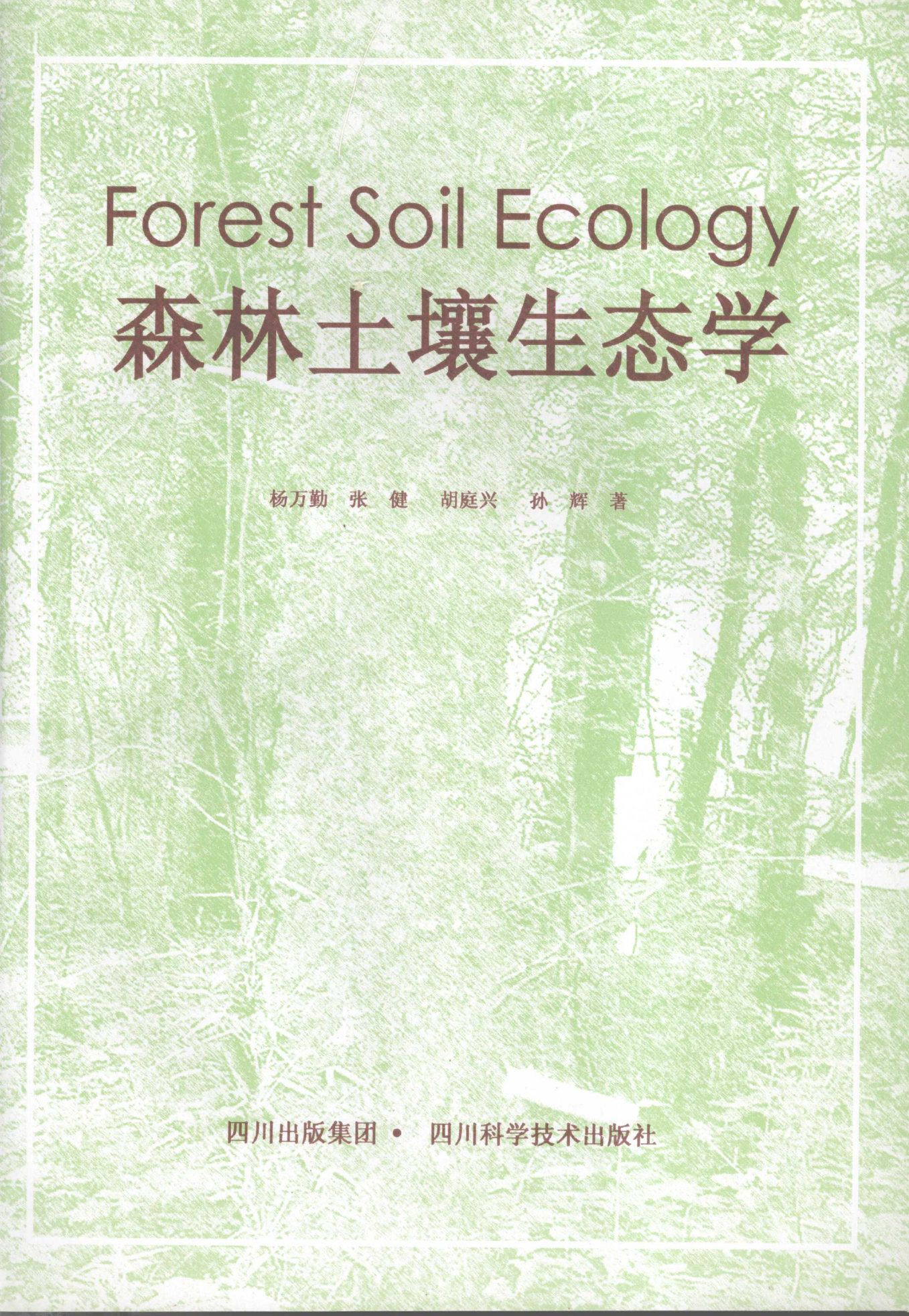


Forest Soil Ecology

森林土壤生态学

*Edited by Yang Wanqin,
Zhang Jian,
Hu Tingxing & Sun Hui*

杨万勤 张 健 胡庭兴 孙 辉 著

The background of the entire cover is a photograph of a forest. It shows several tall, slender tree trunks, likely bamboo or similar thin trees, rising from a dense, green undergrowth. The lighting is soft, suggesting a dappled sunlight effect through the canopy. The overall color palette is dominated by various shades of green and brown.

Forest Soil Ecology

森林土壤生态学

杨万勤 张 健 胡庭兴 孙 辉 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

森林土壤生态学/杨万勤等编著. - 成都:四川
科学技术出版社,2006. 11

ISBN 7 - 5364 - 6098 - 8

I. 森... II. 杨... III. 森林土 - 土壤生态学
IV. S714.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 123755 号

森林土壤生态学

著 者 杨万勤 张 健 胡庭兴 孙 辉
责任编辑 田 霞
封面设计 李 庆
版面设计 叶 兵
责任校对 任 泽
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
成品尺寸 260mm × 185mm
印张 29 字数 630 千 插页 2
印 刷 四川省农科院情报所印刷厂
版 次 2006 年 11 月成都第一版
印 次 2006 年 11 月成都第一次印刷
定 价 88.00 元
ISBN 7 - 5364 - 6098 - 8

■ 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

作者简介

杨万勤(1969.9~),男,汉族,四川乐山人,中共党员,博士,副教授,硕士生导师,中国土壤学会、中国林学会森林土壤专业委员会委员,《世界科技研究与发展》编委,四川省学术和技术带头人后备人选。1990—1994年于四川师范学院生物系学习,获理学学士学位;1994—1997年师从著名生态学家钟章成教授攻读生态学硕士学位,获理学硕士学位;1997年—1998年于乐山师范学院执教;1998—2001年师从土壤学家宋光煜教授和何毓蓉研究员攻读土壤学博士学位,获农学博士学位;2001年6月博士研究生毕业时作为“优秀科研人才”引进到中国科学院成都生物研究所工作,被聘为基地副研究员;2004年11月作为“引进人才”到四川农业大学林学院园艺学院工作,被聘为副教授、硕士生导师。过去10年,主要从事土壤生态、森林生态、全球变化、森林水文等方面的教学和科研工作,主持和主研国家自然科学基金项目、中国科学院“百人计划”项目、中国科学院“西部之光”项目等国家级和省部级项目10余项。过去5年,在《Pedosphere》、《林业科学》、《生态学报》、《植物生态学报》、《应用生态学报》、《生态学杂志》等著名刊物上发表论文50余篇,编写专著2部,指导硕士研究生20名。

张健(1957.8~),男,汉族,重庆人,中共党员,教授,博士生导师,国务院政府津贴获得者,国家留学归国有突出贡献的专家,四川省学术和技术带头人。1983年和1986年在四川农业大学相继获学士和硕士学位。1990~1992年于西德哥廷根大学进修,1993年破格晋升为副教授,获国务院特殊津贴,1996年破格晋升为教授,现任四川农业大学教授、博士生导师、科研处处长,全国普通林业高校教学指导委员会委员。过去20年,主要从事水土保持、森林培育、林木营养的教学和科研工作。主持或主研国家科技部十五国家重大攻关项目、国家西部专项项目、国家七五、八五和九五项目以及其它省部级科研项目20余项,在国内外重要学术刊物上发表论文50余篇,出版专著2部,获省部级科技进步奖二等奖1项,三等奖4项,农业部二等奖1项,国家教学成果二等奖1项。培养博士、硕士研究生20余名。

胡庭兴(1952.2~),男,汉族,四川广汉人,教授、博士生导师、四川省学术与技术带头人,国务院政府津贴获得者,国家留学归国有突出贡献的专家,四川农业大学林学院园艺学院院长,中国森林教育学会高教分会理事,四川省林学会常务理事。过去20年,主要从事林业生态工程和森林经理的教学和科研工作,主持或主研国家科技部七五、八五、九五和十五攻关项目以及其它省部级科研项目20余项,在国内外重要学术刊物上发表学术论文60余篇,主编学术专著2部,副主编1部,参编全国规划教材1部,获省部级科技进步奖二等奖1项,三等奖4项,农业部二等奖1项,国家教学成果二等奖1项,四川省科技进步三等奖1项。培养博士、硕士研究生20余名。

孙辉(1971~),男,汉族,四川南部县人,四川大学副教授、硕士生导师。先后于四川师范学院、中国科学院成都生物研究所、中国科学院南京土壤研究所获理学学士、理学硕士和农学博士学位。过去10年,主要从事土壤生态恢复与重建、水土保持等方面的教学和科研工作,先后主持或参加国家级和省部级科研项目10余项,在国内外重要学术刊物上发表学术论文40余篇,培养硕士研究生20余名。

序

土壤具有一定的肥力，它能供给植物以生活空间、矿质元素和水分，是生态系统中物质和能量交换的场所。从生态系统的角度讲，土壤随生态系统的发生、发展而演变，而土壤的发生、发育和变化又为生态系统的演替打下基础。因此，土壤是陆地生态系统的重要基础。生态学家常常把土壤生态作为生态系统中的一个重要生态因子来研究，很少把它作为一个学科予以系统介绍，况且这些经典的土壤生态学也是传统生态学的延伸。因此，杨万勤博士主编的《森林土壤生态学》专著的面世之可喜可想而知。该书是我国第一本以生态系统的结构和功能为基础，以生态系统过程为主线，以本土资料和作者的研究成果为本底，结合国内外最新成果撰写的有创造性的，具有我国特色的土壤生态学专著，它将为我国土壤生态学研究提供良好的基础，也将为生态环境工程建设提供重要的理论支撑。

本书有以下创新点：

1. 创建了一个全新的森林土壤生态学的理论体系和研究框架。当前出现了不少自我命名的新学科，但它们当中很多缺乏自己的理论体系和研究方法。这种新学科不能认为是真正的新学科。一个没有自己理论体系和研究方法的学科还不能算作新学科。
2. 本书以土壤圈理论作为重要指导思想，并强调土壤生态系统在全球气候变化、地下水库、水土保持等方面的作用及其对大气圈和水体环境安全的贡献。
3. 本书以生态系统的结构、过程和功能为主线，贯穿全书各章，显示了本书土壤生态学重要的特色。

本人有幸首先阅读了这本著作，受益匪浅，故乐意为序，并与作者共勉。

中国生态学会顾问

钟章成

2006 年于西南大学

前 言

自 1869 年德国学者海克尔(Ernst Haeckel)提出生态学的概念以来,生态学的理论不断发展和完善,研究内容和范畴不断扩大,解决生态与环境问题的能力不断增强,对国民经济和国家生态安全的科技支撑能力日益显著,生态学的分支学科不计其数,反映生态学研究成果的专著和学术论文已浩如烟海,但有关土壤生态学的专著还相当少见。已有的几部有关土壤生态学的专著也主要是反映土壤生物群落与其他环境因子之间相互关系以及生物群落之间相互作用的研究成果(Volobuyev, 1964; Coleman & Crossley, 1996; Fitter *et al.*, 1985; Lavelle & Spain, 1999)。过去 50 多年,我国科学家密切联系困扰经济社会发展的生态与环境问题,开展了一系列生态学、土壤学和环境科学的研究,取得了许多卓有成效的研究成果,出版了大量的生态学、土壤学和环境科学的教材和专著,为我国农、林、牧、副、渔业的可持续发展以及生态建设与环境治理做出了巨大的贡献。但迄今为止,我国尚无一本系统反映土壤生态学的概念、理论体系和研究框架的专著或教材问世,许多有关土壤生态的研究成果没有受到应有的重视,这很难满足我国土壤生态学及其相关学科发展的需要。另一方面,以全球变暖和大气 CO₂ 浓度升高为主要特征的全球气候变化,森林面积锐减,生物多样性丧失加剧,水土流失面积进一步扩大,水体、土壤和大气污染严重,土地荒漠化加剧以及生物入侵等全球性和区域性生态与环境问题正在深刻地改变着陆地生态系统的结构和功能,威胁着人类社会的生存与健康,困扰着人类经济社会的可持续发展,而这些生态与环境问题都与土壤生态系统结构和功能的变迁有着直接或间接的联系。因此,出版一部具有中国特色的土壤生态学专著,不仅是中国土壤生态学发展的需要,也是生态建设与环境保护的迫切需要。

森林约占全球陆地面积的 27.6%,作为陆地生态系统的主体,森林生态系统在全球碳循环、水土保持与水源涵养、生物多样性保育、区域气候调节等方面具有十分重要的、不可替代的作用和地位。森林生态系统是全球碳循环中重要的有机碳库,是陆地生态系统中最大的有机碳储库,它以巨大的生物量储存着大量的有机碳。特别重要的是,森林土壤中储存着比生物量中更多的有机碳,单位面积的森林储存的有机碳是农田的 20 ~ 100 倍(陈泮勤等, 2004)。据 IPCC(2000)发表的报告估计,陆地生态系统有机碳库的碳储量约为 2 477 Gt,其中森林植被的有机碳储量约占全球植被碳储量的 77%。土壤有机碳库的碳储量约为 2 011 Gt,而森林土壤的有机碳储量约占全球土壤的 39%。陆地植被通过光合作用每年从大气中吸收的碳约为 120 Gt,其中通过植物呼吸返回大气的碳约为 60 Gt,通过土壤有机质分解返

回大气的碳约为 50 Gt, 通过干扰(例如森林采伐、毁林开荒、秸秆燃烧等)返回大气的碳约 9 Gt, 陆地植被年净碳吸收量约为 1 Gt。这意味着, 森林土壤是陆地生态系统中最大的碳库, 在全球碳循环中起着汇(Sink)、源(Source)、库(Pool)的作用, 森林土壤有机碳库的变化可能导致大气 CO_2 浓度的巨大变化。

森林土壤被誉为陆地生态系统中巨大的“土壤水库”, 在涵养水源、防止水土流失、调节流域水量动态以及提供清洁水源等方面具有十分重要的、不可替代的作用和地位。森林通过林冠层、林下植被层、枯枝落叶层以及土壤层发挥了良好的水文生态效益, 在减轻洪涝灾害上发挥着重要作用。据测定, 1 hm^2 森林可以涵蓄降水约 $1\,000 \text{ m}^3$, $1 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 森林的蓄水量即相当于 $1\,000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 库容的水库。当今世界面临的水资源短缺、土地干旱化和荒漠化、水土流失、水体和土壤污染等危机, 无一不与森林土壤生态系统的结构和功能有着直接或间接的联系。此外, 森林对污染物质的“过滤器”作用以及对大气、土壤和水体质量的改善作用为区域生态安全奠定了坚实的基础。了解森林土壤生态系统的结构和功能, 采取相应的营林技术和对策, 是改善区域性水体、土壤和大气环境质量的重要途径。

森林是地球上生物多样性的庇护所。地球上 50% 以上的物种以森林作为栖息地(这还不包括尚未鉴别和认识的以森林土壤为栖息生境的土壤生物群落)(Lavelle & Spain, 2001), 森林生态系统结构和功能的破坏将导致大量的物种灭绝, 这还不包括土壤生物多样性的丧失。从生态系统功能的角度来看, 森林土壤是生物多样性繁育的基地, 森林土壤生态系统结构和功能的破坏将导致更加严重的生物多样性丧失, 说明森林土壤是林业可持续经营和管理的基础, 但森林土壤的研究已经不仅仅局限于森林生态系统经营和管理的需求, 而是超越了传统的森林土壤研究的范畴和领域, 并与全球碳循环、生物多样性保护、水土保持和水源涵养等密切相关。

进入 21 世纪后, 生态学已经不是一门纯粹的理论研究和只知道说“No”的科学, 而是与生态建设与环境治理以及国民经济的可持续发展密切相关的科学。“生态恢复重建与转型”、“末端治理与源头控制相结合的全过程治理”、“循环经济”、“生态安全”等理念和思想为生态学的发展赋予了新的理论、方法和研究方向。一方面, 全球性环境公约的制定与大型国际研究计划推动了生态与环境科技的发展, 生态学的基础研究与应用研究的结合越来越紧密, 社会需求对生态学的导向更加明显, 生态与环境科技的研究成果对经济社会的可持续发展以及对国家在国际履约中表达国家立场和维护国家利益等方面具有举足轻重的作用和地位。另一方面, 全球气候变化, 水资源匮乏, 生物多样性丧失, 土地荒漠化, 土壤、水体和大气污染等呈现出显著的系统性、区域性、复合性和长期性特征, 严重威胁着人类社会的生存与健康, 阻碍着经济社会的可持续发展。尽管这些生态与环境问题均与森林土壤生态系统的结构和功能有着直接或间接的联系, 但有关森林土壤生态系统结构和功能及其与全球气候变化、水资源安全、生物多样性保护等生态与环境的联系的系统阐述和研究还相当少见, 远远不能满足生态建设和环境保护等的科技需求。因此, 突破经典生态

学、土壤学和环境科学的理论与方法,促进生态学、土壤学、环境科学等的理论与方法的整合与发展,将是 21 世纪生态与环境科技发展的必然趋势。基于森林在全球气候变化、生物多样性保护、水源涵养与水土保持等方面的重要的、不可替代的作用和地位,结合国内外生态学、土壤学、环境科学和林学发展的趋势,赋予森林土壤研究的新理论和新方法,是中国土壤生态学、林学、土壤学、生态学及其相关学科发展的迫切需求。

本书的作者基于过去十多年来从事与森林土壤生态有关的森林土壤微生物、土壤酶、土壤养分、生物元素循环、森林水文生态、全球气候变化等研究的科研积淀及从事土壤学、生态学等教学的经历,尤其是国内外科学家过去二十多年对森林土壤生态的研究成果,编写了这部专著。本书以土壤生态学的理论(Lavelle, 2000; Lavelle & Spain, 2002; 杨万勤等, 2000)为基础,结合土壤圈理论(Zhao & Cao, 2000; Zhao, 1995)以及国内外近二十年来有关森林土壤生态研究的成果和方法,构架我国森林土壤生态学的理论体系和研究框架,阐述其主要的研究领域及相应的研究方法。全书共 10 章:第一章定义了森林土壤生态学的概念,阐述了国内外森林土壤生态学的研究进展,构架了中国森林土壤生态学的理论体系和研究框架,探讨了森林土壤生态学的学习和研究方法;第二章从生态系统水平认识森林土壤的结构和功能及其与当前生态环境问题的联系;第三章从生态系统功能的角度阐述了森林土壤物理生态过程;第四章从生态系统功能的角度阐明了森林土壤化学生态过程及其受控机制;第五、六、七章阐述了土壤动物生态、土壤微生物生态和土壤酶的理论和研究方法;第八章阐述森林土壤生态系统的生物元素循环机制;第九章主要阐述退化森林土壤生态系统恢复与重建的原理、模式与技术;第十章主要阐述国内外有关森林土壤生态系统对全球气候变化的响应机制及国内外的研究进展。本书的出版有望为 21 世纪土壤生态学的学科发展做出微薄的贡献。

本书具有以下四个显著的特点:

- 构建了全新的森林土壤生态学的理论体系和研究框架。已有的土壤生态学理论与专著常常基于土壤发生学的理论或者基于土壤生物学的研究成果,对土壤生态学的描述常常局限于土壤学或生态学的范畴,缺乏自己的理论体系和研究框架。本书的理论体系虽然是建立在土壤学、生态学、环境科学和林学的基础之上,尽管还不完善,但确实具有了相对独立的理论体系和研究框架,使之成为一门真正意义上的新兴边缘交叉学科。这完全不同于传统生态学论著中将土壤作为一种生态因子的描述,也不同于传统土壤学论著中对土壤物理、化学和生物学的描述。
- 为森林土壤生态研究赋予了新的内涵。森林土壤被认为是林业经营和管理的基础。本书结合 21 世纪生态学、环境科学和全球气候变化的理论发展和科技需求,从土壤生态学的角度为森林土壤的研究赋予了新的内涵,对于林学的发展可能具有重要的推动作用。
- 土壤圈理论是本书的重要指导思想。本书的构架始终将土壤作为地圈系统中进行

物质循环和能量交换的最为重要和最为活跃的生态界面,强调土壤生态系统与生物圈、大气圈、岩石圈和水圈之间的联系(linkages)和相互作用(interactions),强调土壤生态系统在全球气候变化、水源涵养与水土保持以及生物多样性保护中的作用和地位。

- 土壤生态系统结构、过程与功能始终贯穿于全书的每个章节。作者拓宽了土壤生态系统的内涵与外延,认为土壤生态过程(soil ecological process)是与生物圈、大气圈、岩石圈和水圈密切联系的动态过程,突出了土壤在地球系统中的作用和地位,强调了土壤生态系统对大气和水体环境安全的贡献,强调了地上/地下系统之间的相互作用。

作者自 20 世纪 90 年代中期从事土壤生态的研究以来,就开始思考编写一部能够反映我国森林土壤生态研究成果的专著。十余年来,虽苦心孤诣,数易其稿,但一直未敢轻易付梓。一方面,由于作者的学识和水平有限,对土壤生态学的认识和研究还相当肤浅,写出的书稿很难反映国内外森林土壤生态的理论体系和研究成果;另一方面,国内外有关森林土壤生态的研究成果虽然很多,但土壤生态学是作为土壤学的一门分支学科还是生态学的分支学科?或者是作为一门介于土壤学、生态学、环境科学等学科之间的一门新兴的边缘交叉学科?迄今国内外对土壤生态学的理论体系和研究框架尚未达成共识。最近,在恩师钟章成教授、宋光煜教授以及何毓蓉研究员的教诲和鼓励下,终于下定出版这部森林土壤生态学专著的决心,在与合作者们进行多次研讨后,最终确定了这本书的理论体系和框架及写作计划。

在这部专著即将付梓之际,我要感谢三位恩师多年来对我的教诲、鼓励和支持!没有恩师们的谆谆教诲和鼓励,学生不可能走向土壤生态研究的学术殿堂,这部专著更不可能问世。还要感谢国内外森林土壤生态研究的同行,是他们在森林土壤生态研究中取得的大量的创新性的研究成果为本专著的撰写奠定了坚实的基础。感谢四川农业大学科研处、林学院园艺学院的领导和同事对这部专著的关心和支持以及对我个人的关心和帮助!感谢多年来一直关心和帮助我的亲人、领导、同事和朋友!

本书的出版得到国家自然科学基金项目“高寒森林土壤有机层生化特性及其对气候变化的响应”(No. 30471378)等项目的资助。特此致谢!

由于我们学识和水平有限,书中难免存在观点和认识上的不足和不妥之处,恳请专家和读者批评指正!

杨万勤

2006 年 6 月于雅安

目 录

序	1
前言	1
第一章 绪论	1
1.1 土壤生态学产生的背景和意义	2
1.2 森林土壤生态学的概念	5
1.3 土壤生态学的研究进展	7
1.4 森林土壤生态学的理论框架	11
1.5 森林土壤生态研究展望	17
1.6 我国森林土壤生态学的研究现状与展望	23
主要参考文献	26
第二章 森林土壤生态系统的结构和功能	33
2.1 土壤与土壤生态系统	33
2.2 土壤物理结构和环境	36
2.3 土壤化学特性和功能	60
2.4 土壤有机质	71
2.5 土壤养分组成和有效性	80
2.6 土壤生物群落的结构和功能	89
主要参考文献	95
第三章 森林土壤物理生态	103
3.1 土壤物理生态过程的重要性	103
3.2 土壤水热动态及其生态功能	107
3.3 土壤水热动态与生物元素循环	112
3.4 土壤生物对水分胁迫的响应	118
3.5 土壤水库的调控因素	120
3.6 土壤空气状况及其调控因素	122
3.7 土壤结构动态	131
主要参考文献	134
第四章 森林土壤化学生态	139

4.1 土壤化学生态研究进展	139
4.2 土壤化学与生物风化	146
4.3 土壤养分生态过程	149
4.4 土壤生态系统中的化感作用	156
4.5 研究展望	164
主要参考文献	169
第五章 森林土壤动物生态	174
5.1 土壤动物群落的生态重要性	174
5.2 土壤动物的定义及分类	174
5.3 土壤动物区系	177
5.4 土壤动物群落的分布特征	178
5.5 土壤动物群落与凋落物分解	182
5.6 环境因子对土壤动物群落的影响	184
5.7 人为干扰对土壤动物群落的影响	186
5.8 土壤动物的研究方法	191
5.9 研究案例	195
主要参考文献	216
第六章 森林土壤微生物生态	223
6.1 土壤微生物群落与土壤微生物生态	223
6.2 土壤微生物的生理类型	225
6.3 土壤微生物群落的组成	226
6.4 菌根	238
6.5 根瘤	254
6.6 土壤微生物群落的分布特征	259
6.7 土壤微生物生物量周转: 睡美人悖论	267
6.8 土壤微生物多样性	268
6.9 土壤微生物生态研究展望	270
主要参考文献	273
第七章 森林土壤酶	278
7.1 土壤酶的来源、种类与生态功能	278
7.2 土壤酶学研究简史	283
7.3 关键森林生态过程中的土壤酶活性研究	286
7.4 研究方法与实践	291
7.5 森林生态系统过程中的土壤酶研究展望	299

7.6 小结	302
主要参考文献	303
第八章 森林土壤生态系统的生物地球化学循环	310
8.1 土壤生态系统的营养结构及其生态重要性	311
8.2 森林凋落物生态	318
8.3 森林生态系统碳的固定、转化与循环	335
8.4 森林生态系统氮的转化与循环	342
主要参考文献	356
第九章 退化森林土壤生态系统的恢复与重建	368
9.1 退化森林土壤生态系统的概念	369
9.2 土壤退化机理及评价指标体系	372
9.3 森林土壤生态系统退化特征	375
9.4 森林土壤生态系统的退化过程	378
9.5 退化森林土壤生态系统的恢复与重建原理	388
9.6 退化森林土壤生态系统的恢复与重建技术	391
9.7 退化土壤生态系统的恢复重建研究案例	393
主要参考文献	400
第十章 森林土壤生态系统对全球气候变化的响应	409
10.1 森林土壤生态系统与全球碳循环	410
10.2 森林土壤碳汇、源和库的时空格局及驱动机制	421
10.3 森林土壤生态系统对气候变化的响应机制	427
10.4 研究案例——川西亚高山森林土壤微生物对气候变化的响应 ..	435
10.5 小结	443
主要参考文献	444

彩图

Content

Preface	1
Brief Introduction	1
Chapter 1 Survey	1
1.1 Background	2
1.2 Definition of forest soil ecology	5
1.3 Advances in soil ecology	7
1.4 Main contents of forest soil ecology	11
1.5 Perspectives on forest soil ecology	17
1.6 Advances in forest soil ecology in China	23
<i>References</i>	26
Chapter 2 Structure and Function of Forest Soil Ecosystem	33
2.1 Soil and soil ecosystem	33
2.2 Physical structure and environment of soil	36
2.3 Chemical features and function of soil	60
2.4 Soil organic matter	71
2.5 Soil nutrient composition and its availability	80
2.6 Structure and function of soil biotic community	89
<i>References</i>	95
Chapter 3 Forest Soil Physical Ecology	103
3.1 Significance of soil physical ecological processes	103
3.2 Soil hydro-thermal dynamics and their ecological functions	107
3.3 Soil hydro-thermal dynamics and bioelement cycle	112
3.4 Responses of soil organism to water stress	118
3.5 Factors to regulate soil water reservoir	120
3.6 Soil air and the limiting factors	122
3.7 Soil structural dynamics	131
<i>References</i>	134

Chapter 4 Forest Soil Chemical Ecology 139

4.1 Advances in soil chemical ecology 139

4.2 Soil chemical and biological weathering 146

4.3 Soil nutrient ecological processes 149

4.4 Allelopathy in soil ecosystem 156

4.5 Perspective 164

References 169

Chapter 5 Forest Soil Animal Ecology 174

5.1 The ecological significance of soil animal community 174

5.2 Definition and classification of soil animal 174

5.3 Soil fauna 177

5.4 Distribution characteristics of soil animal community 178

5.5 Soil animal community and litter decomposition 182

5.6 Effects of environmental factors on soil animal community 184

5.7 Effects of human activity on soil animal community 186

5.8 Methods on soil animal 191

5.9 Case 195

References 216

Chapter 6 Forest Soil Microbial Ecology 223

6.1 Soil microbial community and soil microbial ecology 223

6.2 Physiological types of soil microorganism 225

6.3 Composition of soil microbial community 226

6.4 Mycorrhiza 238

6.5 Root nodule 254

6.6 Distribution characteristics of soil microbial community 259

6.7 Soil microbial biomass turnover--Sleeping Beauty Paradox 267

6.8 Soil microbial diversity 268

6.9 Perspectives on soil microbial ecology 270

References 273

Chapter 7 Forest Soil Enzymology 278

7.1 The ecological significances of soil enzymology 278

7.2 Advances in soil enzymology 283

7.3 Soil enzymatic activity related to the key forest ecological processes 286

7.4	Methods and cases	291
7.5	Advances in soil enzymology related to the key forest ecological processes	299
7.6	Brief summary	302
	<i>References</i>	303
Chapter 8	Biogeochemical cycle in forest soil ecosystem	310
8.1	Nutritional structure and the significance in soil ecosystem	311
8.2	Forest litter ecology	318
8.3	Carbon sequestration and cycle in forest soil ecosystem	335
8.4	Nitrogen cycle	342
	<i>References</i>	356
Chapter 9	Restoration and Rehabilitation of the Degraded Forest Soil Ecosystem	368
9.1	Definition on degraded forest soil ecosystem	369
9.2	Mechanism on soil degradation and their evaluation index	372
9.3	Degradation characteristics of forest soil ecosystem	375
9.4	Degradation processes of forest soil ecosystem	378
9.5	Restoration mechanism on degraded forest soil ecosystem	388
9.6	Technologies of degraded forest soil ecosystem	391
9.7	Cases for degraded forest soil ecosystem	393
	<i>References</i>	400
Chapter 10	Responses of Forest Soil Ecosystem to Global Climate Change	409
10.1	Forest soil ecosystem and global carbon cycle	410
10.2	Temporal and spatial pattern on carbon sink, source and pool and their driving forces	421
10.3	Mechanisms on responses of forest soil ecosystem to climate change	427
10.4	A case	435
10.5	Brief summary	443
	<i>References</i>	444

Illustration

第一章

绪 论

生态学(ecology)是研究生物与环境之间以及生物与生物之间相互关系的科学。从经典生态学的观点来看,土壤既是生态系统中影响陆生生物群落生长繁衍的最为重要的生态因子之一,同时又是陆生生物群落生长繁衍的基地,许多环境因素都是通过对土壤生态系统的直接或间接作用而对地上/地下生物群落的生长与繁衍产生影响的(Russell, 1973)。从土壤圈(pedosphere)的角度来看,土壤是陆地表面的疏松表层,是岩石圈(lithosphere)、大气圈(atmosphere)、水圈(hydrosphere)和生物圈(biosphere)之间交互作用的产物(Mattson, 1932),是生物与非生物之间进行物质循环和能量交换的最为重要的生态界面(ecological interface),是地圈系统(geosphere system)中进行物质循环和能量交换的最活跃和最重要的圈层,支撑和调节着生物过程,为植物生长提供了养分、水分和适宜的物理条件,决定着自然植被的分布和演替,影响到大气圈的物质组成和水热平衡(Zhao & Cao, 2000)。从土壤生态学(soil ecology)的观点来看,土壤本身也是一类复杂的生态系统——土壤生态系统,它是由土壤物理化学要素、土壤生物群落、植物根系以及环境因素等生物和非生物因素遵循一定的物流和能流模式组成的有机功能整体(杨万勤等, 2000),与农林牧副渔的安全生产、全球气候变化、水土流失与水源涵养、污染物质降解(土壤承担着 50% ~ 90% 的来自不同污染源的污染负荷)、生物多样性保护等密切相关。

随着全球气候变化、水资源匮乏、水土流失、自然灾害频繁发生和生物多样性丧失等一系列全球性和区域性生态与环境问题的加剧,科学家们不仅重视森林土壤作为林业可持续发展基础的功能,而且更加重视森林土壤生态系统在全球碳循环中的汇(sink)、源(source)、库(pool)功能,重视森林土壤生态系统的水源涵养与水土保持功能,重视森林土壤在生物多样性保育中的功能。因此,从土壤生态学的角度重新审视森林土壤生态系统的作用和地位是林学、生态学、土壤学、环境科学及全球变化等学科发展的迫切需求。本章将结合国内外森林土壤生态学的研究成果以及 21 世纪生态与环境科技的发展趋势分别阐述森林土壤生态学产生的背景、森林土壤学的概念、研究进展和理论框架。

1.1 土壤生态学产生的背景和意义

区域性和全球性生态与环境问题的加剧及森林土壤的生态重要性促进了森林土壤生态学的产生和发展。工业革命以来,以全球变暖和大气 CO_2 浓度升高为主要特征的全球气候变化,森林面积锐减,生物多样性丧失加剧,水土流失面积进一步扩大,水体、土壤和大气污染严重,土地荒漠化加剧以及生物入侵等全球性生态与环境问题不断改变着陆地生态系统的结构和功能,威胁着人类社会的生存与健康,困扰着人类经济社会的可持续发展(Chapin III *et al.*, 2002),但从经典生态学、土壤学和环境科学中却很难简单地援引一些理论和方法来解决这些日趋严重的生态环境问题,因此,一门新兴的边缘交叉学科——土壤生态学便应运而生(杨万勤等, 2000)。

同时,作为陆地生态系统的主体,森林生态系统在全球气候变化、水土保持与水源涵养、生物多样性保育、区域气候调节等方面具有十分重要的、不可替代的作用和地位。据联合国粮农组织(FAO)2001年公布的《2000年世界森林资源评估报告》统计,2000年世界森林面积为 $38.69 \times 10^8 \text{ hm}^2$,占全球陆地面积的 27.6%,其中,天然林为 $36.82 \times 10^8 \text{ hm}^2$,占全球森林面积的 95%;人工林为 $1.87 \times 10^8 \text{ hm}^2$,占全球森林面积的 5%(表 1-1)。森林土壤不仅是林业可持续经营和管理的基础,而且在全球碳循环、生物多样性保护、水土保持和水源涵养等方面具有举足轻重的地位和作用,因而受到世界各国政府和科学家的高度关注。

表 1-1 1990 年 ~ 2000 年世界森林资源状况(FAO, 2001)

Table 1-1 Changes in world forest resources from 1990 to 2000 (FAO, 2001)

年份	森林面积 ($\text{A}/10^8 \text{ hm}^2$)			森林覆盖率 ($P/\%$)	人均森林面积 (A/hm^2)
	天然林	人工林	合计		
1990	38.08	1.55	39.63	30.0	0.6
1995	32.74	1.80	34.54	26.6	0.6
2000	36.82	1.87	38.69	30.0	0.6

首先,森林土壤是陆地生态系统中最大的碳库,在全球碳循环源(source)、库(pool)、汇(sink)中起着重要的作用,森林土壤碳库的变化可能导致大气 CO_2 浓度的巨大变化(McNeill & Winiwarter, 2004)。森林生态系统是全球碳循环中重要的碳库,是陆地生态系统中最大的碳储库,它以巨大的生物量储存着大量的碳。森林土壤中储存着比生物量中更多的碳,单位面积的森林储存的碳是农田的 20 ~ 100 倍。据 IPCC(2000)发表的报告估计,陆地生态系