

刘道平 ■ 著



黄浦江上游

水源林水文生态功能研究

*Eco-hydrological Function of Headwater Forest
in Upper Course Huangpu River*

中国林业出版社



黄浦江上游 水源林水文生态功能研究

*Eco-hydrological Function of Headwater Forest
in Upper Course Huangpu River*

刘道平 ■ 著

中国林业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

黄浦江上游水源林水文生态功能研究/刘道平著. - 北京: 中国林业出版社, 2012. 3
ISBN 978-7-5038-6439-1

I. ①黄… II. ①刘… III. ①黄浦江流域-森林水文学-研究 IV. ①S713-3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 26608 号

出版 中国林业出版社 (100009 北京西城区刘海胡同 7 号)

发行 中国林业出版社

印刷 北京中科印刷有限公司

版次 2012 年 3 月第 1 版

印次 2012 年 3 月第 1 次

开本 787mm × 960mm 1/16

印张 8.25

字数 150 千字

定价 50.00 元

序

PREFACE

黄浦江上游水源林水文生态功能研究

随着现代科学技术的迅速发展,人类对自然资源的利用强度不断提高,经济社会发展与资源、环境之间的矛盾越来越突出,水资源危机、环境污染、生态失调成为世界关注的热点。人口剧增、经济社会发展造成的水污染和水资源不足是制约各国经济发展的重要因素。

“长三角经济区”是我国的经济中心之一,在工业化过程中出现的土地承载力及环境容量下降、水资源短缺等问题日趋严重。人们对森林涵养水源、调节气候、保持水土、减洪滞洪等独特功能的认识越来越深入。

森林是陆地生态系统的主体,森林通过林冠截留、枯枝落叶吸收、森林土壤截持和储蓄降水,对降水重新分配和调节,具有最大的水源保护功能,是绿色水库。多年来,由于对森林资源的过度开发利用,黄浦江上游森林覆盖率偏低,森林结构不佳,森林质量不高,水土流失剧烈,严重影响了下游的水量 and 水质。

因此，研究森林生态系统对水量、水质以及土壤侵蚀的影响和调节机理，系统提出加强保护流域水源的水质、水量和水环境为目的的水源涵养林建设措施，对现实和未来都具有非常重要的意义。

目前，我国在现有森林类型的水源涵养功能评价、水源涵养林结构配置等方面的研究尚处起步阶段。《黄浦江上游水源林水文生态功能研究》一书，全面系统地分析了黄浦江上游常绿阔叶林、落叶阔叶林、马尾松林、毛竹林、灌木林、茶园、草地及裸地的土壤渗透性、可蚀性、土壤水库容等水文生态功能，建立了“径流—降水—森林覆盖率”模型，构建了黄浦江上游水源涵养林类型优化模式及水源涵养林优化配置技术体系。这一开拓性的研究对于推动我国水源涵养林的建设，促进森林水文生态功能研究的发展，具有理论与现实意义。衷心希望刘道平同志再接再厉，通过长期深入研究与实践为我国的生态防护林体系建设作出更大贡献。



二〇一〇年元月八日

前言

FOREWORD

黄浦江上游水源林水文生态功能研究

森林水文生态功能是森林生态系统重要的生态功能之一，也是森林生态学研究的重要内容^[1]。森林与水息息相关，二者相互作用，推动发生在森林生态系统中的各种物理化学过程和生物进程以及水分循环过程，进而影响大气和土壤的组成、结构与功能以及能量转换和平衡。全面研究分析森林水文规律及特点，有助于了解森林生态系统中水分的运转过程与机制及其对系统结构、生物地球化学循环、能量代谢和生产力的影响，正确评价和认识森林的作用，为合理经营利用森林、保护自然环境以及水资源的可持续利用提供科学理论^[2]。

我国在这方面的研究起步相对较晚，进入 20 世纪 80 年代后期出现了高潮，亦取得了丰富的成果。国外在森林水文生态功能这一领域的研究较早，报道也较多^[1,3]。世界各国森林水文研究主要集中在森林的作用、森林对降水的截持再分配、森林水分循环、蒸发散、森林流域的水量平衡以及火烧、采伐等人为干扰对水文影响等诸多方面。

森林土壤水文生态功能研究是森林水文生态功能研

究的热点之一。森林土壤由于受枯枝落叶、林木根系、微生物、动物的影响而具有独特的理化性质和改善、调节、影响水文生态功能的作用。国内外已在森林土壤层孔隙结构与蓄水量、森林土壤水分渗透和调节、森林土壤水分动态变化等方面展开了广泛研究^[1,2,4]。

黄浦江是长江的最后一条支流。黄浦江干流与淀浦河、大治河等人工河道形成一个纵横交错的黄浦江水系，是上海重要的水源地，哺育着上海市人民，是上海的“母亲河”，其水质标准对上海的饮用水卫生起着极其重要的作用。

近年来，随着长江流域人口的不断增加，中上游地区山林的不同程度破坏，水土流失加剧，来沙增多，水质恶化，在一定程度上影响着黄浦江的水质及下游人民的生活用水、生产用水和生态用水。另一方面，由于流域内林种结构不尽合理，树种配置不当，导致群落的稳定性差，病虫害严重，黄浦江流域水源涵养林的水质净化功能没有得到充分发挥。保护“母亲河”，加强上海水源地的保护，进一步改善国际化大都市的生态建设和环境保护已成为上海市民普遍关注的热点问题。

本书以黄浦江上游为对象，对黄浦江上游主要植被类型水文生态功能进行了深入分析和探讨，以期为黄浦江流域的森林植被恢复与重建提供理论依据和技术支撑。



2009 年 12 月

目录 CONTENTS

黄浦江上游水源林水文生态功能研究

序 前言

第一章 国内外研究进展/ 1

- 1.1 森林水文研究的历史回顾 / 1
- 1.2 森林对河川径流影响的研究 / 4
- 1.3 森林水文过程的研究 / 8
- 1.4 土壤可蚀性 / 13
- 1.5 根系固土功能 / 16
- 1.6 小波分析在水文时间序列中的应用 / 16
- 1.7 水文模型的研究 / 17

第二章 试验地概况及研究方法/ 20

- 2.1 试验地概况 / 20
- 2.2 样地选择 / 21
- 2.3 研究方法 / 21

第三章 不同植被类型土壤可蚀性比较 / 23

- 3.1 不同植被类型土壤抗蚀性 / 23
- 3.2 不同植被类型土壤抗冲性 / 31

第四章 不同植被类型土壤渗透性比较 / 37

- 4.1 不同样地土壤入渗过程的拟合 / 37
- 4.2 不同林地土壤入渗过程比较 / 42
- 4.3 不同林地土壤渗透能力比较 / 43
- 4.4 土壤渗透性垂直变化规律分析 / 46
- 4.5 渗透特性影响因子分析 / 48

第五章 不同植被类型土壤水库容及水分状况 / 59

- 5.1 森林土壤水库的相关概念 / 59
- 5.2 各样地土壤水库容状况 / 61
- 5.3 土壤最大有效库容影响因子分析 / 63
- 5.4 土壤水分消退规律 / 66

第六章 典型集水区水文时间序列的变化特征 / 68

- 6.1 典型集水区概况 / 68
- 6.2 小波分析原理 / 69
- 6.3 原始数据插补处理 / 74
- 6.4 水文序列的分解与重构 / 78
- 6.5 水文序列多时间尺度分析 / 84

第七章 森林对水文序列的影响 / 87

- 7.1 涵养指数 / 87
- 7.2 径流系数的分析 / 89
- 7.3 基于小波分析的径流 - 降水 - 森林覆盖率模型 / 89

第八章 水土保持功能评价 / 97

- 8.1 水土保持功能评价指标分析 / 97
8.2 不同地类水土保持功能评价 / 100

第九章 结论和建议 / 103

- 9.1 研究成果综述 / 103
9.2 建议 / 105

参考文献 / 107

后 记 / 117

附 图 / 119

第一章

国内外研究进展

世界范围内面临的一系列生态环境问题诸如洪涝灾害频繁发生、水土流失日趋严重、水资源危机、土地荒漠化不断扩大、生物多样性下降等都与森林的严重破坏密切相关。森林和水是人类生存与发展的重要物质基础，也是森林生态系统的重要组成部分，前者是陆地生态系统的主体，后者是生态系统物质循环和能量流动的主要载体，二者之间的关系是当今林学和生态学领域研究的核心问题。自 20 世纪 50 年代以来，世界各国研究工作者从多方面对森林水文作用进行了富有成就的探索，并且取得了许多重要研究成果，为合理经营管理森林、开展流域治理、发挥森林的多种综合效益奠定了理论基础。

1.1 森林水文研究的历史回顾

早在几个世纪之前，人类对森林与气候、森林与水的关系就有了初步的认识，知道森林对气候和水有明显的影响。中世纪和文艺复兴时期的一些欧洲国家，为了控制雪崩、山洪、泥沙的侵蚀和淤积等，制定很多规定、乡规明约保护森林。日本是较早有目的地保护森林、涵养水源、保持水土的国家之一。早在德川时代的 1664 年，日本政府就对东京上游河流的森林加以保护，以确保充沛的水资源。我国明朝也有保护森林的规

定。目前我国南方很多村庄村前屋后留存的风水林和自然保护区，其主要目的之一就是保护水源。

进入 19 世纪，森林对气候和水文的影响越来越引起人们的重视，对森林水文开始了观测研究。森林对气候和水文影响的研究报告开始发表，代表著作有《人类改造地球》、《森林和水分》等。但是，森林水文学作为一门独立的学科进行实际观测和分析研究始于 19 世纪末 20 世纪初。美国学者在 20 世纪 40 年代首次提出了森林水文学的概念，并定义为“森林水文学是一门专门研究森林植被对有关水文状况影响的科学”，从而使森林水文学成为水文学的分支学科，也是陆地水文学与森林生态学交融形成的一门新型交叉学科。它研究森林植被结构和格局对水文生态功能和过程的影响，包括森林植被对水分循环和环境的影响，以及对土壤侵蚀、水的质量和小气候的影响。1860 年德国学者进行了土表蒸发的测定，1879 年奥地利人研究了森林对降水截持和蒸发蒸腾的影响。

20 世纪初，瑞士、日本、美国等国的水文工作者在开展对比流域试验的基础上评价了有林地和无林地的水源涵养作用，同时对各种森林类型的个别森林水文现象进行了细致的观测。1906 年，日本在茨城等地设立 8 个集水区试验点，开展有林地与无林地的水源涵养比较研究。瑞士和美国就森林调节河流这一问题开展了大量研究。

随着人口急剧增加、工业化进程加快，人类对自然资源的需求和开发的愿望越来越强烈，导致森林资源过度采伐和不合理利用日趋严重。结果造成全球和区域气候变化，水土流失严重、土地退化或沙漠化、地下水位下降、旱涝灾害频繁、水质污染和水资源短缺，严重影响人类的生活、生产和生存环境，以及社会经济的发展。由于人类的干扰和破坏导致大自然的报复，越来越引起社会对环境和生态平衡的注意，并且强化了人们对森林与水的关系的认识，特别是林地使用对水量、水质以及生态稳定性的影响。在这种历史背景下，森林水文学以及其

相关的森林集水区管理学应运而生,并且发展成为自身完善的专业理论和方法的科学。在国际人与生物圈计划(MAB)和国际水文计划(IHP)推动下,森林水文学的研究趋于系统化、全面化和规范化。

自20世纪50年代,森林水文学开始向两个主要方向发展,一方面部分学者致力于森林水文机制和水文特征的研究,以探讨森林中水分运动规律,包括降水截持、地被物截持、土壤渗透等。另一方面,随着生态学理论的发展,部分学者开始从单一森林植被对有关水文学现象的影响转移到水文系统与能量流动、物质循环和水质变化等紧密联系在一起的生态系统水平,从宏观上阐明森林生态系统的基本功能与水文特征的相互关系。这一时期的主要特点是对水分作为载体的“各种化学物质输入—系统内部再分配—系统输出”,这一全过程的水质变化和生物地球化学循环进行定位观测;研究森林生态系统水分循环过程和森林水量平衡的数量关系;评价森林生态系统对水资源的效益和水文生态功能,并以简单因子模拟和预测复杂水文过程以及开展森林经营、流域管理和流域开发等方面的工作。

20世纪60年代,美国生态学家Bormann和Likens提出了森林小集水区技术,他们把森林生态系统定义在一个相对封闭的集水区范围,开展综合性生态学、水文学和水文地球化学方面的研究。将森林水文学研究与森林生态系统定位研究相结合,从生态系统结构功能角度,阐述森林水分运动规律和机制,以及森林演替过程和森林环境变化对水分循环的影响,推动了森林水文的单向研究向系统综合的定位研究发展。

同时,世界各国广泛开展了流域对比试验研究,从宏观上阐明水的时空变化规律,评价森林的水文作用并确定管理方法和政策。自20世纪80年代以来,森林水文学进入到一个新的研究阶段,森林水文作用被划分为3个相互联系的领域:一是森林对水文循环量、质的影响,二是森林对水文循环机制的影

响,三是建立基于森林水文物理过程分布式参数模型,为资源管理和工程建设服务。

我国最早进行森林水文研究,开始于20世纪20年代。1924~1926年,金陵大学美籍学者罗德民博士和李德毅先生等在山东、山西等地观测研究森林植被类型对径流和水土保持效应的影响,拉开了中国森林水文研究的序幕。但是,由于当时国内形势不允许,我国森林水文的研究一直处在停顿状态,没有继续开展。20世纪60年代后,长江水利电力院金栋梁等开展了长江流域大面积森林对河川年径流的影响。马雪华研究了川西高山暗针叶林采伐与水土保持的关系,岷江上游森林的采伐对河流流量和泥沙悬浮物质的影响,以及海南热带林的破坏对河流流量和泥沙量的影响。20世纪70年代以后,各部门和研究机构分别在全国各地建立了一些森林水文研究站和生态站,如湖南会同生态定位站、四川亚高山水文观测场、甘肃祁连山水文站、吉林长白山水文站、江西泰和千烟洲生态定位站、海南尖峰岭生态定位站等。

我国森林水文研究虽然起步较晚,研究水平与发达国家存在有一定的差距。但是20世纪80年代以后,我国森林水文研究出现了高潮。根据我国经济和社会发展的急需,我国对不同区域的森林进行了广泛深入的研究,并且许多研究成果在赶超世界水平,如黄土高原流域综合治理及水土保持林体系建设等。目前国家重点林业工程建设项目,如“三北”防护林体系、长江流域防护林体系、沿海防护林体系、天然林资源保护、退耕还林、京津风沙源治理、太行山绿化、平原绿化以及重点地区以速生丰产用材林为主的林业产业基地建设等大规模的森林水文生态工程建设,已经引起全世界的瞩目。

1.2 森林对河川径流影响的研究

森林与水的关系的科学研究始于20世纪初期,早期主要是从森林变化对河川径流量的影响来进行这一研究。森林对河

川径流的影响一直在森林水文学领域有着较大的争议,主要包括森林对流域产水量的影响和对洪水的调节作用。

1909年在瑞士Emmental山地对2个不同森林覆盖率集水区的河流流量进行了比较研究,是现代试验森林水文学研究开端的标志。流域面积是影响森林水文过程的一个重要参数,它的范围从几平方公里到数百平方公里以至更大区域。

森林对流域产水量的影响,美国于1909年在Wagon Wheel Gap进行的试验是严格意义上的流域对比实验,经过8年的校核观测后将其中一个流域的森林全部砍伐掉,又经过7年的对比观测实验,结果显示砍伐灌丛山杨和针叶树的 81hm^2 流域每年约增加水量 30mm 。此后,通过流域对比研究评价植被清除或植被类型变化对产水量的影响日渐增多。除对比流域试验外,流域自身对比法也较为广泛采用,但流域自身对比,由于难以将气候条件变化对产水量的影响,从植被变化的影响中区分出来而影响评价的准确性。Stednick将美国95个流域试验进行了系统总结,将各流域位置、流域名称、流域面积、海拔高度、坡向、土壤类型、植被状况、年平均产水量、年平均降水量、流域采伐面积比例、增加的流域产水量以及实验流域所处的水文区域进行了对比。结果表明,当采伐达100%时,年增加的流域产水量最大可达 750mm ,导致不同水文区以及同一水文区森林采伐对流域产水量变化影响的差异是由多种原因引起的,其中包括:采伐方式、气候条件、土壤地质条件、地形条件、水文测验等在采伐后降水径流影响在很大程度上依赖于森林植被恢复的过程,在采伐控制措施比如使用除草剂来控制植被恢复的情况下,流域产水量增加的趋势将长期持续下去。

前苏联学者Moiseev根据对苏联西北部和上伏尔加流域 $100\sim 1900\text{km}^2$ 以及 $2000\sim 20000\text{km}^2$ 流域的观测资料认为,在小于 10km^2 的流域,森林覆盖率减少,则流域产水量增加约 19mm/a ;而在大于 10km^2 的流域,随着森林覆盖率的增加,

流域产水量有所减少。

1924 年日本在爱知县试验林场设置 4 个流域试验地, 开始进行流域径流量随林相变化的比较试验。研究结果表明, 森林采伐可增加直接径流 15% ~ 100%, 森林完全采伐年径流量增加 300mm 左右。

英国在北苏格兰的 Coalburn 流域建立了旨在研究针叶树种造林对水文循环影响的试验站, 在苏格兰建立了 Balquhider 流域试验站, 研究结果也表明, 森林植被可以减少产水量, 因而采取短轮伐期的森林经营措施来减少森林对低水流的不利影响。联邦德国在 Upper Harz 山脉从 1984 年开始的 2 个对比试验流域的结果表明, Lange Bramke 流域的森林恢复减少年径流量, 而 Wintertal 流域的森林采伐增加了年径流量。在 Krofdorf 森林水文研究站, 采用了校核观测的办法来剔除其它因素对森林采伐试验的影响, 研究结果表明, 分段采伐流域 96% 的山毛榉林, 采伐后的第二年流域年产水量增加 86mm。迄今为止, 森林拦蓄洪水的作用在定性上是明确的, 但对森林削减洪水灾害作用的定量分析方面尚有不同的观点。

前苏联学者用 175 个流域的观测资料进行了系统分析, 研究结果认为, 洪峰模数与流域森林覆盖率呈线性负相关, 在 100% 森林覆盖率的条件下, 森林可以减少洪峰的最大程度为 0.4。英国在威尔士中部开展了 Plynlimon 流域试验, 旨在对比森林流域与牧草流域的河川流量, 研究结果表明, 森林流域的洪峰流量低于牧草流域, 而在特大暴雨条件下两者没有显著差别; 森林流域的蒸发高于牧草流域。世界各国的研究结论表明, 森林对于削减洪峰、延长洪峰历时具有一定的调节作用, 而对洪水灾害的减弱程度则随与暴雨输入大小和特性有关。就小暴雨或短历时暴雨而言, 森林具有较大的调节作用, 但对特大暴雨或长历时的连续多峰暴雨来说, 森林的调蓄能力是有限的, 因为森林的拦蓄容量已为前一次暴雨占去大部分, 再次发生暴雨时森林的拦蓄作用会大大降低。甚至有人认为, 由于森

林的拦蓄作用,当连续降水时产生洪水叠加而增大了洪峰量,将导致更大的洪水灾害。森林蓄水容量与森林类型、特征、土壤层厚度及地质、地貌等条件有关,因此不同自然地理区及不同水文区,森林与洪水的关系不能一概而论。

森林对径流泥沙的影响、防止土壤侵蚀及减少径流泥沙是森林重要的水文生态功能之一。但是,在开展森林对土壤侵蚀和河流泥沙量影响的研究中,由于各自从不同的学科领域出发,针对不同的自然社会经济条件,在研究方法、研究尺度和研究对象上均有显著的差别。在欧洲,尤其是在英国,土壤侵蚀主要是地貌学家所关注的问题,而在美国又是农学家关注的热点。近年来,欧美地貌学家在探求生物在地貌发育过程的作用中,开创生物地貌学的研究。它强调在地貌发育过程中对侵蚀、搬运、沉积、风化等物理化学过程在景观尺度 and 时间尺度上的影响,其中以利用植被参数和土地利用参数来模拟流域产沙最具代表性。美国森林生态学家在对森林采伐与演替引起森林生态系统各种过程与格局变化的研究中,以生态系统为单元,研究森林植被变化对土壤侵蚀以及采伐对河川径流泥沙含量的影响,结果表明,生物量积累过程是控制土壤侵蚀的主要生物学机制。

森林对水质的影响在欧美研究较多,主要包括两个方面:一是森林本身对天然降水中某些化学成分的吸收和溶滤作用,使天然降水中化学成分的组成和含量发生变化;二是森林变化对河流水质的影响。从美国的 Coweeta 森林生态和水文研究站开展生态系统营养循环研究开始,人们就注意到森林对流域营养元素的影响。20 世纪 70 年代,整地、除草剂以及林火对溪流水质的影响是 Coweeta 森林生态和水文研究站的主要研究内容之一。20 世纪 70~80 年代,酸雨成为影响河流水质和森林生态系统健康的主要环境问题,尤其是中欧严重的大气污染通过对树叶的直接破坏或引起严重土壤酸化,进而导致了森林的严重破坏,流域森林覆盖率的减少伴随着持续酸化对流域水文