

POTENTIAL OF YUNNAN
PINE FOREST ON EROSION CONTROL

周 跃 著

云南松林侵蚀控制潜能



云南科技出版社

云南松林侵蚀控制潜能

周 跃 著

云南科技出版社



Project funded by the NSFC

Project funded by the Yunnan NSFC

Potentail of Yunnan Pine Forest on Erosion Control

Yue ZHOU Ph. D. in physical geography

Professor, Yunnan Institute of Geography

Director, Research Center of Mountain Ecology and Soil Conservation

Yunnan Science and Technology Press

本书受云南省学术著作基金管理委员会资助

责任编辑:夏映虹

封面设计:刘泓滨

云南松林侵蚀控制潜能

周跃 著

云南科技出版社出版发行(昆明市书林街100号)

昆明新星印刷厂印装 新华书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:9 字数:207千

1999年5月第1版 1999年5月第1次印刷

印数:1—1000

ISBN 7-5416-1284-7/S·206 定价:25.00元

若发现印装错误请与承印厂联系

作者简介

周跃，植物学学士（云南大学，1982年），植被生态学硕士（云南大学，1985年），自然地理学博士（英国赫尔大学，1997年），现为云南省地理研究所研究员，山地生态与水土保持研究中心主任。1991至1997年在英国留学和工作，研究方向为植被侵蚀控制和坡面生态工程。1988年以来，先后多次获得国家自然科学基金、云南省应用基础研究基金等国家和省的基金资助，主持开展了云南高山峡谷区土壤植被系统生态特征研究、山地森林植被的侵蚀控制机制及潜能和坡面生态工程的研究。在英国期间，先后参加过许多重要学术活动和对西班牙、加勒比等地区相关领域的研究项目。已在国内外有关学术刊物上发表过近40篇论文，出版科学专著2部。

本书内容简介

本书是一本详细介绍森林植被侵蚀控制和坡面保护的机制和潜能的科学专著，是国家自然科学基金和云南省应用基础研究基金长期资助科研项目的阶段性成果。它较全面地阐述了国内外植被侵蚀控制和坡面生态工程的认识现状，包括原理和运用，以云南松林为例，深入论述了森林植被抗蚀护坡的综合水文效应和乔木侧根浅层土体加固的牵引效应，为研究植被侵蚀控制和进行坡面生态工程实践提供了一套科学的理论模式和技术手段。本书可供科研部门的专业人员、大专院校的师生、从事坡面生态工程的工程技术人员以及有关领导和科技管理干部等参考使用。

序

当前,生态环境恶化已成为牵动全球的问题。人们更清楚地认识到,如果没有一个良好的生态环境和可持续利用的自然资源,人类将失去赖以生存和发展的基础,社会与经济不可能持续稳定地发展。金沙江流域地处我国横断山地区,流域内山高坡陡,水土资源相对匮乏,生态环境恶化,水土流失严重。1998年长江中下游的特大洪灾告诫人们,本区域恢复森林植被、遏制水土流失,尽快从根本上改善区内和整个长江流域生态环境,已经迫在眉睫。

自1989年开始,我国在长江中上游的广大地区开展了防护林体系的建设工程。这是当今一项重大的林业生态建设项目,担负着改善良好生态环境,为长江流域经济发展和为人民群众创造良好生活条件,为三峡工程持续发挥效益的重任,是造福子孙的大事。国家已投入巨资,在金沙江等重点流域区,包括滇川两省近百个县,开展了长防林工程建设,经过十年努力,一片片防护林带已经逐渐成长起来。

运用森林植被进行水土保持是一个在世界上广泛采用的途径。它立足于森林调节降雨侵蚀因子、保护地表土壤、加固浅层根际土层等生态功能,利用森林的水文效应和机械效应来实现侵蚀控制和坡面保护的目的。因此,深入了解这些功能和效应,充分认识森林水土保持机制、过程和潜能,是这一生物学途径有效运用的重要前提。

《云南松林侵蚀控制潜能》一书是作者及其课题组在国家自然科学基金和云南省应用基础研究基金的长期资助下,以滇西北金沙江流域的云南松林为例,对森林植被水土保持机制和潜能进行研究的初步结果。云南松是金沙江流域最主要的防护林造林树种,但是人们过去对云南松林侵蚀控制和坡面保护的作用认识十分有限。本书比较系统和深入地揭示了云南松林的水文效应和机械效应,探讨了松林水土保持的机制和潜能,展示了对林木根系加固根际土层作用的最新研究成果。同时还向读者介绍了国际上坡面生态工程的发展和运用现状,给出了一套森林抗蚀护坡作用研究的理论模式和技术手段。这些工作是对认识森林植被生态功能、为“长防工程”提供科学依据的有益尝试。

希望本书的出版，能为全国各地有关这方面问题的科技工作者带来一些有益的启示，在今后能有更多、更好的此类研究成果问世，为我国水土保持和生态环境建设作出更大的贡献。

中国工程院院士
北京林业大学教授

吴名爵

1999年3月11日

前 言

金沙江位于长江上游，这里的土壤侵蚀是整个长江流域侵蚀的重要组成部分，每年提供的河流泥沙含量占整个长江流域的 42%。金沙江流域有大量的不同规模的山川河谷，河谷地带是当地主要的生产生活区域。在过去的几十年中，人们不断地开发这些河谷，在利用自然资源的同时严重地破坏了当地的自然环境，加剧了土壤侵蚀，引起了土地生产力退化和泥石流、滑坡等一系列地质灾害。为了解决长江中上游地区严重的土壤侵蚀问题，国家及沿江各省先后推出了各种措施，例如“长江中上游防护林体系建设工程”。该工程旨在恢复植被和改善自然生态环境，通过植树造林、恢复植被和适当的农林业措施控制侵蚀和保持水土。金沙江流域是该工程的重要实施地区。另外，金沙江水能资源丰富，有关部门已在虎跳峡地区规划建设拦截金沙江的大坝和虎跳峡电站，计划在 2000 年后的适当时候上马兴建。但是，如果处理不好，该水利工程有可能对本地区自然环境产生巨大冲击，人为地导致更严重的侵蚀问题。反过来，加剧的侵蚀又将极大地影响电站发电和库区蓄水。鉴于现有的和将来可能产生的土壤侵蚀问题，国家和省地有关部门已经开始了对该地区的勘察、评估和各种前期研究，试图找到一条建设收益最大而对环境冲击最小的途径。人们也在考虑运用植被手段，实施坡面生态工程，用适当的植被群落控制侵蚀，保护自然和工程坡面。这是一个可行的和长效的措施。

目前在金沙江流域开展的，以保持水土和控制侵蚀为主要目的的防护林体系建设和相应的各种农林业措施是当地坡面生态工程的主要内容。这一生物学途径是指以环境保护和工程建设为目的的生物控制或生物建造工程，也指利用植被进行坡面保护和侵蚀控制的途径与手段。它基于对植被侵蚀控制和坡面保护机制和潜能的科学认识及定量分析。一般认为，植被能够作为大气与土壤间的保护层，削弱降雨的侵蚀力并提高土壤的抗蚀性，这些作用通过植被的水文效应和机械效应来实现。因为这些效应既作用于坡地表面（保护、固持表土），又作用于浅层根际土层（提高土壤强度、加固土体），所以植被具有侵蚀控制和坡面保护的潜能。在过去几十年中，世界许多国家和地区把植被用于环境和工程目的，这些实践本身也一再证明植被手段的有效性，表明在一些特定情况下植被措施可以部分或全部代替工程措施。

云南松林是金沙江中上游主要的植被类型，分布面积很广。云南松本身也是金沙江流域的乡土植物，由于它特殊的生物生态学特征，云南松成为防护林体系建设和植树造林的重要选用树种。在过去几年中，该树种已大面积在适宜的山地造林。然而，人们对云南松控制侵蚀和保护坡面的作用机制、过程及潜能并不清楚；在实践中，通常把松林的作用机制和潜能视为“黑箱”。这种做法不可能充分估计和预测松林的作用程度，很难定量设计和有效实施坡面生态工程，也不易科学地确定云南松造林对实施目的的真实效果。因此，有必要对云南松及其松林的抗蚀护坡机制及潜能进行研究。这是一个紧迫和

现实的任务。

我们课题组在国家自然科学基金和云南省应用基础研究基金的资助下,以虎跳峡地区为例,对云南松及其群落开展了比较系统、深入和定量的研究,探讨其如何并且在多大程度上能够发挥侵蚀控制和坡面保护的作用,为云南松在土壤保持、泥石流防治以及工程边坡保护中的应用提供科学依据,为研究森林植被抗蚀护坡机制和潜能提供一套科学、实用的理论模式和技术手段。自1988年以来,课题组先后两次受到国家自然科学基金和两次受到云南省应用基础研究基金资助,对虎跳峡地区的土壤植被系统进行了长期研究。在此基础上,我们自1993年对云南松林开始了专项研究。课题组与英国的学术机构开展了广泛的合作,进行了长期的学术和人员交流,力图使本项目瞄准和跟进当今世界在该领域的发展动态。该项目的各种调研咨询、研究设计、资料分析和总报告撰写等中心工作在英国完成,各种测试、勘察、采访和简易设备设计、自制在国内完成。

课题组成员及担负的工作内容为:周跃研究员,课题组长,负责课题申报、调研咨询、方案设计、设备研制和组织项目实施,担负野外观测、资料分析,撰写各种论文和报告;陈晓平副研究员,参加项目管理,进行野外观测;李玉辉教授,进行野外观测;骆华松副教授,进行野外观测;徐强讲师,进行野外观测。英国赫尔大学地理学院前院长D. Watts教授和该学院的R.C. Ward教授亲自指导了本研究的工作。英国格雷夫顿大学的P.R.C. Morgan教授、美国俄亥俄州立大学的T. Wu教授、英国曼切斯特大学的R. Ennos博士、英国森林委员会的C. Coutts博士以及中国科学院昆明生态研究所的刘文耀研究员对本研究给予了帮助与支持。研究期间,云南省地理研究所、英国赫尔大学地理学院提供了许多帮助,昆明理工大学提供了有关设备并派人参加了野外测试。

这项研究是我国在高山峡谷区对云南松林抗蚀护坡作用进行系统和定量研究的第一例,也是集中研讨单独一种乔木植物综合水文效应和机械效应的前沿课题,它对有关乔木侧根牵引效应的理论和方法的研究在国内外尚属首次。云南省科委对本项目已取得的研究成果组织了鉴定,鉴定意见认为,本课题“总体上已达到国际先进水平,对植物根系斜向牵引效应的研究达到国际领先水平。”然而,该领域的研究是一个不断深化和发展的过程,本课题仅仅是一个开始,我们的工作还有不少有待改进和完善之处。希望此项成果能对该领域的发展作出微薄贡献,起到抛砖引玉的作用。

本书详细介绍和总结了这项研究的内容,包括原理、方法、结果以及该领域国内外发展现状等。作者对参加课题的成员和曾经关心和帮助过我们的国内外专家、同行和朋友们表示衷心感谢。由于各种原因,书中尚存在一些不妥之处,恳请批评指正。

周 跃

1998年5月17日

Summary

The worsening erosion problem is a potential threat to rapid economic development in the Yangtze River Basin. Erosion in the Jinsha River Basin is a major contributor to the considerable increase in the erosion rate in the Yangtze River Basin as a whole. In the Jinsha River Basin, not only is natural and accelerated erosion a serious problem, but also geological disasters happen frequently. To tackle these problems, a slope eco-engineering approach has been used generally in the Jinsha River Basin, incorporating the large-scale and long-term used in the shelter-forest system in the upper/middle reaches of the Yangtze River. It is believed to be a cheap, long-term functional approach for environmental and engineering purposes. The Yunnan Pine (*Pinus yunnanensis* Frahch.) has been chosen to be an effective tree species for soil erosion control, and it has been widely chosen for forested. However, the mechanism and potential of its role is not clear.

This study has investigated the effects of the Yunnan pine on soil erosion control and shallow soil reinforcement in the Hutiaoxia Gorge, SW China. It considers the relative effects as in dense and sparse pine forest, as in grass community and bare land, in this area. As indicated by this study, the dense Yunnan pine forest intercepted 36%—37% of total rainfall throughout the rainy season in 1993. The forest also reduced total splash detachment by 19%—48%, and accordingly reduces the ultimate soil loss by 43%—50%, during the same period, as compared with that on the bare land. However, the dense forest caused drip splash detachment; and also did not reduce surface runoff to a noticeable extent. In mechanical terms, the lateral roots of the densely spaced pine trees exerted a considerable tractive resistance against the lateral sliding/pulling force at 0—60 cm in depth. At 0—20 cm depth, this resistance was shown to be 2740—4170 N by modeling or 421—577 N by a direct test in situ, on a vertical cross-section area of 1000 cm². Influenced by this resistance, the in-plane tensile strength of the rooted soil zone was increased by at least 4.2—5.8 kPa, as a result of the traction effect of the lateral roots, which is significant in reinforcing the shallow soil mass against lateral movement to a certain degree. It is concluded that the dense pine forest has a net, beneficial effect on soil erosion control and shallow soil reinforcement. As compared with the dense forest, it is very likely that the sparse Yunnan pine forest intercepts less rainfall, but is more effective in limiting splash detachment, surface runoff and so soil erosion; the traction effect of lateral roots of this forest is also considerable, if its canopy density remains higher than 70%.

目 录

第一章 研究项目介绍	(1)
1.1 研究背景	(1)
1.1.1 日益严重的土壤侵蚀问题	(1)
1.1.2 水利建设与土壤侵蚀控制	(2)
1.2 研究议题	(3)
1.3 预期目标及研究范围	(4)
1.4 研究条件与过程	(5)
1.5 研究报告章节安排	(6)
第二章 植被与侵蚀控制	(7)
2.1 前言	(7)
2.2 坡面过程及其受植被的影响	(7)
2.2.1 影响坡面稳定性的力及植被因素	(7)
2.2.1.1 土壤侵蚀	(7)
2.2.1.2 块体运动	(8)
2.2.2 与植被作用有关的坡面稳定性分析	(9)
2.2.3 斜坡不稳定性的类型及其受植被的调节	(9)
2.3 植被影响坡面过程的突出作用	(10)
2.3.1 植被的水文效应	(10)
2.3.1.1 降雨截留	(10)
2.3.1.2 削弱溅蚀	(13)
2.3.1.3 提高土壤渗透	(13)
2.3.1.4 抑制地表径流和土壤侵蚀	(14)
2.3.1.5 土壤湿度调节	(14)
2.3.2 植被的机械效应	(14)
2.3.3 水文效应和机械效应的综合作用	(17)
2.4 坡面生态工程方法和运用	(18)
2.4.1 当前对植被抗蚀护坡作用的认识	(19)
2.4.2 坡面生态工程发展简史	(20)
2.4.3 坡面生态工程的特点——优点和局限性	(21)
2.4.4 生态工程的常用技术和运用实例	(26)

2.5 土壤植被系统和它的坡面生态工程意义:对坡面生态工程原理的探索	(28)
第三章 虎跳峡地区的地理环境简况	(29)
3.1 前言	(29)
3.2 自然地理状况	(29)
3.2.1 地理位置和地质地貌条件	(29)
3.2.2 气候、土壤和植被	(30)
3.2.3 坡面不稳定性	(34)
3.2.3.1 土壤侵蚀	(35)
3.2.3.2 浅层蠕移	(35)
3.2.3.3 泥石流	(36)
3.2.3.4 浅层滑坡	(36)
3.3 社会经济状况及人类对环境的影响	(36)
3.3.1 社会、经济及土地利用情况	(36)
3.3.2 人类对自然环境的影响	(37)
3.3.3 虎跳峡水电站工程可能引起的坡面不稳定	(40)
第四章 土壤侵蚀控制的水文效应	(42)
4.1 前言	(42)
4.2 研究假设和目的	(42)
4.3 研究方法	(43)
4.3.1 方法的确定	(43)
4.3.1.1 比较研究法	(43)
4.3.1.2 统计途径	(43)
4.3.2 试验地选择	(44)
4.3.3 林冠降雨截留观测	(44)
4.3.4 土壤溅蚀观测	(45)
4.3.5 地表径流和土壤流失量观测	(46)
4.3.6 土壤水分和渗透观测	(46)
4.4 结果与分析	(48)
4.4.1 林冠的降雨截留	(48)
4.4.1.1 永胜 A 点的结果	(48)
4.4.1.2 永胜 B 点的结果	(49)
4.4.2 滴溅侵蚀控制	(51)
4.4.2.1 永胜 A 点的结果	(51)
4.4.2.2 永胜 B 点的结果	(52)
4.4.3 地表径流和土壤流失	(53)
4.4.3.1 永胜 A 点的结果	(53)
4.4.3.2 永胜 B 点的结果	(56)

4.4.4 土壤渗透·····	(58)
4.4.4.1 永胜 A 点的结果 ·····	(58)
4.4.4.2 永胜 B 点的结果 ·····	(59)
4.4.5 土壤湿度调节·····	(60)
4.4.6 云南松密林水文效应的综合潜能·····	(62)
4.5 讨论·····	(65)
4.5.1 林冠截留·····	(65)
4.5.2 溅蚀控制·····	(66)
4.5.3 土壤流失·····	(67)
4.5.4 土壤渗透和地表径流·····	(68)
4.5.5 云南松疏林的水文效应·····	(69)
4.6 结论·····	(69)
第五章 牵引效应及其在浅层土壤加固中的意义 ·····	(71)
5.1 前言·····	(71)
5.2 云南松根系观察·····	(72)
5.3 研究假设和目的·····	(73)
5.4 模型预测·····	(75)
5.4.1 方法·····	(75)
5.4.1.1 模型构建 ·····	(75)
5.4.1.2 实验地选择和野外测试 ·····	(76)
5.4.2 结果和分析·····	(77)
5.4.2.1 永胜 A 点的结果 ·····	(77)
5.4.2.2 莫喜点的结果 ·····	(82)
5.5 野外直接测试 ·····	(82)
5.5.1 方法 ·····	(82)
5.5.1.1 基本概念 ·····	(83)
5.5.1.2 实测装置设计、测量和计算 ·····	(84)
5.5.2 结果和分析·····	(86)
5.5.2.1 永胜 A 点的结果 ·····	(86)
5.5.2.2 莫喜点的结果分析 ·····	(89)
5.6 预测值和直测值之间的比较·····	(91)
5.7 云南松疏林的根密度·····	(92)
5.8 讨论·····	(93)
5.8.1 根土粘合键·····	(93)
5.8.2 与牵引效应有关的机械过程·····	(93)
5.8.3 牵引阻力的变化及其潜在量值·····	(94)
5.9 结论·····	(95)

第六章 综合讨论	(96)
6.1 云南松林抗蚀护坡的综合效应.....	(96)
6.1.1 云南松林综合作用的概念模型.....	(96)
6.1.2 云南松林抗蚀护坡效应的定量估计.....	(97)
6.2 研究结果的意义.....	(98)
6.2.1 土壤侵蚀控制和斜坡保护.....	(99)
6.2.1.1 土壤侵蚀控制	(99)
6.2.1.2 浅层土体加固	(100)
6.2.1.3 泥石流防治	(101)
6.2.2 坡面生态工程应用	(101)
6.2.3 松树的不利影响、局限性和不确定性	(103)
6.2.4 与云南松坡面生态工程应用有关的问题	(103)
6.2.4.1 关于松林的草本层	(103)
6.2.4.2 关于枯枝落叶层的可能效果	(104)
6.2.4.3 关于云南松可能出现的双重效应	(104)
6.2.5 植被坡面生态工程性状的研究方法	(105)
第七章 结论.....	(106)
7.1 水文效应	(107)
7.2 机械效应	(108)
附录.....	(110)
参考文献.....	(118)

图表目录

图目录

图 1-1	虎跳峡峡谷形态的横截面图	(2)
图 2-1	侵蚀影响因素	(8)
图 2-2	有植被和无植被山坡的水循环途径比较图示	(12)
图 2-3	植物根系的基本类型	(16)
图 2-4	植被斜坡保护的水文效应和机械效应之间的相互作用	(17)
图 2-5	演示植被水文效应和机械效应相互作用的概念模型	(18)
图 2-6	冰岛在不同土地退化阶段 (I ~ VI 段) 进行牧场恢复和土壤侵蚀控制时的费用对比	(22)
图 2-7	使用生态工程结构和传统工程结构进行斜坡加固时的费用比较	(22)
图 3-1	虎跳峡及横断山区中心区的位置	(30)
图 3-2	虎跳峡附近玉龙山的气候和植被	(31)
图 3-3	虎跳峡主要植被类型的垂直分布	(33)
图 3-4	虎跳峡内人口增长趋势	(37)
图 3-5	虎跳峡的地势和人文因素	(38)
图 3-6	虎跳峡的土地利用现状图	(39)
图 3-7	虎跳峡植被的逆行演替	(40)
图 3-8	过去 30 年虎跳峡森林植被 (以云南松林为主) 分布区的变化 (1961~1990)	(40)
图 3-9	虎跳峡自然环境的人类影响分区	(41)
图 4-1	改进后滴溅杯的剖面图	(45)
图 4-2	永胜 A 点每天的降雨量和截留损失	(49)
图 4-3	永胜 A 点每天的截留率与雨情的关系	(50)
图 4-4	永胜 B 点每天的降雨量和截留损失	(50)
图 4-5	永胜 B 点每天的截留率与雨情的关系	(51)
图 4-6	永胜 A 点三种植被覆盖状态下的日地表径流量和日土壤流失量受降雨的影响	(55)
图 4-7	永胜 B 点三种植被覆盖状态下的日地表径流量和日土壤流失量受降雨的影响	(58)
图 4-8	永胜 A 点林地 (上) 和裸地 (下) 的土壤渗透图	(60)
图 4-9	永胜 B 点林地 (上) 和裸地 (下) 的土壤渗透图	(62)

图 4—10	永胜 A 点 1993 年不同深处的土壤水分含量	(63)
图 4—11	1993 年雨季 (上) 和整个 1994 年 (下) 永胜 A 松林地和裸地的 土壤湿度差异	(64)
图 4—12	永胜 A 和永胜 B 实验点林地 (上) 和裸地 (下) 的不同水文过程及 受云南松林的影响: 表明松林在侵蚀控制中的水文效应	(65)
图 5—1	松树根系的结构	(72)
图 5—2	土体斜向移动和侧根作用的图解	(74)
图 5—3	根张力强度的测算值 (T) 与模拟值 (T_m) 的比较	(78)
图 5—4	云南松与其他树种的树根抗张强度比较	(79)
图 5—5	云南松根直径与根长度变化关系的统计分析	(80)
图 5—6	永胜 A 点不同深度侧根的总拉断力 (ΣF_b) 抗张强度增量 ($\Delta \tau_T$) 的 预测值	(81)
图 5—7	莫喜点不同深度侧根的总拉断力 (ΣF_b) 和抗张强度增量 ($\Delta \tau_T$) 的 预测值	(83)
图 5—8	斜坡上理想土墩及其受力情况示意图	(84)
图 5—9	野外直剪装置系统示意图	(85)
图 5—10	永胜 A 点受拉土墩的拉力 (F_p) 和位移 (X_d) 之间的关系	(87)
图 5—11	永胜 A 点受测土样的拉力与位移的关系比较	(88)
图 5—12	莫喜点受拉土墩的拉力 (F_p) 和位移 (X_d) 之间的关系	(90)
图 5—13	莫喜点受测土样的拉力与位移的关系比较	(91)
图 6—1	云南松林土壤侵蚀控制和坡面保护综合效应的概念模型	(97)
图 6—2	稳定斜坡的挡护墙与植被的联合作用	(102)

表目录

表 2—1	植被斜坡保护的突出作用及其意义	(11)
表 2—2	不同类型植被的年降雨截留率	(12)
表 2—3	在有植被和无植被的坡地上的土壤渗透	(13)
表 2—4	根增加土壤聚合力 (C_R) 的典型量值	(15)
表 2—5	生态工程和常规工程的主要区别	(23)
表 2—6	植被的有利和不利影响	(24)
表 2—7	坡面生态工程应用中的植物类型	(25)
表 2—8	可能受根的土壤加强和锚固作用影响的坡型	(25)
表 3—1	虎跳峡与横断山区其他河谷的比较	(30)
表 3—2	虎跳峡中段 3000m 以下的亚垂直气候带	(31)
表 3—3	1993 年雨季的降雨情况	(32)
表 3—4	虎跳峡两端的降雨量比较	(32)
表 3—5	虎跳峡 3200m 以下的主要植被类型	(34)
表 3—6	虎跳峡引起坡面不稳定的因素	(35)

表 4-1	1993 年雨季的降雨情况	(48)
表 4-2	永胜 A 点 1993 年各降雨期云南松林的林冠截留情况	(48)
表 4-3	永胜 B 点 1993 年各降雨期云南松林的林冠截留情况	(50)
表 4-4	永胜 A 点的降雨量和溅蚀累积量	(51)
表 4-5	永胜 A 点每一降雨阶段的雨情及溅蚀全量	(52)
表 4-6	永胜 B 点的降雨量和溅蚀累积量	(53)
表 4-7	永胜 B 点每一降雨阶段的雨情及溅蚀全量	(53)
表 4-8	永胜 A 点在每一降雨阶段的地表径流和土壤流失量	(54)
表 4-9	永胜 A 点的径流和土壤流失日观察量	(54)
表 4-10	永胜 A 点的土壤流失量与土壤溅蚀量的关系	(56)
表 4-11	永胜 B 点在每一降雨阶段的地表径流和土壤流失量	(56)
表 4-12	永胜 B 点的径流和土壤流失日观察量	(57)
表 4-13	永胜 B 点的土壤流失量与土壤溅蚀量的关系	(57)
表 4-14	永胜 A 点林地和裸地的土壤渗透	(59)
表 4-15	永胜 B 点林地和裸地的土壤渗透	(61)
表 4-16	几种针叶林对降雨的截留作用	(66)
表 5-1	树龄和根结构之间的关系	(72)
表 5-2	树根重量和深度之间的关系	(73)
表 5-3	根的直径与拉断力之间的关系	(77)
表 5-4	永胜 A 点云南松侧根分布	(80)
表 5-5	永胜 A 点不同土壤深度间隔所有云南松侧根所受到的总拉断力和总 拔出力	(81)
表 5-6	莫喜点云南松侧根分布	(82)
表 5-7	永胜 A 点受测土墩的拉力、侧根牵引力及侧根生物量	(87)
表 5-8	莫喜点受测土墩的拉力、侧根牵引力及侧根生物量	(90)
表 5-9	两实验点在 0~20cm 的土层两种方法所得结果的比较	(92)
表 5-10	云南松疏林中根的分布及平均根面积比	(92)
表 6-1	云南松的水文和机械效应及其在坡面保护中的意义	(98)