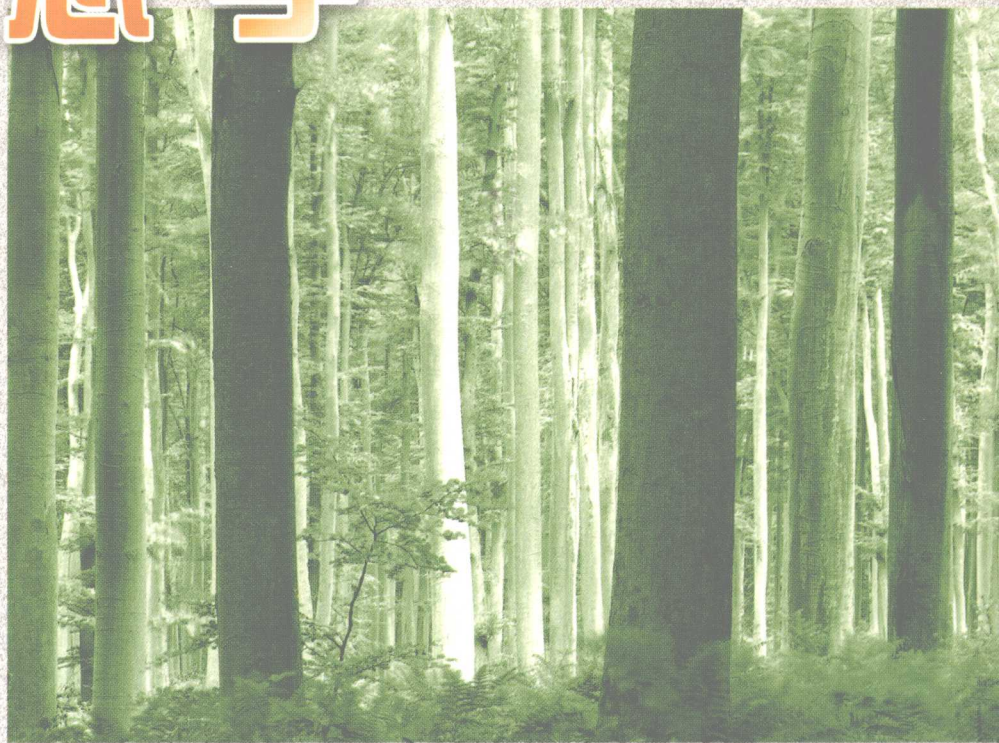
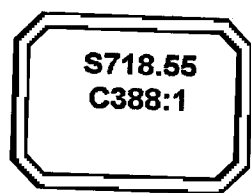


陈楚莹 汪思龙 编著

人工混交林 生态学



 科学出版社
www.sciencep.com



人工混交林生态学

陈楚莹 汪思龙 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是作者 30 年长期从事人工混交林生态研究的成果,并收集了国内有关研究成果编著而成。全书共分 9 章,涵盖了人工混交林的主要类型、混交林的种间关系、混交林的土壤、混交林的物流和能流、混交林的生物生产力以及混交林的生态学管理等内容。研究方法先进,资料丰富,数据翔实,紧密结合当前生产实际。

本书可供林学、生物学和生态学等专业师生、科研人员和林业工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

人工混交林生态学/陈楚莹,汪思龙编著. —北京:科学出版社, 2004

ISBN 7-03-013474-5

I. 人… II. ①陈… ②汪… III. 人工林:混交林-植物生态学
IV. S718.55

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 049673 号

责任编辑:霍春雁 姜朋逊/责任校对:鲁 素

封面设计:王 浩/责任印制:钱玉芬

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>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004 年 10 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2004 年 10 月第一次印刷 印张:11 1/2

印数:1—1 000 字数:250 000

定价:38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

谨以此书献给
中国科学院沈阳
应用生态研究所
五十华诞

《人工混交林生态学》编著人员

编 著 陈楚莹 汪思龙

参编作者 (按姓氏笔画排列)

邓仕坚 汪思龙 何友军

陈楚莹 陈龙池 张家武

张灿明 姚贤清 赵士洞

高 洪 黄志群 廖利平

序 言

我国是世界上人工林发展最快、最多的国家,根据 1994~1998 年全国森林资源统计,我国人工林面积达 4666.69 万公顷,居世界首位。随着时间推移,人工林在我国林业中的地位 and 作用还将不断提升,这是我国林业资源现状、林产品需求及生态安全建设需求所决定的。长期以来我国营造的人工林绝大部分为纯林,其中针叶林约占 68% 以上,而亚热带地区人工纯林比重更高,达 95% 以上。研究和实践表明:人工纯林尤其是针叶纯林是脆弱的、不稳定的生态系统,存在着许多弊端,如乔木层树种单一,结构简单,林内其他生物种群数量少,特别是有益的微生物和土壤动物种群数量少,病虫害多,抗干扰能力弱等。许多研究报道了亚热带和热带的杉木、马尾松和桉树,温带的落叶松和杨树纯林及连栽引起地力衰退,生产力大幅度下降,严重地阻碍了这些人工林的可持续经营和服务功能的发挥。显然纯林和连栽是不合理的结构和经营方式。中国科学院会同森林生态实验站 40 多年来的研究表明,变单一树种纯林为多树种的混交林,变单层结构为复层结构可减缓纯林带来的种种弊端。由此可见,混交林是今后人工林的重要发展方向。

《人工混交林生态学》是作者长期从事人工林生态学研究成果的凝炼。本书系统地展示了中国科学院沈阳应用生态研究所科研人员长期在中国科学院会同森林生态实验站和广西六万林场的定位研究成果,并汇集了国内外有关人工林的研究材料。系统阐述了国内人工林的现状及其存在的生态问题,以大量定位观测数据阐明了混交林能量流动和物质循环的生态过程,从根系与土壤界面的生物化学关系,深刻地揭示了混交林中的种间和种内关系,有力地证明了针阔混交林和阔叶混交林地力恢复的效应,这种人工林混交结构是解决纯林地力衰退的重要途径。这些研究成果引起了国内外学者的极大关注,并在林业生产实际应用中产生了明显的经济、社会和生态效益,丰富和发展了人工林生态学理论。本书对推动我国人工林持续发展具有深远的意义。

本书的定位研究主要在中国科学院会同森林生态实验站完成,该站是我国南方亚热带林区著名的长期定位研究基地,是培养森林生态学家的摇篮,祝愿会同站出更多成果和人才,迎接 2010 年建站 50 华诞。

冯宗炜
二〇〇三年十月

目 录

序言

第一章 人工纯林存在的生态问题	1
第一节 国外主要人工纯林存在的问题	1
第二节 我国主要人工林概况及存在的生态问题	3
第二章 我国主要人工混交林类型	18
第一节 人工混交林中树种间的相互关系	18
第二节 混交比例与配置	20
第三节 人工混交林的主要类型	21
第三章 人工混交林生物多样性	29
第一节 混交林与植物多样性	29
第二节 混交林与动物多样性	34
第三节 混交林与土壤生物多样性	37
第四章 人工混交林的种间相互作用关系	43
第一节 混交林种间关系的表现形式	43
第二节 混交林种间关系的作用方式	45
第三节 混交林种间关系的调控	52
第五章 人工混交林生态系统营养元素的积累、分配和循环过程	56
第一节 主要混交树种各器官营养元素含量	56
第二节 混交林营养元素的积累、分配和循环	60
第三节 杉木火力楠混交林乔木层营养元素积累、分配和循环过程	76
第六章 混交林凋落物的积累、分解与养分释放	82
第一节 我国主要混交类型凋落物特征及凋落动态	82
第二节 主要混交林树种叶凋落物的混合分解	94
第三节 混交林细根凋落物分布、分解与养分归还	109
第四节 混交林枯枝落叶层的养分蓄积和保水功能	114
第七章 人工混交林土壤	120
第一节 混交林土壤物理性质	120
第二节 混交林土壤化学性质	126
第三节 混交林土壤生物	131
第八章 人工混交林生态系统生物生产力	139
第一节 混交林的生长量	139
第二节 混交林的生产力	144
第三节 混交林的热量	150
第九章 人工混交林生态系统管理	153

第一节	生态管理的概念及内涵·····	153
第二节	人工混交林生态系统管理的生态学原理·····	155
第三节	人工混交林生态系统管理框架及评定标准·····	159
第四节	人工混交林生态管理的一个实例——杉木火力楠混交林的生态管理·····	162

Ecology of Mixed Plantation Forest

Preface

Chapter 1	Ecological problems existing in major plantation forest	1
1.1	Ecological problems in major plantation forest in the world.....	1
1.2	Ecological problems in plantation forest in China.....	3
Chapter 2	Main types of mixed plantation in China	18
2.1	Relationships between the species in mixed plantation forest.....	18
2.2	Proportion and Arrangement of mixed species.....	20
2.3	Main types of mixed plantation forest	21
Chapter 3	Biodiversity of mixed plantation forest	29
3.1	Plant diversity of mixed plantation forest	29
3.2	Animal diversity of mixed plantation forest	34
3.3	Soil organisms of mixed plantation forest	37
Chapter 4	Relationships between species in mixed plantation forest	43
4.1	Exhibition form of relationships between species in mixed plantation forest	43
4.2	Interacting ways of relationships between species in mixed plantation forest	45
4.3	Regulation of relationships between species of mixed plantation forest.....	52
Chapter 5	Accumulation, distribution and cycling of nutrients in mixed plantation forest.....	56
5.1	Nutrient concentrations of components of major mixed species	56
5.2	Accumulation, distribution and cycling of nutrients in mixed plantation forest	60
5.3	Accumulation, distribution and cycling of nutrients of tree layer in mixed plantation forest of <i>Cunninghamia lanceolata</i> with <i>Michelia macclurei</i>	76
Chapter 6	Accumulation, decomposition and nutrient release of litter in mixed plantation forest.....	82
6.1	Characteristics and dynamics of litters in major types of mixed plantation forest	82
6.2	Decomposition of mixed leaf litter from major mixed species.....	94
6.3	Distribution, decomposition and nutrient return of fine root litter in mixed plantation forest	109
6.4	Nutrient accumulation and water holding capacity of litter layer in mixed plantation forest	114
Chapter 7	Soil of mixed plantation forest.....	120
7.1	Physical properties of soil of mixed plantation forest.....	120
7.2	Chemical properties of soil of mixed plantation forest.....	126

7.3	Soil organisms of mixed plantation forest	131
Chapter 8	Productivity of mixed plantation forest	139
8.1	Growth rate of mixed plantation forest	139
8.2	Productivity of mixed plantation forest	144
8.3	Heat value of mixed plantation forest	150
Chapter 9	Ecological management of mixed plantation forest	153
9.1	Concept and implication of ecological management of mixed plantation forest...	153
9.2	Ecological principles of ecological management of mixed plantation forest	155
9.3	Outline and assessment criteria of ecological management of mixed plantation forest	159
9.4	A case study of ecological management of mixed plantation forest.....	162

第一章 人工纯林存在的生态问题

我国是世界上经济发展快和人口最多的国家。对木材的需求量逐年上升,多年来我国天然林资源严重过伐,引发了环境破坏的恶劣后果。保护数量不多的天然林,大力发展人工林势在必行。当前我国人工林发展迅速,但倾向于树种单一、针叶树比重大,并向着集约经营和短轮伐期方向发展。其存在的生态问题也日益突出。

第一节 国外主要人工纯林存在的问题

一、世界森林资源概况

全球可提供木材的天然林面积约 32 亿 hm^2 , 其中 52% 位于热带, 可供木材的森林蓄积量约 1820 亿 m^3 。随着工农业的发展, 世界森林面积不断减少, 据报道, 1980~1995 年世界森林面积减少约 1.8 亿 hm^2 , 平均每年减少 1100 万 hm^2 ; 其中南美洲减少最多, 达 477 万 hm^2 , 亚洲减少 333 万 hm^2 , 非洲减少 375 万 hm^2 ; 而北美增加了 6 万 hm^2 , 欧洲增加了 39 万 hm^2 , 俄罗斯增加了 56 万 hm^2 , 亚太地区大多数国家的森林资源都处于负增长。很多木材出口国家, 如加拿大、印度尼西亚、喀麦隆、科特迪瓦等都限制原木出口, 为了解决对木材的需求和日趋严重的生态环境问题, 发展人工林仍是世界当前的主要问题, 工业化国家和许多发展中国家正越来越多地把天然林划为公益林, 工业林生产逐渐转向依靠人工速生林, 并把大力发展速生人工林作为解决 21 世纪木材需求的根本措施, 普遍制定了长期的人工林发展规划, 如美国 1969 年在南部地区实施了庞大的第三森林计划, 即发展人工林, 以解决工农业的需求。巴西为了减少亚马逊河热带雨林的破坏和解决南方工业林的需求, 政府制定了南方大力发展人工速生林政策等。上述事实充分说明了发展人工林是世界趋势。

二、国外主要人工纯林存在的问题

1. 人工纯林连栽生产力下降

德国早在 18 世纪就营造了大量以云杉(*Picea* sp.)和松树(*Pinus* sp.)为主的人工针叶纯林, 在 1833 年和 1869 年德国学者观察到 2 代云杉林产量低于第 1 代; 1923 年 Weidemann 报道, 下萨克松地区第 2、3 代云杉林的产量下降严重; 1943 年 Rosa 和 1947 年 Kosa 报道了瑞士和挪威也有类似情况; Laurie 及 Griffith 等人 1942 年和 1948 年报道了印度及印度尼西亚 2 代柚木(*Ictona grandis*)生长减少; 进入 20 世纪 50 年代后有关这方面的报道更多, 如 1958 年 Lhampion 报道了桉树(*Eucalytus* sp.), 1966 年 Asada 报道了日本落叶松(*Larix kaewpferi*), 1978 年 J. Evans 报道了展叶松(*Pinus patula*)以及德国海岸松(*P. pinastar*)

和荷兰的欧洲赤松(*P. sylvestris*)连栽生产力下降。1966年 Keeves^[1], 1968年 Badnall 和 1979年 Boardman^[2]报道了辐射松(*P. radiata*)在澳大利亚南部和新西兰等地生产力严重下降的情况。Keeves 指出, 尽管辐射松在澳大利亚南部第1代生长非常好, 但第2代85%的土地上生产力则平均下降25%。

从世界各国学者的研究结果表明: 人工纯林连栽生产力下降是一个十分普遍的问题。

2. 人工纯林地力衰退原因

人工纯林地力衰退原因归纳起来有如下几点:

2.1 经营管理原因

2.1.1 轮伐期

短轮伐期的人工林生长快, 采伐时间缩短, 通过凋落物等归还林地的养分少, 而带走的养分多, 是导致人工林地力衰退原因之一。D.J. Raison 和 W.J. Brane^[3]在澳大利亚研究了德利格特桉(*Eucalyptus delegentensis*)和辐射松P循环的特点, 结果表明: 当德利格特桉轮伐期由57年缩短至18年时, 单位木材取走P的数量增加70%, 辐射松轮伐期由40年缩短至18年时, 单位木材取走的P增加50%。

2.1.2 采伐剩余物的清理

清理采伐剩余物的方法较多, 若方法不当, 会造成林地养分大量流失, 有学者认为用火烧方法清理采伐剩余物会造成林地养分大量流失。Grier的研究结果表明: 用火烧的办法清理采伐迹地, 造成林地养分大量流失。花旗松(*P. menziesii*)采伐剩余物火烧后, 以气态和飞灰形式损失N为91%、P为32%、K为5%、Ca为7%、Mg为21%。Feller 和 Kimmins 研究结果表明: 采伐剩余物和森林死地被物用火烧, 损失的营养物质为N 982 kg/hm²、P 16 kg/hm²、K 37 kg/hm²、Ca 154 kg/hm²、Mg 29 kg/hm², 分别相当于总量的41.0%、8.0%、24.0%、25.0%和15.0%。澳大利亚的研究结果表明: 用火烧清理采伐迹地, N、P、K、Ca、Mg、S、Fe损失较多, 尤以N损失可达72%。第二代辐射松早期生长良好的林分都与采伐剩余物铺覆技术有密切关系, 平铺采伐剩余物质可有效地改善土壤水分状况, 增加土壤湿度, 促进N的矿质化, 增加N和其他营养的来源^[4]。

2.1.3 整地方式

人工林整地方式与林地养分关系极为密切。Van Goor 曾报道, 一次深耕50cm, 可造成土壤有机质和N的大量损失, 50~100年后, 由耕作层损失的有机质N可达30%; 在美国东南部佛罗里达州平原地区, 研究湿地松(*P. elliotii*)造林前的整地方法对土壤理化性质影响的结果表明: 未干扰和干扰很轻的人工林N、P、K、Ca和Mg的含量为强度整地(垄耕)的10倍, 强度整地的表层土壤容重略有增加。

2.2 生物化学原因

树木在生长过程中, 通过凋落物、根系分泌物以及林地土壤微生物向土壤中输入各种物质, 其中有矿质营养元素, 也有各种有机物。在有机物中, 可溶性物质包括糖、氨基酸等有机酸, 可供植物吸收利用和促进土壤中难溶物质活化为有效态; 也可能分泌对树木有抑制作用的物质, 这种抑制体包括自毒和它毒作用, 它们对林地的生态环境可造

成不良影响,进而使地力衰退。Myra chu-chou^[5]报道辐射松第二代成熟林土壤与辐射松根组织混合的水浸提液含有某些有毒物质。通过土壤-根系混合水提取液实验证明:辐射松老根明显抑制新一代辐射松幼根的生长。Webb 等人发现澳大利亚银桦(*Grevillea robusta*)在采伐迹地上不能进行第2代更新,原因在于银桦幼苗接触到银桦老根时,其顶部变黑枯死,证明根部为产生毒素所在;Del Moral^[6]发现,美国多雾的加利福尼亚南部地区蓝桉(*Eucalyptus globulus*)林下植物种类、数量随着离树干距离的越远而增加,并进一步指出,蓝桉林下雾中含有绿原酸,2、5-二羟基苯甲酸等植物毒素。他们还发现澳大利亚荒原由于园果桉(*E.baxteri*)的枝叶淋洗液及表土的萃取液含有化感物质,并用人工模拟降雨得到的淋洗液,使多枝桉(*E.viminalis*)幼苗高度降低80%~85%。Rice^[7]证明植物活的根系能大量分泌各种酚酸、醛类物质,这些物质在土壤中的积累显著影响了植物根际周围微生物的生理活动,进而影响土壤中C、N代谢的平衡,最终导致植物对养分吸收的失调。Evans 发现土壤中低分子酚酸类物质随着林内针叶树与阔叶树比值的升高而增加。Fisher 基于一系列的试验指出:糖槭、桧、橡等树形成的克生物质为苯酚,朴树为香豆素,桉树为苯酚和萜烯,胡桃为苯二酮。

第二节 我国主要人工林概况及存在的生态问题

一、人工林的基本情况

我国是世界上人工林面积最大的国家。根据1994~1998年森林资源调查统计,人工林面积已达到4666.69万 hm^2 ,约占世界人工林面积1/3。人工用材林面积为2415.08万 hm^2 ,占人工林面积51.75%,蓄积量83438.72万 m^3 ,单位蓄积量仅为34.55 m^3/hm^2 ,低于世界平均水平。人工用材林中针叶树的比重远远大于阔叶树,尤其是亚热带地区,人工阔叶林面积尚不足5%。在树种布局上北方以落叶松、油松为主,南方以杉木(*Cunninghamia lanceolata*)和松树(马尾松、云南松等)为主。针叶纯林在维护地力方面较差,林地土壤衰退,特别是由于在同一块林地上栽植同一种,致使林地环境质量下降,生产力减退,显然这种布局是不合理的。

二、人工纯林连栽生产力下降的现状

我国人工纯林连栽生产力下降最为突出的是杉木人工林。杉木是我国特有的速生用材树种,现有人工林面积约1214.07万 hm^2 ,约占我国人工林面积24%。杉木连续在同一块地上栽植,生产力下降。据中国科学院沈阳应用生态研究所在中国科学院会同森林生态实验站20世纪60年代的测定结果:2代杉木胸径、树高和立木蓄积分别比同龄1代杉木低14%、11%和32%;3代杉木低22%、30%和55%^[8](图1-1)。为准确定量研究不同栽植代数的土壤对杉木生长影响,张家武等分别采集了第1、2、3代杉木林地土壤进行盆栽试验,试验结果仍呈现出上述差异^[9](表1-1)。

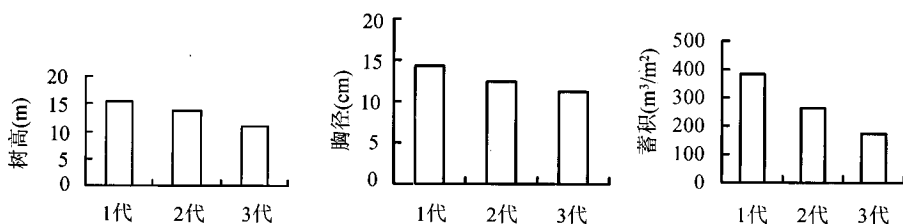


图 1-1 杉木栽植代数与生产力的关系

表 1-1 不同栽植代数土壤上的杉木幼树生长比较

栽 植 代 数	平均树高 (cm)	平均基径 (cm)	冠 幅 (cm)	地上生物量 (g/株)	地下生物量 (g/株)
1 代	32.16 (100.00)	1.13 (100.00)	55.71 (100.00)	41.91 (100.00)	15.00 (100.00)
2 代	20.34 (63.25)	0.92 (81.42)	43.92 (78.84)	21.52 (51.35)	8.88 (59.20)
3 代	19.45 (60.48)	0.81 (71.68)	39.33 (70.60)	18.81 (44.80)	8.53 (56.90)

20 世纪 80 年代后, 又有许多学者对杉木栽植代数与生产力关系进行了研究, 方奇研究指出^[10]: 15 年生 2、3 代杉木高生长与 1 代相比, 分别降低 7% 和 23%。俞新妥^[11]报道, 福建省建瓯 2 代杉木的蓄积减少了 10%~50%, 南平市 20 年生杉木 2、3 代比 1 代平均胸径分别减少 10.6% 和 31.4%, 平均高减少 22.4% 和 40.6%, 蓄积下降 14.8% 和 64.29%。广西吴诗能^[12]研究结果第 2 代杉木比第 1 代蓄积减少了 10%~50%; 安徽许汝佳^[13]、江西的邵锦峰^[14]、浙江的林协^[15], 以及贵州黔东南苗族侗族自治州林科所等的研究也得出类似的结果。显然杉木连栽生产力下降是一个普遍现象。杉木栽培历史长达 2000 多年, 轮伐期短, 即使 20 世纪 50~60 年代营造的杉木人工林现都已采伐殆尽。目前中、幼林绝大多数为 2 代林, 乃至 3 代、4 代林, 若连栽生产力下降按最低 10% 计算, 粗略地估计一下, 每年约少生产数百万立方米的木材。

马尾松(*Pinus massoniana*)是我国亚热带主要造林树种, 据彭少麟^[16]研究人工马尾松的天然更新代的生长量与第一代人工马尾松相比, 各生长期的绝对值仅为第 1 代的 1/10 左右。黄付平^[17]研究, 马尾松在迹地上造林, 成活率比在荒山造林的低 20.9%, 其 1、2 年生幼林的高生长比马尾松第 1 代分别低 13.4% 和 15.2%。

桉树(*Eucalyptus sp.*)主要栽培于广东、广西、福建、江西、四川、云南等 15 个省、区, 人工林面积约为 55.5 万 hm^2 , 该树种轮伐期短, 致使地力衰退现象也较为严重, 据报道, 2 代和 1 代相比, 生长量下降 10%~20%, 3 代和 1 代相比, 生产量下降 30%^[18]。

落叶松(*Larix sp.*)是我国北方主要造林树种。20 世纪 30 年代在我国辽宁省抚顺地区就有一定面积的栽培, 现有人工林面积 151.93 万 hm^2 , 连栽地力衰退也十分严重。陈乃全、严建道^[18]在辽宁的研究结果表明: 长白落叶松 2 代和 1 代相比, 生长普遍下降, 胸

径、树高、蓄积分别下降 10.2%、7.8%和 15.1%。

杨树(*Populus* sp.)是我国北方主要造林树种,据报道,在相似立地条件下 2 代杨树人工林和 1 代相比,平均树高和胸径分别下降 24%和 11%^[19]。

除上述人工林外,还有华山松(*P. armandii*)、木麻黄(*Casuarinaceae equisetifolia*)等人工林也存在着纯林连栽生产力下降现象。

三、我国主要人工纯林存在的生态问题

1. 林地土壤肥力递减

土壤是树木生长发育的基质,土壤的理化性质直接影响到树木的生长发育,同时树木自身的生长发育过程也对土壤的理化性质产生相应的影响。

1.1 人工纯林的生长发育与土壤肥力

我国大面积营造的人工纯林,均为速生和轮伐期较短的用材林,杉木、马尾松、落叶松约在 20~35 年采伐,桉树轮伐期更短,约 10 年左右。由于多种原因,几乎不施肥,因此从栽植直到主伐,整个林分处于消耗阶段。廖利平^[20]等在会同林区研究结果表明:杉木从栽植到郁闭前没有凋落物,郁闭后下部枝条开始枯黄,但极少脱落,此时只有养分的吸收,林分到 6~8 年时,开始有少量枯枝叶脱落,每年约在 1300 kg/hm²左右,随后稍有增加,到 10~20 年,凋落物可达 2000 kg/hm²左右,25~26 年杉木进入成熟阶段,年凋落量可达 4600 kg/hm²。由于杉木叶质坚硬,角质层厚,且以小枝形式脱落,故不易分解,在会同地区年分解率约为 48.4%。20 年生的杉木林分,每年从凋落物中归还的 N、P、K、Ca、Mg 依次为 17.79、7.00、4.61、25.82 和 14.35kg/hm²,而年吸收量分别为 40.97、15.09、18.47、79.01 和 42.86 kg/hm²,归还与吸收的比值为 0.43、0.46、0.25、0.33 和 0.34,归还尚不足吸收的 50%^[21] (图 1-2)。当杉木进入衰老阶段,树冠平顶,枝叶稀疏,林冠层破裂,郁闭度下降。54 年生杉木林每公顷年凋落量为 2073.0 kg。粗略估算,60 年生杉木林每年从凋落物归还的养分仅为 100.31 kg/hm²,年吸收量为 398.89 kg/hm²,吸收大于归还^[22]。

由于土壤养分长期收支不平衡,导致林地土壤肥力不断下降,尽管母岩每年还可以风化释放一部分,通过降水也可输入部分养分,但远远弥补不了损失。20 年生杉木人工林 0~60cm 土壤中 N、P、K 含量分别为栽植前的 43.4%、24.3%和 43.2%^[23],显然林地环境质量在逐年下降(图 1-2)。

1.2 人工纯林连栽与土壤肥力

在 20 世纪 50 年代前,我国亚热带地区的林农在次生常绿阔叶林的采伐迹地上营造人工林,经 1 代、2 代,最多 3 代之后就撂荒 50~60 年,甚至更长,使其自然恢复地力,然后再栽植人工林,连栽地力衰退问题不突出。20 世纪 50 年代后由于工农业的发展,人口的剧增,撂荒采伐迹地已不可能,故连栽在广大林区成为极为普遍现象。

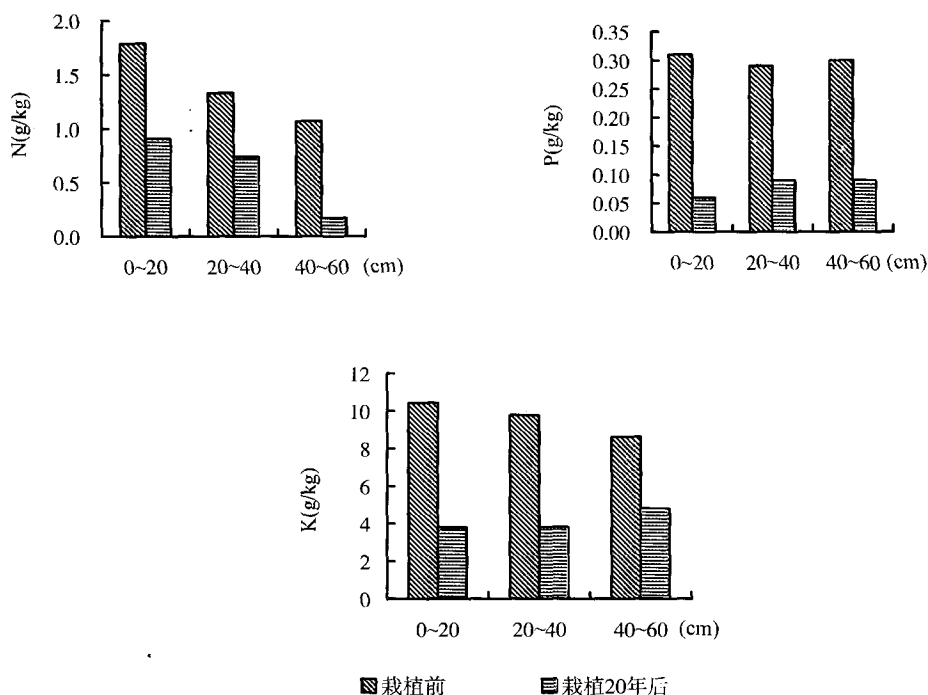


图 1-2 20 年生杉木林 0~60cm 土壤养分的变化

人工纯林连栽对土壤肥力影响十分明显，早在 20 世纪 60 年代中李昌华等^[23]在会同林区就证实了 20 年生 2 代杉木和 3 代杉木林地 0~60cm 土壤腐殖质含量分别为 1 代的 83.8%和 66.3%；全氮为 80%和 65%；全 P 为 83.3%和 33.3%；全 K 为 96.6%和 89.1%。不同栽植次数土壤有效养分仍以 1 代土含量最高，2 代土次之，3 代土最低，其 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、有效 P 和有效 K 含量分别为 1 代土的 70.2%、84.9%和 67.6%(表 1-2)。

表 1-2 杉木不同栽植代数有效养分的变化 (mg/kg)

栽植代数	取样深度(cm)	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
NH ₄ -N								
1	0~60	30.6	40.7	46.3	56.5	93.5	71.4	38.6
2	0~60	16.6	38.1	45.4	51.1	79.2	37.8	36.6
3	0~60	26.0	29.3	40.8	49.5	73.1	40.2	34.5
有效 P								
1	0~60	15.0	10.1	13.2	19.1	23.9	16.5	12.0
2	0~60	14.1	8.3	8.1	17.9	21.3	8.6	12.0
3	0~60	11.1	5.8	10.9	17.4	19.9	14.2	14.0
有效 K								
1	0~60	101.4	60.0	59.8	61.6	82.8	67.8	91.8
2	0~60	41.4	56.2	72.1	35.1	54.5	47.6	74.4
3	0~60	39.9	55.1	56.7	32.0	51.6	41.3	78.9

通过对中国科学院会同森林生态实验站两块固定样地长期观测, 结果表明: F₁ 样地 30 年前原为 1 代土, 采伐后继续栽杉木, 30 年后林地土壤中 N、P、K 分别降低 40.5%、47.5%和 42.3%, F₂ 样地 30 年前原为 2 代土, 采伐后继续栽杉木, 林地土壤由 2 代土变为 3 代土, 林地土壤中 N、P、K 降低 17.5%、51.5%和 34.1%^[24](表 1-3)。

表 1-3 连栽土壤养分含量的变化 (mg/kg)

编 号	采样深度 (cm)	时 间	连栽土 壤代数	NH ₄ -N	有效 P	有效 K
F ₁	0~20	30 年前	1	103.5	56.3	102.5
		30 年后	2	58.7	32.1	62.9
	20~40	30 年前	1	83.5	55.5	90.6
		30 年后	2	52.6	26.6	48.5
F ₂	0~20	30 年前	2	93.5	52.5	56.9
		30 年后	3	70.1	26.9	53.3
	20~40	30 年前	2	47.5	49.7	65.9
		30 年后	3	46.3	22.7	27.6

20 世纪 80 年代以来有关学者对杉木连栽土壤肥力下降也进行了研究, 在湖南会同林区的研究结果为 2、3 代土与 1 代土相比, 土壤容重增加 1.8%和 2.6%; 土壤 pH 下降 4.6%和 2.9%, 土壤有机质下降 21.0%和 9.0%, 全 N 都下降 23%, 2 代土全 P 比 1 代土下降 14.6%, 而 3 代土比 1 代土上升 22.9%。2、3 代土全 K 均比 1 代土分别提高 29.7%和 57.1%。有效 N 下降 5.8%和 1.0%, 有效 P 下降 8.3%和 1.7%, 有效 K 下降了 7.0%和 5.5%。在福建省杉木林区研究的结果^[11, 25]为 2 代与 1 代土相比, 养分含量下降 10%~20%; 3 代土与 1 代土相比, 养分含量下降 40%~50%, 连栽导致养分含量下降, 土层变薄, 并由此而使养分贮量大幅度损失。在贵州的研究结果为: 随着杉木栽植次数的增加, 土壤有机质含量下降, 土壤容重增加, 即 1、2、3、4、5 代土, 土壤有机质含量分别为 36.6 g/kg、36.8 g/kg、31.5 g/kg、26.3 g/kg 和 22.8 g/kg, 容重为 1.22 g/cm³、1.23 g/cm³、1.23 g/cm³、1.30 g/cm³ 和 1.42g/cm³。在浙江的研究结果^[15]为连栽土壤与 1 代土相比 0~40cm 土壤中土壤容重增加 2.2%; 毛管孔隙、毛管含水量、田间持水量、自然含水量和吸湿水分别下降 2.62%、6.44%、9.13%、9.57%和 10.0%, 土壤 pH 下降 5.46%; 全 N、有效 P、有效 K 和有机质分别下降 8.46%、7.26%、21.46%和 16.23%。

落叶松栽植的历史与杉木相比相对较短, 但在辽宁抚顺地区也有 2 代长白落叶松林, 2 代和 1 代相比, 有机质含量由 53.8g/kg 减少到 43.3g/kg; 土壤 pH 由 A、B 层的 6.22 和 6.03 下降到 6.00 和 5.75; 全 N 在 A、B 层含量分别降低 22.0%和 15.9%; 全 P 降低 24.3%和 28.3%; 全 Ca 下降 9.2%和 14.0%^[19]。