

KEXUE JUECE SHENGTAI XIUFU MUBIAO

LILUN YU FANGFAYANJIU

# 科学决策生态修复目标

吴秉礼 贺立勇 陈晓妮 谢忙义 蒲瑞芳 编著

## 理论与方法研究



兰州大学出版社

---

**图书在版编目(CIP)数据**

科学决策生态修复目标理论与方法研究/吴秉礼等编  
著. —兰州:兰州大学出版社, 2009. 6  
ISBN 978-7-311-03360-6

I. 科… II. 吴… III. 生态环境—环境治理—文集  
IV. X171.1-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 086201 号

---

策划编辑 宋 婷  
责任编辑 丁武蓉  
封面设计 管军伟

---

|      |                                                                 |
|------|-----------------------------------------------------------------|
| 书 名  | 科学决策生态修复目标理论与方法研究                                               |
| 作 者  | 吴秉礼 贺立勇 陈晓妮 谢忙义 蒲瑞芳 编著                                          |
| 出版发行 | 兰州大学出版社 (地址:兰州市天水南路 222 号 730000)                               |
| 电 话  | 0931-8912613(总编办公室) 0931-8617156(营销中心)<br>0931-8914298(读者服务部)   |
| 网 址  | <a href="http://www.onbook.com.cn">http://www.onbook.com.cn</a> |
| 电子信箱 | <a href="mailto:press@onbook.com.cn">press@onbook.com.cn</a>    |
| 印 刷  | 兰州德辉印刷有限责任公司                                                    |
| 开 本  | 850×1168 1/16                                                   |
| 印 张  | 12.25                                                           |
| 字 数  | 363 千字                                                          |
| 版 次  | 2009 年 6 月第 1 版                                                 |
| 印 次  | 2009 年 6 月第 1 次印刷                                               |
| 书 号  | ISBN 978-7-311-03360-6                                          |
| 定 价  | 25.00 元                                                         |

---

(图书若有破损、缺页、掉页可随时与本社联系)

## 作者简介

**吴秉礼（1947—）** 男，汉族，中共党员，甘肃省临洮县人，1982年甘肃农业大学林学专业毕业，农学学士。原任甘肃省林业调查规划院总工程师；正高级工程师，国家注册咨询工程师(投资)；享受国务院特殊津贴专家，甘肃省优秀专家；甘肃省评标专家(工商领域)，甘肃省建设科技专家委员会成员，甘肃省区域经济发展专家咨询组成员，中国管理科学研究院学术委员会特约研究员；2003年7月被国家林业局评为“全国天然林保护工程建设先进个人”。二十多年来，主持完成了以国家重点建设项目“甘肃省三北防护林体系建设总体规划(1978—2050年)”、“天然林资源保护工程甘肃省实施方案(2000—2010年)”为代表的70余项大中型项目的编案工作；共8项科技成果获奖，其中1项获“省优秀勘察设计”一等奖，2项分别获“省部级科技进步奖”二、三等奖，2项分别获“省林业科技进步奖”二等奖，3项分别获“省林业科技进步奖”三等奖；共出版4部科技著作；发表了32篇学术论文，其中在《作物学报》、《林业科学》、《生态学报》、《中国沙漠》、《兰州大学学报》(自然科学版)等国家期刊上发了15篇，在国际学术会议及各省部级期刊发表了17篇。二十多年来，已取得了关于三粒小麦的选育、古气候环境演变趋势、防护效益森林覆盖率、人均耕地面积阈值、生态修复的基础理论、生态林业、防护林类型区划与农林牧结构优化模型、森林资源价值评价指标体系、甘肃木本植物种类及其属的分布区类型、生态用水阈值与水资源承载力等10方面的理论研究成果。

**贺立勇（1973—）** 男，汉族，中共党员，1997年毕业于北京林业大学经济管理学院，本科学历，经济学学士。现为甘肃省林业调查规划院工程师，主要从事林业调查、工程咨询及规划设计等专业技术工作，先后完成大中型规划和设计项目40多项，获省级科技进步二等奖1项，省级优秀勘察设计一、二等奖各1项。主要研究领域为生态经济和生态林业，先后在《中国沙漠》、“中国西部地区科技经济与社会发展论坛”、《生态学报》、《兰州大学学报》、《甘肃农业大学学报》等科技期刊和学术会议上发表论文6篇，合编出版科技著作1部。

**谢忙义（1960—）** 男，汉族，中共党员，1981年甘肃省林校毕业，1997年中央党校函授本科毕业，现任甘肃省退耕还林工程建设办公室主任，曾任原甘肃省林业勘察设计研究院院长，高级工程师，国务院批准享受政府特殊津贴专家，甘肃省建设科技专家委员会成员。从事林业调查规划设计工作二十多年来，主持完成了以“白龙江林区二类调查”为代表的近百项大中型调查规划项目，编制了以国家重点建设项目“天然林资源保护工程甘肃省实施方案”为代表的数十项大中型项目的方案。共有12项成果获奖，其中有1项获省级优秀勘察设计一等奖，1项获部级科技进步三等奖。在《生态学报》、《中国沙漠》等国家期刊上发表论文8篇，在省部级期刊上发表论文10篇，合编出版了3本科技著作，制定了2项地方标准。

## 前言

在一个流域，一个省，乃至一个县（市、区）、一个市（州）建设比较完备的森林生态体系，那么什么样才是“完备的森林生态体系”呢？维持这样的生态系统需要多少林地面积？由于生态问题的滞后效应及其基础理论研究的滞后，直接影响着生态修复目标的科学确定，因而带来了行动的盲目性和被动性。近二十多年来，我们依托部分流域和县域及全省的林业生态保护与建设项目，针对我国经济社会发展对建设比较完备的森林生态体系的战略需求，进行调查规划设计。围绕现实的生态安全问题，以服务国家、社会和人民利益为宗旨，开展应用研究和关键技术的集成创新研究。在混乱状态下从互动中激活思维，从思路扩散再到汇集的过程中挖掘、尝试、发现和创新。在2005—2006年期间集中完成了《科学决策生态修复目标理论与方法研究》一书的系统整理和编写工作。该书为“建设比较完备的森林生态体系”提供了理论依据。该书包括以下五部分研究成果。

**第一部分**，重点介绍了防护效益森林覆盖率的研究成果（包括：“甘肃防护效益森林覆盖率研究”、“甘肃水土流失区防护效益森林覆盖率研究”、“干旱风沙区绿洲森林覆盖率的非线性生态模型”、“干旱风沙区绿洲森林覆盖率的幂函数集”）。我们以甘肃外流河（长江、黄河）流域（河东）和内陆河（石羊河、黑河、疏勒河）流域（河西）为两个主体，分别以县（市、区）为载体，针对两大流域的主要生态灾害，在河东进行了“水土流失区防护效益森林覆盖率”的研究，在河西进行了“干旱风沙区绿洲森林覆盖率的非线性生态模型”的研究。在此基础上综合进行了“甘肃防护效益森林覆盖率”的研究，建立了水土流失区和干旱风沙区绿洲科学确定最佳防护效益森林覆盖率的理论与方法。

**第二部分**，重点介绍了人均耕地面积阈值的研究成果（包括：“人均食物消费水平及其耕地面积阈值研究”、“肉蛋奶产品产量与饲料消耗量及配方研究”）。我们从“肉蛋奶产品产量与饲料消耗量及配方研究”入手，结合我国全面建设小康社会对食品类别及其数量的需求，系统研究了与人均耕地面积阈值关联紧密的主要因素、热能供给来源，以及标准人的食物需要量、标准人人均耕地面积阈值、各类人群的营养需要系数与人均耕地面积阈值，同时指出人均耕地面积阈值是一个动态过程，是农村居民生活水平现状与食物营养目标的差距，是确定人均耕地面积阈值的方法步骤。阈值是对耕地面积及其种植结构进行调控的重要理论，从而建立了科学确定基本农田保护与退耕规模的理论与方法。

**第三部分**，重点介绍了生态修复的基础研究成果（包括：“森林在生态安全体系中主体地位的初步研究”、“甘肃生态环境敏感性分区及其脆弱带基础判定研究”、“森林资源保护与管理的数学模型”、“甘肃城市生态基础设施建设理论初步研究”、“林业与森林分类经营理论研究”）。为正确选择生态修复的切入点，我们系统地进行了以下的研究。（1）系统研究了森林在保护人类生存空间、防止水土流失组成的国土安全，在以涵养水源为代表的水安全，在净化空气、改善农业生态环境的环境安全，在保护生物物种安全等方面起着主体作用。森林是实现生态安全和经济发展的关键和纽带，从而科学地界定了森林在生态安全体系中的主体地位。（2）针对河东和河西日趋恶化的生态问题，从研究生态环境敏感性影响因素及其脆弱带的基本特征入手，进行了生态环境敏感性分区和生态环境脆弱带的空间归纳，科学地建立了生态环境敏感性分区及其脆弱带的基础判定理论。（3）运用对天然林资源调查的样地资料，科学地拟合了森林资源保护与管理的数学模型——Logistic方程。可快速准确地得到：利用林木种群量平均水平（ $k/2$ 原理， $k$ 为环境容纳量）的变化对未来进行预报；利用林木种群的平均水平诱导单位种群量的变化，回报过去对种群的干扰程度；利用方程的拟合系数 $a$ 和内禀增长率 $r$ ，即 $a/r$ 值可确定林木的数量成熟年； $r$ 值可直接指示出林木蓄积的自然生长率； $r$ 的倒数即 $1/r$ 值可指示出林木抚育

间伐的回归年等关于林木生长的 5 个重要规律。(4) 针对甘肃城镇化进程的加快、城市生态基础设施的薄弱状况,从分析城市生态基础设施建设现状与环境问题入手,研究了城市生态基础设施建设的内涵及其特点、城市生态基础设施的环境效应、城市生态基础设施建设战略与构筑城市绿化经济等城市生态基础设施建设的理论。(5) 从研究如何解决林业面临的经济和资源危机问题入手,对林业分类经营和森林分类经营理论进行了较为系统的研究。力求从理论与实践的结合上找到巩固生态修复成果,正确解决“两危”的有效途径。提出森林分类经营是一种林业技术,而林业分类经营却是一种产业制度,林业技术可以在各种产业制度下使用,而一种产业制度只能在特定的环境下实施。森林分类经营是林业分类经营的基础,林业分类经营除包括森林分类经营的内涵外,还包括经营主体分类,管理体制、运行机制、经济政策、林政管理的区分,而最主要的是在整个森林经营过程中,要分为商品林和公益林来确定资金投入及补偿机制。

**第四部分**,重点介绍了水资源承载力的研究成果(包括:“生态用水阈值与水资源承载力理论研究”、“水资源供需平衡指数与协调度的识别方法研究”)。以内陆河流域干旱风沙区灌溉绿洲为背景,从生态用水阈值与水资源承载力、水资源供需平衡指数与协调度的识别方法等方面系统地进行了研究。生态用水是维持流域内生态系统结构用水和维持生态过程与生态服务功能的用水。维持流域内生态系统结构和生态服务功能用水,应以生物群落类用水、流域经济社会类用水为主,维持生态过程用水以湿地类用水为主,这 3 个用水类及其亚类、类型组成了流域生态用水阈值( $W$ )。用流域可利用水资源量( $W_L$ )与  $W$  之间的关系建立流域水资源供需平衡指数( $IWSD$ ),即  $IWSD=1-W/W_L$ ,可判别流域水资源对给定生态经济系统规模的支撑能力,同时还建立了用协调度进行优化和调控水资源利用结构的方法,形成了对水资源供需平衡指数与协调度的识别方法。

**第五部分**,重点介绍了森林资源价值评价研究实例(包括:“白龙江林区森林资源价值评价研究”)。以白龙江林区为例,应用作者的《森林资源价值核算指标体系》,从具体操作层面对白龙江林区森林资源的价值进行了评价和研究。同时针对乔木林生物量与对应的蓄积量之间存在的紧密关系,建立了生物量经验系数,用生物量经验系数与直接测定的林木蓄积量就可以较准确地得到一定林地的生物量,再利用碳素密度可以换算出该林地的碳贮量,从而为全面计量评价森林资源提供了可靠途径。

最后附录了“生物质能开发利用相关指标体系研究”、“甘肃木本‘柴油’树种概况”、“生态能源的部分指标”、“生态系统服务功能的部分单价”、“绿色 GDP 核算的部分指标”及“对两种评价学术成就方法的讨论”等。

这是一本实用性很强的科技著作,全书围绕建设比较完备的森林生态体系而实施生态修复的一系列重大问题,在国内首次从理论与实践的结合上系统研究了科学决策生态修复目标的理论与方法,本研究是一项优秀的科技成果,不仅有重要的学术价值,而且为决策生态战略目标、指导生产提供了科学依据。需要指出的是,书中的一些研究成果已经在《生态学报》、《林业科学》等有关期刊上公开发表了(见文后注记),还有一些是近两年完成的没有来得及发表的研究成果,欢迎读者和使用者批评指正。

吴秉礼

2009 年 3 月于兰州

# 目 录

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 甘肃防护效益森林覆盖率研究.....          | (1)   |
| 甘肃水土流失区防护效益森林覆盖率研究.....     | (9)   |
| 干旱风沙区绿洲森林覆盖率的非线性生态模型.....   | (24)  |
| 干旱风沙区绿洲森林覆盖率的幂函数集.....      | (31)  |
| 人均食物消费水平及其耕地面积阈值研究.....     | (44)  |
| 肉蛋奶产品产量与饲料消耗量及配方研究.....     | (59)  |
| 森林在生态安全体系中主体地位的初步研究.....    | (71)  |
| 甘肃生态环境敏感性分区及其脆弱带基础判定研究..... | (76)  |
| 森林资源保护与管理的数学模型.....         | (82)  |
| 甘肃城市生态基础设施建设理论初步研究.....     | (88)  |
| 林业与森林分类经营理论研究.....          | (95)  |
| 生态用水阈值与水资源承载力理论研究 .....     | (101) |
| 水资源供需平衡指数与协调度的识别方法研究 .....  | (112) |
| 白龙江林区森林资源价值评价研究 .....       | (119) |
| 附 1 生物质能开发利用相关指标体系研究.....   | (129) |
| 附 2 甘肃木本“柴油”树种概况.....       | (138) |
| 附 3 生态能源的部分指标.....          | (153) |
| 附 4 生态系统服务功能的部分单价.....      | (169) |
| 附 5 绿色 GDP 核算的部分指标.....     | (177) |
| 附 6 对两种评价学术成就方法的讨论.....     | (184) |

# 甘肃防护效益森林覆盖率研究

吴秉礼<sup>1</sup>, 贺立勇<sup>1</sup>, 裴德才<sup>1</sup>, 谢忙义<sup>2</sup>, 张明洁<sup>1</sup>

(1.甘肃省林业调查规划院, 兰州 730020; 2.甘肃省退耕还林工程建设办公室, 兰州 730030)

**摘要:** 本文从林地是抵抗水土流失和沙漠化两大生态灾害的最优地类出发, 研究了历史时期全省森林覆盖率的变化趋势, 提出了确定防护效益森林覆盖率的理论。指出: ①历史时期甘肃森林覆盖率 1975a 7.25%, 1985a 8.05%, 1990a 8.99%, 1995a 9.66%, 2000a 10.58% (水土流失区 18.65%, 沙漠化区 3.12%, 其中绿洲 7.81%); 全省森林覆盖率年均净增量为  $0.1458\% \pm 0.0534\%$ 。历史时期全省当年造林面积平均成活率为  $82.19\% \pm 2.66\%$ , 成林率为  $43.45\% \pm 2.12\%$ , 当年造林面积的成林比率仅为  $35.71\% \pm 0.06\%$ ; 全省森林覆盖率每增加 1% 需新增成林面积  $42.21 \times 10^4 \text{ hm}^2$  以上, 新增成活面积  $102.13 \times 10^4 \text{ hm}^2$  以上, 当年造林面积必须在  $128.42 \times 10^4 \text{ hm}^2$  以上。②在研究降水量与土壤饱和蓄水量之间的水量平衡原理即一日最大降水量 ( $P$ , mm) 与计算土壤的厚度 ( $T$ , mm) 乘以土壤总孔隙度 ( $P_t$ , %) 的积的比值 ( $F_{\text{水}}$ ), 最大风速 ( $V_i$ , m/s) 与主林带不同林带高有效防护距离 ( $L_i$ , m) 之间的比值 ( $F_{\text{风}}$ ) 基础上, 分别建立了确定根治和防止两大生态灾害的防护效益森林覆盖率的非线性生态模型:  $F_{\text{水}} = P / (T \times P_t) \times 100\%$ ,  $F_{\text{风}} = V_i / L_i \times 100\%$ ; 以水土流失区和沙漠化区防护效益平均森林覆盖率 33.03%、8.62% (沙漠化区绿洲 21.57%) 为基础, 提出了全省防护效益森林覆盖率的平均值为 22.90%, 现状与总目标相比, 根治两大生态灾害的任务十分繁重。

**关键词:** 森林覆盖率; 现状; 总目标

**中图分类号:** S716.2; S716.7 **文献标识码:** A

森林覆盖率是一个县、一个省乃至一个国家国民经济发展中重要的综合生态经济指标, 覆盖率的高低反映了人与自然和谐和生态文明的程度。地处我国西北内陆干旱半干旱省份的甘肃, 在全省广大区域内, 水土流失和沙漠化两大生态灾害频繁发生, 能够有效根治和防止两大生态灾害的森林资源数量少, 覆盖率低, 分布不均匀, 生态需求已成为社会对全省林业的第一需求。我们在近年研究成果的基础上<sup>[1-2]</sup>, 从林地是抵抗两大生态灾害的最优地类出发, 就全省究竟需要多少森林覆盖率才能对其根治和防止的问题, 建立了确定全省防护效益森林覆盖率的非线性生态模型, 同时预测了总目标, 希望为政府决策治理提供科学依据。

## 1 历史时期森林覆盖率的变化趋势及相关参数估计

### 1.1 各调查期森林覆盖率现状

根据全省 1974—2001a 间先后 5 次森林资源清查资料 (表 1-1)<sup>[3]</sup>, 并用“十一五”期间行政区划勘界后的全省陆地面积, 对各调查期利用当时陆地面积计算的森林覆盖率进行校正后, 历史时期全省森林覆盖率现状为 1975a 7.25%、1985a 8.05%、1990a 8.99%、1995a 9.66%、2000a 10.58%。

### 1.2 森林覆盖率净增量变化趋势

(1) 变化趋势: 据表 1-1, 全省森林覆盖率在不同时期的净增量, 1949—2000a 间的 52a 为 4.38%, 1976—2000a 间 25a 为 3.33%, 1986—2000a 间 15a 为 2.53%, 1991—2000a 间 10a 为 1.59%, 1995—2000a

间 5a 为 0.92%。

表 1-1 历史时期全省森林覆盖率

| 项 目            |                                                 | 1975a<br>(1979a 汇总) | 1985a<br>(1988a 汇总) | 1990a<br>(1991a 汇总) | 1995a<br>(1996a 汇总) | 2000a<br>(2001a 汇总) |
|----------------|-------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 各期<br>调查<br>结果 | 全省国土面积 10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>          | 45.3694             | 45.3694             | 45.4403             | 45.4774             | 45.4774             |
|                | 陆地面积 10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>            | 44.9844             | 44.9844             | 45.0553             | 45.0924             | 45.0924             |
|                | 森林覆盖率 %                                         | 6.80                | 7.55                | 8.42                | 9.04                | 9.90                |
|                | 林地<br>面积<br>10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup>     | Σ                   | 305.89              | 339.63              | 407.64              | 446.41              |
|                |                                                 | 有林地                 | 176.90              | 202.87              | 217.41              | 229.20              |
|                |                                                 | 灌木林地                | 128.99              | 136.76              | 148.31              | 181.01              |
|                |                                                 | 林网、四旁<br>折合面积       |                     | 14.54               | 36.20               | 36.20               |
|                | 其中：人工<br>林面积<br>10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup> | Σ                   | 54.02               | 100.84              | 162.08              | 199.17              |
|                |                                                 | 有林地                 | 16.24               | 38.97               | 64.29               | 74.40               |
|                |                                                 | 灌木林地                | 37.78               | 47.33               | (50.00)             | 88.57               |
|                |                                                 | 林网、四旁<br>折合面积       |                     | 14.54               | 36.20               | 36.20               |
| 新界<br>调整<br>结果 | 全省国土面积 10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>          | 42.58               | 42.58               | 42.58               | 42.52               | 42.58               |
|                | 陆地面积 10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>            | 42.21               | 42.21               | 42.21               | 42.21               | 42.21               |
|                | 森林覆盖率 %                                         | 7.25                | 8.05                | 8.99                | 9.66                | 10.58               |
|                | 其中：天然林覆盖率 %                                     | (有 2.06)<br>6.20    | (有 3.88)<br>5.66    | (有 3.45)<br>6.14    | (有 3.63)<br>5.82    | (有 3.67)<br>5.86    |

注：新界水域面积为 0.3731×10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>—0.3850×10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>—苏干湖 0.0119×10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>。全省新界面积系从敦煌、金塔、肃北、阿克塞、肃南县除去界外面积后的面积。

(2) 趋势分析：分析 5 个调查期森林覆盖率年均净增量，随着距 2000a 的时间越近，出现年均净增量总体呈逐渐增大的趋势，但在中间的 1986—2000a 间出现波峰，各年度区间的年均净增量为：52a 年均均为 0.0842%、25a 年均均为 0.1332%、15a 年均均为 0.1687%、10a 年均均为 0.1590%、5a 年均均为 0.1840%。对其统计分析表明，全省森林覆盖率的年均净增量平均数为 0.1458%±0.0543%（表 1-2）。

表 1-2 总体平均数抽样估计 (U<sub>0.05</sub>=1.960) [4]

| 类 型                  |               |    | n  | $\bar{x}$ | S (δ <sub>x</sub> ) | Δ <sub>(x)</sub> | $\bar{x} \pm \Delta_{(x)}$            | P <sub>c(x)</sub> | 参考<br>文献 |
|----------------------|---------------|----|----|-----------|---------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------|----------|
| 森林覆盖率年均净增量           |               |    | 5  | 0.1458%   | 0.0391              | 0.0543%          | 0.1458%±0.0543%,<br>[0.0915%,0.2001%] | 62.80%            | [3]      |
| 当年造林面积成活率            |               |    | 12 | 0.8219    | 0.0451              | 0.0266           | 0.8219±0.0266,<br>[79.53%,84.85%]     | 96.76%            | [5~7]    |
| 造林成活面积成林率            |               |    | 13 | 0.4345    | 0.0374              | 0.0212           | 0.4345±0.0212,<br>[41.33%,45.57%]     | 95.13%            | [3,5~8]  |
| 森林<br>覆盖<br>率总<br>目标 | 水土<br>流失<br>区 | 最高 | 68 | 0.3794    | 0.0981              | 0.0233           | 0.3794±0.0233,<br>[35.62%,40.28%]     | 99.12%            | [1]      |
|                      |               | 最低 | 61 | 0.3113    | 0.0594              | 0.0149           | 0.3113±0.0149,<br>[29.64%,32.621%]    | 95.21%            |          |
|                      |               | 平均 | 59 | 0.3303    | 0.0481              | 0.0123           | 0.3303±0.0123,<br>[31.80%,34.26%]     | 96.28%            |          |
|                      | 河西<br>绿洲      | 最高 | 12 | 0.4435    | 0.0316              | 0.0187           | 0.4435±0.0187,<br>[42.48%,46.22%]     | 95.78%            | [2]      |
|                      |               | 最低 | 10 | 0.0908    | 0.0063              | 0.0041           | 0.0908±0.0041,<br>[8.67%,9.49%]       | 95.49%            |          |
|                      |               | 平均 | 11 | 0.2157    | 0.0100              | 0.0062           | 0.2157±0.0062,<br>[20.95%,22.19%]     | 97.13%            |          |

1.3 对森林覆盖率相关参数估计

(1) 当年造林面积成活率：指成活 85%以上面积与当年造林面积的比率。对已经做过的研究文献中具有对应数据的 12a 成活 85%以上面积与当年造林面积的比率进行统计分析（表 1-3-1）<sup>[5-7]</sup>，全省当年造林面积的平均成活率为 82.19%±2.66%（表 1-2）。

表 1-3-1 成活率样本

单位：10<sup>4</sup>hm<sup>2</sup>、%

| 年度   | 当年造林面积 | 85%以上成活面积 | 成活率   | 年度   | 当年造林面积 | 85%以上成活面积 | 成活率   |
|------|--------|-----------|-------|------|--------|-----------|-------|
| 1978 | 5.03   | 4.17      | 82.57 | 1984 | 28.57  | 21.19     | 74.14 |
| 1979 | 5.35   | 4.42      | 82.66 | 1985 | 28.98  | 23.68     | 81.71 |
| 1980 | 5.70   | 4.71      | 82.66 | 1986 | 26.87  | 19.82     | 73.75 |
| 1981 | 6.32   | 5.22      | 82.66 | 1987 | 22.44  | 18.63     | 83.05 |
| 1982 | 9.65   | 7.98      | 82.66 | 1988 | 17.56  | 15.52     | 88.43 |
| 1983 | 14.62  | 12.09     | 82.66 | 1989 | 13.85  | 12.92     | 88.98 |

(2) 造林成活面积成林率：指成林面积与成活面积的比率。对一些研究中 52a 造林的成活面积（保存面积）进行统计<sup>[3,5-8]</sup>，得到与各调查期成林面积对应的分期累计成活面积（表 1-3-2），成林面积与成活面积的比值组成各年度范围内的成林率样本单元，对 13 个样本单元（15 个样本中除去离差大的 0.5313、0.2367 两个样本）进行统计分析表明，全省造林成活面积的平均成林率为 43.45%±2.12%（表 1-2）。

表 1-3-2 成林率样本

单位：10<sup>4</sup>hm<sup>2</sup>、%

| 年 度             | 1975a  |       |       | 1985a  |        |       | 1990a  |        |         |
|-----------------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|---------|
|                 | 成活面积   | 成林面积  | 成林率   | 成活面积   | 成林面积   | 成林率   | 成活面积   | 成林面积   | 成林率     |
| 1949—1975 (27a) | 110.82 | 54.02 | 48.74 |        |        |       |        |        |         |
| 1949—1985 (37a) |        |       |       | 207.51 | 100.84 | 48.59 |        |        |         |
| 1976—1985 (10a) |        |       |       | 96.69  | 46.82  | 48.42 |        |        |         |
| 1949—1990 (42a) |        |       |       |        |        |       | 288.47 | 120.00 | 41.60   |
| 1976—1990 (15a) |        |       |       |        |        |       | 177.64 | 65.98  | 37.14   |
| 1986—1990 (5a)  |        |       |       |        |        |       | 80.95  | 19.16  | (23.67) |

续表 1-3-2

| 年 度             | 1995a  |        |         | 2000a  |        |       |
|-----------------|--------|--------|---------|--------|--------|-------|
|                 | 成活面积   | 成林面积   | 成林率     | 成活面积   | 成林面积   | 成林率   |
| 1976—1995 (20a) | 256.85 | 108.06 | 42.07   |        |        |       |
| 1985—1995 (10a) | 160.15 | 61.24  | 38.24   |        |        |       |
| 1991—1995 (5a)  | 79.20  | 42.08  | (53.13) |        |        |       |
| 1949—2000 (52a) |        |        |         | 454.78 | 199.17 | 43.78 |
| 1976—2000 (25a) |        |        |         | 343.96 | 145.15 | 42.20 |
| 1986—2000 (15a) |        |        |         | 247.26 | 98.33  | 39.77 |
| 1991—2000 (10a) |        |        |         | 166.31 | 79.17  | 47.60 |
| 1995—2000 (5a)  |        |        |         | 87.11  | 37.09  | 42.58 |

(3) 当年造林面积成林率：指成林率与成活率的比率。由此得到全省当年造林面积的平均成林率为 35.71%±0.06%，这一指标恰恰也反映出了我省生态环境的严峻性。

1.4 森林覆盖率的单位增量

森林覆盖率每增加一个百分点称森林覆盖率的单位增量。

(1) 森林覆盖率单位增量所需成林面积：全省每增加 1% 的森林覆盖率，需造林后的成林面积净增 42.21×10<sup>4</sup>hm<sup>2</sup> 以上。

(2) 森林覆盖率单位增量所需造林成活面积：成林率按区间下限 41.33% 计，所需造林成活面积净增 102.13×10<sup>4</sup>hm<sup>2</sup> 以上。

(3) 森林覆盖率单位增量所需当年造林面积：成活率按区间下限 79.53% 计，所需当年造林面积净增 128.42×10<sup>4</sup>hm<sup>2</sup> 以上。

2 水土流失区防护效益森林覆盖率总目标

水土流失区包括河东地区及中东祁连山山地等天保工程区，陆地面积 20.2571×10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>（表 2-1）。通过研究一日一次性大暴雨至特大暴雨过程是造成土壤侵蚀的主要原动力；这种侵蚀力的强度又受平均雨强的大小、林地面积多少、林分类型的空间分布格局等因素影响。土壤的总孔隙度是承载降水的主要蓄水库；土壤总孔隙度决定了暴雨降水量下渗和形成地表径流的比重，因而也间接地决定了暴雨对土壤的侵蚀强度；林地是各种植被类型的地类中对这种侵蚀的抵抗力最优的地类，具有明显阻滞地表径流的作用。应用降水量与土壤饱和蓄水量之间的水量平衡原理，建立了水土流失区防护效益森林覆盖率（ $F_*$ ）的非线性生态模型<sup>[1]</sup>， $F_*=[P÷(T×P_t)]×100\%$ （ $P$  为一日最大降水量 mm， $T$  为计算土壤厚度 mm， $P_t$  为土壤总孔隙度%），对各县（市、区）的防护效益森林覆盖率进行了计算。对吴秉礼等 2003 年的研究中各县（市、区）的三种森林覆盖率（表 2-2）分别进行统计分析表明（表 1-2），全省水土流失区防护效益森林覆盖率，在平均总孔隙度条件下需要 33.03%±1.23%，最大总孔隙度条件下最低需要 31.13%±1.49%，最小总孔隙度条件下最高需要 37.94%±2.33%<sup>[1]</sup>。至 2000a 这一地区森林覆盖率现状为 18.65%。

表 2-1 2000a 两区域森林覆盖率

| 地域         | 国土面积 10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup> |         |        | 森林覆盖率 % |
|------------|--------------------------------------|---------|--------|---------|
|            | Σ                                    | 陆地      | 水域     |         |
| 水土流失区（天保区） | 20.4894                              | 20.2571 | 0.2313 | 18.65   |
| 沙漠化区（非天保区） | 22.0906                              | 21.9498 | 0.1148 | 3.12    |

续表 2-1

| 地域         | 林地面积 10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup> |        |        |        | 其中:人工林面积 10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup> |       |       |        |
|------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|------------------------------------------|-------|-------|--------|
|            | Σ                                    | 有林地    | 灌木林地   | 林网四旁折合 | Σ                                        | 有林地   | 灌木林地  | 林网四旁折合 |
| 水土流失区（天保区） | 377.84                               | 213.26 | 143.29 | 21.29  | 162.27                                   | 58.46 | 82.52 | 21.29  |
| 沙漠化区（非天保区） | 68.57                                | 15.94  | 37.72  | 14.91  | 36.90                                    | 15.94 | 6.05  | 14.91  |

表 2-2 水土流失区防护效益森林覆盖率样本 (%)

单位: %

| 县(市、区) | 最高    | 最低      | 平均      | 县(市、区) | 最高    | 最低      | 平均      |
|--------|-------|---------|---------|--------|-------|---------|---------|
| A A1   | 36.72 | 33.94   | 34.66   | F F1   | 35.96 | 30.41   | 31.49   |
| A2     | 34.57 | 29.27   | 34.83   | F2     | 35.96 | 29.56   | 32.22   |
| A3     | 36.72 | 33.94   | 34.83   | F3     | 35.57 | 25.02   | 31.44   |
| A4     | 34.57 | 33.94   | 34.44   | F4     | 48.66 | 38.95   | 40.46   |
| A5     | 42.14 | 38.95   | 39.97   | F5     | 35.96 | 29.32   | 31.55   |
| A6     | 29.36 | 25.28   | 28.40   | F6     | 52.26 | 42.96   | 46.59   |
| A7     | 29.36 | 28.82   | 29.25   | F7     | 35.96 | 28.78   | 31.42   |
| A8     | 28.79 | 24.78   | 26.45   | F8     | 35.96 | 30.41   | 32.50   |
| B B1   | 31.38 | 25.28   | 29.97   | G G1   | 39.72 | 35.82   | 36.48   |
| B2     | 29.32 | 26.57   | 28.00   | G2     | 75.33 | (67.93) | (69.38) |
| B3     | 28.75 | 26.57   | 27.17   | G3     | 24.68 | (21.93) | (22.42) |
| B4     | 28.07 | 26.57   | 27.17   | G4     | 53.15 | 44.13   | (49.90) |
| B5     | 20.81 | (17.56) | (20.56) | G5     | 48.85 | 40.56   | 42.83   |
| C C1   | 34.84 | 31.46   | 33.18   | G6     | 35.81 | 29.74   | 31.85   |
| C2     | 27.13 | 24.46   | 26.47   | G7     | 27.22 | (22.60) | 26.11   |
| C3     | 29.70 | 26.82   | 27.29   | G8     | 39.59 | 38.18   | 38.79   |
| C4     | 31.36 | 28.32   | 29.24   | H H1   | 37.57 | 31.18   | 36.14   |
| C5     | 26.02 | 23.50   | 24.32   | H2     | 41.89 | 29.27   | 35.49   |
| C6     | 34.61 | 31.25   | 33.18   | H3     | 71.47 | (65.07) | (71.02) |
| C7     | 36.50 | 32.96   | 33.90   | H4     | 52.56 | 43.62   | 47.25   |
| D D1   | 33.81 | 32.01   | 32.33   | H5     | 35.86 | 31.18   | 31.99   |
| D2     | 36.16 | 32.61   | 33.54   | H6     | 41.09 | 37.41   | 39.50   |
| D3     | 28.48 | 23.65   | 27.43   | H7     | 46.06 | 43.07   | 44.73   |
| D4     | 28.48 | 23.65   | 27.29   | H8     | 37.57 | 34.21   | 34.97   |
| D5     | 53.26 | (50.41) | (51.84) | H9     | 54.06 | (49.77) | (54.14) |
| D6     | 30.41 | 28.48   | 29.26   | I I1   | 40.34 | 32.95   | 34.65   |
| D7     | 33.68 | 29.03   | 29.93   | I2     | 40.34 | 28.14   | 33.75   |
| E E1   | 35.07 | 29.12   | 33.40   | I3     | 44.40 | 28.14   | 32.61   |
| E2     | 37.96 | 26.48   | 31.45   | I4     | 34.54 | 28.19   | 33.06   |
| E3     | 35.07 | 29.12   | 32.45   | I5     | 34.96 | 28.19   | 33.46   |
| E4     | 35.07 | 29.12   | 33.43   | I6     | 38.45 | 23.83   | 33.62   |
| E5     | 55.59 | 46.16   | (51.07) | I7     | 34.54 | 23.83   | 33.86   |
| E6     | 51.63 | 46.79   | (50.75) | I8     | 40.34 | 28.14   | 33.63   |
| E7     | 30.82 | 25.06   | 28.80   | V      | 36.75 | 29.21   | 34.41   |

3 干旱风沙区防护效益森林覆盖率总目标

从研究绿洲森林覆盖率入手，提出沙漠化区（干旱风沙区）绿洲防护效益森林覆盖率的总目标。

3.1 绿洲总目标

绿洲指沙漠化区内由人居环境和生产环境组成的生存环境。绿洲土地面积  $8.7765 \times 10^4 \text{km}^2$ <sup>[9]</sup>（表 3-1），从研究最大风速与主林带不同林带高有效防护距离之间的比值入手，并与类似地区森林覆盖率实验数据进行适合性检验，存在差异不显著的事实，建立了干旱风沙区绿洲防护效益森林覆盖率（ $F_{\text{绿}}$ ）的非线性生态模型<sup>[2]</sup>， $F_{\text{绿}} = V_i / L_i \times 100\% = V_i / (r_i \times H_i) \times 100\%$ （ $V_i$  为最大风速 m/s， $L_i$  为有效防护距离 m， $r_i$  为主林带有效防护系数， $H_i$  为林带平均高），计算了各县（市、区）绿洲防护效益森林覆盖率。对贺立勇等 2007 年的研究中各县（市、区）在 II 行主林带下的防护效益森林覆盖率（文献中表 2-2<sup>[2]</sup>）进行统计分析表明，河西走廊各县（市、区）绿洲在降低最大风速 20% 以上条件下，主林带平均高从低到高所需森林覆盖率从高到低为  $44.35\% \pm 1.87\%$ 、 $9.08\% \pm 0.41\%$ ，平均为  $21.57\% \pm 0.62\%$ （表 1-2）<sup>[2]</sup>。至 2000a 绿洲森林覆盖率现状为 7.81%。

表 3-1 绿洲防护效益森林覆盖率样本

| 县（市、区）            | 绿洲土地面积<br>km <sup>2</sup> | 森林覆盖率（%， $F_{\text{II}}$ ） |         |         |
|-------------------|---------------------------|----------------------------|---------|---------|
|                   |                           | 最高                         | 最低      | 平均      |
| Σ                 | 87765                     |                            |         |         |
| J J0              | 271                       | 48.08                      | (10.01) | 23.01   |
| K K1              | 1015                      | 48.08                      | (10.01) | 23.01   |
| K2                | 1747                      | 41.45                      | 8.63    | 19.84   |
| K3                | 3461                      | 46.42                      | 9.67    | 22.22   |
| K4                | 1105                      | (57.19)                    | (11.91) | (27.38) |
| K5                | 1914                      | (33.16)                    | (6.91)  | (15.87) |
| K6                | 32760                     | 43.10                      | 8.98    | 20.63   |
| K7                | 11507                     | 43.10                      | 8.98    | 20.63   |
| M M1              | 2566                      | (34.81)                    | (7.25)  | (16.67) |
| M2                | 1147                      | (34.81)                    | (7.25)  | (16.67) |
| M3                | 2385                      | 46.42                      | 9.67    | 22.22   |
| M4                | 4617                      | 46.42                      | 9.67    | 22.22   |
| M5                | 1790                      | 36.47                      | 7.60    | (17.46) |
| N N1              | 5351                      | 46.42                      | 9.67    | 22.22   |
| N2                | 3923                      | (33.16)                    | (6.91)  | (15.87) |
| N3                | 2479                      | (56.37)                    | (11.74) | (26.98) |
| P P1              | 4466                      | 43.10                      | 8.98    | 20.63   |
| P2                | 518                       | 43.10                      | 8.98    | 20.63   |
| B B5 <sub>1</sub> | 4743                      | (35.97)                    | (7.49)  | (17.22) |

3.2 沙漠化区总目标

包括除天保工程区外的河西走廊、北山及西祁连山-东阿尔金山山地，陆地面积  $21.9498 \times 10^4 \text{km}^2$ （表

2-1)。对绿洲防护效益森林覆盖率平均值用绿洲面积(表 3-1)加权后计算出绿洲的林地面积,再用此林地面积除以沙漠化区陆地面积的商得出沙漠化区的防护效益森林覆盖率,主林带平均高从低到高所需森林覆盖率从高到低的平均值为 17.73%、3.63%,平均为 8.62%。至 2000a 沙漠化区的森林覆盖率现状为 3.12%。

#### 4 全省防护效益森林覆盖率总目标

对两区域防护效益森林覆盖率平均值,用陆地面积加权后,得到全省防护效益森林覆盖率为 17.00% (最大总孔隙度和最高林带高)~27.64% (最小总孔隙度和最低林带高),平均值为 22.90%,而且森林分布均匀,结构合理,就可以达到预期目的。现状与总体目标相比,根治两大生态灾害的任务十分繁重,目前的现实也印证了这一点。

#### 参考文献:

- [1]吴秉礼,石建忠,谢忙义,等.甘肃水土流失区防护效益森林覆盖率研究.生态学报,2003, 23(6):1125-1137.
- [2]贺立勇,王海芳,裴德才,等.干旱风沙区绿洲森林覆盖率的非线性生态模型.中国沙漠, 2007,27(3):425-429.
- [3]甘肃省林业厅资源林政处.甘肃省森林资源概况,2003.
- [4]北京林学院主编.数理统计.北京:中国林业出版社,1980:95-105,116-134.
- [5]顾军.甘肃农村经济年鉴.兰州:甘肃人民出版社,1990:332-333.
- [6]《甘肃年鉴》编委会.甘肃年鉴.北京:中国统计出版社,1999:546.
- [7]李忠严,吉国荣,陈作芳,等.甘肃农村经济年鉴.北京:中国统计出版社,1997:166.
- [8]《甘肃年鉴》编委会.甘肃年鉴.北京:中国统计出版社,2001:418.
- [9]赵曙煜,张玉娥.甘肃省农业资源调查汇编(一).甘肃省农业区划委员会办公室,1986:96-111.

附件

甘肃省各县（市、区）最佳防护效益森林覆盖率（%）

| 县（市、区）  | 最高    | 最低    | 平均    | 县（市、区）   | 最高    | 最低    | 平均    | 县（市、区）   | 最高    | 最低    | 平均    |
|---------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|
| 甘肃省     | 27.64 | 17.00 | 22.90 | F 临夏州    | 40.78 | 28.69 | 35.61 | I 甘南州    | 40.34 | 23.83 | 33.53 |
| 河东水土流失区 | 37.94 | 31.13 | 33.03 | F1 临夏市   | 35.96 | 30.41 | 31.49 | I1 合作市   | 40.34 | 32.95 | 34.65 |
| I 陇西沟壑区 | 36.51 | 25.46 | 30.11 | F2 临夏县   | 35.96 | 29.56 | 32.22 | I2 临潭县   | 40.34 | 28.14 | 33.75 |
| A 兰州市   | 31.94 | 25.89 | 28.99 | F3 康乐县   | 35.57 | 25.02 | 31.44 | I3 卓尼县   | 40.34 | 28.14 | 32.61 |
| A1 城关区  | 36.72 | 33.94 | 34.66 | F4 永靖县   | 48.66 | 38.95 | 40.46 | I4 舟曲县   | 34.54 | 28.19 | 33.06 |
| A2 七里河  | 34.57 | 29.77 | 34.83 | F5 广河县   | 35.96 | 29.32 | 31.55 | I5 迭部县   | 34.96 | 28.19 | 33.46 |
| A3 西固区  | 36.72 | 33.94 | 34.83 | F6 和政县   | 52.26 | 42.96 | 46.59 | I6 玛曲县   | 38.45 | 23.83 | 33.62 |
| A4 安宁区  | 34.57 | 33.94 | 34.44 | F7 东乡县   | 35.96 | 28.78 | 31.42 | I7 碌曲县   | 34.54 | 23.83 | 33.86 |
| A5 红古区  | 42.14 | 38.95 | 39.97 | F8 积石县   | 35.96 | 30.41 | 32.50 | I8 夏河县   | 40.34 | 28.14 | 33.63 |
| A6 永登县  | 29.36 | 25.28 | 28.40 | II 陇东高原  | 42.50 | 32.44 | 37.26 | V 祁连山地   | 36.75 | 29.21 | 34.41 |
| A7 皋兰县  | 29.36 | 28.82 | 29.25 | E 平凉市    | 42.45 | 34.56 | 39.12 | M6 肃南县   | 36.75 | 29.21 | 34.41 |
| A8 榆中县  | 28.79 | 24.78 | 26.45 | E3 崆峒区   | 35.07 | 29.12 | 32.45 | N4 天祝县   | 36.75 | 29.21 | 34.41 |
| B 白银市   | 27.50 | 21.86 | 25.62 | E4 泾川县   | 35.07 | 29.12 | 33.43 | 河西干旱风沙区  | 17.73 | 3.63  | 8.62  |
| B1 白银区  | 31.38 | 28.82 | 29.97 | E5 灵台县   | 55.59 | 46.16 | 51.07 | 绿洲       | 44.35 | 9.08  | 21.57 |
| B2 平川区  | 29.32 | 26.57 | 28.00 | E6 崇信县   | 51.63 | 49.79 | 50.75 | J0 嘉峪关市  | 48.08 | 10.01 | 23.01 |
| B3 靖远县  | 28.75 | 26.57 | 27.17 | E7 华亭县   | 30.82 | 25.06 | 28.80 | K 酒泉市    | 43.29 | 9.02  | 20.72 |
| B4 会宁县  | 28.04 | 26.57 | 27.17 | G 庆阳市    | 41.64 | 31.86 | 36.74 | K1 肃州区   | 48.08 | 10.01 | 23.01 |
| B5 景泰县  | 20.81 | 17.56 | 20.56 | G1 西峰区   | 39.72 | 35.82 | 36.48 | K2 金塔县   | 41.45 | 8.63  | 19.84 |
| C 天水市   | 31.09 | 28.04 | 29.43 | G2 庆城县   | 75.33 | 67.93 | 69.38 | K3 玉门市   | 46.42 | 9.67  | 22.22 |
| C1 秦州区  | 34.84 | 31.46 | 33.18 | G3 环县    | 24.68 | 21.93 | 22.42 | K4 安西县   | 57.19 | 11.91 | 27.38 |
| C2 麦积区  | 27.13 | 24.46 | 26.47 | G4 华池县   | 53.15 | 44.13 | 49.90 | K5 敦煌市   | 33.16 | 6.91  | 15.87 |
| C3 清水县  | 29.70 | 26.82 | 27.29 | G5 合水县   | 48.85 | 40.56 | 42.83 | K6 肃北县   | 43.10 | 8.98  | 20.63 |
| C4 秦安县  | 31.36 | 28.32 | 29.24 | G6 正宁县   | 35.81 | 29.74 | 31.85 | K7 阿克塞   | 43.10 | 8.98  | 20.63 |
| C5 甘谷县  | 26.02 | 23.50 | 24.32 | G7 宁县    | 27.22 | 22.60 | 26.11 | M 张掖市    | 41.55 | 8.66  | 19.89 |
| C6 武山县  | 34.61 | 31.25 | 33.18 | G8 镇原县   | 39.59 | 38.18 | 38.79 | M1 高台县   | 34.81 | 7.25  | 16.67 |
| C7 张川县  | 36.50 | 32.96 | 33.90 | III 陇南山地 | 49.51 | 34.60 | 41.53 | M2 临泽县   | 34.81 | 7.25  | 16.67 |
| D 定西市   | 39.99 | 28.08 | 33.45 | H 陇南市    | 49.51 | 34.60 | 41.53 | M3 甘州区   | 46.42 | 9.67  | 22.22 |
| D1 安定区  | 33.81 | 32.01 | 32.33 | H1 武都区   | 37.57 | 31.18 | 36.14 | M4 山丹县   | 46.42 | 9.67  | 22.22 |
| D2 通渭县  | 36.16 | 32.61 | 33.45 | H2 宕昌县   | 41.89 | 29.27 | 35.49 | M5 民乐县   | 36.47 | 7.60  | 17.46 |
| D3 陇西县  | 28.48 | 23.65 | 27.43 | H3 成县    | 71.47 | 65.07 | 71.02 | N 武威市    | 44.00 | 9.20  | 21.10 |
| D4 渭源县  | 28.48 | 23.65 | 27.29 | H4 康县    | 52.56 | 43.62 | 47.25 | N1 民勤县   | 46.22 | 9.67  | 22.22 |
| D5 临洮县  | 53.26 | 50.41 | 51.84 | H5 文县    | 35.86 | 31.18 | 31.99 | N2 古浪县   | 33.16 | 6.91  | 15.87 |
| D6 漳县   | 30.41 | 28.48 | 29.26 | H6 西和县   | 41.09 | 37.41 | 39.50 | N3 凉州区   | 56.37 | 11.74 | 26.98 |
| D7 岷县   | 33.68 | 29.03 | 29.93 | H7 礼县    | 46.06 | 43.07 | 44.73 | P 金昌市    | 43.10 | 8.98  | 20.63 |
| E 平凉市   | 39.55 | 27.58 | 32.29 | H8 两当县   | 37.57 | 34.21 | 34.97 | P1 永昌县   | 43.10 | 8.98  | 20.63 |
| E1 庄浪县  | 35.07 | 29.12 | 33.40 | H9 徽县    | 54.66 | 49.77 | 54.14 | P2 金川区   | 43.10 | 8.98  | 20.63 |
| E2 静宁县  | 37.96 | 26.48 | 31.45 | IV 甘南高原  | 40.34 | 23.83 | 33.53 | B5-1 景泰县 | 35.97 | 7.49  | 17.22 |

注：河东水土流失区的数据为样本总体的估计数，精度为 99.12%、95.21%、96.28%，其加权数分别为 41.34%、24.48%、34.11%。对加权数与估计数（即实际数与理论值）两者进行适合性检验， $\eta = |-0.0913| < \chi^2_{0.05}(2) = 5.991$ ，差异不显著，说明估计数是合理的。

# 甘肃水土流失区防护效益森林覆盖率研究<sup>1)</sup>

吴秉礼, 石建忠, 谢忙义, 贺立勇, 陈小华, 赵军营

(甘肃省林业调查规划院, 兰州 730020)

**摘 要:** 本文以甘肃长江流域、黄河流域及内陆河源头地区的祁连山地等三大流域为对象, 就水土流失区最佳防护效益森林覆盖率进行了研究。指出: (1) 甘肃的这三大流域生态环境恶化的主要表现为水力侵蚀形成的水土流失。一日或一次性大暴雨至特大暴雨过程是造成土壤侵蚀的主要原动力。这种侵蚀力的强度受平均雨强的大小、林地面积多少、林分类型的空间分布格局等因素影响。(2) 土壤的总孔隙度是承载降水的主要蓄水库; 土壤的总孔隙度决定了暴雨降水量下渗和形成地表径流的比重, 因而也间接地决定了暴雨对土壤的侵蚀强度; 土壤的总孔隙度又受土壤表面生长的植被类型及其覆盖度、内涵质量、空间分布格局等影响。林地是各种植被类型的地类中对这种侵蚀的抵抗力最优的地类之一。(3) 林地具有明显阻滞地表径流的作用。若一个流域或更大范围内的森林类型、层次、结构、长势等森林内涵质量、分布格局均处于最优状态, 则森林的面积或森林覆盖率将发挥出最佳防护效益, 此时的森林覆盖率称为最佳防护效益森林覆盖率。(4) 生态环境对森林防护能力的影响是通过不同森林防护类型能力的差异反映出来的。(5) 应用降水量与土壤饱和蓄水量之间水量平衡原理, 进行最佳防护效益森林覆盖率的计算。土壤饱和蓄水量可用土壤的总孔隙度来代替。设需求的森林覆盖率为  $F(\%)$ , 一日最大降水量为  $P(\text{mm})$ , 计算土壤厚度为  $T(\text{mm})$ , 土壤孔隙度为  $P_t(\%)$ , 则  $F(\%) = [P \div (T \times P_t)] \times 100\%$ 。用这种方法能快速准确地为制定生态环境建设的目标任务和政策提供科学依据。

**关键词:** 水土流失; 森林水文; 土壤总孔隙度; 最佳防护效益; 森林覆盖率

**文章编号:** 1000-0933 (2003) 06-1125-13 **中图分类号:** S157.1, S718.55, S719

**文献标识码:** A

一个流域或一个县、一个地区、一个省乃至一个国家究竟需要多大的森林面积才能起到优化环境和促进发展的双重作用, 这是一个十分复杂的问题。国外认为森林覆盖率达到 30% 以上, 且分布均匀、结构合理, 发挥着巨大的经济、社会、生态效益, 是当代林业先进发达的标志之一<sup>[1]</sup>, 国内一些学者对陕西省<sup>[2]</sup>、湖南省<sup>[3]</sup>及四川省东部地区<sup>[4]</sup>、江苏省中部的扬州<sup>[5]</sup>等地的森林覆盖率进行了探讨, 由于这些探讨从各自的地理背景和生产实际出发, 缺乏完善的理论和成熟的经验支撑, 结论很难在大范围内推广应用。对我国水土流失严重地区的长江上游和黄河上中游地区的最佳防护效益森林覆盖率的研究, 至今尚未报道, 张岩等人只作了黄土高原土壤侵蚀作物覆盖因子等方面的系统研究<sup>[6, 7]</sup>。

本文以甘肃境内的长江流域、黄河流域及内陆河源头地区的祁连山地等水土流失严重地区为研究对象, 就水土流失区最佳防护效益森林覆盖率进行了研究, 目的为各级政府实施西部大开发战略任务之一的生态环境建设制定建设目标任务和政策提供科学依据。

## 1 研究地区概况及主要生态环境问题

研究地区位于甘肃省境内的长江流域、黄河流域及内陆河源头地区的祁连山地等三大流域内, 即

<sup>1)</sup> 本文得到兰州大学“长江学者奖励计划”特聘教授、西部环境教育部重点实验室主任、博士生导师、美国蒙特可莱大学副教授冯兆东博士的指导, 谨此致谢。

我国黄土高原的西部地区。这里是研究水土流失区最佳防护效益森林覆盖率的理想地区,三大流域代表了三个不同的地理区域。地理坐标为  $32^{\circ}35' \sim 39^{\circ}42'N$ 、 $97^{\circ}24' \sim 108^{\circ}42'E$ 。国土面积 2109.9865 万  $hm^2$ , 其中陆地面积 2048.94369 万  $hm^2$ , 占 97.11%, 水域面积占 2.89%; 分别占全省国土面积和陆地面积的 46.40%、45.44%。研究地区的陆地面积中: 城市、工矿、村庄、交通等固定建筑物占地 50.66242 万  $hm^2$ , 占 2.47%, 其他地类 1998.28127 万  $hm^2$ , 占 97.53%; 其他地类中林业用地占 30.62%, 耕地占 21.52% (耕地中坡耕地占 72.85%、川平地占 27.15%), 草地占 31.98%, 未利用地占 15.88%。

研究地区林业用地面积中, 现有林地面积 243.05 万  $hm^2$  (其中天然林占 67.1%、人工林占 32.9%), 灌木林面积 144.76 万  $hm^2$ , 活立木蓄积量为 2.06 亿  $m^3$ , 森林覆盖率为 18.09%。现有的这些森林面积分布的极不均匀性表现在两方面: 一是, 研究地区陆地面积仅占全省陆地面积的 45.44%, 森林面积却占全省森林面积的 93.14%, 而且天然林占到 100%; 二是, 现有的这些森林面积中的 52.2% 和 100% 的天然林又集中分布在占研究地区陆地总面积 26.4% 的白龙江、岷江、康南、洮河、小陇山、太子山、连城、兴隆山、关山、子午岭及祁连山等天然林区内。

研究地区气候主要有陇南南部河谷亚热带半干旱半湿润区、陇南北部暖温带半湿润区、黄土高原南部温带半湿润区、黄土高原北部温带干旱半干旱区、甘南高原温带高寒半湿润区、祁连山地温带高寒半干旱区等 6 个气候类型。

目前, 研究地区内三大流域生态恶化的主要表现都是水力侵蚀形成的水土流失, 土壤水力侵蚀面积达 1339.5 万  $hm^2$ <sup>①</sup>, 占陆地总面积的比例高达 65.38%, 这里也是西北乃至全国的重点水土流失地区之一。土壤侵蚀模数, 长江上游即陇南山地一般为  $500 \sim 1000 t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ , 最高达  $3000 t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ , 年土壤侵蚀量达 6687 万 t, 年土壤养分流失量有机质 254.00 万 t、N 素 14.29 万 t、P 素 3.94 万 t、K 素 125.88 万 t; 黄河上中游地区的陇东黄土高原一般为  $5000 \sim 9000 t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ , 最高达  $3.8 万 t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ , 陇西黄土丘陵沟壑区一般为  $2000 \sim 8000 t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ , 最高达  $1.5 万 t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ , 甘南高原一般为  $100 \sim 500 t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ , 年土壤侵蚀量达 69487 万 t, 年土壤养分流失量有机质 1940.61 万 t、N 素 116.19 万 t、P 素 44.64 万 t、K 素 1161.03 万 t<sup>[8]</sup>。研究地区这些还在不断盘高的土壤侵蚀模数和土壤侵蚀量表明, 以水土流失为代表的生态环境问题是十分严重的, 必须引起足够重视。

## 2 理论依据

### 2.1 一日最大降水量是造成土壤侵蚀的主要原动力

水土流失是研究地区生态环境恶化的主要表现, 水土流失是以水力侵蚀为主的土壤侵蚀现象, 造成水力侵蚀的原动力是降水过程。在降水过程中, 引发严重水土流失的原动力不是一般的降水量, 而是那种一日或一次性大暴雨至特大暴雨过程, 其强度大, 动能高, 侵蚀力强。这种侵蚀力的强度, 又受平均雨强大小、林地面积多少、林分空间分布格局等因素的影响。

**2.1.1 林地的自然侵蚀量远小于人为开垦造成的侵蚀量和荒坡自然侵蚀量** 在不同平均雨强条件下, 林地土壤的自然侵蚀量远小于人为开垦造成土壤的侵蚀量和荒坡土壤的自然侵蚀量。对郁闭度 0.7 的中幼龄辽东栎 (*Quercus liaotungensis*) 次生林地与该林地被开垦后的开垦地土壤侵蚀的对照观测表明, 在一次降雨量 40.8mm、平均雨强 5.8mm/h 下, 林地土壤的自然侵蚀量为  $7.2 t/km^2$ 、开垦地为  $3602 t/km^2$ ; 在一次降雨量 38.3mm、平均雨强 6.4mm/h 下, 林地自然侵蚀为  $0.2 t/km^2$ 、开垦地为  $4080 t/km^2$ <sup>[8]</sup>, 同时开垦地土壤的侵蚀量还表现出随坡度的加大, 侵蚀量有明显增大的趋势, 土壤侵蚀量在  $14^{\circ} \sim 32^{\circ}$  的坡面为  $9703.7 t/(km^2 \cdot a)$ 、在  $5^{\circ} \sim 34^{\circ}$  的坡面为  $10324.5 t/(km^2 \cdot a)$ 、在  $38^{\circ} \sim 41^{\circ}$  的坡面为  $13179.4 t/(km^2 \cdot a)$ 、在  $37^{\circ} \sim 42^{\circ}$  的坡面为  $21774.1 t/(km^2 \cdot a)$ <sup>[9]</sup>。

雨季在相同降雨条件下, 林分的空间结构发生变化也影响侵蚀力的强度。雨季降雨量在 274.5~

<sup>①</sup> 吴秉礼, 等. 甘肃林业经济与资源调查. 甘肃省林业厅, 1999 年 5 月。

435.3mm 范围内,郁闭度为 0.7、林龄 30a 的人工油松 (*Pinus tabulaeformis*) 林地的空间结构在分别进行林地枯落物被去掉和采伐林地上层林木两种处理后,其土壤的侵蚀量(林地去掉枯落物层的平均侵蚀量为  $57.01\text{t}/\text{km}^2$ 、采伐林地上层林木的平均侵蚀量为  $5.59\text{t}/\text{km}^2$ )较未处理油松林地的自然侵蚀量( $2.35\text{t}/\text{km}^2$ )有所提高,但仍然小于对照农地的侵蚀量( $2899.19\text{t}/\text{km}^2$ )<sup>[10]</sup>。

因此,扩大林地面积和提高林分质量是降低一日或一次性大暴雨至特大暴雨过程造成严重土壤侵蚀现象的有效途径,而且只有林地才能降低或减轻这种侵蚀强度。

**2.1.2 林地本身并不都对土壤侵蚀具有相同的抵抗力** 不同的林地本身并不是都对这种侵蚀具有相同的抵抗力,而是表现出不同的林地类型对这种侵蚀的抵抗力各不相同。主要表现在三个方面。

(1) 林地的组成树种不同,对侵蚀的抵抗力不同。同属幼龄林、平均雨强  $21.3\text{mm}/\text{h}$  的条件下,林地的自然侵蚀模数,扁核木 (*Prinsepia uniflora*) 林地 为  $76.6\text{t}/\text{km}^2$ 、狼牙刺 (*Sophora viciifolia*) 林地 为  $146.0\text{t}/\text{km}^2$ ,但都比对照荒坡的侵蚀模数  $2050\text{t}/\text{km}^2$  小得多;在平均雨强  $12.9\text{mm}/\text{h}$  的条件下,也表现出扁核木林地 为  $2.48\text{t}/\text{km}^2$ 、狼牙刺林地 为  $9.36\text{t}/\text{km}^2$ ,对照荒坡 为  $117\text{t}/\text{km}^2$ <sup>[11]</sup> 与上述类似的规律性。

(2) 对侵蚀强度的抵抗力还表现在随着林龄的增大,抵抗力越来越强。一次降雨量  $46.3\text{mm}$ 、平均雨强  $4.0\text{mm}/\text{h}$ ,野葛 (*Pueraria lobata*) 幼林地的自然侵蚀量为  $25.8\text{t}/\text{km}^2$ ,对照荒坡的侵蚀量为  $72.7\text{t}/\text{km}^2$ <sup>[11]</sup>;一次降雨量  $44.2\text{mm}$ 、平均雨强  $7.38\text{mm}/\text{h}$ 、林龄 为 40a 的栓皮栎 (*Quercus variabilis*) 林地的自然侵蚀量仅  $16.1\text{t}/\text{km}^2$ ,对照荒坡的侵蚀量为  $1974.35\text{t}/\text{km}^2$ <sup>[12]</sup>。

(3) 对林地采取的抚育措施不同,造成林地的自然侵蚀量也不同<sup>[10]</sup>。

**2.1.3 林地与草地土壤的侵蚀量也有很大差别** 对祁连山地青海云杉 (*Picea crassifolia*) 天然林和对照草地观测表明,在一次降雨量  $76\text{mm}$ 、平均雨强  $36\text{mm}/\text{h}$  条件下,青海云杉林地没有产生自然侵蚀,而草地由于放牧强度不同产生不同的侵蚀量,过度放牧草地 为  $526.24\text{t}/\text{km}^2$ 、中度放牧草地 为  $11.5\text{t}/\text{km}^2$ 、轻度放牧草地 为  $0.04\text{t}/\text{km}^2$ <sup>[13]</sup>。

综上所述,林地具有明显地阻滞土壤流失的作用,同时还揭示出了土壤侵蚀量林地<草地<荒坡的规律,从而说明森林面积的大小和空间分布格局与防护能力的关系是十分紧密的。在同等降水量条件下,林区的土壤侵蚀程度明显低于非林区,而且随着林龄的增大和林木覆盖率的提高,防护能力越来越大。土壤侵蚀模数的对比结果也表明<sup>[8]</sup>:天然林区一般为  $0\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,人工林区随着林龄和林木郁闭度或覆盖度的增大,由  $200\rightarrow 130\rightarrow 100\rightarrow 0\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ;山坡草地随着覆盖度的增大一般变动在  $500\rightarrow 300\rightarrow 200\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  左右;裸地随着降水强度的加大,陇东黄土沟壑区最大可达  $3.8\text{万t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 、陇西黄土丘陵沟壑区最大可达  $1.5\text{万t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。林地抵抗一日或一次大暴雨至特大暴雨过程侵蚀的能力远远大于草地和裸地。目前,主要是区内森林面积小、分布不均匀,造成水土流失难以控制。

## 2.2 土壤总孔隙度是承载降水的主要蓄水库

如何有效地吸纳一日或一次大暴雨至特大暴雨过程带来的降水量,防止和减轻对土壤的侵蚀量,它直接涉及到土壤孔隙度的大小。土壤总孔隙度决定了暴雨降水量下渗和形成地表径流的比重,因而也间接地决定了暴雨对土壤的侵蚀强度;土壤的总孔隙度又受土壤表面生长的植被类型及其覆盖度、内涵质量、空间分布格局等影响。林地则是各种植被类型的地类中对这种侵蚀的抵抗力最优的地类之一,而且土壤孔隙度林地明显大于其他地类。同时,森林涵养水源机理研究还表明,森林保持水土、减缓洪水及涵养水源的功能是通过维持森林土壤的稳渗速度,缓和和减少地表径流为中心的防护能力来实现的<sup>[13、14、15]</sup>。这些能力的大小主要通过具有综合属性的森林土壤的饱和蓄水能力来获得。土壤的饱和蓄水能力又与土壤的总孔隙度高度相关。土壤孔隙度还因林地、草地、荒坡而不同,同一区域的土壤孔隙度普遍存在林地>草地>裸地的规律,但各地类内部还存在差异。

**2.2.1 林地土壤自身的孔隙度有一定差别** 主要表现在:

(1) 林型(林分类型)不同,林地的孔隙度不同。林龄 5~10a 不同林型林地土壤的孔隙度:白