

文章编号:1001-1498(2004)01-0106-10

# 人工林长期生产力保持机制研究的 背景、现状和趋势

盛炜彤, 范少辉

(中国林业科学研究院林业研究所,北京 100091)

**摘要:**国内外普遍关注人工林的稳定性问题,人工林长期生产力能否维护是当前人工林研究上的一个重要方面。特别是关于人工林是否导致地力退化,针叶林是否引起土壤酸化,一直是国际上争论的焦点。本文收集了国内外大量资料,全面反映了国内外人工林长期生产力研究现状,包括研究策略、研究方法、生态系统基本过程研究、实施人工林后立地质量变化,包括采伐剩余物处理、整地、抚育、间伐、森林收获、人工林树种本身、人工林群落结构对立地生产力的影响,对各种研究结果与结论作简要概括,同时反映不同观点,并对人工林长期立地生产力研究趋势也作了扼要阐述。

**关键词:**人工林;长期立地生产力;地力维护;研究现状;发展趋势

**中图分类号:**S725.7      **文献标识码:**A

国际上特别关注人工林长期生产力及第2代生产力下降问题。早在19世纪末就提出了德国、瑞士、挪威云杉(*Picea abies* Karsten)人工林第2代生产力下降的问题;20世纪40年代报道了印度与爪哇第2代柚木(*Tectona grandis* Linn.)林生长量减少,20世纪60~70年代,报道了南澳、新西兰的辐射松(*P. radiata* D. Don),南非的展叶松(*Pinus patula* Schlecht. et Cham.)及辐射松也存在第2轮伐期生产下降的问题。同时国际上对人工林是否存在生产力下降,对森林集约经营及森林利用范围提出了某些重要问题,并就如何才能维持森林长期生产力和林地肥力,展开了广泛的研究<sup>[1,3]</sup>。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在Rotorua召开了“集约收获环境影响”项目(这个项目开始于1985年)的业务会议,根据会议材料编出了《森林收获对长期生产力影响》一书(1994年出版)。这本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。近些年来,采用可更新的生物能源替代石油燃料成为一种趋势,增加了采伐时对更多的生物量的收获利用,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,J. Evans作了《人工林长期生产力——90年代现状》报告,对人工林长期生产力研究现状进行了论述;Kimmins<sup>[2]</sup>分别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战术。人工林生态问题在第十届世界林业大会上也得到重视,Yves Birot提出了人工林的生态学观察,核心问题之一是土壤

收稿日期:2003-03-12

基金项目:国家自然科学基金重点项目“杉木桉树人工林生产力保持机制的研究(39630240)”

作者简介:盛炜彤(1933—),男,江苏海门人,研究员。

演化(土壤肥力、生物、物理、化学特性)和育林实践的关系。1989年美国开始实施名称为“The LTSP Experiment”(长期立地生产力试验)大规模研究项目<sup>[4]</sup>,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,提出实施森林生态系统管理是达到森林健康和生产力长期保持的主要技术途径,这种管理主要包括维护生物多样性和土壤肥力,以及遗传变异与扩散的保持。1995年,世界林业研究中心(CIFOR)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,其中我国有两个树种,杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)与桉树(*Eucalyptus* spp.)参与了此项研究。

我国从20世纪60年代初期就开始了杉木人工林地力衰退的研究,发现了连栽的杉木林生长一代不如一代,20世纪80年代以后,研究了杉木、桉树等人工林育林干扰对土壤肥力的影响。

综合国际上各种有关人工林长期生产力问题研究报道信息,可以看出,国际上对人工林长期生产力的关注和对研究的重视,并认为与人工林单作相联系的生物学稳定性与潜在问题,尚有许多需要再研究认识。这些问题包括:轮伐期间的生产力、病虫害、气候改变、立地与林分的相互作用。从发表的资料看,目前的研究观测重心仍然在轮伐期间的生产力比较和由于实施人工林而引起的立地的改变。

## 1 国内外长期生产力研究现状

### 1.1 关于人工林长期生产力研究的战略、方法及基本过程

1.1.1 研究方法 长期生产力研究难度较大,为了使长期生产力研究能经济而有效地取得大量可信科学资料,国内外很注意研究策略和方法。Dylk等<sup>[5]</sup>提出关于确定收获及与之相关措施的三个长期生产力研究方法,即时序研究、追溯研究及长期试验。时序研究使研究者在不必等待变化发生所必要的时间长度的情况下,来研究经营措施作用下生态系统长期变化的方向和性质。时间序列法代表了一个生态学的时间序列,它基于研究者的正确判断,构成这一序列的各生态系统的差异,是由不同的年龄和时间的差异而造成的,而不是在同一时间序列内由环境的不同变化造成的。亦即一般意义上的用在空间的变化代替系统随时间变化的方法。此法的优点是缩短研究时间,便于确定关系(由时间序列法观测的对象是由一些代表不同时间点的分开的观测样地组成,这就有可能确定系统的性质是如何随时间变化的)和进行模拟尝试(时序法能够对提供在时间改变范围内生态系统独立分析模拟尝试起作用)。时序法可应用于如植物演替、生物量积累、矿物循环改变。

追溯法,此法在不用等待变化发生的情况下研究生态系统的性质和经营干扰下长期变化的方向和特性。追溯法研究通常分析以前曾施行过不同措施(处理)的林分或标准地资料,来研究那些处理对现在林分或标准地状态是否有什么影响。成功的追溯研究要求把初始处理以某种方法记录在案,除了初始处理引起的差异外,该研究的林分发育不受其他可能混淆结果和解释的因子影响。此法可应用于如倒木(采伐剩余物)归堆,机械整地及火烧整地、收获等。

长期试验,长期试验同时序法与追溯研究相反,开始于“时间零”,而且有长期目标,要求有科学的试验设计和定位的观测记载。应用时序和追溯法不能替代长期试验,长期试验可提供一个确定性的结果。

本课题此次研究所采用的方法,大体上是上述三个方法的结合使用,但由于长期试验要求观测时间长,5 a 只能有一个短期结果,如造林阶段火烧炼山及整地水土流失等效果可以得出某些结论,但生长效果还待观测,因此大量应用的方法是时序法和追溯法。如不同立地不同发育阶段不同代数间的林木生长发育与土壤变化主要依赖时序法,即以空间代时间的方法。课题也应用追溯法研究与现在研究有关的一些过去的试验地资料和试验地。如过去间伐试验地应用于研究林下植被与土壤变化。

1.1.2 研究策略 Kimmins<sup>[2]</sup>指出,对长期立地生产力在缺少适合的试验性为基础的预测方法的情况下,可以从如下两方面开始尝试:(1)建立一个由一些本底和试验记录资料完备的长期定位试验组成的研究网络,观察人工经营措施,诸如皆伐、全树收获、采伐剩余物处理(焚烧等)对土壤坚实度、土壤侵蚀、养分流失、营养随采伐生物量带走的消耗、有机物损失等影响结果;(2)通过长期定位试验取得了必要的以试验为基础的知识后,可以用这些知识(信息)建立预测系统。还指出,长期的立地生产力研究必须由三部分组成:(1)建立具有良好监测系统的长期定位试验,以获取记录完整的关于人工林经营措施长期影响结果的试验数据;(2)在这些长期定位试验中,对生态系统的基本过程进行深入研究,提供为预测和决策工具需要的标准数据;(3)构建不同预测和决策工具,包括计算机模型、田间指南、关键决策系统、专家系统等。

1.1.3 生态系统基本过程的研究 关于 Kimmins<sup>[6]</sup>上面谈到的对生态系统的基本过程进行深入研究,已在 1994 年出版的《森林收获对长期立地生产力影响》提出来。这些基本过程(关键过程)是:(1)确定叶面积及光合作用效率过程,这个过程是森林生态系统的“发动机”;(2)C 的分配:树干生产很大程度上决定于光合产品地上地下生物量之间及短期与永久性生物量间的 NPP(净初级生产)的分配。C 分配对于决定树干生产是重要的。湿度和养分的有效性决定森林树木 C 分配类型,但是养分比湿度起的作用更重要;(3)养分循环是立地生产力的关键过程。养分循环包括三个主要类型:即地理化学循环(生态系统养分收支),生物地理化学循环(营养在土壤与活有机体之间循环)及生物化学循环或内循环(营养在单个有机体生物量成分之间的内部再分配);(4)土壤湿度是立地生产力的决定因素;(5)热辐射相关过程及生态演替过程:叶面积发育及光拦截地上部分的过程包括光合产物的分配、有机物质分解、养分矿化与养分吸着及解吸收和另一些地上地下养分循环过程,主要决定着净初级生产力与潜在的长期生产力。经济木材生产(净初级生产对商业的可收获生物量分配)要求叶面积大多数分配到多年生物种上,这种分配决定于生态演替过程,特别是树种生活的早期。重要的演替过程包括复原、早期生产率及竞争取代。

## 1.2 实施人工林后的立地变化研究

Morris 等<sup>[7]</sup>指出,在过去的 20 a,相当强调发展计算机模型能够预测管理措施对长期森林生产力效果的影响。虽然这种模型作为探索研究的工具被广泛确认,但认可预测森林生长的改变是有限的,因为所有模型都结合了现在的森林生长,而了解影响森林生长的因子是不完全的。有说服力的生产力改变的证据是来自严格控制的田间试验而不是模型。

1.2.1 育林措施与立地生产力改变 Morris 等<sup>[7]</sup>提出评估生产力改变的证据为如下的营林管理活动:单作或限定树种应用;收获利用与养分移动;剩余物处理及改良管理,包括养分和耕作,并指出,在以往的研究中树种连栽或者说第 2 轮伐期导致生产力下降的问题应主要从树种本身的特性加以考虑,但近年来大量的研究表明,这一问题很难与采伐利用,采伐剩余物处理

和土壤耕作等分开。采伐剩余物处理和整地除了对养分平衡造成影响外,还对土壤理化性质产生直接或间接的影响。至少在用材林和纸浆林经营中,仍有直接的养分移走和植物必需养分的间接损失,如果没有自然补充或施肥,将造成林分生产力下降。

1.2.1.1 采伐剩余物处理的影响 以归堆的方式机械移走采伐剩余物,对立地存在最大的潜在负影响,因为这能转移多数立地上的大量有机质、土壤和伴随的养分<sup>[7~9]</sup>。Morris 等报道在美国南部火炬松(*Pinus taeda* Linn.)与长叶松(*P. palustris* Mill)森林内归堆转移的 N、P、K 超过商品用树干的 6 倍,转移的养分为 1 m 深土壤养分全量的 10%。类似的结果也发生在新西兰的辐射松<sup>[10]</sup>和美国南部 Piedmont 的火炬松林<sup>[8]</sup>。在美国北方森林枝桠及凋落物的积累量很大,火烧剩余物损失的 N 超过  $500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。据 Gier 在美国花旗松(*Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco)地区的研究,采伐剩余物火烧后,以气态和飞灰的形式损失的生物量为总量(每公顷 75 t)的 93%、N 为 91%、P 为 32%、K 为 5%、Ca 为 7%、Mg 为 21%。Feller 与 Kimmins 确定,经过火烧,采伐剩余物和森林死地被物中损失的 N、P、K、Ca、Mg 养分分别为:982、16、37、154、29  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,这分别相当于采伐剩余物及死地被物总量的 41%、8%、24%、25%、15%<sup>[11]</sup>。焚烧剩余物很可能引起植被和土壤成分中 N 的减少。根据俞新妥<sup>[12]</sup>的研究,炼山在福建尤溪砂岩发育土壤上,造成严重的水土流失,炼山引起的水土流失量达  $17.0 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,不炼山为  $1.0 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,炼山的水土流失是不炼山的 17 倍;有机质损失  $989.354 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,养分损失  $586.34 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,其中损失的 N 为  $37.27 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。炼山 3 a 后的调查结果表明,炼山对土壤理化生物特性均带来不利影响。叶镜中等<sup>[13]</sup>在江西武功山林场进行了炼山试验(采伐剩余物堆高 0 ~ 1 m),质量 0 ~ 25  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。炼山后,0 ~ 20 cm 土层内全 N 减少 10.72% ~ 16.53%,但水解 N 均有所增加。也就是焚烧采伐剩余物能减少土壤全量养分而增加有效养分。

Morris 等<sup>[7]</sup>的研究表明,在采伐剩余物机械处理的立地上栽植苗木的成活率与早期生长最好。原因有三:(1)有较多的有效养分,特别是 N;(2)很大程度上减少植物竞争;(3)板结土壤在耕作时得到了改良。不过,在森林成熟时有减少生长的倾向。Burger 及 Kluender 研究表明,整地对(包括归堆时强烈土壤干扰)5 年生林分或小于 5 年生湿地松人工林生长有所改善,但成熟林分的树高生长及林分材积减少。

大多数关于炼山对生产力影响的研究发现,在收获后炼山和不炼山的立地在生长上有恒定的差别,而且焚烧不焚烧立地的早期生长判别常常没有被后期的测定所证明(Curra 等 1990, Miller 等 1990)。“八五”期间中国的研究也证实了以上的结论,由于炼山能在当年增加土壤有效养分,因此对林木初期生长是有利的,到栽植后第 3 年,杉木树高生长已经接近对照处理。

Fox 等(1989)报道了垄状归堆减少火炬松人工林生长,31 年生时蓄积量仅为  $267 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ,而邻近火烧迹地栽植的蓄积量为  $345 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ,在 25 a 时,优势与亚优势树高垄状归堆的少 3.3 m(减少 14%),但 7 a 前二者是相似的。Alen et al. 报道,在 North Carolina Piedmont 火炬松林连栽生产力比较,在粉碎及火烧样地用了除草剂可缩小竞争差别,在 6 a 时的高生长等于或超过垄状归堆处理的,在 8 a 时不用除草剂的高生长才保持大于归堆处理的。

从有效的田间试验及追溯研究得出结论:采取机械移走采伐剩余物,诸如垄状归堆影响,而且不被切碎或其他大多数剩余物不就地保留的作业对长期生产力常常是有害的。火烧处理会损耗大量有机质和养分,并造成水土流失,对维护地力不利。两者对林木生长的影响常表现

出林木幼年期生长有所改善,而后期常常减少生长。

1.2.1.2 关于整地方式对立地生产力影响 国内研究得比较多,通常采用穴垦、带垦及全垦,穴垦中,又划分为大穴、中穴及小穴。许多试验表明,整地范围广而干扰土壤多的整地方式初期明显引起水土流失,从而也存在养分的损失。张顺恒<sup>[14]</sup>在福建省尤溪县花岗岩及砂岩发育的红壤上进行穴垦、全垦及带垦三种方式试验,结果表明,全垦、带垦、穴垦整地方式5a的土壤流失量分别达36.671、29.367、21.883 t·hm<sup>-2</sup>,林地养分(N、P、K)流失量分别达543.579、433.594、300.354 kg·hm<sup>-2</sup>。流失有机质分别为123.570、982.312、703.667 kg·hm<sup>-2</sup>。在砂性土壤上水土流失及养分损耗都较严重,尤以全垦为最大。

黄承标<sup>[15]</sup>报道,在广西桂平县砂页岩发育的砖红性红壤上作全垦、带垦及穴垦三种整地方式试验(马尾松),经6a观测,每公顷土壤流失量分别为9.313、4.090、1.917 t,年平均养分流失分别为166.170、76.270、3.982 kg。全垦仍为水土流失最大。造林6a后土壤有机质、全N、水解N及速效K均有下降趋势。以全垦为最大,有机质下降了22%,全N下降了17%,水解N下降了19%。

张先仪<sup>[16]</sup>报道,在江西省分宜县板页岩分化的红黄壤上进行全垦、带垦及穴垦三种整地方式试验,7a的观测结果表明,前3a有土壤侵蚀量,后几年没有测出土壤侵蚀量。前3a平均年侵蚀量分别为0.1165、0.0972、0.0932 t·hm<sup>-2</sup>,侵蚀量均很小,但全垦略高于其他两种方式,以栽植后第1年的水土流失量最多。

从上述几种整地方式比较看,整地所造成的水土流失及养分损失,(1)是与岩性有关,凡花岗岩、砂岩等形成的砂质土壤容易发生水土流失,养分损耗大,但在板岩性发育的土壤抗侵蚀能力强,一般水土流失少,养分损耗小;(2)全垦的水土流失严重,损失养分相对多;(3)造林整地引起的水土流失主要发生在前3a,即林分郁闭前,尤其第1年最严重,因此,不同的岩性及不同的整地方式对地力影响不同。

国家科技攻关中有较多整地方式对生长的影响研究。盛炜彤<sup>[17]</sup>总结了全国杉木不同整地方式(有四组试验)的影响效果,得出如下结论:整地方式对生长的影响因立地条件而不同。在14地位指数以上的立地整地方式对林木生长的影响无明显差别,但在12地位指数以下的立地,标准高的整地方式能明显促进生长;整地对林木生长影响有明显时效性,通常在5a前差别较小,6~15a差别较大,15a以后逐渐缩小,到林木生长后期差别逐渐消失。从一些速生树种对整地的反应和整地方式对林木生长的时效性看,对短轮伐期(如10a以下)的人工林,高质量的整地能有效地促进林木生长。

### 1.3 森林收获对长期立地生产力的影响

国际上很重视此项研究,特别对皆伐及全树收获,有大量的研究论文发表。Morris等<sup>[7]</sup>认为关于森林收获对长期立地生产力影响不能简单地加以排除,直接移走和间接损失植物的基本养分在用材林(木材或纤维)经营管理中发生,没有自然来源或施肥的养分投入,生产力可能下降。关于收获利用对立地生产力影响的现实问题,中心是相对养分输入输出的平衡和土壤对森林生长提供养分的能力。

多数的养分耗竭与直接的生物量移走有关,养分累积性侵蚀淋溶及气体损失是相对较少的。关于养分移走速率,在《集约收获对森林养分循环影响》论文集(USDA东北林业试验站,1999年出)中,分别对短轮伐人工林、中龄林及长轮伐期制度有研究报道。总的结论是,传统

的中龄林分只收获树干对未来轮伐期树木养分的影响不大,大气 N、P(或许还有 S)输入的量与收获输出的接近平衡,土壤贮存的 K、Ca 及 Mg 对大多数轮伐期是充分的,甚至在大气输入不足的情况下也是足够的。

养分耗竭主要发生在短轮期集约收获地上部分生物量大量养分移走时。Kimmins<sup>[18]</sup>对全树收获养分损失对林木生产力影响进行了评估,评估包括铁杉、柏树、松、云杉、冷杉及杨树森林类型,完全收获地上部的比只收获商品树干的 N 的移走率提高 86% ~ 288%, P 54% ~ 367%, K 14% ~ 236%, Ca 15% ~ 199%。Well 等报道了间伐 16 a 火炬松人工林的矿物元素与生物量,全部收获地上部分 P、K、Ca 及 Mg 比只收获干材的增加一倍。Koch 对 35 年生集约管理的火炬松人工林的主要养分移走进行了评估,管理内容包括行状间伐(全树收获),中间疏伐(全树,包括主根),终伐(全树,包括侧主根),移走的 N、P、K、Ca、Mg 分别为 753、92、498、553、141 kg · hm<sup>-2</sup>,相当于每年移走的 N、P、K、Ca、Mg 分别为 22、3、14、16、4 kg · hm<sup>-2</sup>。Jurgensen 等<sup>[19]</sup>报道了内陆西北木材收获对土壤有机质、N、生产力及健康影响,认为由于木材收获和整地,特别当采用火烧方法时土壤 N 的损失大于 500 kg · hm<sup>-2</sup>,要恢复这个损失需要从小于 10 a 到大于 275 a,取决于立地处理激烈程度,固 N 植物的有无及大气沉积的量。木材收获与整地在大面积上减少地表有机物量。许多研究表明高程度的土壤干扰和有机质层移走、菌根发育、树木生长减少有关系。Lundgren 报道在坦桑尼亚展叶松人工林经营移走的 N、P、K、Ca、Mg 养分分别为:40、4、23、25、6 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>。Hase 及 Foelster 对柚木林也计算出类似结果。

国外大量的研究表明,森林收获方式对立地改变的影响是最明显的,全树收获从林地带走大量生物量,使土壤损失大量养分,如果不补充养分将会导致林木生产力下降,尤其是短轮伐期集约经营的人工林。

#### 1.4 人工林本身对立地生产力的影响

1.4.1 树种 树种通过根系及凋落物对土壤作用而影响立地生产力。Evans<sup>[20]</sup>认为凋落物对土壤化学状态有重要影响,树种叶子特性、土壤肥力、地表状况及其他植物叶子的存在均会影响凋落物的分解速率,许多人工林凋落物的累积、分解与掺合是缓慢的。如密植的展叶松人工林凋落物连续积累许多年,极端情况可达 300 t · hm<sup>-2</sup>,但是阔叶树凋落物的这种情况是很少的,甚至在柚木及石梓林下,常常抑制其他植被生长,大量叶子仍是易于分解的。桉树林大多透光,能生长地被植物种,凋落物能相对快速地分解与腐烂。凋落物的类型有两个重要后果:

(1) 假如是纯积累,养分被固定;假如到轮伐期終了,凋落物层被毁或作薪炭或其他用,则是相当大的养分损失。

(2) 在一个种形成的凋落物层,特别没有另一些地被植物出现,有机质一致,其结果是:分解有机体是单个食物类型,可能限制了它们的多样性;腐殖质发育来自唯一的凋落物类型;从土壤渗滤出来的水(离子及 pH 值)化学成分一致。

有关树种本身如何影响土壤从而影响立地生产力的研究有许多,Savill 等<sup>[22]</sup>在《欧洲人工林培育》一书“立地与树木林分相互关系”一节中写道,关于不同树种对土壤过程效应相对资料较少,通常一些针叶人工林,特别是云杉和松树生长在密株行距下,间伐少或不间伐能引起土壤酸化,特别在敏感土壤上加速灰化,而许多阔叶树及少数针叶树能“改良土壤”,能防止灰化及改善凋落物的分解速率。Augusto 等<sup>[21]</sup>在“树种对森林土壤酸化影响”论文中报道,挪威云杉比其他树种(花旗松、橡树、山毛榉等)能增加土壤酸度和矿质的风化,在这个研究中,树种效

应比其他因子较小。Sheppard 在《人工林育林学》中写道,欧洲云杉连栽引起的生产力下降已经一个世纪,有来自许多地方不同的环境和其他树种类似的报道,因此必须认识树种单作的……危险。Jamaludheen 等<sup>[23]</sup>在印度克拉拉邦研究了相思树、臭椿、枫杨及木麻黄等多目标树凋落物量、质、分解及养分释放速率,发现年凋落物数量、凋落物养分含量、凋落分解速率和养分释放都存在差异,因而对土壤影响也是不同的,从而也影响到生态系统的长期生产力。

关于树种本身是否会造成立地生产力下降存在着争论。如 Morris 与 Miller 认为,现在的证据还不能指示这样的下降(指立地生产力)发生了,或者假如它们发生了,或许是不能简单地同针叶树种造林相联系,并相反地认为,在 N 不足的立地上,增加固 N 树种能够增加立地生产力。人工林与固 N 树种混交可以提高生产力的例子在国内外都存在。Miller 等报道了红皮桉木对花旗松的生长效应。在 48 年生时,4 个纯林样地,平均每公顷为 970 株花旗松,而混交林分每公顷平均 660 株花旗松和 730 株桉木,混交林树高最大,100 株花旗松比纯林树高高 20%,直径也较大,尽管混交林有比较大的密度,但混交林分花旗松平均材积仅  $217 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ,而纯林为  $203 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ,混交林分增加桉木平均材积  $175 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。在热带与固 N 树种混交增产效果也有不少报道,如桉树和合欢混交。在中国刺槐(*Robinia pseudoacacia* Linn.)与杨树(*Populus* spp.)混交时,杨树与刺槐之间 N、P 元素可形成互补,根际 N、P 相互转移和微生物条件的变化也有利于林木生长<sup>[24]</sup>。

总之,树种本身是否导致立地生产力下降,针叶树是否导致土壤酸化,国际上尚没有一致的认识和结论,这个问题有待试验和长期观测,但是在贫瘠土壤上人工林与固 N 植物混交能提高土壤肥力和立地生产力却有一致的观点。

1.4.2 人工林群落结构与长期生产力 人工林树种与立地生产力的相互关系是离不开群落结构的。上面提到的营建针叶树种纯林引起地力退化,常常是指纯林而群落结构也十分单一的情况,而林下植被十分发达,人工林群落形成多层结构时,情况就不同了,因此在研究某一树种人工林对土壤的影响时,必须区别对待。国外对林下植被影响地力的专门报道文献很少。在中国开创了这方面的研究,盛炜彤等<sup>[25~28]</sup>研究了杉木人工林林下植被的演替、生物量和林下植被对土壤性质的影响。提出发达的林下植被不仅能提高人工林的生物多样性,而且能保持和提高土壤肥力,当林下植被盖度达 70% 以上,生物量达  $4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  以上,能明显地影响土壤微生物区系组成,提高土壤中水解酶类和氧化还原酶类活性,增加土壤中有机和无机养分含量,对表层土壤有特别明显作用<sup>[25]</sup>。杉木林下植被可通过间伐,降低林冠郁闭度(0.6 ~ 0.7)而促进发育。间伐后 5 ~ 6 a 林下植被盖度即可达到 70% ~ 80%,而生物量可达到  $4 \sim 5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

除发展林下植被外,还要通过树种混交建立人工针阔混交林或非固 N 树种与固 N 树种人工混交林,达到维护和提高土壤肥力的目的,从而保持人工林的长期生产力。有关非固 N 植物与固 N 植物混交,上面已经说了。非固 N 植物组成的针阔混交林在国内外也有很多研究。测定了 9 年生和 21 年生的水曲柳(*Fraxinus mandshurica* Rupr.)和落叶松(*Larix* spp.)混交林分土壤与根际土壤养分,混交林土壤养分含量与水曲柳纯林相近,但高于落叶松纯林,混交林土壤有效 P、K 含量均高于水曲柳纯林。水曲柳根际土壤有效 P、有效 K 含量比纯林分别高 44.1% ~ 79.6% 和 13.5% ~ 25.6%<sup>[29]</sup>。

杉木与火力楠(*Michelia macclurei* Dandy)混交,在杉木林分中混交 20% 的火力楠(株数比),8 ~ 15 a 混交林的全 N 和全 P 比同龄的杉木纯林分别高 33% ~ 47% 和 42% ~ 52%, $\text{NH}_4^+$ -N

和有效 K 分别高出 82 % 和 47.8 % ~ 79.0 %。混交林大幅度增加凋落物量,加速凋落物分解和养分归还<sup>[30]</sup>。此外杉木与木荷(*Schima superba* Gardn.) 混交、马尾松和黎蒴栲(*Pinus massoniana* Lamb. × *Castanopsis fissa* (Champ. ex Benth.) Rehd. et wils.) 混交、柏木(*Cupressus funebris* Endl.) 和桤木(*Alnus cremastogyne* Burkill) 混交均取得了好的效果<sup>[30, 31]</sup>。

从已有的研究资料判断,改善人工林的群落结构,包括发展林下植被和进行树种间的混交(包括非固 N 树种与固 N 树种混交,针阔混交等)有利于维护地力和提高立地生产力。

## 2 国内外立地长期生产力研究的发展趋势

国内外从研究方法与内容、研究策略到育林措施、森林收获、树种与人工林本身对立地的影响方面着手,对立地长期生产力进行了广泛深入研究。从研究结果看,有些观点尚存在争论。如国外一些专家认为针叶树导致地力衰退,连栽导致生产力下降证据不足,但有些专家则提出了人工林单作带来危害,特别是针叶树单作,但在中国,针叶人工林连栽导致地力退化,认识比较一致。国外的许多研究虽然认为,在森林收获和与之相联系的林地清理中带走大量生物量和枯落物,损失大量养分,特别是 N,有可能引起地力衰退和森林生产力下降,但仍认为这方面的证据也是很有限的。这是因为区别各种营林措施对立地质量、转而对生产力影响是困难的。分析是否引起地力下降不仅要分析立地质量,而且还要分析树木的生长情况,但树木生长还受到植被竞争,遗传的改变及营建措施的影响,因此,人工林的生物学稳定性和与单作有关的潜在问题尚有许多需要深入了解。

从研究的广度和深度看,我国尚处在开创阶段,而国外自 20 世纪 70 年代以来,研究有了很大发展,有关的论文集和书籍出版了不少。国际上已开始在世界范围内建立各种试验样地和监测网络,从时序法、追溯法与用现成研究资料计算评价方法向建立试验地进行长期观测方向发展,以期取得确切信息和数据,得出科学结论和解决实际存在的问题。

Comerford<sup>[32]</sup>提出,立地长期生产力未来的研究,首先最主要的是要建立具有良好设计和足够支持的田间试验基地,通过这个田间试验并结合短期过程水平研究,以了解控制立地质量的关键过程,也要发展怎样来测定这些过程的各种技术和进一步了解有关过程的时间与空间尺度,以此预测现在营林活动的后果。除此之外,还应通过比较试验研究如何避免采取不利于地力维护的措施。除了一些集约经营的短轮伐期人工林,需要采取施肥等措施以维护地力补充收获树木带走的养分,对山地的较长轮伐期的人工林,应通过促进“森林自肥能力”以及采取生物学的方法维护地力,探索生态与经济效果都好的森林持续管理途径。



## 参考文献:

- [1] 丹尼尔 T W,海勒姆斯 J A,贝克 F S. 森林经营原理[M]. 赵克绳译. 北京:中国林业出版社,1987
- [2] Kimmins J P. A Strategy for research on the maintenance of long-term site productivity[C]. IUFRO, the 19<sup>th</sup> World Congress Proceedings [M]. Division I Volume1,1990. 206 ~ 213
- [3] Evans J. Long-term productivity of forest plantation status in 1990 [C]. IUFRO 19<sup>th</sup> World Congress Proceedings[M]. Division I Volume1, 1990. 165 ~ 180
- [4] Powers R F, Oliver W W. Influence of site disturbance on fundamental productivity and soil processes in North American forests: "The LSTP experiment" [A]. In USDA Forest Service, General Technical Report RM GTR-266 [R], 1995
- [5] Dylk W J, Cole D W. Strategies for determining consequence of harvesting and associated practices on long-term productivity [A]. In: Duck W J. Impacts of Forest Harvesting on Long-term site productivity [M]. London: Chapman and Hall, 1994. 13 ~ 40
- [6] Kimmins J P. Identifying key processes effecting Long-term site productivity [A]. In: Duck W J. Impacts of Forest Harvesting on Long-term Site Productivity [M]. London: Chapman and Hall, 1994. 119 ~ 150
- [7] Morris L A, Miller R E. Evidence for Long-term productivity change as provide by field trials [A]. In: Duck W J. Impacts of Forest Harvesting on Long-term Site Productivity [M]. London: Chapman and Hall, 1994. 41 ~ 80
- [8] Tew D T, Morris L A, Allen H L. Estimates of nutrient removal, displacement and loss resulting from harvest and site preparation of a pinus taeda plantation in Piedmont of North Carolina [J]. Forest Ecology and Management, 1986, 15: 257 ~ 267
- [9] Ballard R. Effect of slash and soil removal on the productivity of second rotation radiata pine on punice soil [J]. New Zealand Journal of Forestry Science, 1978, 8: 248 ~ 258
- [10] Wabber B. Potential increases in nutrient requirement of *Pinus radiata* under intensified management [J]. New Zealand Journal of Forestry Science, 1978, 8: 146 ~ 159
- [11] 徐化成. 森林地力的动态特性和人工林地力下降问题 [A]. 见: 盛炜彤. 人工林地力衰退研究 [C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 7 ~ 10
- [12] 俞新妥. 炼山对杉木人工林生态系统影响的研究 [A]. 见: 盛炜彤. 人工林地力衰退研究 [C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 108 ~ 129
- [13] 叶镜中, 邵锦峰, 王桂馨. 炼山对土壤理化性质的影响 [A]. 见: 盛炜彤. 人工林地力衰退研究 [C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 130 ~ 134
- [14] 张顺恒. 营林措施对杉木幼林地水土流失的影响 [J]. 林业科学, 1999, 35(专集 1): 13 ~ 19
- [15] 黄承标, 梁宏温. 不同整地马尾松工程幼林水土保持效益的研究 [J]. 林业科学, 1999, 35(专集 1): 34 ~ 40
- [16] 张先仪, 邓宗付, 李旭明. 山区不同整地方式的水土保持效益和杉木幼林生长效果的研究 [A]. 见: 盛炜彤. 人工林地力衰退研究 [C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 135 ~ 139
- [17] 盛炜彤. 整地对杉木生长进程的影响 [J]. 世界林业研究, 1996, 9(专集): 77 ~ 85
- [18] Kimmins J P. Evaluation of consequences for future tree productivity of the loss of nutrients in whole-tree harvesting [J]. Forest Ecology and Management, 1977, 1: 169 ~ 183
- [19] Jurgensen M F, Harvey A E, Graham R T. Impacts of timber harvesting on soil organic matter, nitrogen, productivity and health of Inland, Northwest Forest [J]. Science, 1997, 43(2): 234 ~ 250
- [20] Evans J. Plantation Forestry in the Tropics [M]. Second Edition. Oxford: Clarendon Press, 1992. 334 ~ 350
- [21] Aughsto L, Bonnaud P, Ranger J. Impact of tree species on forest soil acidification [J]. Forest Ecology and Management, 1998, 105: 67 ~ 78
- [22] Savill P, Evans J, Auclair D. Plantation Silviculture in Europe [M]. Oxford University Press, 1997
- [23] Jamaludheen V, Kumar B M. Litter of multipurpose tree in Kerala, India: Variations in the amount, quality, decay rates and release of nutrients [J]. Forest Ecology and Management, 1999, 115: 1 ~ 11
- [24] 翟明普, 贾黎明, 沈国舫. 杨树刺槐混交林及树种间作用机制的研究 [A]. 见: 沈国舫, 翟明普. 混交林研究 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1997
- [25] 盛炜彤, 杨承栋. 关于杉木林下植被对改良土壤性质效用的研究 [J]. 生态学报, 1997, 17(4): 377 ~ 385

- [26] 姚茂和,盛炜彤,熊有强. 林下植被对杉木林地力影响的研究[J]. 林业科学研究,1991,4(3): 246 ~ 252
- [27] 姚茂和,盛炜彤,熊有强. 杉木林下植被及其生物量的研究[J]. 林业科学,1991,27(6): 644 ~ 648
- [28] 熊有强,盛炜彤,曾满生. 不同间伐强度杉木林下植被发育及生物量研究[J]. 林业科学研究,1995,8(4): 408 ~ 412
- [29] 张彦东,于兴尹,杨文化. 水曲柳落叶松混交林林地与根际土壤养分特性[A]. 见:沈国舫,翟明普. 混交林研究[M]. 北京:中国林业出版社,1997
- [30] 陈楚莹,廖利平,汪思龙. 杉木阔叶树混交林的结构和功能[M]. 北京:科学出版社,2000
- [31] 王宏志,林祥钦,许银远. 中国南方混交林研究[M]. 北京:中国林业出版社,1993
- [32] Comerford N B, Cole D W, Dyck W J. Impacts of harvesting on long-term soil quality future research[A]. In: Durk W J. Impacts of Forest Harvesting on Long-term Site Productivity[M]. London: Chapman and Hall, 1994

## Study on the Mechanism of Maintaining Long-term Productivity of Plantation :Background, Present Condition and Trends

SHENG Wei-tong, FAN Shaohui

(Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China)

**Abstract** :A great deal of attention had been paid on the stability of plantation in the world. Whether the long-term productivity could be maintained was an important aspect in the study on plantation. If the plantation led to soil degradation and if conifers cause soil acidification had been the focuses debated in the world. Based on the data collected, the authors described the present research on long-term productivity of plantation in the world, including (1) the studies on strategy, methodology, basic process of ecosystem, (2) change of site quality when plantation was established, including handling of harvest residues, site preparation, tending, thinning, forest harvest, tree species of plantation and effects of plantation community structure on site productivity. Various research achievements, conclusions and viewpoints were summarized in this paper. The research trends and research fields about long-term site productivity of plantation were also summed up.

**Key words** :plantation ;long-term site productivity ;fertility maintaining ;research condition ;development trend