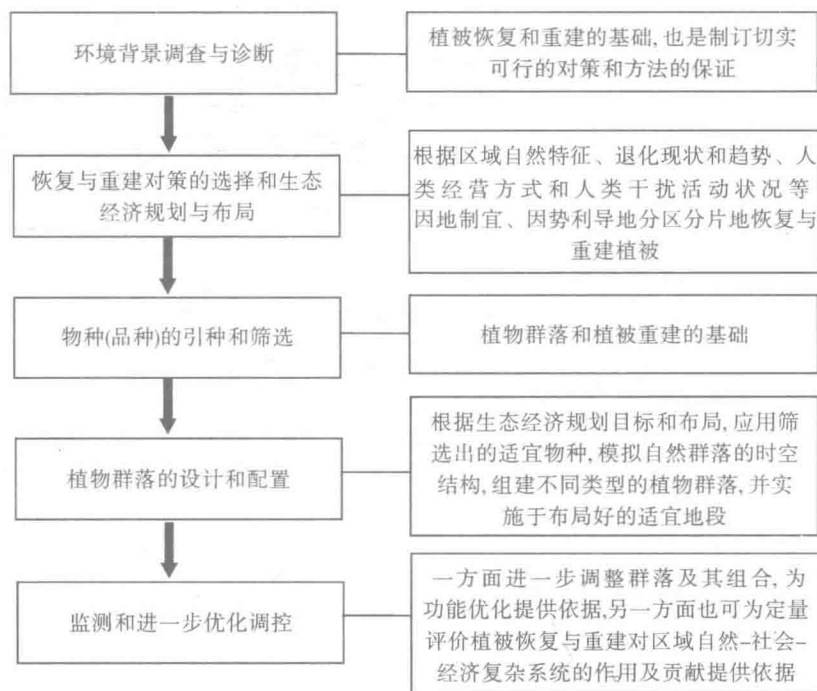


图 1-1 植被恢复重建一般步骤示意图(资料据包维楷和陈庆恒, 1998)

植被恢复重建一般包括环境背景调查与诊断、重建对象选择与规划、物种筛选、群落设计、监测与优化五个步骤(图 1-1)。环境背景的调查主要是弄清以下几方面问题: ①气候及其时空变化规律; ②土壤及其空间变化规律; ③植被及物种多样性现状、植被演替的过程和方向及其存在的问题; ④人类活动及其与植被、自然环境演变的相互关系; ⑤人口和社会经济发展现状及其趋势; ⑥恢复与重建区域的地理区位特征等。在此基础上, 进行恢复与重建对策的选择和生态经济规划与布局, 通常有三种方式: ①消除人为因素, 通过自然恢复过程, 缓慢地恢复; ②选择在人为的帮助下, 恢复到初始状态或某一阶段, 如果成功, 就成为真正的恢复(restoration), 如果不完全成功, 可能恢复到某一阶段, 叫重建(rehabilitation); ③选择按照人们的愿望通过建立人工植被, 替代原生植被方向的演替。这种选择可能导致植被结构简单化、物种单一, 但有更高的生产力, 如草地、荒地等被农田人工植物群落取代。很多学者建议第二种与第三种相结合, 恢复和重建生态经济型植被, 既遵循自然恢复演替规律, 同时一定程度上满足了人类生存发展的经济需求。然而在植被恢复方法的选择上, 以森林生态系统的植被恢复为例, 应根据森林退化状况、立地条件, 不同的区域选择不同的方法。在退化为灌丛草坡阶段, 应运用人工植物群落建造的方法, 重建森林群落, 而在疏林地或次生林地阶段可采用人工促进天然更新、改造等封山育林技术。技术关键是森林的合理结构配置, 表 1-1 为不同类型退化植被恢复与重建常见技术方法。

植被恢复重建技术, 分为人工与自然两大类。“自然恢复”即无需人工协助, 只依靠

自然演替来恢复已退化的生态系统。封山育林是自然恢复的典型方法。封闭森林或草原，使这些地区不受人类活动的影响，同时防止火灾及杂草入侵，就能加强自然更新；“人工手段”即针对植被恢复中土壤和水分这两大限制因子，采取各种人工措施以改善植被的生存环境，使其向有利于植被恢复的方向发展。

前者的优点显而易见，一方面可以缩短实现森林覆盖所需的时间，保护珍稀物种和提高森林的稳定性，投资小、效益高，也有针对小兴安岭采取封山育林技术的植被恢复研究表明，这一方法使得植被恢复比较迅速，植被高度、盖度及物种数均发生明显变化，尤其是垂直结构变化明显(杨逢建等，2002)；后者则可根据实际情况，采取多种方式改善土壤或水分条件，相较于自然方法，人工方式更加多样并且针对性强，但是，由于人工林的林分结构简单，在生物多样性和生态功能方面与天然林无法比拟(桂来庭，2001)。

表 1-1 不同类型退化植被恢复重建常用技术方法(资料据包维楷等，1995)

植被类型	具体应用
草地	①草地管理；②施肥、灌溉等单项技术或组合技术；③通过翻耕、播种，建立人工草地，主要针对板结草地和斑块状退化草地改良；④灌丛草地通过消除有毒有害及无用灌丛、草种，增加有价值的饲用植物，提高优良牧草在草地中的比重；⑤合理引入优良牧草，特别是豆科牧草以及牲畜品种改良技术等
森林	在退化为灌丛草坡阶段，应运用人工植物群落建造的方法，重建森林群落，而在疏林地或次生林地阶段可采用人工促进天然更新、改造等封山育林技术
农耕地	①生态农业技术：主要通过恰当的措施和环节，提高人工植物群落的生态效益、保肥能力；②坡地农业技术，常见的两种模式分别为一年生与多年生作物混作，主要以作物为基础的系统；农业和畜牧业混作模式，主要以畜牧业为基础的系统；③混农林业技术：主要是利用生态工程设计手段，凭借树木具有长期稳定生产食物、饲料、燃料、木材等产品的能力和防护农业的功能，构造空间、时间上多层次种植、养殖的结构配置，形成经济而合理的物流和能流，提高单位土地面积上生物生产力和经济效益，而且对提高系统稳定性，改善环境方面更加有利

王维明(2000)通过试验研究和野外调查，指出植被重建能否成功很大程度上取决于植物种类的选择，只有选用具有良好水土保持功能和较好经济效益的、适应当地生长的植物种类，才能取得好的治理效果。物种的选择应针对具体的不同地段而进行。通常以经济效益为主的人工植物群落应选择具有良好经济效益的物种(品种)，如果树、中药材、饲用作物、农业优势品种及优良蔬菜品种等；以生态效益为主的物种选择应考虑涵水、保土、改良土壤环境和生产力高的物种；在引入外来物种时，必须遵循一定的原则，先作适宜性评价，然后“试种”，将引种建立在生态合理的基础上。在岷江上游的大沟流域植被恢复和重建中，采用顶极适应值法、引种栽培法、生理生态指标测定比较法和器官形态解剖比较法等综合起来，筛选适宜物种 70 余种，同时利用原有植被的物种约 800 种，效果很好(程冬兵等，2006)。

第2章 岷江上游植被恢复案例

2.1 内容提要

本案例介绍了岷江上游亚高山植被恢复技术研究。案例选择松潘县为研究地，通过研究区立地类型划分、植被本底调查、树草种选择试验、模式试验，筛选出高效的生态重建模式，建立了岷江上游亚高山植被快速恢复重建技术。

2.2 引言

岷江上游地区位于我国四川省西北部，是长江上游最为重要的集水区和水源涵养地之一，同时也是我国生物多样性保护的“关键地区”之一。茂密的原始森林、广袤的高山草原构成了“天府之国”的生态屏障，几千年来支撑着沃野千里的成都平原的发展与繁荣。岷江上游地区的生态环境状况不仅直接影响着长江上游产业带的生态安全，也关系到整个流域的社会经济可持续发展。该地区处于我国第一和第二大地形阶梯的过渡地带，也是全国三大经济地带中由四川盆地较发达区向西部欠发达区的转折带，是东部以汉文化为主体向西部多民族文化过渡的区域。该地区由于特殊地理环境和地质构造，生态环境的脆弱性十分明显，是我国最重要的生态脆弱带之一。由于多年的人类干扰及不合理的资源开发利用活动，岷江上游地区高原及山区的自然植被遭受严重的破坏，森林大量消失，生态系统退化十分普遍，致使原有的生态防护功能、水源涵养功能、生态缓冲和隔离功能等一系列重要的生态服务功能严重衰退，尤其是涵养水源能力降低，河谷区水土流失严重，成为长江上游泥沙的重要来源之一。岷江上游因特殊的地理位置具有重要的生态地位，加之“5·12”汶川大地震对该区生态环境的破坏，该区域生态环境的恢复与重建成为其恢复重建的重点之一(黎燕琼等，2011)。

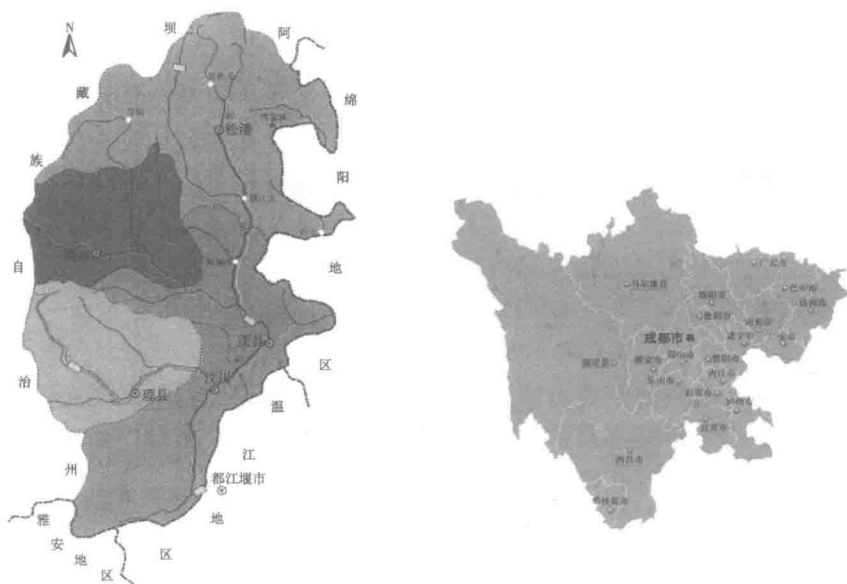


图 2-1 岷江上游地区的地理位置(摘自李奕, 2009)

2.3 相关背景介绍

2.3.1 岷江上游自然环境及社会环境概况

1. 岷江上游地区自然概况

1) 地质环境的不稳定性和脆弱性

岷江上游地区作为青藏高原的延伸部分,受青藏高原整体变化的影响,地质环境处于不断变化之中。就区域地质构造而言,岷江上游地区位于四川盆地边沿的秦岭纬向构造带、龙门山北东向构造带(华夏系)与马尔康北西向构造带间的三角形地块内,正处于地质构造的交错带上(图 2-1)。在漫长的地质历史发展过程中,在相应的构造区域内孕育了各自不同特色的岩相构造,历经晋宁—澄江运动、印支运动、喜山运动等多次变动,相互间发生干扰、穿插或者结持,形成各种构造复合现象,伴随发生的岩浆侵入活动与变质作用,使上述复合现象更加复杂化,形成了现今该区域错杂而有序的构造背景。该区正处于龙门山褶皱带与平武金汤复背斜的接合部,断层发育,地震频繁,地层抬升挤压强烈,地形切割甚为严重。山坡陡峻,山颠崎岖,风化作用强烈,山体斜坡和沟谷发育了大量的松散固体物质,为崩塌、滑坡、泥石流、水石流及土石流等不良地质现象的发生提供了物质基础,这样的地质地貌条件,也使得岷江上游地区,尤其是山地生态系统环境极不稳定,以变质岩为主发育成的土壤,结构不良,黏性差,极为脆弱,保水保肥力弱,极易受到外力的干扰。

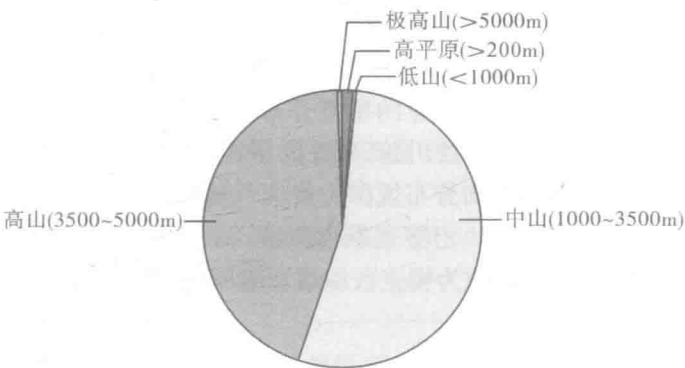


图 2-2 岷江上游地区各地貌类型占辖区土地面积的比例(资料据郭永明等, 1993)

2)气候的多样性

岷江上游大部分地区的气候受高空西风气流和印度洋西南季风的影响,并明显具有青藏高原季风气候的特征,总体上为温带、暖温带气候,属四川西部高原冬干夏雨区,在农业气候区划中属于川西高山峡谷暖温带、温带、寒温带林牧农大区中的丹巴—松潘半湿润区。其特征是有明显的干湿季之分。干季日照多、湿度小、日温差大;雨季日照少、湿度大、日温差小;干季多大风霜雪,雨季多冰雹雷电。其南部(汶川县的漩口、映秀、三江一线以南)则主要受东南季风影响,表现出山地亚热带湿润季风气候特征,属川西多雨区,气候温暖潮湿,年降水量在 1000mm 以上,四季分明,日照偏少。

岷江上游地区地势起伏较大,区内各地气候、降水及其他自然地理要素亦随之变化,形成了多种气候类型(表 2-1),并导致了区内气候资源的高度不平衡,主要表现在经纬和海拔差异所导致的气候资源不均匀性上。一方面,岷江上游大部分地区为中山与高山地貌(图 2-2),其山高谷深,造成区域内气候差异明显;另一方面,气候的多样性还表现在垂直海拔的立体差异性上。一般在河谷区,降水少、蒸发大、温暖而干燥,而向中山、高山过渡,气温降低、降水增加、蒸发减小、湿度增大,凉爽而湿润。一般最大降水出现于海拔 2900~3000m。

表 2-1 岷江上游五县各月降水量状况(摘自吴宁, 2007) 单位: (mm)

气象站	全年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	日最大 降水量	暴雨日数 /年
汶川	516.1	3.1	4.6	23.0	46.6	70.8	81.3	90.2	77.5	65.3	40.1	115.0	1.7	79.9	35/31 年
茂县	492.7	3.0	5.0	20.0	41.8	73.9	75.3	92.8	73.6	61.8	31.7	9.8	2.3	104.2	59/38 年
理县	590.6	7.8	11.1	32.7	52.7	92.8	102.5	72.1	55.3	87.4	51.9	16.9	4.1	55.9	29/25 年
黑水	833.0	4.1	9.0	30.6	64.4	129.8	143.3	131.1	94.5	133.7	75.8	12.8	3.9	52.3	96/34 年
松潘	729.7	7.0	10.2	30.5	62.3	110.9	109.7	107.7	86.5	112.8	74.8	13.0	4.1	45.6	52/40 年

3)土壤条件差异性大

岷江上游土壤构成十分复杂,类型多样。由于地势起伏大、相对高差悬殊,因而成土条件差异大,并随山体海拔的上升,土壤分布呈现较为明显的垂直带谱特征,但在不同水平带内,垂直带谱的起点不同。茂县干温河谷以褐土为基带的土壤垂直带谱为:褐土(依次为燥褐土、石灰性褐土、褐土、淋溶褐土)(海拔 1400~2100m)—棕壤(海拔