

中国主要 造林树种土壤质量 演化与调控机理

杨承栋 等著



科学出版社
www.sciencep.com

中国主要造林树种土壤质量 演化与调控机理

杨承栋 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是一部系统论述我国人工林主要造林树种土壤质量演化与调控技术途径及其作用机理的有关森林土壤领域的学术专著,全书共分6篇20章。在总论中,论述了人工林土壤质量演化状况的国内外研究动态和我国人工林主要造林树种土壤质量演化的状况及其研究工作的进展与展望。第一篇至第六篇重点论述了我国人工林主要造林树种杉木、马尾松、桉树、杨树、落叶松及湿地松人工林的土壤质量演化与调控技术的途径及作用机理,为合理利用我国森林土壤资源、正确经营主要造林树种人工林、维护和恢复森林土壤功能、提高森林土壤生产力、实现可持续经营,提供了可靠的科学依据和有价值的应用技术。

本书可供森林土壤、森林培育、森林生态、水土保持等学科的科研人员、高等院校有关专业师生、决策领导、科技管理人员以及林场的技术人员等参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国主要造林树种土壤质量演化与调控机理/杨承栋等著. —北京:科学出版社, 2009

ISBN 978-7-03-022391-3

I. 中… II. 杨… III. 造林地-森林土-研究-中国 IV. S714

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 094246 号

责任编辑:霍春雁 李晶晶 / 责任校对:赵桂芬

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年4月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009年4月第一次印刷 印张:33 插页:2

印数:1—1 000 字数:760 000

定价:118.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

作者简介



杨承栋，男，1941年元月出生于安徽省巢湖市，研究员、博士生导师、北京林业大学兼职教授，获国务院政府特殊津贴。1963年毕业于安徽大学生物系生物化学专业，1982年作为中国林业科学研究院首届研究生，毕业于森林土壤专业，同年留院工作于林业研究所森林土壤研究室，1993年起任该研究室主任。1988年获国家公派，以高级访问学者身份，被派往苏联，在列宁格勒林学院和莫斯科大学土壤系进修一年。1998年再次获国家公派，至俄罗斯圣彼得堡大学生物土壤系和全俄罗斯农业微生物研究所进修，为期3个月。任中国林学会、中国土壤学会森林土壤专业委员会主任，中国土壤学会常务理事、中国林学会理事、北京市土壤学会理事，任核心期刊《林业科学》、《林业科学研究》和《土壤通报》编委。先后主持“八五”、“九五”国家攻关专题和“十五”、“十一五”国家攻关子专题，主持国家自然科学基金课题，主持中英合作项目及“948”项目等，参加多项国家级和省部级重点课题。获国家级及部级科技成果七项，获中国土壤学会科学技术二等奖一项，获国家林业局科技进步三等奖两项。在国内外以第一作者发表学术论文34篇，其中大部分在核心期刊发表，出版专著三部，参与编著七部，主审专著一部，出版英译汉论文约4.5万字。培养博士研究生3名。

参加写作人员名单

(以姓氏笔画为序)

王少元	卢立华	孙启武	孙翠玲	纪建书
杨承栋	杨继镐	李昌华	李贻铨	吴立潮
吴晓芙	林思祖	胡曰利	胡炳堂	唐 菁
焦如珍	谢国阳	曾满生		

前 言

森林土壤质量是森林土壤学科的核心领域，直接关系到森林土壤功能、森林土壤生产力及其永续利用和可持续发展。本书是继《中国森林土壤》等专著之后，一本较系统地论述我国人工林土壤质量演化与调控技术途径及作用机理的有关森林土壤领域的学术著作。我国老一辈森林土壤科学家曾于 1986 年出版了《中国森林土壤》一书，重点论述我国天然林区天然林下森林土壤形成、分区与分布、土壤基本性质以及森林与土壤的关系。然而，自新中国成立后，随着国民经济飞速发展、人口不断增加，人们对木材的需求量也不断地增长，导致我国天然林面积逐渐减少、人工林面积逐渐扩大，长期以来，由于我们缺乏正确经营人工林的成功经验、经营技术水平不高，对某些树种特有的生物学特性尚不十分清楚，一些地区在造林过程中又不能做到适地、适树，人工林经营过程中通常是纯林经营，破坏了天然林所拥有的多树种、多物种共生的生态平衡动态体系，致使我国人工林，特别是主要造林树种人工林地力面临较严重的衰退，林木生长量逐代大幅度下降，病虫害严重，这种情况威胁着我们对有限可耕林地的永续利用和可持续经营。为此，我国广大林业科技工作者迫切期望能有一本系统论述我国人工林土壤质量演化过程与机理及其调控的技术途径的书。在这种形势之下，作者根据多年来承担国家攻关专题、国家自然科学基金课题、科技部课题、原林业部课题和现国家林业局重点课题以及中外合作研究项目等课题的研究成果，系统地论述了中国主要造林树种杉木、马尾松、桉树、杨树、落叶松和湿地松六树种人工林土壤质量演化过程与机理及其调控技术途径。

本书总论概述了人工林土壤质量演化状况的国内外研究动态、我国人工林主要造林树种土壤质量演化状况及研究工作进展。全书在 6 篇 20 章中，分别论述杉木等六树种人工林不同发育阶段，即幼龄林、中龄林及成熟林生长过程中土壤理化性质及生物学活性变化过程，论述杉木等六树种人工林不同代土壤性质变化特点与差异，揭示杉木等六树种人工林地力衰退的原因与机制，其中杉木人工林土壤质量演化，论述的是作者自 1988 年以来对一代、二代人工林于每年生长季节定位研究的成果，马尾松人工林近熟林至成熟林论述的也是作者每年生长季节定位研究的成果。在此基础上，进一步论述通过生物技术途径，如正确地进行造林前整地、营造混交林、轮栽针阔叶树种、发育林下植物群落以及施用细菌肥料等措施维护和恢复森林土壤功能、防治地力衰退的效应与作用机理，也论述通过合理施用化学肥料提高林木生长量、维护土壤肥力的效应。希望本书的出版，能对我国森林土壤的进一步研究、人工林土壤合理经营、林业生产建设的发展、生态环境建设的发展有所帮助，这是作者撰写这本书的主要目的。

本书所论述的每一章、节，都有研究样地的自然地理概况介绍、试验设计、试验方法及研究样地调查的翔实数据，这是有别于其他著作之处。

本书作者从森林土壤研究工作发展的需要出发,在总论中介绍国内外森林土壤研究动态时,提出了对未来森林土壤研究工作的展望和设想,鉴于作者目前掌握有关我国人工林土壤资料及研究水平有限,因此这些展望和设想还是相当肤浅的,如能对森林土壤未来的研究有所助益,作者将感到莫大的欢欣。

科学在发展,本书虽论述了作者在不同时期的科研成果,但在研究方法和理论阐述上肯定尚有一些不足之处,敬请广大读者批评指正。

杨承栋

2008年8月

目 录

前言

绪论	1
第一节 人工林土壤质量演化状况的国内外研究动态	1
第二节 我国人工林主要造林树种土壤质量演化状况及研究工作进展与展望	2

第一篇 杉木人工林土壤质量演化与调控机理

第一章 杉木生长的立地条件及其土壤质量演化与调控机理研究进展	11
第一节 杉木生长与立地条件	11
第二节 杉木人工林土壤质量演化与调控研究工作进展	12
第二章 一代杉木人工林土壤质量演化	17
第一节 不同整地方式、造林密度的一代杉木幼龄林阶段土壤性质动态变化	17
第二节 不同整地方式、造林密度的一代杉木中龄林阶段土壤性质动态变化	27
第三节 一代杉木近熟林至成熟林土壤性质动态变化	38
第三章 二代杉木人工林土壤质量演化状况定位研究	73
第一节 二代杉木人工林研究样地立地条件及其土壤本底性质变化	74
第二节 二代杉木林生长季节里土壤化学性质的动态变化 (1988~2004 年)	78
第三节 二代杉木林逐年生长季节初期、中期及末期土壤化学性质动态变化	117
第四节 二代杉木幼龄林土壤水分含量定位研究	126
第五节 二代杉木林生长季节土壤生物化学活性动态变化特征	127
第六节 1988~1992 年二代杉木幼龄林土壤呼吸状况	130
第四章 杉木人工林土壤质量退化原因机理研究	132
第一节 杉木人工林不同发育阶段土壤性质变化	132
第二节 低山立地条件下花岗岩发育的不同前茬的杉木人工林土壤性质变化	139
第三节 丘陵花岗岩立地条件下不同前茬杉木林土壤性质变化	146
第四节 杉木人工林根际土壤性质的变化	154
第五节 土壤和地形因子与杉木生长关系	163
第六节 杉木连栽土壤组成、结构、性质变化及其对林木生长的影响	168
第七节 杉木林叶片养分含量变化及其与林木生长的关系	175
第八节 相似立地条件、不同前茬、不同发生层次土壤对杉木幼龄林生长影响机理	181
第五章 维护和恢复杉木人工林土壤功能的技术途径与作用机理	186
第一节 杉木林采伐迹地不同清理方式对维护恢复土壤功能及促进林木生长的效应	186
第二节 炼山与保留枯落物对连茬杉木林土壤性质及林木生长的影响	213
第三节 板岩立地条件下营造杉木与阔叶树混交林对维护和恢复土壤功能的效应及其作用	

机理	218
第四节 发育林下植物群落维护和恢复杉木人工林土壤功能的效应	227
第五节 杉木林下植物群落对不同深度土壤性质的改良效应	237
第六节 化学肥料维护和恢复一代杉木幼龄林土壤肥力效应——杉木幼龄林前五年施肥效应研究	246
第七节 化学肥料对一代杉木中龄林生长影响及维护和恢复土壤肥力的效应	253
第八节 施用化学肥料对第三代杉木林生长及维护土壤肥力的效应	260
第九节 防治杉木人工林地力衰退的具体经营措施	276
第六章 杉木人工林土壤质量指标体系	277

第二篇 马尾松人工林土壤质量演化与调控机理

第七章 马尾松生长的立地条件	283
第一节 马尾松的分布及生物学特性	283
第二节 马尾松生长的土壤条件	284
第三节 立地条件与马尾松生长	289
第八章 马尾松人工林土壤质量演化及衰退的机理	295
第一节 一、二代马尾松林土壤性质变化与地力衰退的关系	295
第二节 马尾松人工林不同发育阶段土壤性质变化	305
第九章 马尾松人工林土壤质量动态演化定位研究	321
第一节 马尾松人工林研究样地的立地条件及其本底性质研究	321
第二节 马尾松林人工林土壤化学性质动态变化定位研究 (1988~2004 年)	324
第三节 马尾松林人工林逐年生长季节土壤生物化学活性动态变化	338
第十章 防治马尾松人工林地力衰退的科学技术途径与机理	341
第一节 营造马尾松与红锥混交林对改良土壤性质、维护土壤功能及其促进林木生长的效应	341
第二节 合理施用化学肥料提高马尾松生长的效应 (马尾松幼龄林施肥持续 8 年的生长效应)	348
第三节 施用细菌肥料提高马尾松幼龄林生长的效应	353

第三篇 桉树人工林土壤质量演化与调控机理

第十一章 桉树人工林土壤有机物和养分库的衰退机理研究	359
第一节 桉树人工林地力退化的状况	359
第二节 桉树人工林土壤有机物和养分库的衰退机理	359
第十二章 维护和恢复桉树人工林土壤功能的技术途径与机理	364
第一节 施肥和改变林分组成是防治桉树人工林地力衰退的重要途径	364
第二节 桉树等不同林分类型人工林改良土壤功能的效应与机理	365
第三节 尾叶桉与厚荚相思混交林生长及其改良土壤性质的效应	368
第四节 刚果 12 号桉 (W ₃ 无性系) 配方施肥的依据及应用研究	371

第五节 细菌肥料施用于桉树人工林促进林木生长的效应	379
---------------------------------	-----

第四篇 杨树人工林土壤质量演化与调控机理

第十三章 杨树人工林土壤质量演化及其混交林维护土壤功能的机理	385
第一节 杨树人工林土壤质量退化的机理及其对林木生长的影响	386
第二节 营造杨树与刺槐、沙棘及紫穗槐混交林对土壤性质及林木生长影响的效应	388
第三节 杨树混交模式与养分变化及林木增长率的研究	391
第四节 混交林地土壤微生物与酶活性的变化研究	397
第五节 杨树不同栽培模式对林木生长量、土壤微生物及酶活性影响的研究	404
第十四章 合理施用化学肥料提高杨树人工林生长量的效应及其作用机理	408
第十五章 细菌肥料提高杨树生长量的效应及其作用机理	417
第一节 不同种细菌肥料提高杨树幼苗生长的效应及其改良土壤性质的作用机理	417
第二节 杨树林地施用细菌肥料的增长效应及其作用机理	436

第五篇 落叶松人工林土壤质量演化与调控机理

第十六章 不同代长白落叶松人工林土壤质量演化	453
第一节 不同代落叶松人工林土壤性质变化与地力衰退的关系	453
第二节 一、二代落叶松人工幼龄林土壤微生物区系研究	457
第十七章 落叶松人工林不同发育阶段土壤质量演化	459
第一节 落叶松人工林不同发育阶段土壤化学性质的动态变化	459
第二节 落叶松人工林不同发育阶段土壤微生物区系变化状况	464
第十八章 营造混交林维护和恢复落叶松人工林土壤功能及其作用机理	466
第一节 落叶松与黑松、红松及水曲柳混交林的林木生长及其土壤性质变化	466
第二节 不同林分类型的落叶松人工林土壤微生物区系状况研究	470

第六篇 湿地松人工林土壤质量演化与调控机理

第十九章 湿地松人工林土壤质量演化	475
第一节 芳山林场湿地松人工林不同发育阶段土壤性质的变化	475
第二节 江西大岗山湿地松人工林不同发育阶段土壤性质的变化	484
第二十章 维护和恢复湿地松人工林土壤功能技术途径及调控机理	490
第一节 丘陵红壤立地上湿地松施肥的效应	490
第二节 页岩红壤立地上湿地松幼龄林施肥的效应	496
主要参考文献	504
后记	512
彩图	

绪 论

第一节 人工林土壤质量演化状况的国内外研究动态

随着世界人口的不断增长、工业的迅速发展,全球范围内对木材的需求量和有限的森林资源所构成的矛盾日益加剧,天然林面积日益缩小。为了满足人类对木材的需求,人工林面积正在逐渐扩大,特别是自第二次世界大战以来,人工林发展十分迅速,其经营利用的总趋势是向着速生丰产、短轮伐期方向发展,树种倾向于单一化、针叶化,自然界原有的多物种共存的生态环境正在遭到破坏。由于不合理地利用森林土壤资源等多种因素的综合作用,正在加速、加重土壤的退化过程。全球范围内,由于人工林的不合理经营,不良的育林措施,土壤中养分的输出大于输入,养分元素失去动态平衡、土壤生物学活性下降,逐渐形成恶性循环,导致人工林地力衰退现象日趋严重,产量逐代大幅度下降。如此情况,严重地威胁着人类对有限的土地资源永续利用,从而成为当今世界上发展短轮伐期工业用材林集约经营的一大障碍,引起世界范围内林业工作者的高度重视。回顾历史,早在 1833 年和 1869 年对德国第二代云杉人工林地力衰退调查时,就曾观察到第二代云杉林产量不如第一代,1923 年 Weidemann 报道了下萨克松地区第二、第三代云杉林的产量严重下降。20 世纪 40 年代 Roth 和 Kosa 报道了瑞典和挪威也有类似的情况,荷兰曾报道欧洲松产量连续下降,在南亚地区,如印度曾报道有关柚木、日本曾报道有关日本落叶松地力衰退、产量下降的现象。在澳大利亚和新西兰,Keeves 于 1966 年,Bednall 于 1968 年,Boardman 于 1979 年报道辐射松产量连续下降的消息,Keeves 指出,尽管辐射松在澳大利亚南部第一代生长很好,但第二代平均生产力下降 25%。英国学者 Evans 根据他对全球较大范围内人工林生长情况所作的考察,发现人工林连栽会引起生长量下降、土壤性质恶化问题。在国际林业研究联盟第 19 届大会上,与会专家学者认为,像 70 年代酸雨、80 年代地球气候改变,人工林地力衰退研究,将成为 90 年代对森林生长造成严重影响而又最热门的研究课题。在第 10 届世界林业大会上,YvesBiro 指出,人工林的生态学观察,核心问题是土壤演化和育林实践的关系。国际性学术组织及有关学术活动如国际土壤学会、国际林业研究联盟、北美国际森林土壤学术会议以及国际森林土壤学术讨论会均把人工林地力衰退列为较重要的研讨内容。欧洲各国在不定期的森林土壤学术讨论会上,很重视人工林地力衰退的研究,苏联于 1987 年召开全国范围内土壤退化学术讨论会,并就土壤腐殖质减少、土壤板结、土壤侵蚀、土壤酸化和土壤污染对森林生长产生的影响开展了重点讨论。联合国已在世界范围内编制土地退化图,亚太地区成立了退化土壤研究协作网,加拿大已把防治土地退化作为全国性重点任务。

我国对人工林地力衰退的研究工作也十分重视,具体工作始于 20 世纪 60 年代初,当时主要集中在对杉木人工林地力衰退进行研究。研究结果发现,杉木人工林地力衰

退,除了生长量下降、土壤养分含量下降之外,在杉木生长过程中土壤中还积累了香草醛之类的物质,导致土壤中毒,在这以后很长时间内,除了零星的研究之外,几乎处于停顿阶段,到“七五”期间,我国学者不仅对杉木林地力衰退继续开展研究,而且对桉树、落叶松、杨树等主要造林树种的地力衰退状况也着手开展研究。“八五”期间,人工林地力衰退研究列入了国家攻关课题。中国科学技术协会于1990年11月委托中国土壤学会和中国土地学会牵头,联合有关的20余个全国性学会(协会、研究会),在厦门市召开全国土地退化防治学术讨论会,针对我国各地土壤资源退化的现状探讨防治土地退化的对策和有效措施。与会学者认真地讨论了我国土壤退化的状况和对生态环境危害的程度,并提出了可行的防治措施。中国林学会生态分会于1991年召开了人工林土壤退化及防治技术学术讨论会,中国林学会、中国土壤学会森林土壤专业委员会森林立地学组于1994年在北京召开了全国人工林地力衰退及防治技术的学术讨论会,研讨我国人工林地力衰退的状况,地力衰退的原因机制及其防治措施。

第二节 我国人工林主要造林树种土壤质量演化状况 及研究工作进展与展望

一、演化状况

我国是世界上人工林面积最大的国家,人工林面积已达到5000多万公顷,占世界人工林面积的1/3以上,造林树种比较单一,同时一些地区不能根据具体的立地条件选择合适的树种,以及在森林经营和育林中尚存在不适当措施,致使我国主要造林树种均不同程度地存在较为严重的地力衰退。1977~1988年12年间,我国人工林平均产量每公顷下降 18.12 m^3 ,连栽杉木(*Cunninghamia lanceolata*)人工林产量一代不如一代,第二代和第一代相比,产量下降10%~15%,第三代和第一代相比,产量下降30%~40%。更为严重的是,在部分地区,我们发现二代杉木人工林成活率低,甚至不能成活,经过连续二三年补栽实生苗,仍不能栽活。然而,若是轮栽其他针、阔叶树种,则不仅能正常成活,而且生长状况良好。如此情况,在浙江丽水地区林场蛙蟆坑处,一片 3.3 hm^2 的一代杉木林采伐迹地上,连栽二代杉木林就出现栽不活情况;在江西分宜县中国林业科学研究院(下简称“中国林科院”)亚热带实验中心的上村林场,发现多处在一代杉木采伐迹地上用实生苗更新不能成活,以致该林场对一代杉木林采伐迹地能否继续连栽杉木产生担忧。我国现有杉木人工林面积900多万公顷,约占我国人工林总面积20%,杉木是我国特有的速生丰产树种,若能有效地防治地力衰退,其所产生的经济效益和生态效益是难以估量的。落叶松(*Larix Mill.*)主要分布在我国北方丘陵山地,人工林和天然林面积合计约为1200多万公顷,其中人工林面积占80%以上,该树种地力衰退现象也相当严重。根据我国学者陈乃全等调查研究,在相似立地条件下,比较同样造林措施,同树龄的一、二代长白落叶松人工林生长状况,第二代和第一代相比,生长量普遍下降的幅度为,胸径下降10.2%,树高下降7.8%,蓄积量下降15.1%。桉树人工林主要分布在我国南方15个省、区,人工林面积为154万 hm^2 以

上,仅次于印度和巴西,居世界第三位。巴西等国桉树人工林产量是 $30\sim 50\text{ m}^3/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$,而我国的桉树人工林平均产量仅有 $5\sim 10\text{ m}^3/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$,说明我们和国外尚有一定的差距。与此同时,也说明我们在提高单位面积林木生长量方面,有着较大的增产潜力,该树种轮伐期短,由于在经营和育林措施中尚存在一些问题,致使该树种地力衰退现象也较为严重。据报道,第二代和第一代相比,生长量下降 $10\%\sim 20\%$,第三代和第一代相比,生长量下降 30% 。杨树是我国华北地区主要造林树种,我国杨树 (*Populus tomentosa* Carr.) 人工林面积有 800 万 hm^2 ,据报道,相似立地条件的第二代杨树人工林和第一代相比,平均树高和平均胸径分别下降 24% 和 11% 。马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.) 是我国松树中分布最广、数量最多的主要造林树种,是我国亚热带东部湿润地区典型的针叶树种,全国马尾松林面积 1424.37 万 hm^2 ,连茬马尾松人工林土壤水解氮、有效磷、交换性钙、镁离子含量大幅度下降,土壤生物学活性明显降低。湿地人工林生长发育过程中土壤有效磷含量明显下降,脲酶活性下降也明显。

二、研究工作进展

众多学者研究工作的结果表明,导致我国人工林地力衰退、生长量下降的因素是综合的,其中有自然因素如气候、地形、植被、成土母质、土壤等,也有人为活动因素。但影响土壤功能退化的主要因素是人为活动对自然因素的影响,是人类不合理经营土地、破坏自然因素的相对平衡、破坏自然界生态平衡的动态体系,从而使土壤性质发生变化,导致土壤功能发生退化。

从宏观的角度分析,我们可以清楚地看到,目前我国人工林经营,很多情况已破坏了自然界原有的生态平衡动态体系。以杉木为例,在我国杉木盛产区中亚热带的地带性植被是常绿阔叶林,现存的杉木原始林也并非纯林,而是和其他常绿阔叶树种或落叶阔叶树种,或一些针叶树种混在一起,林下的草本和灌木种类繁多,实际是多物种、多种树的混交林分。然而我们目前的人工林经营,一味地追求提高单位面积产量的眼前经济利益,树种单一化、针叶化,纯林单层结构,伴生树种、下木和草本等生物种类稀少。在南方是以栽植杉木和松树为主,在北方是以栽植落叶松和杨树为主。最近的统计资料表明:全国人工林比例为针叶树种 53.8% 、阔叶树为 46.2% ;阔叶树种主要分布在平原农区,山区很少,尤其是在南方各省,阔叶树种比例极少。如我国浙江,阔叶树种只占人工林总面积的 1.2% ,福建占 4.2% ,广东占 3.8% ,江西占 1.8% ,湖南占 5.6% 。针叶树种比例则相应增大,致使自然界正常的物种、树种比例失去了平衡,兼之栽培、育林措施不当,如全垦整地、炼山等,造成大量的水土流失,尤为严重的是发生在我国南方丘陵山地的造林前炼山,使大量的枯落物、有机物化为灰烬,不仅损失了养分,而且也造成空气污染。炼山使表土失去枯落物保护,雨水直接打在表土上,特别是在暴雨季节,水土流失更为严重。据报道,炼山使母岩为砂岩的林地年径流量,每公顷达到 2743.49 m^3 ,年土壤流失量为 24.811 t ,分别为不炼山的 11 倍和 88 倍。土壤有机质、水解氮、磷、钾的流失量分别为不炼山的 15 倍、24 倍、16 倍、5 倍。据张先仪对全垦整地研究结果证实,在湖南株洲母岩为页岩、坡度 30° 的立地条件所做的水土保持实验中因全垦整地,每公顷每年流失的表土达到 $3\sim 4\text{ t}$,若遇大雨之年,可达到 6 t 。在花

岗岩地区,水土流失现象则更为严重,表土层厚度变薄、土壤变得贫瘠。树种连栽,更进一步加剧了表土层和整个土层厚度变薄,加速土壤养分储量的降低。由于自然界原有的生态环境平衡体系受到破坏,物种组成发生了变化,鸟类等动物栖息的环境受到破坏,鸟类的种类和数量明显地减少,环境气候条件也受到相应的影响,致使病虫的危害逐年有增无减。

从微观的角度去分析,依据森林土壤功能与其组成、结构一致性的原理,人工林地力衰退实质上是土壤功能的退化,它与森林土壤组成、结构、性质变化有着分不开的关系。森林在其生长过程中,通过根系在土壤中的代谢活动,使森林土壤无机物、有机物的组成、结构将发生相应的变化,土壤中具有生物化学活性的物质,如土壤酶,以及土壤中的生理活性物质,如游离氨基酸等,均将发生相应的变化。对于不同的树种来说,由于其生物学特性不同,导致森林土壤组成结构变化也有差异,因此系统地掌握不同树种、在不同的立地条件、不同的生长阶段对森林土壤组成、结构变化所起的作用,对于揭示不同树种人工林地力衰退的过程和机理是非常重要的。森林土壤是由多种物质组成,其中有单质,也有化合物,从物质分类这个角度,可以把导致森林土壤功能退化的土壤中物质划分为两大类,即土壤有机物和土壤无机物。

(一) 人工林地力衰退与土壤养分含量及无机物组成变化的关系

从林木对营养元素需要量这个角度出发,林木从土壤中吸收的营养元素可分为两类:一类是大量元素,另一类是微量元素。目前我国林业科技工作者,通常是把注意力集中在林木对大量元素需要量的研究上,侧重考虑的是 N、P、K,然而对于一个特定的地区、特定的树种来说,究竟缺乏何种元素,施用量是多少才能较好地促进林木生长,这既要取决于土壤性质的背景值,也要取决于树种的生物学特性、不同树种对营养元素的选择性吸收、根系代谢活动及枯落物分解对土壤性质的影响。对杉木林来说,通过调查和定位研究,我们发现在立地条件较差、地位指数在 14 以下的区域,一代杉木林生长进入中龄林时,土壤速效养分状况就明显下降,然而我们又发现,在一些地区对二代杉木中龄林施用氮、磷、钾化肥,却并不能见到林木明显的增长。这种情况的出现,究竟是因为土壤中缺少某种营养元素,还是因为林木在其生长过程中,通过代谢活动,导致土壤中积累了过多的对自身生长有影响的物质,还是由于土壤微生物区系发生了变化、微生物代谢活动产物发生了变化,以至于影响林木正常生长,这些均是多年来林业工作者十分关注的问题。在页岩或板岩立地条件下,依据对杉木叶片养分分析的结果发现,林木生长与叶片中 P、Mg、N 含量呈密切的正相关,与微量元素 Cu、Mn、Fe 含量也呈密切的正相关。在花岗岩立地条件下,对第三代杉木人工林叶片养分分析和施肥试验结果分析表明,影响杉木生长的土壤营养元素,除了 N、P、K 三要素含量不足之外,微量元素也十分缺乏,特别是 Mn 和 Zn 含量不足。土壤中微量元素是很多生物化学反应的催化剂,因此微量元素不足,势必要影响到土壤中很多生物化学反应的正常进行;叶片中养分含量高低除了与土壤养分含量直接相关之外,还与土壤环境条件密切相关。根据陈乃全等对重茬长白落叶松土壤性质研究结果表明,二代长白落叶松土壤和一代相比,土壤有机质含量由 5.38% 减少到 4.33%;土壤 pH 在 A、B 层由 6.22、

6.23 分别下降到 6.00、5.75；土壤全氮在 A、B 层含量分别降低 22%、15.9%；土壤全磷在 A、B 层含量分别降低 24.3%、28.3%；土壤交换性 Ca^{2+} 在 A、B 层含量分别降低 15%、27%；全钙在 A、B 层含量分别降低 9.2%、14%；土壤有效锰含量，则分别提高了 27.2%、32.6%。据孙翠玲报道，连茬杨树人工林，土壤养分含量下降也是十分明显的，相似立地条件的二代杨树人工林和第一代相比，土壤有机质含量下降 52%，水解氮含量下降 50%。桉树人工林土壤养分含量下降也是十分明显的，土壤养分的输出远大于输入。

（二）人工林地力衰退与土壤有机化合物组成、结构的变化及生物活性变化的关系

众所周知，土壤有机化合物含量高低，通常是土壤肥力高低的重要指标，土壤腐殖质酸含量、盐基代换量等均和土壤有机质含量呈正相关。然而，我们的研究工作发现，在某些特殊情况下，即使是土壤有机养分含量较高，林木仍不能正常生长。例如，在浙江丽水地区林场蛙蟆坑，有一片 3.3 多公顷的一代杉木林采伐迹地，土壤有机质含量每千克达到 70.7g，林场在该采伐迹地上借助萌芽更新经营的二代杉木林不能成活，连续两年补栽实生苗，仍不能成活，后被迫改栽其他树种，则生长良好。类似的例子还很多，又如在江西分宜县中国林科院亚热带实验中心上村林场，也发现有类似的情况，并通常是发生在土壤有机养分含量较高的区域。作者在比较一代、二代杉木林土壤有机物红外光谱吸收峰强度和出峰波数时，发现存在明显的差异，表明一代杉木林与二代杉木林土壤有机物的组成、结构存在差异。因此我们在研究人工林地力衰退时，不能仅仅局限于分析土壤有机质的绝对含量，还需要对有机物的组成、结构进行进一步的分析和测定，特别是对一些具有生理、生化活性的物质，进行定性和定量的检测，就显得十分重要。在浙江丽水将不同前茬的杉木林，其中包括前茬是马尾松、阔叶树、混交林、灌丛的杉木林以及连茬的杉木林土壤化学性质和生物化学活性变化、与杉木林生长进行逐步回归分析。分析结果表明：与不同前茬的杉木林生长呈正相关的主要因子是土壤转化酶活性，对杉木生长产生抑制作用的因子是土壤脲酶活性、土壤有机质含量和土壤过氧化氢酶活性。这些研究结果表明，研究森林土壤有机物组成、结构变化，特别研究那些具有生物活性的有机物组成、结构及其性质变化，对于阐明地力衰退的机理是非常重要的。

作者已有的研究表明：我国主要造林树种杉木、桉树、落叶松、杨树和马尾松的连茬人工林，土壤水解酶类和氧化还原酶类的活性均发生了较大幅度地下降，土壤中三大类微生物数量，即细菌、放线菌及真菌数量，也发生了较大幅度地下降，不仅如此，微生物属、种也发生了相应的变化，如显示土壤功能良好的固氮菌数量明显减少，反映土壤性质恶化的土壤杆菌数量在二代杉木林土壤中增多，放线菌中指示土壤贫瘠的白色类群增多，真菌中青霉属所占比例增大，这些均表明连栽杉木林土壤性质恶化。有鉴于此，维护和恢复森林土壤功能的重要任务，是要研究如何提高土壤的生物学活性，建立森林土壤养分平衡及森林土壤生态平衡体系。否则，盲目施用再多的氮、磷、钾化肥，也难以恢复森林土壤功能、让林木正常生长。

三、措施及展望

(一) 人工林群落结构优化与维护 and 恢复森林土壤功能

世界范围内人工林的大规模营造是在第二次世界大战之后。这些人工林目前差不多已进入第二或第三代,若是短轮伐期树种,则代数更多,如何经营、培育这些林分,维持人工林的长期生长力,永续利用森林土壤资源,保护良好的生态环境,防治地力衰退,是当前摆在林业工作者面前的综合性课题,涉及较多的学科知识领域。如果没有正确的森林经营、合适的育林措施和先进的栽培技术,二、三代人工林将要发生不同程度的地力衰退,并伴随着林木产量的逐代下降。如何建立人工林在新的立地条件下森林土壤动态平衡体系,是发展人工林、特别是发展短轮伐期人工林亟待解决的问题。我们的初步研究工作表明,营造混交林或轮栽新的适生树种,以及发育林下植物群落和保留采伐迹地枯落物,是维护和恢复人工林森林土壤功能较为重要的生物技术途径。如在我国中亚热带可营造杉木与火力楠、或木荷、或楠木、或马褂木等树种混交林,或轮栽针、阔叶树种;在北方可营造杨树与刺槐混交林,在东北地区可营造落叶松与红松、樟子松或水曲柳等针、阔叶树种的混交林;在南方可营造桉树与相思树的混交林,或在桉树林内间种菠萝,以耕代抚。在南亚热带,可营造马尾松与红锥混交林,维护和恢复人工林森林土壤功能。不过,在不同的立地条件下,究竟选择何种混交树种、何种混交模式,是块状混交还是行状混交,何种混交比例为佳,这些均是我国学者多年来深入研究的问题。本书将在下面的各篇、章中,详细地论述营造混交林,以及轮栽针、阔叶树种,发育林下植物群落,保留采伐迹地枯落物等不同经营措施,维护和恢复森林土壤功能与机理。回顾历史,自然界中的森林,都是以多树种、多物种混生在一起,根系的代谢产物互补,土壤中的理化性质和生物学活性形成了动态平衡体系,在农业上轮作已是常规的经营措施,混交与轮作在调控土壤性质变化与林木生长的关系,维护和恢复森林土壤功能、提高森林土壤生产力,有着重要理论和实践价值。总的来说,要善于根据具体的立地条件,因地制宜,选择适合的混交树种和混交模式,选择适合的轮栽树种。在年降水量 400 mm 以下的西北干旱区,不能单纯片面强调种植乔木,而应强调草、乔、灌相结合的模式;在北方黄土高原,南方水土流失严重、土壤瘠薄区域,则不能片面强调造林,而应强调林、草相结合的模式。

(二) 因地制宜选择不同栽培树种、制定合理的经营措施,维护和恢复森林土壤功能

因地制宜,根据不同的立地条件,选择适宜的树种,制定不同的栽培经营措施,改进采伐方式,以轮伐或择伐代替皆伐,改进迹地更新和整地方式,避免炼山和全垦整地,特别是在暴雨集中和坡度较陡的区域,尤须注意。为了恢复自然界物种多样性,可通过间伐,发育林下植被,这样不仅可以防治水土流失,而且可以有效地改良土壤性质,有条件的地区,也可考虑合理地施用农家肥、化学肥料、细菌肥料以及菌根制剂,促进林木生长,维护和恢复森林土壤功能。

(三) 制定统一的森林土壤退化分类和评价标准, 开展协作研究

世界上林业发达的国家, 如美国、加拿大、瑞典、芬兰、德国以及法国等, 广泛地把计算机技术、地理信息系统技术等, 应用于森林资源的评价与监测。联合国已在世界范围内编制土地退化图, 并把上述先进技术应用于土壤退化类型的划分和评价。我国在该领域的研究中, 也取得了一定的进展, 从“七五”开始, 对人工林地力衰退的研究工作越来越受到重视, 主要集中在对杉木、杨树、落叶松和桉树人工林地力衰退的研究, 获得了大量的科学数据, 理论研究进展明显。但对不同立地条件、不同树种土壤退化的过程和机理, 缺少深入系统的研究, 对不同树种土壤退化程度的评价及其治理方法, 目前我国尚无统一的标准、规范, 资料的系统性也较差, 研究的范围也很有限, 难以比较。因此要搞清全国森林土壤退化的现状, 当务之急是要组织起一个由多学科、跨部门的协作网, 制订各种统一的标准和规范, 其中, 包括各种工作的规程、土壤退化分类、评价的标准、评价的方法和指标以及样品的采集和分析方法。以定性和定量相结合的方式, 研究我国现行土壤资源的利用方式与土壤退化的关系, 阐明不同地区、不同立地条件下我国主要造林树种人工林土壤质量演化过程、土壤退化类型及其性质、强度、速度、分布和动态变化规律。积极地组织科技队伍, 在全国范围内对不同立地条件、不同树种、不同植被类型的土壤退化状况进行调查, 建立数据库, 揭示不同树种、不同立地条件下退化的过程和机理, 揭示现行土壤资源利用方式对土壤功能退化的影响, 从防治土壤功能退化的角度提出调控土壤资源利用方式的对策、措施和模式, 为国家宏观决策、区域治理、有效防治措施的制定, 提供可靠的科学数据和有关资料。

(四) 建立监测系统, 开展定位研究, 对森林土壤质量动态变化进行及时的预测预报

在全国范围内不同热量带、不同植被带、不同立地条件下、不同土壤类型, 选择有代表性林分类型, 建立系统的监测系统, 对多种成因引起的土壤组成、结构变化, 从而导致土壤性质、功能退化的因子进行动态观测, 开展定位研究, 及时预测预报杉木人工林土壤质量动态变化状况及其所观测的动态变化和趋势。这些工作的开展, 必将为科研和管理部门进一步研究, 为国家有关部门制定政策, 为不同地区、不同立地条件、不同树种地力衰退防治措施的制定, 提供动态的、系统的科学依据。

本书将在下面的各篇、章中, 根据作者多年来承担国家攻关课题的研究成果、国家自然科学基金课题研究成果、科技部课题研究成果、原林业部及现国家林业局重点课题研究成果等, 以及根据作者多年来获得积累的大量调查研究和定位研究的科学数据, 详细地论述我国人工林主要造林树种杉木、桉树、杨树、落叶松、马尾松以及湿地松土壤质量演变过程及其调控技术与机理。