

★ 中国科学院创新方向项目资助

长江中上游防护林体系生态效益 监测与评价



CHANGJIANG ZHONGSHANGYOU FANGHULIN TIXI SHENGTAI XIAOYI JIANCE YU PINGJIA

■ 王金锡 慕长龙 彭培好 胡振宇 等著

四川出版集团·四川科学技术出版社

★ 中国科学院创新方向项目资助

长江中上游防护林体系生态效益 监测与评价



CHANGJIANG ZHONGSHANGYOU FANGHULIN TIXI SHENGTAI XIAOYI JIANCE YU PINGJIA

■ 王金锡 慕长龙 彭培好 胡振宇 等著

四川出版集团·四川科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

长江中上游防护林体系生态效监测与评价/王金锡等著.
- 成都:四川科学技术出版社,2006. 4
ISBN 7-5364-5493-7

I. 长... II. 王... III. 长江流域-防护林-生态效益
- 研究 IV. S727. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 017959 号

长江中上游防护林体系生态效益 监测与评价

著 者 王金锡 慕长龙 彭培好 胡振宇等
责任编辑 牛小红等
封面设计 韩健勇
版面设计 翁宜民
责任出版 周红君
出版发行 四川出版集团·四川科学技术出版社
成都市三洞桥路 12 号 邮政编码 610031
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印张 25 字数 560 千 插页 3
印 刷 内江新华印务有限责任公司
版 次 2006 年 4 月成都第一版
印 次 2006 年 4 月成都第一次印刷
印 数 1-1 000 册
定 价 76.00 元(平)
ISBN 7-5364-5493-7/S·860

■ 版权所有·翻印必究 ■

■ 本书如有缺页、破损、装订错误,请寄回印刷厂调换。
■ 如需购本书,请与本社邮购组联系。
地址/成都市三洞桥路 12 号 电话/(028)87734081
邮政编码/610031

编写人员名单

作 者	王金锡	慕长龙	彭培好	胡振宇
	雷效章	罗承德	陈秀明	侯广维
	陈祖明	陈国先	李旭光	李正积
	何政伟	蔡小虎	龚固堂	朱万泽
	陈俊华			
主 审	杨玉坡	程根伟		

本书著者

王金锡	研究员	四川省林业科学研究院
慕长龙	研究员,博士	四川省林业科学研究院
彭培好	教授,博士	成都理工大学
胡振宇	研究员,博士	四川省林业科学研究院
雷效章	教授,博士	四川大学
罗承德	教授,博导	四川农业大学
陈秀明	研究员	四川省林业科学研究院
侯广维	高级讲师	四川省林业干部学校
陈祖明	教授	四川大学
陈国先	教授,博导	四川西华大学
李旭光	教授	西南师范大学
李正积	教授,博导	成都理工大学
何政伟	教授,博导	成都理工大学
蔡小虎	副研究员,博士	四川省林业科学研究院
龚固堂	副研究员,博士	四川省林业科学研究院
朱万泽	副研究员,博士	中国科学院成都山地灾害与环境研究所
陈俊华	助理研究员	四川省林业科学研究院

主 审

杨玉坡	研究员	四川省林业科学研究院
程根伟	研究员,副所长	中国科学院成都山地灾害与环境研究所

序

XU

始于上世纪 70 年代的中国防护林体系建设,迄今已基本完成,从总体上极大地改善了我国的生态环境,取得了举世瞩目的伟大成就,一大批有志的科技工作者亦投入了这一波澜壮阔的建设中去,同样取得了丰硕的科技成果,造就了一批人才。四川省林业科学研究院的科技人员,从上世纪 80 年代中期就开始了长江中上游防护林体系效益监测技术研究,“九五”期间又参加了全国生态效益评价技术研究。现在呈现在我们面前的这本书,就是他们 10 年“国家重点科技攻关”研究的结晶,他们的这一学术研究成果受到国内同行的嘉许,并一举获得国家科技进步二等奖。

四川地处青藏高原东南缘,也是长江上游的主体部分,独特的自然地理环境孕育着繁复多样的森林植被类型,是森林生态学研究之宝地,历来为学术界高度关注。从 19 世纪起,就有大批中外科学家赴川采集动物、植物标本,从事植物地理考察,开展生物学、生态学和林学的科学研究,中国最早的森林生态系统定位站之一——四川亚高山森林生态系统定位站就建在阿坝州的米亚罗,本人有幸和四川的同行们参加了该站的组建和研究工作,研究成果和论文的深度、水平在当时都是一流的,在国内外的有关文献和研究报告中被广泛引用,至今仍是西南亚高山研究的重要参考文献。《长江中上游防护林体系生态效益监测与评价》这一专著正是亚高山生态定位系统研究思想和路线的传承。从大范围的时间空间序列的不同尺度上,在长江中上游五省建立了 11 个防护林生态定位研究站,构成了数据采集总体网络骨架,在每个定位站均采用小流域—小集水区—坡面径流场(或水量平衡场)三级控制系统,开展各项效益因子的观测和研究。研究思路和方法缜密,获得的数据和资料可信。本书的第二个特点是在评价指标体系的方法论上,运用辩证系统思想,将传统的系统工程、系统分析和现代系统理论的软系统方法、综合集合法等相结合,并吸收社会科学研究中的广义归纳法的原理及其优点,形成一个软硬系统思想兼具

的适合防护林工程效益综合评价的新方法论。四川省林业科学研究院作为一所省级科研院所,能出版这样一本上乘之作,实是难能可贵。乐于作序,以资共勉。

中国科学院院士
中国林业科学研究院 研究员



2006年2月

前言

QIAN YAN

举世瞩目的长江中上游防护林体系工程和“三北”防护林体系工程、沿海防护林体系工程、太行山绿化工程构成我国防护林体系工程的主体,这是20世纪人类改造自然的最宏伟的生态建设工程,体现了中国人民为改善全球生态环境所作出的重大贡献。

长江中上游防护林体系工程作为一项重大工程项目,对于工程投资、工程质量以及工程近期和长期发挥的生态效益和经济效益,都必须有一整套科学的、量化的监测体系和评价方法。如何计量监测防护林的综合效益,研究其功能作用;评价其效益,已成为防护林工程建设中亟待解决的重大课题。因此,我们在研究实践中,采用系统工程方法,在长江中上游不同类型的典型防护林地段建立防护林综合效益监测站,并以典型小流域系统为单元,对各林种的防护林体系建立了一整套定位观测研究系统,进行了防护林各项生态因子的机理研究和监测,取得了大量的数据和研究成果,为防护林综合效益的计量评价提供了一系列指标参数和数学模型,在此基础上,对不同类型区防护林作出科学的计量评价,这也是当代生态学领域的研究热点。同时,这些研究对于防护林体系建设以及正在进行的生态林业工程建设的布局、经营、宏观决策和规划实施,有着重要的理论价值和实践意义,也丰富和发展了我国的防护林学、生态学、环境学、水土保持学、生态经济学等学科。

20世纪60年代以来,森林(包括防护林)综合效益的计量与评价研究,在国内外越来越受到重视,不少国家都在开展森林和防护林生态效益定位观测和调查,进行理论探索和研究,同时,制定法律、政策来强调和肯定森林的综合效益。美国国会于1960年就通过了《森林多效益方案》,在美国南方的阿拉巴马州建设旨在发挥森林综合效益的示范林(treasure forest)。德国是世界上森林经营水平较高的国家之一,1976年颁布的《联邦自然保护法》中具体规定了森林的多种功能和效益,并提出每片森林的地理、环境、立地、交通等条件,确定其应该承担某一种或几种效益,同时,绘制出森林效益图作为林业总体规划的基础。现在,德国的林业经营已基本实现森林生态效益、经济效益和社会效益的一体化。日本林野厅1973年完成并发表了《森林公益效能计量调查——绿色效益调查》,森林公益功能评估总价值为12.82兆日元。2000年再一次评估,其总价值为75兆日元,为1972年的5.85倍。苏联根据大量的防护林多种效益的试验观测资料和研究成果,提出

了级差地租极限数值的理论,制订出水源林再生产和利用的最佳数学模型,高尔基州还对森林防蚀进行了经济评价。

进入 20 世纪 90 年代以来,世界各国普遍存在的自然资源开发利用与森林保育之间的矛盾日益突出,科学家们力图将科学问题与决策者的政策和行政管理紧密结合起来,进行了区域性或问题倾向性评价,作为一种综合方案,是十分科学有效的。

生物区评价首先发起于美国,1993 年,在克林顿总统召开的森林大会上所制定的森林生态系统管理评价工作组(FEMAT)报告成为总统的森林方案,确立了以生态系统管理为基础的美国天然林管理的新概念与原则。此方案成为美国西北太平洋沿岸森林管理的历史转折点,结束了早先的森林砍伐,而转向以经营为主。FEMAT 开生物区评价的先河,并成为将科学问题与政策和管理相结合的范例。在此之后,美国又进行了六个不同生态系统类型与地区的生物区评价,虽然形式与方法很不相同,但均对生态系统与自然资源开发与保育的平衡和可持续发展起到了良好的作用。最近,“世界生态系统 2000 年评价”领导委员会成员的 25 位著名科学家(其中包括我国的徐冠华院士,在《SCIENCE》杂志(VOL286,22OCTOBER 1999, pp. 685 - 686)上呼吁:“一个国际的评价系统是急迫需要的”。

我国对森林综合效益计量与评价在理论研究与实践方面日益受到重视。20 世纪 60 年代开始,我国的科研和教学单位相继开展了森林生态的定位计量研究,中国林业科学研究院和四川省林业科学研究院合建的米亚罗森林生态定位研究站就是我国最早的定位站之一。在“七五”期间,对“三北”及“黄淮海”平原、黄土高原的防护林进行了防风、固沙、保土、改善农田小气候及其对农作物增产效应等研究。20 世纪 80 年代后期,中国林学会组织了“森林综合效益的计量评价研究”,有力地推动了这一工作的发展。周庆生对生态经济型防护林体系的生态经济效益评价指标体系进行了探讨,对各指标进行量化,得出生态经济指标的得分值;孙立达(1991,1995)等提出了水土保持林生态效益评价指标体系;袁嘉祖等(1991)根据黄土高原地区林业发展的总体目标,通过修改控制参数在计算机上进行动态调控,初选了有代表性的四种林业发展战略(防护林、用材型、薪柴型、综合型)的仿真结果进行综合效益评价。岳玉祥等(1993)利用平面曲线论评价生态环境质量;高勇禄(1983)等用数量化理论 I 的方法,研究黑龙江省经度、纬度、海拔、森林覆盖率四项因子与气候、水文因子变化的关系,进而定量评价森林的防护效能。

由于森林生态系统的复杂性,某些森林效益因子的概念和作用还有争议,尚无定论,许多指标目前还难以量化和价值化,森林生态经济评价还没有一个比较理想的方法,大部分的评价预测仅局限在某一单项效益。同时,经济评价原则和技术体系还受到各国不同的社会经济体制乃至哲学观念的影响,因而,至今还没有一个国家能在森林综合效益的研究上有重大突破。防护林综合效益的计量监测和评价,在我国及世界上均属一项探索性

工作,这项工作必须以本国、本地区积累的森林生态系统长期定位监测形成的研究成果为基础,建立起适用于本地区的森林综合效益的评价体系。

在防护林综合效益监测与评价技术研究的途径上,应当坚持建立以下技术体系和系统:从计量监测角度来说,应当建立多层次的观测站点网络系统,累积丰富的监测资料;从评价研究的角度来看,应当建立起完整的、科学的评价指标体系,提出配套的、实用的评价技术体系(包括评价方法、评价单元、评价指标集成、筛选量化、组合、综合等等)。应当指出,防护林综合效益的监测与评价是相互关联、密不可分的,通过监测获得大量资料,建立各种森林植被与生态因子的数学模型,为效益评价奠定雄厚的基础;经过评价指标的筛选和量化,既是计量指标的延伸,同时也是实现科学评价防护林效益的重要前提,最终形成一个统一的、综合的、有区域特色的防护林综合效益动态监测与评价技术体系。

长江中上游独特的自然地理环境及其森林所发挥的巨大生态作用,成为我国国家生态安全体系的关键地区。因此,20世纪80年代以来,随着大规模的长江中上游防护林体系工程的蓬勃展开,对于防护林的生态效益监测与计量评价研究也相继列为国家重点科技攻关项目。“七五”期间,四川省林业科学研究院主持了“长江上游水源涵养林、水土保持林营造技术研究”专题,其中,“水源涵养林、水土保持林综合效益定位观测和计量研究”列为子专题。“八五”期间,四川省林业科学研究院主持并承担了国家重点科技攻关项目——“长江中上游防护林生态经济效益评价技术研究”,获国家科技进步奖二等奖。“九五”期间,四川省林业科学研究院作为“中国生态林业工程建设信息管理系统效益观测与评价技术研究”的副组长,主持了“生态效益指标体系及区域评价”子专题,在提出全国生态林业工程评价指标体系的基础上,重点对长江中上游一期工程防护林进行了单项效益的计量评价和多项效益的综合评价。本专著就是过去10年长江中上游防护林体系生态学研究的总结。

历时10载的科技攻关,长江中上游防护林体系工程效益监测与评价都取得一定的突破性进展,这与实行开放式研究,建立严密的组织管理有密切的关系。防护林效益监测与评价研究属综合性研究,邀请不同专业、学科的专家协同攻关,有利于学科之间和学术思想的相互渗透、交叉,提高了研究的整体水平。这期间,参加研究的单位有:四川省林业科学研究院(主持)、中国科学院成都生物研究所、中国科学院成都山地灾害与环境研究所、中国科学院应用生态研究所、中国林业科学研究院生态环境与保护研究所、北京林业大学、南京林业大学、四川大学、四川农业大学、西南师范大学、四川师范学院、成都理工学院、四川省农业科学研究院、云南省林业科学研究院、贵州省林业科学研究院、贵州省林业勘测设计院、湖北省林业科学研究院、湖南省林业科学研究院、西华大学、四川农业大学都江堰分校、四川省林业干部学校等。参加本书写作的还有邓贤贵、廖光谣、高华东、汪万江、向永国、史立新、龚固堂、石培礼、阳小成、陈晓德、朱顺泉、张俊远、谢征鸣、吴彦、黄凌

云、赵卫智、杜亚军、任杰。由于有众多单位、不同专业的专家学者的参加,因此,这项研究具有综合性、系统性、全面性和整体性的特点,对于研究的总体水平的提高和某些新思路、新技术的重大突破有着重要意义。可以说,这部专著是科技攻关的一项成果,亦是集体智慧与心血的结晶。

在长期攻关研究的过程中,始终得到国家科委、国家林业局和中国科学院高度重视和支持,特别是国家林业局祝列克副局长、刘效章司长、李二波副司长、王叔元处长,国家长江防护林办公室李冰处长等,中国林业科学研究院蒋有绪院士、刘世荣副院长,中国科学院冯宗伟院士、李小文院士,北京师范大学张新时院士、葛剑平院长,北京林业大学朱金兆教授、王礼先教授、马钦彦教授,中国科学院成都山地灾害与环境研究所程根伟副所长、钟祥浩研究员,东北林业大学李景文教授、周晓峰教授,西南师范大学钟章成教授,四川省林业厅杨冬生厅长、郭亨孝副厅长,四川省长江防护林办公室先开炳主任,四川省林业厅科技处范程绪处长,中国地质大学王成善教授,四川农业大学胡庭兴院长等专家和领导给予了热忱的帮助和有力的支持,并亲临现场考察指导,四川省林业厅原总工程师、四川省林业科学研究院原院长杨玉坡教授、中国科学院成都山地灾害与环境研究所程根伟副所长作为本书主审,做了大量的工作,给予了许多指导,四川农业大学硕士研究生杨小建在本书的校稿,出版作了大量工作,在此一并感谢!

最后,要特别感谢中国科学院创新方向项目:“长江上游植被的生态水文效应及生态屏障建设对策研究(KZCX2-SW-319)”为本书出版提供资助。

王金锡

2006年元月于成都

目 录

MU LU

上篇 长江中上游防护林体系生态效益监测

1 长江中上游防护林工程综合效益监测体系的总体布局与研究方法	2
1.1 长江中上游地区自然地理概况	2
1.2 长江中上游防护林分区	3
1.3 长江中上游防护林体系综合效益监测网络的建立	5
1.4 典型小流域防护林综合效益监测站的建立	6
1.5 绵阳官司河效益监测站的自然地理背境	12
2 防护林体系植被重建过程	24
2.1 防护林重建过程中优势种群动态与演替预测	24
2.2 防护林重建过程中物种多样性	36
2.3 防护林林分结构模式	41
3 防护林林分生长与生物量	55
3.1 林木生长过程	55
3.2 林分生物量及生产力	65
3.3 影响林分生物产量的相关因子	86

4 岩土演化对防护林植被的动态影响	88
4.1 防护林区岩土演化的非均衡动态	88
4.2 岩土演化的生态效应	104
4.3 岩土演化对防护林植被影响的评价	126
5 防护林养分循环及改良土壤作用	127
5.1 土壤养分储量动态	127
5.2 土壤养分循环与动态平衡	131
5.3 改良土壤作用与评价	142
6 防护林的能量转换与利用	159
6.1 能量环境分析	159
6.2 光能的截获与光合生产效率	163
6.3 初级生产力形成过程中的能量特征	167
6.4 能量的热力学分析	172
6.5 防护林能量分布与利用	184
7 防护林水分动态与水量动态平衡	189
7.1 林冠截留	189
7.2 林地对土壤入渗的调蓄作用	192
7.3 林分土壤水分动态	198
7.4 防护林的径流组成分析	200
7.5 林分的水量平衡及林地蒸发散	202
7.6 林分坡地产流规律	203
7.7 森林流域水文模型(FCHM)的应用	205
8 坡地系统土壤侵蚀规律与防护林体系的水土保持效益	220
8.1 流域侵蚀环境的形成与特点	220

8.2 坡地系统侵蚀产沙过程	224
8.3 林木根系对土壤侵蚀能力的影响	237
8.4 坡地系统水力侵蚀产沙模拟	239
8.5 防护林水土保持效益	242
9 “3S”信息技术在防护林效益监测与管理中的开发与应用	244
9.1 广义“3S”信息技术	245
9.2 遥感图像处理	248
9.3 数据库的设计与生成	259
9.4 岩石—土壤—植被信息管理、分析与决策支持	263
9.5 防护林生态效益遥感监测地理信息系统	268
9.6 问题分析	270
9.7 结语	272

下篇 长江中上游防护林体系生态效益评价

10 防护林体系工程效益评价理论与研究方法	274
10.1 森林生态效益评价理论与方法研究现状	274
10.2 长江中上游防护林体系综合效益评价研究途径	276
11 防护林体系工程综合效益评价方法学的研究	278
11.1 防护林体系工程效益评价的理论基础—系统科学	278
11.2 防护林体系工程效益评价的软系统归纳集成法(SSM II)	282
11.3 防护林体系工程综合效益评价总体研究思路	294
12 防护林体系工程生态效益评价指标体系	296
12.1 国内外森林效益评价指标体系研制进展	296
12.2 生态效益评价指标体系研究思路	297

12.3 生态效益评价指标体系研究途径设计	297
12.4 生态效益评价指标体系的建立	313
12.5 生态效益评价指标体系的检验—试评价	320
13 长江中上游防护林体系(川江段)一期工程林效益计量评价	328
13.1 生物资源计量评价	328
13.2 水土保持效益的计量评价	340
13.3 水源涵养效能计量	348
13.4 土壤改良效益的计量评价	362
14 长江中上游防护林体系(川江段)一期工程综合效益评价	367
14.1 防护林效益综合评价与效益计量评价的比较	367
14.2 效益评价数据的获取	368
14.3 效益评价指标体系内涵	369
14.4 效益评价指标的量化	370
14.5 防护林综合效益指数(S)与产出总分(U)的计算	372
14.6 一期工程林综合效益评价	373
主要参考文献	379

上 篇

长江中上游防护林体系生态效益监测

1 长江中上游防护林工程综合效益监测体系的总体布局与研究方法

1.1 长江中上游地区自然地理概况

长江中上游地区位于我国青藏高原东缘与江南丘陵之间,地域辽阔,土地总面积约 169 万 km^2 ,横跨全国总地势的“三大阶梯”,自然条件复杂,垂直差异明显,植物种类繁多,森林类型多样,是我国主要农林业及经济较发达的地区。由于自然、社会、经济条件的差异性,长江中上游地区明显分为西、中、东三部分。西部地区为青藏高原部分,地势高亢,处于三大阶梯中的第一阶梯。地貌以高山高原为主,地形复杂,山高坡陡,生物气候垂直差异大,气温低,降水丰沛,河流湍急,落差大,水资源丰富,森林多为冷杉、云杉等为主的暗针叶林和常绿阔叶林,土壤主要为山地棕色森林土。山坡多重力侵蚀,泥石流时有发生,森林多分布于江河上游源头,水源涵养功能显著。中部地区,包括云贵高原、四川盆地及其北缘秦巴山地、东缘川鄂山地等地区,地势有山原、山地、丘陵、盆地与山间盆地。气候温和,降水丰沛,处于“三大阶梯”中的一二阶梯,地形突起,处于迎风坡面,系全国闻名的暴雨区,云南高原干湿季明显。土壤有紫色土、山地黄壤、黄棕壤、山地红壤等。森林植被组成区域性差异大,云南高原以云南松为主,伴有干性常绿阔叶林分布。其余以马尾松、柏木、杉木等为主,湿性常绿阔叶林有较大面积存在。经济林木比重较大。森林覆盖率低。长期以来,由于森林过度采伐,不合理的耕作,加上陡坡垦殖,水土流失严重,地力严重衰退,农业生产水平低下,农村“四料”紧缺,严重影响着经济的发展和人民生活改善,多属贫困地区,也是我国水土流失重点治理与长江防护林集中营建的地区。东部地区,基本包括湘赣丘陵两湖地区,地貌以丘陵、山地为主,间有湖泊和平原。气候温暖潮湿,土壤为红壤及冲积土。地带性植被为常绿阔叶林,因人类活动频繁,大多数地区被马尾松、杉木所替代,常绿阔叶林仅在边远山地有零星分布。水土流失较严重,红壤山地尤为突出,系我国水土流失治理与长江防护林营建的重点地区。

为了尽快改善长江中上游地区的生态环境,1989 年国家正式批准开展长江中上游地区防护林体系工程建设,计划用 30 ~ 40 年时间,在长江中上游地区新增森林面积 2 000 万 hm^2 。建设分两期进行,2000 年前完成一期工程建设。一期工程于 1989 年启动,目前,已累计完成 400 多万 hm^2 ,完成四旁植树 18 亿株。有近百个“长防”工程县基本上消灭了