

• 华夏英才博士论文文库 •

酸化森林生态系统 对环境变化的响应

王彦辉 / 著



华文出版社

·华夏英才博士论文文库·

酸化森林生态系统 对环境变化的响应

王彦辉 著

华 文 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

酸化森林生态系统对环境变化的响应/王彦辉著. -北京: 华文出版社, 2001.9

ISBN 7-5075-1179-0

I. 酸… II. 王… III. 森林-生态系统-环境酸化-研究 IV. S718.55

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 045281 号

华 文 出 版 社

(邮编 100800 北京市西城区府右街 135 号)

网 址: <http://www.hwchs.com>

电子信箱: webmaster@hwchs.com

电话 (010)83086663 (010)83086853

新华书店经销

北京市通县大中印刷厂印刷

850×1168 32 开本 10.75 印张 230 千字

2001 年 9 月第 1 版 2001 年 9 月第 1 次印刷

*

定价: 20.00 元

内 容 简 介

本书以作者在德国数年研究的结果为基础，结合其它有关研究和监测结果，比较系统地介绍了森林生态系统，尤其是森林土壤对以酸沉降和气候变化为突出特征的环境变化的响应。涉及的内容比较广泛，包括：室内控制条件下的土壤有机质分解、分解剩余物的化学组成变化和分解过程中的酸化过程、扰动和未扰动土柱的生物元素淋失；自然条件下的林地土壤溶液化学组成变化；林分尺度的关于森林生态系统酸化机制和元素平衡的长期定位研究、控制降水化学组成和时间分配的大型屋顶实验；德国和欧洲的森林健康与森林环境监测。

本书可供森林生态、森林土壤、全球变化、环境保护、环境监测、林学等专业的研究和教学人员、学生、管理和生产部门的有关人员参考。

前 言

森林是陆地生态系统的主体，在维持生态平衡中发挥着重要作用。上世纪以来，伴随着工业和经济的空前发展，产生了大规模的生态、环境、资源问题，造成了一系列的全球性的生态失衡恶果，并毫无例外地对森林生态系统的平衡和稳定产生了明显影响，目前的一个主要问题之一是以酸沉降和气候变化为突出特征的环境变化对森林的危害。目前，我国森林遭受酸沉降的危害也已十分严重，随气候变化和酸沉降进一步加剧，森林遭受环境变化的不利影响也将日益严重和明显化。了解森林生态系统对环境变化的响应过程和受害机制，是采取有效措施减免森林受害、维持森林生态系统的稳定性、保护和发挥其多种生产和生态功能的前提和基础，也是国内外有关学术界普遍关注的研究热点。

和先进国家相比，国内较多研究森林生态系统维持生态平衡的作用，但相对较少研究环境变化对森林生态系统本身的影响，这对目前国家大力提倡的生态环境建设来说不能不说是一个不足。本书比较系统地介绍了包括作者本人研究成果在内的森林生态系统尤其是森林土壤对环境变化响应的国外研究成果和森林健康监测进展，以求能促进国内有关专业的科研、教学及林业生态环境建设的均衡发展。

我有幸在 1991 年被中国林科院和国家教委选派到德国哥廷根（Göttingen）大学林业与森林生态系的土壤与森林营养研究所攻读博士学位，从事森林土壤化学性质对环境变化响应的研究。该所在森林生态、森林土壤和森林受害等方面的研究都很著名，一直站在相关学科的国际前沿。在 1991~1993 年，国家教委提供了奖学金；在 1994~1996 年，德国 Friedrich-Ebert 基金会提供了奖学金。在国外学习研究期间得到了该所所长即我的恩

师 Horst Fölster 教授和其继任者 Friedrich Beese 教授、造林研究所 Burghard von Lüpke 教授、汉堡大学 Josef Bauch 教授等人的宝贵指导，并为我的研究提供了优越的环境和实验条件。在留德几年间，尤其得到了 Peter Rademacher 博士各个方面的具体细心指导和帮助。Sabine Augustin 博士、Jörg Priess 博士、Anne Sellhorn 女士等同事也在专业和技术方面提供了宝贵支持。我的妻子和女儿为了支持我的学习作出了很大奉献，并和我的父母一道为我提供了精神支持。在 1996 年底回国以后，中国林科院的院长和各级领导以及多位师长，如蒋有绪院士、唐守正院士、徐德应研究员等，都对我回国后的工作启动给予了积极支持。回国后第一周内院领导就给予了工作启动经费，随后国家人事部、国家教育部也给予了留学回国工作专项资助。在这些支持下，我在自己国外研究成果的基础上，补充了所熟悉的其它有关的德国先进研究成果，整理成此书稿。在需要出版的时候，又得到了中共中央统战部华夏英才基金的出版资助。回顾这些历程，得到了如此多的来自亲人、朋友、同事、单位和国家的支持与帮助，实在感动。如果这本书的出版能够或多或少地帮助读者了解国外尤其是德国的对森林生态系统响应环境变化的研究成果，了解欧洲的森林健康监测现状和技术，并能促进国内相关学科的科研、教学和生产活动的话，则能使我感到一些自慰，没有愧对国家培养、领导期望、师长教诲、同事帮助和家人奉献。

限于篇幅和森林生态系统的复杂性，还有很多相关的基础方面和研究成果没有涉及和展开，加之作者知识所限，难免有错误和不当之处，恳请读者批评指正。

王彦辉

2001 年 3 月 13 日

于中国林业科学研究院

引 言

自从 20 世纪 70 年代末以来,在德国和很多欧洲国家陆续出现了大面积的所谓的“新型森林受害”。经过众多研究,人们逐渐清楚地认识到,这个“新型森林受害”的原因不能被解释为某个单个因素,而是很多不同的非生物的以及生物的胁迫因素共同作用的结果,其中同时陪伴有土壤内部酸化过程,但由外部酸沉降导致的土壤酸化是“新型森林受害”的更重要的胁迫因素。土壤酸化可以通过常见的营养元素减少或通过土壤溶液中出现毒性离子以及与此相连的根系生长反应和离子吸收来对森林进行危害 (Matzner et al., 1984b)。

在欧洲,对酸沉降危害森林的研究结果唤起了民众和政府对环境问题的空前重视,经过多年努力,已经非常有成效地实施了降低空气污染和减轻森林死亡危害的措施。在德国,SO₂ 的年总排放量从 1980 年的 3194 kt 下降为 1990 年的 940 kt,NO_x 的年总排放量从 1987 年的 2927 kt 下降到 1990 年的 2600 kt。同一时间内,欧洲的 SO₂ 的年总排放量从 51555 kt 下降到 36104 kt,但是 NO_x 的年总排放量没有什么变化,仍停留在 20187 kt 的水平。对众多的森林生态系统的酸沉降监测表明,在 1995 年以前的 10 年间,硫沉降及与此相连的酸沉降明显减少了 (Meesenburg et al., 1995)。尽管如此,这个降低了的森林生态系统的硫沉降输入速率仍远大于森林生态系统的承受能力阈值。例如,在 Solling 和 Thüringen 的挪威云杉林的硫沉降输入速率分别为 40~50 和 35~60 kg ha⁻¹ a⁻¹。与硫沉降输入相反,以硝酸根和铵离子形式进入多数森林生态系统的 N 沉降输入以及与此相连的酸沉降输入则表现为没有什么变化甚至呈轻微上升的趋势 (Meesenburg et al., 1995),很多林分的年均输入速率还停留在 30~40 kg

ha⁻¹的水平上,许多林分甚至出现了氮饱和现象(Eichhorn, 1995)。由此得出结论,森林生态系统的污染物输入负荷仍像以前一样处于非常高的水平,其输入速率仍远大于森林生态系统的承受阈值以及森林土壤的缓冲容量,如德国1993年仍有22%的挪威云杉、20%的欧洲赤松、32%的欧洲山毛榉和45%的栎树遭受着明显危害(即25%以上的针叶或叶片损失率)。由于除了地上的作用途径以外,地下作用途径也在森林受害中起着重要作用,还由于在土壤内经过多年酸沉降输入而累积的酸性物质以及毒性物质将长期停留在土壤系统内,而且它们的毒害作用和地上的酸沉降输入变化相对来说没有太大的相关性,其毒害作用会长期存在,所以到现在为止仍不能解除对森林受害的警报(Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 1993)。

人类导致的温室气体浓度一直上升,加剧了全球气候变化。早在19世纪,研究人员就已经观测到一系列重要气候参数的变化,如全球近地面气温平均值上升了0.3~0.6℃。但是,人类在1990年前观测到的最热的5年都发生在过去十年间。气候变化最重要的标志或指标是气温升高和夏季干旱,按照目前应用的气候模型预测,如果到2025年大气CO₂含量提高到工业化前的水平即280ppm的一倍和到2100年提高到多倍,未来100年内全球的近地面年均气温将上升1.5~4.5℃。由于全球气温升高及由此导致的水面蒸发加强,会产生一般来说平均每上升1℃增加2%~3%的降水量变化趋势。然而,陆地夏季降水量一般会减少,从而导致土壤湿度明显降低(Woodward, 1992; EK, 1991, 1992)。此外,地区性气候变化和未来的极端气象事件的频率和幅度变化对森林生态系统的影响要比上面描述的气候参数平均值的变化所起的作用大得多。

气候变化所导致的温度上升、干旱、降水量变化会对由于酸

沉降影响已经严重酸化的森林土壤的化学性质和状态产生什么样的影响？或者说森林生态系统对气候变化和酸沉降的复合作用会有什么响应？是很重要的学术和实际问题，还需要深入研究，既包括单个生态过程，也包括由众多过程组成的过程体系。为此，从1992年5月份到1994年3月底，本书作者进行了一系列研究，其中每个研究组成部分都是为了一个主要研究目的而设计的，因为要想在一个研究组成部分中来研究所有的待观测环境因素的影响是很困难的。这4个组成部分为：

1. 在没有灌溉、渗滤和植物吸收条件下的土壤有机质分解实验

本实验的主要研究目的是确定不同土壤发生层次的土壤有机质的分解如何受到温度和含水量的影响，尤其是如何受到极端干旱条件的影响。这个研究组成部分进行了整整一年的时间，最后，利用有机质的分解速率、地被物浸提液的化学组成、矿质土壤的阳离子交换量及其离子组成特征来评价环境因素的影响。在第3章中对这个研究组成部分进行了详细描述。

为了找到一个用蒸馏水浸提地被物的最优的水:物比，用不同的水量对地被物进行了浸提实验。利用一个经验性的模型分析了水:物比和浸提液的pH值对元素浸提量的影响。然后，利用在第二个研究组成部分内详细描述的渗滤液化学组成的研究结果与浸提实验的研究结果进行了比较，之后找到了一个应该在地被物浸提实验中采用的优化的水:物比。在第2章中描述了这个寻找最优的水:物比的研究过程。

2. 灌溉条件下的土壤有机质分解实验

该实验的主要研究目的是确定不同土壤发生层次的有机质分解如何受到温度、渗滤水量和分解时间的影响。在本实验中，按照土壤发生层次对地被物层和有机质含量高的矿质土壤层分别进行取样，将各层样品混匀后装入聚乙烯做成的土柱内，然后分别

放置到人工气候室内的 3 个温度处理区里。这些土柱每周都用在野外研究林分收集的自然林下降水进行等雨量浇灌。由于研究期间内土柱内一直保持着很高的含水量，所以不能指望在本实验中研究含水量对土壤有机质分解的影响。在第 4 章中描述了这个研究组成部分。

3. 未扰动土柱的生物元素淋溶实验

本实验的主要研究目的是确定主要根系层的生物元素淋溶如何遭受温度和淋溶水量的影响。此外，也研究了温度对淋溶液内生物元素浓度的影响。在本实验中应用了 32 个未扰动土柱，部分栽植有挪威云杉幼树，部分没有栽植幼树，它们被分置到温室里的人工气候箱内的 3 个温度处理区域。每周都用在野外研究林分收集的自然林下降水对这些土柱进行等雨量浇灌。和第一及第二研究组成部分相比，这个研究组成部分的特点是较接近自然状况。由于研究期间内土柱含水量较高，所以不能通过本实验来研究含水量的影响。在第 5 章中描述了这个研究组成部分。

4. 林地土壤溶液的化学组成实验

本实验的主要研究目的是确定林地自然条件下土壤溶液的生物元素浓度如何遭受温度和降水量的影响。在 Solling 的挪威云杉林内的一个取样区内，对地被物的 O_H 层和各个矿质土壤层采用土壤溶液抽取器进行每周一次的土壤溶液取样和分析。在研究期间内，没有遇到极端的土壤干旱，因此未能在本研究组成部分中深入研究极端干旱对土壤溶液化学组成的影响。此外，不可能在 O_L 和 O_F 层通过土壤溶液抽取器来抽取土壤溶液，因此根本不能研究对 O_L 和 O_F 层的影响。在第 6 章中描述了这个研究组成部分。

在前面各章的基础上，于第 7 章中详细分析和讨论了不同研究内容和方法的局限性，并综合分析、比较、讨论了不同环境条件下的主要气候环境因子影响的室内模拟研究结果和野外林地研

究结果,试图将从各个侧面观察到的森林生态系统对环境变化的响应进行集成,得到一个比较全面的认识。

森林生态系统的组成、过程、结构、功能和环境影响都是十分复杂的,而且所处的环境条件变化多样。因此室内实验的结果很难完全代表和定量甚至是定性地说明野外自然条件下森林生态系统的环境响应。为了能更深入、准确、定量地得到这方面的认识,仅进行小规模的时间观测研究是不够的,还必须在林分尺度上开展受酸沉降危害的森林生态系统对环境变化响应的长期定位研究。德国具有森林生态系统长期定位研究的良好传统,并在深化认识森林生态系统的结构、过程和对环境变化的响应机制方面作出了重要理论贡献。在第8章中,以始于20世纪60年代的著名的 Solling 定位研究和其它几个长期监测站点的多年研究结果为例,比较系统地介绍了森林生态系统的酸化过程和森林生态系统对酸沉降的响应。

尺度问题是林业科学研究中的一个重要问题。一般来说,很难把在小尺度的研究结果准确和无条件地推升到大的尺度上去。为了在林分的尺度水平上研究并回答在野外条件下森林生态系统对净化的雨水(假设未来解决了酸雨问题)和对夏季干旱(作为气候变化的一个突出危害和典型特征)的响应,德国哥廷根大学进行了控制野外自然环境条件的大型“屋顶”实验(Bredemeier, et al., 1995; 1998),设计了自然对照区、净雨实验区、控制对照区和“干旱/再湿润”实验区。在第9章中简要介绍了多年研究的主要结果。

为了从地区、国家、洲际的尺度来理解和掌握森林受害的程度及其动态变化,确定有关危害因素,及时制定合适的环境政策和引入合适的森林经营保护技术,唤起和增强保护森林与环境的公众意识,德国在20世纪80年代初首先开始了大面积森林健康监测项目。1986年以后,欧洲各国也按照德国模式进行了森林

受害调查和监测，并很快发展成为统一的森林健康监测和评价方法（Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML), 1989; 1990)。森林健康监测包括四个水平：(1) 林冠健康监测（监测间隔为一年），在第 10 章中简要介绍了德国和欧洲的林冠健康监测方法及多年监测结果；(2) 森林土壤健康监测（监测间隔一般为 10~15 年，也包括部分叶片营养状况监测），在第 11 章中简要介绍了德国的森林土壤监测方法和监测结果；(3) 包括森林生态系统的元素尤其是污染物的输入输出平衡、林地植被和前面两个层次内容的典型森林研究（监测间隔变化在周和年之间）；(4) 以研究生态过程和机理为特征的森林生态系统定位研究（部分监测内容的间隔可到时、分）。目前一般认为前三个水平属监测内容，第四个水平为研究内容。后两个水平的主要内容已经在前面的第 8~9 章中做了简要介绍。

由于不同研究内容中的实验条件和研究方法很不相同，为了便于阅读，尽量在各章中分别介绍各自采用的研究方法，并在各章后面做一个章节小结。

主要参考文献

- Matzner, E., B. Ulrich, D. Murach und K. Rost – Siebert, 1984b. Zur Beteiligung des Bodens am Waldsterben. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/ Waldsterben der Univ. Göttingen. Reihe A, Bd. 2:1 – 20.
- Meesenburg, H., K. J. Meiwes und P. Rademacher, 1995: Long term trends in atmospheric deposition and seepage output in Northwest Germany forest ecosystems. Water, Air and Soil Pollution. 85:611 – 616.
- Eichhorn, J., 1995: Stickstoffsättigung und ihre Auswirkungen auf das Buchenwaldöko-system der Fallstudie Zierenberg. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme der Univ. Göttingen, Reihe A, Bd. 124.
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML), 1993: Waldzustandsbericht der Bundesregierung 1993 – Ergebnisse der Waldschadenserhebung. Landwirtschaftsverlag GmbH
- Woodward, F. I., 1992: The ecological consequences of global climate change. in: Advances in ecological research (Eds.: Begon, M. A. H. Fitter und A. Macfadyen), Vol. 22: 1 – 62. Academic Press.
- EK (Enquete-Kommission), 1991: "Schutz der Erde". Dritter Bericht der Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre", Teilband I, Deutscher Bundestag (Hrsg.). E-

目 录

引言	(1)
----------	-----

第一部分 室内模拟实验

第1章 实验材料来源地点、初始材料和分析方法 ...	(3)
----------------------------	-----

1.1 实验材料来源地点	(3)
--------------------	-----

1.2 土壤剖面 and 初始条件	(5)
-------------------------	-----

1.3 化学分析方法	(5)
------------------	-----

主要参考文献	(9)
--------------	-----

第2章 地被物和腐植质的水浸提液	(11)
------------------------	------

2.1 文献综述	(11)
----------------	------

2.2 研究方法	(13)
----------------	------

2.3 研究结果	(17)
----------------	------

2.3.1 研究结果和讨论	(17)
---------------------	------

2.3.2 浸提模型	(21)
------------------	------

2.3.3 浸提液和渗滤液比较	(23)
-----------------------	------

2.4 小结	(25)
--------------	------

主要参考文献	(26)
--------------	------

第3章 无浇水和渗滤及植物吸收条件下的 土壤有机质分解	(29)
--------------------------------------	------

3.1 文献综述	(29)
----------------	------

3.1.1 土壤有机质分解的指标	(30)
------------------------	------

3.1.2	土壤有机质分解的控制因素	(30)
3.1.3	土壤有机质分解模型	(35)
3.2	研究方法	(37)
3.3	研究结果	(39)
3.3.1	微生物呼吸导致的重量损失	(39)
3.3.2	碳的气态损失	(43)
3.3.3	氮的气态损失	(45)
3.3.4	对生物元素浸提量的影响	(47)
3.3.5	对矿质土壤交换性阳离子的影响	(62)
3.3.6	对于干旱处理条件下 pH 值下降现象的讨论 ...	(68)
3.4	小结	(75)
	主要参考文献	(78)

第 4 章 开放土柱系统条件下各土壤层次

	有机物的分解	(87)
4.1	研究方法	(87)
4.2	研究结果	(89)
4.2.1	林下降水和生物元素的输入量	(89)
4.2.2	年重量损失	(91)
4.2.3	腐植质的某些生物元素的每周净淋失量	(93)
4.2.4	矿质土壤的某些生物元素的每周净淋失量 ...	(101)
4.2.5	生物元素的浇水输入和淋洗输出的平衡	(105)
4.2.6	淋溶水的化学组成	(117)
4.3	小结	(119)
	主要参考文献	(122)

第 5 章 未扰动土柱的生物元素淋失

5.1	实验材料和方法	(124)
-----	---------------	-------

5.2 实验结果	(129)
5.2.1 气候因素对生物元素浓度的影响	(129)
5.2.2 气候因素对生物元素淋失的影响	(138)
5.3 小结	(145)
主要参考文献	(147)

第二部分 林地土壤溶液化学的响应及与室内实验的比较

第6章 林地土壤溶液的化学组成对环境

变化的响应	(151)
6.1 研究方法	(151)
6.2 土壤溶液中生物元素浓度的变化	(153)
6.2.1 有机C和N的浓度变化	(153)
6.2.2 pH值和 H^+ 的浓度变化	(156)
6.2.3 盐基离子(M_b)的浓度变化	(158)
6.2.4 铵离子和非盐基阳离子(M_a)的浓度变化	(164)
6.2.5 阴离子的浓度变化	(169)
6.2.6 Ca^{2+}/Al^{3+} 比和 $M_b/(M_a + H^+ + NH_4^+)$ 比的变化	(174)
6.3 小结	(176)
主要参考文献	(179)

第7章 室内模拟和野外林地研究的

综合讨论和结论	(181)
7.1 研究方法	(181)
7.1.1 研究方法上的问题	(181)

7.1.2	研究方法的总结	(181)
7.2	气候环境因素对土壤化学性质的影响	(184)
7.2.1	对土壤有机质分解的影响	(184)
7.2.2	干旱对浸提液中生物元素浓度的影响	(184)
7.2.3	气候环境因素对土壤溶液和淋溶液中生物 元素浓度的影响	(185)
7.3	未来研究中应注意的问题	(187)

第三部分 森林生态系统的长期定位和 大型野外研究

第 8 章	森林生态系统酸化的长期定位研究	(191)
8.1	森林生态系统的分室结构模型	(191)
8.2	森林生态系统的内源酸化途径	(193)
8.2.1	土壤呼吸产生的碳酸	(193)
8.2.2	在植物吸收和矿化分解之间的离子循环 脱节与其产生的酸	(194)
8.2.3	腐殖质积累的影响	(199)
8.2.4	将生物量移出森林生态系统的影响	(201)
8.3	森林生态系统的酸沉降及外源酸负荷	(202)
8.3.1	空旷地降水沉降	(203)
8.3.2	林冠截持沉降	(206)
8.4	几个长期监测森林生态系统的内源酸净生产量 ...	(220)
8.4.1	参与内源酸生产的生态过程的速率计算	(222)
8.4.2	森林生态系统的主要元素和酸沉降 大气输入	(224)
8.4.3	冠层内的周转	(226)
8.4.4	渗滤水元素输出	(227)