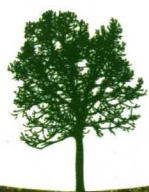


LIANZUOYANGSHURENGONGLIN
DILISHUAITUIYANJIU

连作杨树人工林 地力衰退研究

姜岳忠 王延平 王华田 等著

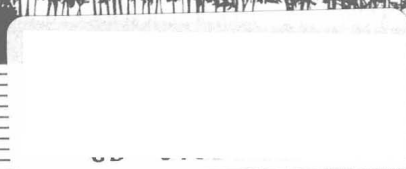


中国林业出版社

LIANZUOYANGSHURENGONGLIN
DILISHUAITUIYANJIU

连作杨树人工林 地力衰退研究

姜岳忠 王延平 王华田 等著



中国林业出版社

图书在版编目(CIP)数据

连作杨树人工林地力衰退研究 / 姜岳忠等著. —北京 : 中国林业出版社, 2015. 4
ISBN 978 - 7 - 5038 - 7956 - 2

I. ①连… II. ①姜… III. ①杨树—人工林—连作—土壤肥力—研究 IV. ①S792. 11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 075454 号

出版 中国林业出版社(100009 北京西城区刘海胡同7号)

电话 010 - 83143564

发行 中国林业出版社

印刷 中国农业出版社印刷厂

版次 2015 年 6 月第 1 版

印次 2015 年 6 月第 1 次

开本 787mm × 1092mm, 1/16

印张 15

字数 350 千字

定价 55.00 元

本书著者

主要著者

姜岳忠 王延平 王华田 刘福德 孔令刚

其他参著人员（以姓氏拼音首字母为序）

董玉峰 韩亚飞 姜岳忠 孔令刚 刘福德

马雪松 秦光华 谭秀梅 王华田 王文波

王延平 王宗芹 许 坛 伊文慧 朱婉芮

朱 红 汪其同 王 巧

本书的出版得到下列课题的共同资助，在此一并致谢！

1. 国家自然科学基金：

酚酸对连作杨树人工林土壤硝化作用的影响与机制(31270670)

2. 国家自然科学基金：

连作杨树人工林土壤养分有效性变化及其酚酸影响机制(31070550)

3. 国家林业公益性行业科研专项：

多代经营杨树人工林地力退化与长期生产力研究(200704032)

4. 国家林业公益性行业科研专项：

杨树产业资源材培育及新产品开发关键技术研究(201004004)

5. 国家重点基础研究发展计划：

人工林生态系统生物多样性和生产力关系(2012CB416904)

子专题：连作对杨树人工林生产力和生物多样性的影响(2012CB416904/zgc)

6. 山东省自然科学基金：

连作杨树人工林细根根序形态建成对酚酸累积的响应(ZR2012CM033)

7. 山东省优秀中青年科学家奖励基金：

连作杨树人工林土壤质量演变的化感驱动机制(BS2012NY006)



序

PREFACE

人工林多是由单一的速生树种组成，生长速度快，林相整齐，采用短周期轮伐经营。相对于天然林来讲，人工林经营措施简捷、方便，而且木材产量高，成为世界各国解决木材短缺的重要途径。同时，作为陆地生态系统的主要碳库，人工林在增加陆地碳汇、减缓大气 CO₂ 增加等方面的生态功能也已被公认。但是长期研究与生产实践表明，人工林由于树种单一，稳定性差，在长期经营过程中生产力衰退严重，这是人工林经营的一大难题。19 世纪末，德国、瑞典、挪威的云杉人工林第二代生产力下降问题被首次报道；20 世纪 40 年代，印度与爪哇第二代柚木林生长量减少也被发现；20 世纪六七十年代，澳大利亚、新西兰的辐射松以及南非的展叶松均被报道存在第二轮伐期生产力下降问题。在我国长期的人工林栽培历史中，也观察到了杉木、落叶松、杨树人工林生产力下降的问题，这就使得速生丰产人工林连作生产力下降的难题成为国内外发展人工林的一大瓶颈。揭示人工林地力衰退机理成为林学和生态学的热点问题。

杨树是世界人工林栽培面积最大的树种，我国杨树的栽培面积已居世界首位。据第八次全国森林资源清查数据显示，我国现有杨树人工林面积达 854 万 hm²，约占全国乔木人工林总面积的 18.14%；蓄积量 5.03 亿 m³，约占全国乔木人工林总蓄积的 20.25%。杨树木材生产已经成为我国占世界第一的胶合板和家具出口量的重要支撑。可见，杨树人工林在我国现代林业产业体系中已占有举足轻重的地位，研究杨树人工林地力衰退机理和林地生产力长期维持技术，对保障我国木材战略安全、推动现代林业产业发展具有十分重要的意义。

姜岳忠研究员和山东农业大学王华田教授等人，针对杨树人工林生产力衰退机理，建立人工林可持续经营理论与技术这一迫切需求的科学技术问题，开展了历时 15 年的长期定位研究工作。在杨树人工林生长规律、根系形态、根际营养、土壤酶活性、土壤酚酸类物质化感自毒效应、土壤微生物群落演变机理、地力维持技术等多方面开展了全面而深入的探索。他们不但揭示了连作杨树人工林生产力衰退的机制，并且将连作人工林土壤中主要化感物质进行分离鉴定，发现了其累积规律，找出了导致杨树人工林地力衰退的化学主导因子，提出了杨树人工林化感效应理论；通过对化感物质的逆境诱导及在土壤中的环境行为研究，阐明了化感物质在连作杨树人工林土壤中的累积机制；进而对化感物质的生态效应开展系列研究，揭示了化感物质累积所产生的环境影响，并确定了化感物质发挥效应的作用途径，全面阐述了杨树人工林地力衰退的实质，构建了杨树人工林生产力衰退化感

效应机理模型；在此理论指导下，研究建立了杨树人工林地力维持的一系列新技术与措施，填补了这一理论与技术空白，具有创新性。

该专著无论是在杨树根系生长及形态规律，还是在土壤生态环境因子变化，乃至化感机制的探索上，皆为我国人工林地力衰退研究领域的典范性研究，具有开拓性。其研究成果为解决杨树人工林地力衰退问题，推动人工林生态学研究的深化提供有力科技支撑。有感于此，特为序。

中国杨树委员会 主席
中国工程院 院士

2015 年 3 月



目 录
CONTENTS

序

第一章 人工林衰退研究进展

第一节 人工林衰退研究的背景..... (1)

 (一)人工林培育与木材战略安全 (1)

 (二)人工林培育与生态系统碳平衡 (2)

 (三)人工林培育与林业产业发展 (3)

第二节 连作人工林衰退现象的发现及研究历程..... (4)

 (一)国内外研究历程 (4)

 (二)连作人工林衰退的表现 (5)

第三节 连作人工林衰退机理研究的现状..... (6)

 (一)连作与土壤酶活性变化 (7)

 (二)连作与土壤微生物群落变化 (7)

 (三)连作与土壤自毒效应 (7)

 (四)当前亟须解决的几个关键问题 (9)

第二章 杨树人工林生长特征

第一节 个体生长特征 (19)

 (一)研究方法 (19)

 (二)不同林龄杨树生长规律 (20)

 (三)连作人工林生长规律的比较 (21)

第二节 杨树根系分布与生长特征 (23)

 (一)研究方法 (23)

(二) 杨树细根的垂直分布特征	(24)
(三) 杨树细根的水平分布特征	(29)
(四) 杨树细根的季节动态	(31)
(五) 讨论	(33)
(六) 小结	(35)
第三节 杨树人工林细根根序形态及其代际差异	(36)
(一) 研究方法	(37)
(二) 杨树人工林不同根序细根形态	(38)
(三) 杨树人工林不同根序细根的季节变化	(40)
(四) 讨论	(45)
(五) 小结	(49)

第三章 杨树人工林土壤特征

第一节 土壤物理特征	(50)
(一) 研究方法	(50)
(二) 不同林龄土壤物理性状和土壤 pH 值的变化	(51)
(三) 连作人工林土壤物理性质和 pH 值的变化	(52)
第二节 土壤养分特征	(53)
(一) 研究方法	(53)
(二) 不同林龄杨树人工林土壤养分含量及其根际效应的变化	(54)
(三) 连作人工林土壤养分环境的比较及其根际效应	(55)
(四) 讨论	(57)
第三节 土壤酶活性特征	(59)
(一) 研究方法	(59)
(二) 不同林龄人工林土壤酶活性及其根际效应	(59)
(三) 连作人工林土壤酶活性的变化及其根际效应	(61)
第四节 土壤微生物群落特征	(63)
(一) 研究方法	(63)
(二) 不同林龄人工林土壤微生物功能群数量的变化	(63)
(三) 连作人工林主要土壤微生物生理群数量变化及其根际效应	(64)
(四) 讨论	(67)
第五节 连作杨树人工林土壤细菌群落结构的演变	(68)
(一) 研究方法	(68)
(二) 基于 DGGE 的细菌群落多样性分析	(71)
(三) 基于高通量测序技术的微生物多样性分析	(72)
(四) 讨论	(77)

第四章 杨树人工林连作障碍的物质基础

第一节	杨树人工林根际和非根际土壤中有机组分的 GC-MS 分析	(80)
	(一) 研究方法	(80)
	(二) 根际土壤有机组分分析	(81)
	(三) 非根际土壤有机组分分析	(85)
	(四) 根际和非根际有机组分的对比	(87)
	(五) 讨论	(87)
第二节	杨树人工林根际土壤中酚酸类物质的累积规律	(88)
	(一) 研究方法	(88)
	(二) 杨树根际土壤中酚酸类化感物质含量	(89)
	(三) 讨论	(90)

第五章 连作杨树人工林土壤中酚酸类物质的累积机制

第一节	杨树根系分泌酚酸的逆境诱导机制	(91)
	(一) 研究方法	(91)
	(二) 养分胁迫下杨树根系分泌酚酸的规律	(94)
	(三) 讨论	(97)
	(四) 小结	(99)
第二节	酚酸在杨树人工林土壤中的环境行为	(99)
	(一) 研究方法	(99)
	(二) 酚酸在土壤中的吸附	(102)
	(三) 酚酸在土壤中的解吸特性	(111)
	(四) 外源酚酸在不同林地土壤中的滞留动态	(114)
	(五) 讨论	(117)
	(六) 小结	(120)

第六章 杨树人工林生产力衰退的酚酸化感驱动机制

第一节	酚酸累积对杨树幼苗生长的影响	(122)
	(一) 研究方法	(122)
	(二) 杨树幼苗对酚酸物质的吸收	(123)
	(三) 酚酸对杨树幼苗光合作用的影响	(124)
	(四) 酚酸对杨树幼苗根系生长的影响	(131)

(五) 讨论	(136)
(六) 小结	(139)
第二节 酚酸累积对人工林土壤环境的影响	(140)
(一) 研究方法	(140)
(二) 土壤养分有效性的变化	(142)
(三) 土壤酶活性的变化	(144)
(四) 酚酸物质对土壤微生物的影响	(148)
(五) 土壤养分有效性变化与土壤酶和微生物的关系	(153)
(六) 讨论	(157)
(七) 小结	(158)

第七章 人工林生产力衰退化感效应机理模型

第一节 概念模型的建立	(160)
第二节 人工林生产力衰退机理研究的未来方向	(161)
(一) 化感物质对土壤氮素循环的影响	(161)
(二) 连作人工林酚酸类物质的累积对细根寿命和周转的影响	(164)
(三) 酚酸对杨树细根形态建成及菌根侵染的影响	(167)

第八章 杨树人工林地力维持技术的探讨

第一节 林地抽沙换土	(171)
(一) 研究区概况	(171)
(二) 研究方法	(171)
(三) 抽沙换土对杨树人工林生长状况的影响	(172)
(四) 抽沙换土对杨树人工林地土壤微生态环境的改善作用	(172)
(五) 结论	(174)
第二节 品种更替	(174)
(一) 研究区概况	(175)
(二) 研究方法	(175)
(三) 更换品种对林地土壤理化性质的影响	(175)
(四) 更换品种对林地土壤肥力的影响	(176)
(五) 更换品种对林地土壤酶活性的影响	(176)
(六) 更换品种对土壤微生物区系的影响	(177)
(七) 结论	(177)
第三节 林地间作	(178)
(一) 研究区概况	(178)

	(二)研究方法	(178)
	(三)林农间作对杨树人工林生长状况的影响	(178)
	(四)林地间作对土壤微生态环境的改善	(179)
	(五)结论	(181)
第四节	立地选择	(181)
	(一)研究方法	(181)
	(二)不同立地条件下杨树人工林生长状况	(182)
	(三)不同立地条件下造林地土壤微生态环境特征	(182)
	(四)结论	(184)
第五节	林地施肥	(185)
	(一)研究区概况	(185)
	(二)研究方法	(185)
	(三)施肥对土壤酶及土壤 pH 值根际效应的影响	(185)
	(四)施肥对林地土壤微生物根际效应的影响	(187)
	(五)结论	(189)
第六节	酚酸降解微生物的筛选与应用	(189)
	(一)研究方法	(189)
	(二)菌株的筛选与鉴定	(191)
	(三)菌株对不同酚酸的降解	(192)
	(四)各菌株发酵条件的优化	(197)
	(五)降解菌的环境安全性评价	(198)
	(六)结论	(203)
	参考文献	(204)

第一章 人工林衰退研究进展

第一节 人工林衰退研究的背景

(一)人工林培育与木材战略安全

发展人工林是世界各国解决木材短缺的重要途径，也是建设现代林业、实现林业可持续发展的必然选择。1989年，国务院正式把发展速生丰产用材林列入国家的技术和产业政策，极大地推动了我国森林培育事业的发展。我国1998年开始全面实施天然林保护工程以后，全国67%的重点地区林业用地被划为生态保护区，禁伐区的森林采伐完全停止，缓冲区的木材产量也大幅度调减，全国商品材总供给量大幅度萎缩。同时，国家为了保持稳定的经济增长速度，采取了增加基础设施建设投资和开发房地产等经济政策来拉动经济增长，木材需求量进一步增加。由此，导致木材供需矛盾逐渐加大。我国1999年商品材消费量为1.43亿 m^3 ，与1981年的7560万 m^3 相比翻了将近一倍，年递增4%。2005年木材需求量为2.8亿 m^3 ，预计2015年木材需求量可达3.0亿 m^3 。增加木材产量，满足日益增长的木材需求是当前国民经济持续稳定发展的迫切需求。

当前世界各国都强调生态保护，限制天然林的采伐，林产品贸易受到极大限制。仅仅依靠进口木材填补我国木材需求缺口越来越不现实，大力发展速生丰产人工用材林，是解决我国木材供需矛盾的唯一途径。2004年8月，国务院批准在全国18个省(自治区)886个县114个林场建立速生丰产林基地，同时将速生丰产林基地建设列为全国六大林业工程之一。尽管如此，我国木材总量供给不足的矛盾仍相当突出，据统计每年缺口木材超过1亿 m^3 。其中，因人工林生产力衰退导致的木材损失是不可忽略的重要原因。以杨树为例，全国现有杨树人工林大约750万 hm^2 ，年产木材约11200万 m^3 。当前，我国杨树重点产区半数以上的林地进入二代林以后的连作经营阶段，但是连作经营导致的林分生产力下降现象非常严重(孙翠玲, 1995; 刘福德, 2005; Fang *et al*, 2011)。根据刘福德(2005, 2007)等



人对山东沂河、沭河沿岸杨树人工林的调查,连作三代、四代林与二代林相比平均材积分别下降 56.5% 和 72.0%。由此估算,由于连作经营导致的杨树人工林蓄积增长量每年至少减少 1500 万 m^3 。连作人工林生产力衰退和林地长期生产力维持已成为影响我国木材战略安全的重要命题。沈国舫院士指出:尽快并大幅度提高人工林生产力,已成为当今我国林业发展的中心任务之一(沈国舫,1988,1998)。农林生态安全、速生丰产用材林基地建设工程关键技术与示范均已列入《国家中长期科学和技术发展规划纲要》和《“十一五”国家林业科技发展规划》。世界范围内,人工林生产力的维护也成为各国林学家普遍关注的问题。在第十届世界林业大会以及国际林业联合会第十九届大会上,人工林地力的维护和林地生产力的持续性问题受到了高度重视并被列为重要议题。大力发展人工林,保持林地生产力的持续发挥成为解决当前全球范围内木材供需矛盾的主要途径。

(二)人工林培育与生态系统碳平衡

森林是地球生物圈的重要组成部分,是维持生态平衡的重要调节器。在陆地植物与大气之间的 CO_2 交换中,90% 以上是由森林来完成的,因此森林是大气 CO_2 重要的吸收汇。其中,人工林作为临时陆地碳库,在增加陆地碳汇、减缓大气中 CO_2 增加过程中的作用已被国际组织和各国所公认。目前,西欧、北美各发达国家和澳大利亚、新西兰等热带国家都在加大对人工林碳吸收、碳有效储存时间和碳增汇对策技术的研究力度,为在气候变化谈判中最大限度地争取国家利益作积极的准备工作。虽然我国是世界上发展人工林面积最大的国家,但在人工林碳汇功能方面的研究还很不够,对人工林在维持生态平衡中的作用估计不足。

人工林对陆地碳储量最明显的影响就是生物量的增长。通过造林,将荒地、草地或农田转变为人工林,能极大地增加植被碳储量,提高陆地碳汇功能。Silver(1993)等通过分析文献资料,认为在热带退耕农田和牧场上造林,造林后的最初 20a,地上生物量增量为 $6.2 \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$;如果按造林后 80a 计算,其增量为 $2.9 \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。Laclau(2003)的研究也发现牧草地转化为松树人工林 14a 后,其生物量碳储量是原先草地的 20 倍。李家永等(2001)对我国千烟洲不同土地利用方式下有机碳储量的比较表明,荒草地转变为湿地松、杉木等速生树种人工林 14a 后,人工林生物量碳储量比草地高出几十倍。

造林后,植被碳储量随林分年龄增加而增加,直到森林成熟后,不再明显地积累碳。方晰(2003)对年龄序列的马尾松人工林生物量和净生产量的研究表明,生物量和碳贮量随年龄的增长而增加,幼龄林到中龄林年固碳量增加幅度最大,中龄林到近熟林年固碳量增加幅度下降,但到了近熟林后,其年固碳量明显下降。而且森林生物量在枝、叶、干和根间的分配在不同年龄的树木和不同的生境条件下是不同的,不同的生物量组分,碳的储存期有很大差异,从叶的几个生长季到活立木中保持上千年不等。这些都会影响到造林植被碳增汇作用的实现。

与生物量相比,造林对土壤碳储量的影响要小得多,但土壤碳库容量大,造林导致较小的土壤碳变化都会影响到人工林的净碳积累,而且土壤碳周转速率慢,受干扰影响小,能维持较长时期的碳储藏。所以通过造林提高大气 CO_2 在土壤中的吸收,最后转化为稳定

的腐殖质,是一种比用活的生物量临时吸收 CO_2 更持久的解决方案,从长远来看,对缓解全球气候变化具有更实际的意义。人工林对土壤碳储量的影响依赖于当地环境条件和造林实践过程,目前还没有一致的研究结果。多数研究认为,造林后土壤碳储量通常是最初下降,然后才开始积累。开始积累的时间与研究地点有关,温带地区一般少于 10a,而热带地区要晚一些,在土壤深层,碳开始积累的时间似乎更晚。Paul 等(2002)利用来自全球 43 项研究涉及 204 个地点造林后土壤碳变化的数据,采用年龄权重平均得出,在造林后初始 5a,土壤碳下降约 3.64%,之后会逐渐增加;约 30a 后,土壤表面 30cm 的碳量通常高于最初的农业土壤。造林后土壤碳变化也受造林前土地利用方式的影响,Guo 等(2002)对全球 74 篇关于土地利用变化对土壤碳储量影响的文献中 537 个观测点的数据进行分析,发现从农田到人工林的土地利用变化,土壤碳储量增加 18%。

造林不仅能改变土壤碳储量,还能改变碳在土壤中的垂直分布,从而影响陆地碳汇。Bashkin 等(1998)研究了夏威夷热带森林甘蔗种植园转变为速生桉树人工林后土壤碳变化,发现造林后 10~13a,人工林中土壤表层 0~10cm 碳增加 $1.15\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$,而 10~55cm 减少 $1.01\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。Vesterdal 等(2002)也发现造林后 29a,土壤碳进行重新分配,在表层 0~5cm 土壤中碳随林分年龄增加而增加,而在 5~25cm 则随年龄增加而下降。李跃林(2002)对广东鹤山马占相思林造林前后 0~100cm 土层碳储量的对比研究后发现,造林后 14a,人工林土壤下层有机碳含量大大提高。

造林还具有快速固定和长期稳定土壤碳的作用。Galdo 等(2003)运用有机物质分馏法和稳定碳同位素技术,比较了意大利东北部传统农田、造林地和永久草地对土壤碳动态的影响,发现造林有利于土壤中新碳的有效固定和受物理保护的土壤有机质组分中旧碳的稳定,促进其与微团聚体和黏土结合。分析其原因,认为农田转变为林地,增加了碳在土壤中的流动,降低了土壤有机质周转,最后导致碳固定于稳定的并且受保护的土壤有机质组分中。

(三)人工林培育与林业产业发展

2000~2005 年,在全球森林面积年均减少 730 万 hm^2 的背景下,我国通过人工造林扩大森林面积年均 405.8 万 hm^2 。人工林保存面积继续保持世界首位,占世界人工林总面积的近 40%。人工林所涉及的林业产业横跨一、二、三产业,资源类型多、产业链条长、市场空间广、发展潜力大,具有经济、社会、生态多种功能。应对国际金融危机,扩大内需保增长,应当加快人工林培育进程,积极发展林业产业,着力构建发达的现代林业产业体系。

金光集团 APP(中国)加速改变传统林业经营观念,运用基地林业新思维即低水平资源消耗型的“用面积换产量”转换成资源高效利用型的“产量换面积”的发展新思路发展现代人工林经营。该公司通过对桉树人工林经营的不断深入研究,开发出了一套“高效营林体系”,并取得了很多值得推广的实践成果。这一体系包括先进的机械整地技术、高产优质品系、组培、先进造林及高效抚育等领先技术,使产量提升 30% 以上。2008 年已有数万亩林地实施了这种高效营林体系。APP(中国)主动承担生态建设,不断加大林业投入力



度,加强人工林管理,进一步提高现有人工林质量,同时加强碳汇林业研究,不断提高人工林生产力和固碳能力。2008年APP(中国)现有人工林总碳储量为648万t,平均每年固碳217万t,或平均每年吸收二氧化碳796万t,平均年氧气释放约579万t,每年平均吸收二氧化碳当量价值0.796亿欧元。

第二节 连作人工林衰退现象的发现及研究历程

(一)国内外研究历程

连作人工林衰退现象的发现历史悠久,人工纯林连栽生产力下降是一个十分普遍的问题。19世纪末,德国、瑞典、挪威的云杉人工林出现第二代生产力下降问题,20世纪40年代报道了印度与爪哇第二代柚木林生长量减少。20世纪60~70年代,据Keeves(1966)和Boardman(1978)报道,澳大利亚东南部重茬种植辐射松人工林,第二茬轮伐期松树的生长量比第一茬轮伐期减少了20%~25%;此外,新西兰的辐射松、南非的展叶松及辐射松均存在第二轮伐期生产力下降问题。随后,国外有关速生丰产林连作生产力下降问题的报道不断增多(Webb, 1967; De Bell, 1971; Chu-chou, 1978; Keeves, 1966; Boardman, 1978; McColl, 1983; Van Lear, 1983; Haywood, 1994; Tiarks & Haywood, 1996; David, 1990; Yasushi, 1990)。在湿润和半湿润的热带地区红壤和其它肥力差的土壤上,如果没有特殊管理措施,把天然林改变成速生的、短周期的人工林将不可避免地造成土壤退化,其退化形式表现为土壤有机质和养分水平下降、表土结构恶化、土壤板结。林地生产力退化的速度取决于土壤、气候、管理措施及其所栽植的树种。由于大面积营造人工林破坏了原有的生态环境,使生态系统的稳定性降低,营造的人工林抵御不良环境条件的能力较差,如1990年春,中欧刮倒林木的总量达到1108万 m^3 。巴西引进和大力发展桉树以后,病虫害危害面积逐年增加,1968年米纳斯热赖斯州桉树人工林的虫害面积为4955万 m^3 ,1978年为9990万 m^3 ,1981年达19980万 m^3 (姚茂和,1992)。

同时,国际上对人工林集约经营及森林利用范围提出了某些重要问题,并就如何维持人工林长期生产力和林地肥力,展开了广泛的研究。20世纪70年代末出版了《集约收获对森林养分循环影响》论文集。1989年5月国际能源机构生物能源组在Rotorua召开了集约收获环境影响项目的业务会议,根据会议材料编出了《森林收获对长期生产力的影响》一书。该书讨论了长期生产力的研究与方法论,综合了前人大量的研究成果,提出了今后研究的策略、内容和方法。近年来,采用可更新的生物能源替代石油燃料成为一种趋势,增加采伐是对更多生物量的收获利用,这对土壤肥力和持续生产力构成了更大的威胁。在1990年召开的国际林联第十九届世界大会上,Evans J在《人工林长期生产力90年代现状》报告中对人工林长期生产力现状进行了论述(Evans, 1990)。Kimmins(1994)提出了保持长期立地生产力的研究策略和森林养分与生产力关系的研究策略和对策。1991年在巴黎召开的第十届世界林业大会上,人工林地力维护和林地生产力的持续性问题受到了高度重视,

Yves Birot 在大会报告中指出“人工林生态学核心问题之一是土壤肥力、生物、物理、化学特性和育林实践的关系”(盛伟彤, 2005)。1989 年美国开始实施长期立地生产力试验(The Long Time Stand Productivity Experiment)大规模研究项目, 旨在研究北美地区与采伐和控制植被有关的人工林经营产生的立地干扰对持续生产力和土壤过程的影响。1993 年, 美国林协提出了《森林健康及生产力长期保持》的特别报告, 指出实施森林生态系统管理是达到森林健康和长期保持生产力的主要技术途径, 这种管理主要包括维护生物多样性和土壤肥力, 以及遗传变异和扩散的保持。1995 年世界林业研究中心人工林项目组织实施国际伙伴合作项目“热带人工林长期生产力研究”, 包括 8 个国家 9 个树种, 其中中国有 2 个树种, 杉木和桉树被纳入了此项研究(盛伟彤, 2003)。

国内林学家在 20 世纪 60 年代就开始注意到人工林的地力衰退现象; 自 80 年代开始进行系统的研究工作, 于 1992 年由中国林学会森林生态学会出版了《人工林地力衰退研究》专集。30 余年来, 科研工作者就人工林的地力衰退问题开展了广泛深入的研究, 发表了大量研究论文, 取得了一大批重要的研究成果, 为揭示人工林地力衰退机理作出了巨大贡献。随着研究的不断深入, 关于人工林的化感效应问题成为人工林地力衰退研究的一个热点。2003 年, 国家自然科学基金设立了“杉木幼苗根/土界面中的次生物质及其化感效应”研究课题, 对杉木的化感自毒作用开展了较为系统的研究。2006 年, 国家自然科学基金又设立了“杉木人工林地土壤中化感物质的鉴定、来源和转化”研究项目, 试图深入揭示杉木人工林化感物质的产生及转化过程。此外, 针对桉树、马尾松、杨树等树种的化感效应问题, 现在也开展了大量研究工作。

(二)连作人工林衰退的表现

1. 林分生产力的下降

连作人工林林分生产力下降是地力衰退最直接的表现, 也正是因为林分生产力的下降引发了人们对地力衰退的研究。最早发现这一问题的是德国, 以后有关人工林连栽造成林分生产力下降的现象屡有报道。在国内, 由于连栽造成林地地力衰退在杉木、杨树、桉树、马尾松、落叶松等树种的人工林中也十分严重(盛伟彤, 1992)。杉木是广泛分布于我国南方的主要造林树种, 由于长期实行连作经营, 地力衰退现象普遍。自 20 世纪 60 年代, 陈楚莹等(2000)便开始关注杉木连栽的影响, 并做了详细研究。马祥庆等(2003)通过对不同林龄、不同立地的一、二、三代杉木林生产力比较, 发现随着连作代数的增加, 不同林龄阶段杉木林平均木生物量均呈逐代递减趋势。杨承栋(1997)报道, 杉木人工林第二代比第一代生长量下降 10% ~ 15%, 第三代与第一代相比生长量下降 40% ~ 50%。桉树人工林二、三、四代林分总生物量与一代林分相比分别下降了 20%、28% 和 46%; 落叶松二代林产量比一代林下降 15% (陈乃全, 1990); 杨树人工林连作三代、四代与林二代林相比平均胸径、树高、材积分别下降 28.8% 和 43.7%, 25.6% 和 33.8%, 56.5% 和 72.0% (王华田, 2007; 刘福德, 2005)。