

酸化胁迫下的 森林健康研究

——以重庆铁山坪为例

Forest Health Under Acidification Stress

—— A Case Study of Tieshanping in Chongqing

李志勇 王彦辉 著



 中国农业出版社

酸化胁迫下的森林健康研究

——以重庆铁山坪为例

Forest Health Under Acidification Stress

——A Case Study of Tieshanping in Chongqing

李志勇 王彦辉 著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

酸化胁迫下的森林健康研究：以重庆铁山坪为例/李志勇，王彦辉著．—北京：中国农业出版社，2009.4
ISBN 978-7-109-13464-5

I. 酸… II. ①李…②王… III. 酸雨—影响—森林—研究—西南地区 IV. X517

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 033981 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 黄 宇

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月北京第 1 次印刷

开本：850mm×1168mm 1/32 印张：6.5

字数：180 千字

定价：35.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误，请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书是执行国家林业局天然林保护工程科技支撑课题“天然林保护工程区森林灾害预防技术”(TBKJ2003-04)、科技部973项目课题“酸沉降对森林植被和农作物的影响及评价方法研究”(2005CB422207)和中国林科院中央级公益性科研院所项目“影响森林健康的水分养分循环过程与胁迫研究”(CAFRIF200702)的主要成果。在对我国西南典型酸雨区重庆市江北区铁山坪的主要森林类型(马尾松纯林、香樟纯林、木荷纯林、马尾松香樟混交林)的健康情况进行详细调查研究的基础上,比较了不同森林类型的土壤化学性质、叶量损失和细根生长等健康指标,探讨了评价马尾松树冠健康水平的阈值,分析了酸化森林土壤撒施石灰石粉剂量的健康改善效果,评价了研究地区的主要植物对酸沉降的敏感性和抗性,可为酸化森林生态系统的健康监测、评价和调控及恢复与管理提供理论与技术支持。

本书可供从事森林生态、森林管理、森林土壤、环境保护、环境监测等专业研究人员、大专院校师生,以及生产部门的有关管理与技术人员参考。

序

大气污染和酸沉降是当前我国和世界都面临的重大生态环境问题，对人体和生态系统的健康具有不可忽视的影响。重庆是我国最早发现酸雨严重危害林木的地区之一，由于地处长江上游和三峡库区，加之本身属于西南地区的经济中心，所以了解本区域酸沉降胁迫下的森林健康状况、寻找实用有效的调控措施、恢复和维持森林的多种功能，对于重庆市、三峡库区乃至长江流域的生态平衡与经济发展都具有重要意义。

地处重庆市江北区铁山坪的森林，距离主城区仅25km，属于重庆市的四大肺叶之一，具有重要的生态服务功能，占据着重要的生态区位。作者选择了铁山坪林场的主要森林类型，野外调查比较了酸化胁迫下的马尾松纯林、香樟纯林、马尾松香樟混交林、木荷纯林的土壤化学性质、林木地上生长和根系生长情况、树叶元素含量等指标；进行了森林健康的综合监测与评价，探讨了马尾松树冠健康评价的阈值；观测和评价了在酸化土壤撒施不同剂量石灰石粉对马尾松生长和健康状况的改善效果，探讨了利用香樟等耐酸树种混交造林或林下栽植作为改造马尾松纯林和调控其健康水平的林学措施的可行性；还调查了研究地区

多种林木和植物的受害情况，比较了其抗酸性差别，初步提出了一批抗酸树种，为在酸化胁迫环境下选择抗酸树种造林提供了科学依据。该研究取得的大量基础数据和一些宝贵成果，对于恢复和提高酸沉降区尤其是重庆林区的森林健康水平具有重要的学术价值和应用前景。

本书资料丰富、内容翔实、综合性强、分析深入。在其出版之际，我谨向作者取得的成果表示衷心的祝贺，并相信本书的出版能为重庆市以及类似地区的酸化森林生态系统的恢复提供积极的借鉴和指导。

中国工程院院士 王文兴

2008年11月5日于北京

前 言

森林是地球陆地生态系统的主体。它不仅向人类提供木材及果品、药品等林副产品，而且还具有涵养水源、保持水土、调节气候、净化环境、孕育和保存生物多样性等生态功能。同时，也具有医疗保健、陶冶情操、旅游休憩等社会功能。然而，不断增加的环境胁迫导致了森林的健康退化和功能降低。怎样恢复和维持森林生态系统的健康水平，是变化环境条件下森林生态系统经营必须面对和解决的问题。

作为我国面积最大、最年轻的直辖市和世界上最大的内陆山城，重庆是著名的历史文化名城和长江上游的经济中心，也是悬挂于联合国大厅的世界地图所标出的4个中国城市之一。重庆地处长江上游三峡库区，境内森林担负着特殊而重要的生态环境保全功能，属于天然林保护工程重点地区。重庆森林的健康状况不仅直接关系到重庆自身，也关系到三峡库区乃至整个长江流域的生态安全与经济发展。

由于长期遭受严重的大气污染和酸沉降危害，重庆森林健康水平持续低下，如森林土壤和水质酸化、林冠稀疏、生长量降低和病虫害严重，并导致森林的生产和生态功能

下降，严重影响到重庆、三峡库区和长江中下游地区的生态安全 and 经济可持续发展。因此，提高应对环境变化影响的能力，丰富森林生态系统经营的内容，恢复森林的健康水平和功能潜力，已成为重庆的林业发展和生态环境建设的新任务。

针对重庆林业发展的科技需要，2000 年以来中国林业科学研究院在重庆市江北区铁山坪这个酸沉降危害森林的典型地区连续多年开展了森林健康的研究。李志勇博士在中国林科院森林生态环境与保护研究所做博士后期间，参加了合作导师王彦辉研究员负责的国家林业局天然林保护工程科技支撑课题“天然林保护工程区森林灾害预防技术”(TBKJ 2003-04)，做了大量的调查研究。在博士后出站以后，李志勇博士继续参加在铁山坪实施的科技部 973 项目课题“酸沉降对森林植被和农作物的影响及评价方法研究(2005CB422207)”和中国林科院中央级公益性科研院所项目“影响森林健康的水分养分循环过程与胁迫研究(CAF-RIF200702)”。本书就是对重庆市江北区铁山坪的主要森林类型(马尾松纯林、香樟纯林、木荷纯林、马尾松香樟混交林)开展的健康监测与评价研究的成果。

全书共有八章，第一章阐述了森林健康研究的发展历程及德国和欧洲的森林健康监测技术体系，并提出了要研究的主要内容。第二章介绍了研究地点的基本情况及其研究方法。第三章评价了马尾松纯林的健康情况，包括不同叶量损失率时的马尾松优势木树冠下的土壤化学性质、针叶

元素含量和细根分布，并探讨了马尾松优势木的树冠健康评价阈值。第四章分析了香樟纯林的土壤化学性质及树木健康情况。第五章分析了木荷纯林的土壤化学性质及树木健康情况。第六章比较了酸化土壤撒施不同剂量石灰石粉对马尾松及其林冠下栽植木荷健康状况的改善效果。第七章评价了马尾松香樟混交林的土壤化学性质及树木健康情况，并与毗邻的立地、空间、密度和年龄均相近的马尾松纯林进行了比较。第八章比较和评价了研究地区 71 种植物对酸沉降的敏感性和抗性。

最近，重庆市已制订了建设“国家森林城市”的宏伟目标，恢复和提高森林的健康水平应是其重要内容之一。我们期望本书的出版能对重庆的林业建设和森林健康经营有所帮助。同时，本书是作者近年来的最新研究成果，可供从事森林生态、森林管理、森林土壤、环境保护、环境监测等专业研究人员、大专院校师生，以及生产部门的有关管理与技术人员参考。由于时间仓促和作者水平所限，书中不足和错误在所难免，敬希学界专家和广大读者不吝赐教，批评指正。

目 录

序

前言

1 引言	1
1.1 研究意义	1
1.2 森林健康的研究发展历程及德国和泛欧洲的 监测技术体系	2
1.2.1 森林健康的研究发展历程与主要进展	2
1.2.2 德国和泛欧洲的森林健康监测技术体系	5
1.2.3 泛欧洲的森林健康监测的主要内容和方法	9
1.3 我国严重的大气污染和酸沉降及开展森林健康 监测的紧迫性	11
1.4 研究内容	14
2 研究地区概况及研究方法	15
2.1 研究地区概况	15
2.2 研究方法	16
2.2.1 样地设置	16
2.2.2 树木、根系和土壤化学监测	20
2.2.3 数据处理	25
3 马尾松纯林的土壤化学性质及树木健康	28
3.1 马尾松纯林的土壤化学性质	28
3.1.1 土壤 pH	29

3.1.2	土壤交换性阳离子含量和盐基饱和度	31
3.1.3	土壤全氮、全磷、全硫和有机质含量	33
3.2	马尾松纯林的树木健康	34
3.2.1	叶量损失率	35
3.2.2	针叶变色率	36
3.2.3	针叶元素含量	36
3.2.4	树冠生长和健康评价阈值	38
3.2.5	细根分布	40
3.3	讨论和小结	49
4	香樟纯林的土壤化学性质及树木健康	51
4.1	香樟纯林的土壤化学性质	52
4.1.1	土壤 pH	52
4.1.2	土壤交换性阳离子含量和盐基饱和度	53
4.1.3	土壤全氮、全磷、全硫和有机质含量	55
4.2	香樟纯林的树木健康	56
4.2.1	冠层厚度	56
4.2.2	冠幅	57
4.2.3	叶量损失率	57
4.2.4	叶片变色率	58
4.2.5	树高	59
4.2.6	胸径	59
4.2.7	根系分布	60
4.3	讨论和小结	71
5	木荷纯林的土壤化学性质及树木健康	73
5.1	木荷纯林的土壤化学性质	74
5.1.1	土壤 pH	74
5.1.2	土壤交换性阳离子含量和盐基饱和度	75

5.1.3 土壤全氮、全磷、全硫和有机质含量	77
5.2 木荷纯林的树木健康	78
5.2.1 冠层厚度	78
5.2.2 冠幅	79
5.2.3 叶量损失率	80
5.2.4 叶片变色率	80
5.2.5 树高	81
5.2.6 胸径	82
5.2.7 根系分布	83
5.3 讨论和小结	91
6 酸化土壤撒施石灰石粉对林木健康状况的改善效果	94
6.1 对马尾松健康状况的改善效果	95
6.1.1 地上生长状况	95
6.1.2 针叶营养状况	106
6.1.3 细根分布	109
6.2 对木荷健康状况的改善效果	118
6.2.1 冠层厚度	118
6.2.2 冠幅	119
6.2.3 叶量损失率和叶片变色率	119
6.2.4 树高	120
6.2.5 近地面直径	121
6.3 讨论和小结	121
7 马尾松香樟混交林的土壤化学性质及树木健康	124
7.1 马尾松香樟混交林的土壤化学性质	124
7.1.1 土壤 pH	124
7.1.2 土壤交换性阳离子含量和盐基饱和度	125
7.1.3 土壤全氮、全磷、全硫和有机质含量	125

7.2 马尾松香樟混交林的树木健康	126
7.2.1 冠层厚度	126
7.2.2 冠幅	127
7.2.3 叶量损失率	127
7.2.4 叶片变色率	127
7.2.5 树高	127
7.2.6 胸径	128
7.2.7 根系分布	128
7.3 讨论和小结	155
8 植物对酸沉降的敏感性与抗性调查	161
8.1 调查的方法、地点和对象	161
8.2 调查结果	162
8.2.1 植物受害状况	162
8.2.2 不同植物对酸沉降的敏感性和抗性比较	165
8.2.3 抗酸沉降植物的筛选	167
8.3 结论	168
参考文献	169
后记	192

1 引言

1.1 研究意义

重庆是我国大气污染和酸雨发生最早及污染程度最严重的地区之一。由于长期遭受酸沉降影响,这里的森林受害非常明显,经济和环境损失巨大(杨联章,1985;Zhao & Xiong,1988;Zhao et al.,1988;刘厚田等,1989;余叔文等,1989;Zhao & Seip,1991;王文兴,1994;Liao et al.,1998;冯宗炜,2000;Wang et al.,2007)。

马尾松(*Pinus massoniana*)、香樟(*Cinnamomum camphora*)和木荷(*Schima superba*)都属于重庆的乡土树种(何定萍和王红娟,2005;李元合,2008)。但三者对酸沉降胁迫的响应存在较大的差别。在重庆林区,马尾松作为主要的针叶树种,在造林中被广泛使用,其纯林占绝对优势,面积达 $122.2 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占林分面积的 62.1% (滕秀荣,2005)。马尾松对酸沉降和土壤酸化反应敏感(吴刚等,1994),常表现出中等以上程度的受害,如针叶大量凋落、树冠稀疏和死亡率较高等(Bian & Yu,1992;李志勇等,2007a;2007b)。而珍贵的用材树种香樟和木荷作为造林中有所应用的主要常绿阔叶树种,抗酸能力较强,在马尾松明显受害的相似立地上生长时常看不出明显的受害特征(吴刚等,1994;冯宗炜等,1999;李志勇等,2008a)。木荷还是著名的生物防火和生态树种(李振问等,1998;范辉华等,2003)。20 世纪 80 年代以来,我国一直就有关于重庆酸沉降危害马尾松林的报道,但主要集中在土壤性质的影响方面,很少涉及到林木的健康。同时,有关林区香樟和木荷的健康监测及

其他植物对酸沉降胁迫的敏感性和抗性的评价研究也非常缺乏。故此,对重庆酸雨区马尾松、香樟和木荷等的健康状况进行研究就显得尤为重要。

1.2 森林健康的研究发展历程及德国和泛欧洲的监测技术体系

1.2.1 森林健康的研究发展历程与主要进展

20 世纪 70 和 80 年代,欧洲、北美和亚洲的许多国家出现了分布范围极为广泛的森林衰退现象,主要表现为叶片发黄和非正常脱落、枯梢、细根死亡、生长受阻和树木死亡 (Tomlinson, 1983; Blank, 1985; 赵青儒, 1988; 王文兴, 1991; Oszlányi, 1997; Aamlid et al., 2000; EPA, 2000; Badea et al., 2004; Purdon et al., 2004; Oliva & Colinas, 2008)。其中原联邦德国的森林衰退现象最为严重。1982 年、1983 年和 1984 年,其森林衰退面积分别占森林总面积的 7.8%、34.4% 和 50.2%, 受影响的树种主要包括欧洲冷杉 (*Abies alba*)、欧洲山毛榉 (*Fagus sylvatica*)、挪威云杉 (*Picea abies*) 和欧洲赤松 (*Pinus sylvestris*) 等 (Tomlinson, 1983; 王彦辉, 2001)。当时把这种新型森林衰退现象称为“森林死亡 (Waldsterben)” (Ulrich, 1990)。

位于欧洲中部的德国是世界上主要的工业化国家之一,也是一个森林资源丰富的国家。德国国土面积 $35.7 \times 10^4 \text{ km}^2$, 森林面积 $10.8 \times 10^4 \text{ km}^2$, 森林覆盖率达 30%, 且分布均匀。森林总蓄积量 $32 \times 10^8 \text{ m}^3$, 木材蓄积 $270 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。森林作为生态环境的一个重要组成部分,在德国备受重视 (张会儒等, 2002; 王忠仁和韩爱惠, 2007)。

大面积的森林衰退现象引起了德国政府、民众和科学家的极大重视。从 1983 年起,德国在原有的森林资源与环境监测体系

中,加入了森林健康监测和评价内容,率先开始了森林健康监测和评价研究,是森林健康研究的先驱(Committee on Biologic Markers of Air-Pollution Damage in Trees et al., 1989; 王彦辉等, 2007)。

通过固定样地的长期监测,发现导致新型森林衰退的主要危害因子是从大气输入到森林生态系统中的污染物。据 1999 年联邦德国农林部报道,从大气输入到森林生态系统中的有害物质总输入量超过了森林的可承受能力(de Vries, 1996; 1999)。

由于空气污染的跨国界特征,这个问题的研究迅速扩大到了整个欧洲。泛欧洲 31 个国家从 1986 年开始,采用统一的监测方法体系启动了“The International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (ICP Forests) (空气污染对森林影响评价和监测计划)”(Szepe-si, 1997; Fischer et al., 2007)。结果表明,通过大气输入到森林中的有害物质可以直接影响森林生态系统的营养状况。大气沉降导致土壤酸化,土壤酸化又导致物种多样性和生态系统多样性的改变,进而影响生态系统的营养物质平衡和导致营养元素损失(de Vries, 1996)。

大气中的硫化物、氮化物、氨气和臭氧对新型森林衰退起着关键性的作用。这些因子的作用随时间和空间的变化而变化,有些可以单独导致林木的损伤,或是降低林木的抗性而成为其他致害因子的作用条件(PCC, 1986; 1994; Bytnerowicz et al., 2003)。

目前,对这种新型森林衰退的机理研究已取得明显的成效,并提出和实施了包括投加石灰石和白云石等碱性物质在内的各项控制和缓解酸沉降对森林危害的措施。

酸沉降对植被的影响大致可分为直接影响和间接影响。直接影响一般是指酸沉降通过引起植物叶片形态结构的变化,如褪绿、坏死斑、失水萎蔫和提早落叶等,以及生理和生化的变化,

如叶片细胞膜透性增加、膜脂过氧化作用加剧、气孔扩散传导率增高、酶活性的增高或降低、叶细胞 pH 和原生质等电点的下降、叶绿素含量减少、光合速率下降和呼吸速率上升等，导致植物生长量减少和生产率下降 (Magel et al., 1990; Reddy et al., 1991; Bäck & Huttunen, 1992; 冯宗炜等, 1999; 单运峰, 1994; Hutchinson et al., 1999; Velikova et al., 2000; Izuta et al., 2004; Zeng et al., 2005; Sant' Anna-Santos et al., 2006; Wyrwicka & Sklodowska, 2006; Kuki et al., 2008)。间接影响主要包括酸沉降通过对土壤化学性质的改变，如土壤 pH 下降、土壤盐基离子淋失、盐基饱和度下降和铝活性增加，导致植物营养不良和生产率下降；通过对土壤微生物区系和活性的改变，如抑制土壤微生物的硝化、氨化和固氮作用等，改变土壤氮素水平和土壤养分的循环，从而抑制植物生长 (刘厚田等, 1989; Ulrich, 1990; Johnson et al., 1994; 杜晓明和田仁生, 1996; 周国逸和小仓纪雄, 1996; Hutchinson et al., 1998; Kurz et al., 1998; Roth & Fahey, 1998; 姜文华等, 2002; Menz & Seip, 2004; 王文兴等, 2005; Sanderson et al., 2006; Zhang et al., 2007)。

Ulrich (1990) 提出的土壤酸化—铝毒理论较为系统地论述了酸沉降对森林的危害机制，并为大多数学者所接受。他的主要论点是，由酸沉降引起的土壤酸化及其对植物根系和养分吸收的影响是森林衰退的主要原因。

研究表明，一方面，在酸化森林土壤中投加石灰可改善土壤化学和生物学特性、提高森林健康水平和促进林下植被生长 (Huettl & Zoetl, 1993; Brahmer, 1994; Wanner et al., 1994; 杜晓明和刘厚田, 1994; 杜晓明和田仁生, 1996; Gebauer et al., 1998; Hallbäcken & Zhang, 1998; Nowotny et al., 1998; Rodenkirchen, 1998; Houle et al., 2002; Lundström et al., 2003; Røfsberg et al., 2006; Moore et al., 2008)。另一方面，尽管投加