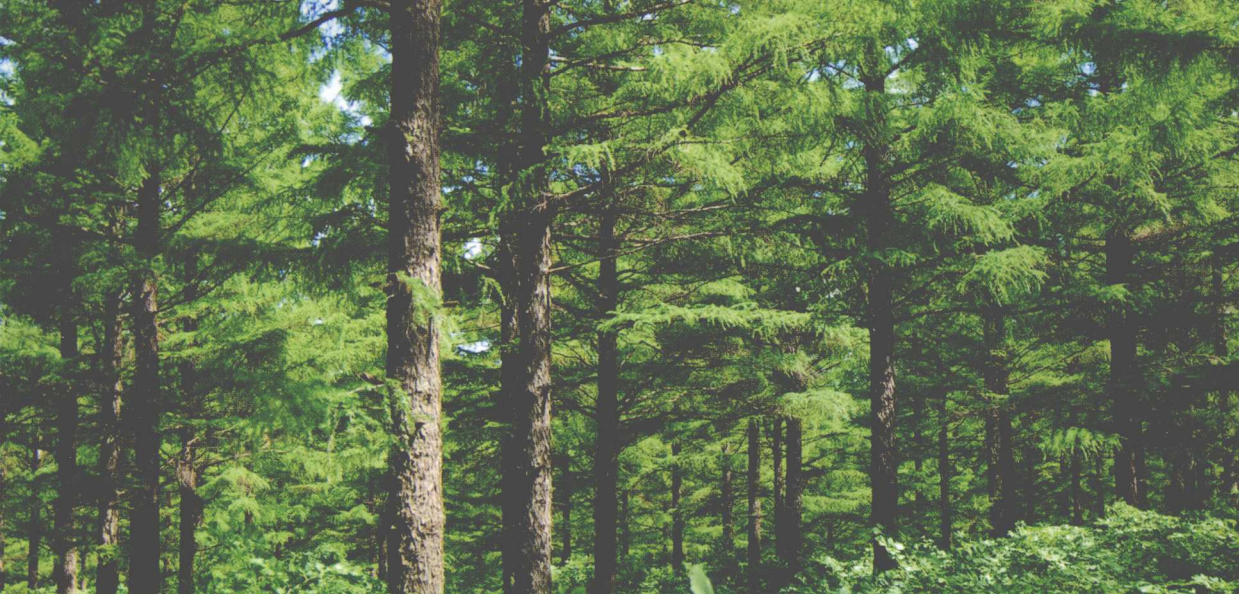




长白落叶松人工林 长期生产力维持的研究

孙志虎 金光泽 牟长城 著



科学出版社
www.sciencep.com

长白落叶松人工林长期 生产力维持的研究

孙志虎 金光泽 牟长城 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书针对长白落叶松(*Larix olgensis* Henry)人工林经营中存在地力衰退或潜在地力衰退的问题,依照森林生态系统经营管理(forestry and environmental change assessment, FORECAST)模型运行所需要的参数,以黑龙江省佳木斯市孟家岗林场不同立地条件、不同林龄的落叶松人工林生态系统为研究对象,通过对人工林各组分的单木生物量、林分生物量、凋落物储量、细根生物量、各类凋落物的分解速率、林冠下的光照强度以及针叶的光合作用对光环境的响应等方面的调查,同时利用现有落叶松人工林生态系统的养分输入、输出数据资料,对 FORECAST 模型的相关参数进行修正,在此基础上实现 FORECAST 模型对落叶松人工林生态系统功能过程的模拟,由此对人工林几种经营措施(如轮伐期、林地枯落物的管理、采伐剩余物的处理和施肥措施)的结果进行评价,提出了维持长白落叶松人工林长期生产力的经营措施。

本书可供从事林业、生态建设以及生态恢复的科研、教学、工程技术人员和相关专业大专院校学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

长白落叶松人工林长期生产力维持的研究/孙志虎,金光泽,牟长城著.
—北京:科学出版社,2009
ISBN 978-7-03-025168-8

I. 长… II. ①孙…②金…③牟… III. 落叶松-人工林-研究
IV. S791.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 135017 号

责任编辑:张会格 陈珊珊 王 静/责任校对:李奕莹

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>

竣工印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 7 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009 年 7 月第一次印刷 印张:11 3/4

印数:1—800 字数:227 000

定价:58.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

前 言

现代工业人工林以“速生、丰产、定向、稳定、高效”为经营目标，然而，森林采伐利用及由此造成的生境干扰导致地力衰退，使人工林长期生产力的维持面临严峻挑战。如何进行人工林经营管理，保持人工林的长期生产力，成为人工林经营中一个亟待解决的问题，并关系我国工业人工林发展的全局。

落叶松是我国东北地区栽培面积最大的树种，生长迅速，轮伐期相对较短，目前许多地区已经开始第二代人工林的经营。随着经营年限的延长，落叶松人工林地力衰退问题不断显现。因此，维持土壤肥力或土壤养分储量至关重要。林木产品的输出、采伐造成的林地干扰、剩余物处理方式、轮伐期以及林地施肥等措施均对林地土壤肥力的维持产生影响。

本书以黑龙江省佳木斯市孟家岗林场不同立地条件、不同林龄的落叶松人工林生态系统为研究对象，通过对人工林各组分的单木生物量、林分生物量、凋落物储量、细根生物量、各类凋落物的分解速率、林冠下的光照强度以及针叶的光合作用对光环境的响应等方面的调查，同时利用落叶松人工林生态系统的养分输入、输出数据资料，对森林生态系统经营管理（forestry and environmental change assessment, FORECAST）模型的相关参数进行修正，实现FORECAST模型对落叶松人工林生态系统功能过程的模拟，由此对人工林几种经营措施（如轮伐期、林地枯落物的管理、采伐剩余物处理和施肥措施）的结果进行评价，提出了维持长白落叶松人工林长期生产力的经营措施。

本书第1章、第5章、第8章由孙志虎、金光泽编写，第3章、第4章、第6章、第7章由金光泽、孙志虎编写，第9章由孙志虎、牟长城编写，孙志虎负责第2章的编写及全书的修改、加工、统稿及定稿。

本书是国家“948”项目“工业用材林林地营养管理技术引进”（2003-4-10）、“十一五”攻关子专题“帽儿山森林生态站及黑龙江省森林生态质量状况评估技术”（2006BAD03A0702/wb07）和林业公益性行业科研专项“东北三省森林生态系统服务功能定位观测与评估技术”（200704005/wb05）的研究成果。借本书出版之机，感谢东北林业大学林学院赵惠勋教授、王庆成教授、张彦东教授审阅本书，并提出不少修改意见；感谢魏晓华博士在软件方面给予的大量帮助；感谢佳木斯市孟家岗林场的各位领导和职工在野外调查期间给予的

热心帮助；感谢牡丹江烟草科学研究所陈连昌主任以及土肥实验室全体人员的热情帮助和支持；感谢岳桦教授、范志强博士、郭宝琴硕士、于红丽硕士、曹玲硕士、朱磊硕士、陈加利硕士、李文馨硕士、毕永娟硕士的支持和帮助。

由于水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者不吝赐教。

作 者

2009 年于哈尔滨

目 录

前言

1 引言	1
1.1 人工林经营与地力衰退	1
1.2 人工林地力衰退的防治措施	2
1.2.1 采伐剩余物处理	3
1.2.2 整地	3
1.2.3 固氮植物的应用	4
1.2.4 林地植被管理	4
1.2.5 间伐	5
1.2.6 合理施肥	5
1.2.7 管理凋落物层	6
1.2.8 长轮伐期	6
1.3 落叶松人工林地力衰退研究概况	7
1.4 模型在经营措施效果评价中的应用	8
1.4.1 经营措施效果评价的实验生态学方法	8
1.4.2 经营措施效果评价的模型方法	9
1.5 FORECAST 森林生态系统经营管理模型简介	11
1.5.1 FORECAST 模型的基本原理	11
1.5.2 FORECAST 模型的结构	12
1.5.3 FORECAST 模型的调校	14
1.5.4 FORECAST 模型的运行	15
1.5.5 FORECAST 模型的运行结果	15
1.6 FORECAST 模型在林学和生态学中的应用	15
1.6.1 FORECAST 模型在森林经营管理中的应用	15
1.6.2 FORECAST 模型在景观资源评价中的应用	16
1.6.3 FORECAST 模型在干扰生态学中的应用	17
1.6.4 FORECAST 模型在生态系统功能评价中的应用	18
1.7 研究目的及意义	19
2 研究地区概况	21
2.1 研究地区自然概况	21

2.2 样地状况	22
3 落叶松单木生物量模型的研究	23
3.1 研究方法	24
3.1.1 标准木的选取	24
3.1.2 单木各组分生物量的测定	24
3.1.3 单木各组分生物量模型的建立	25
3.2 结果与分析	26
3.2.1 落叶松带皮胸径和去皮胸径的关系	26
3.2.2 落叶松带皮胸径和树高的关系	26
3.2.3 落叶松生物量各组分之间的关系	29
3.2.4 落叶松去皮胸径、树高与林木各分量干重的关系	30
3.3 讨论	33
3.4 小结	34
4 落叶松人工林生物量动态的研究	35
4.1 研究方法	35
4.2 结果与分析	36
4.2.1 落叶松林分特征指标的预测	36
4.2.2 落叶松人工林生物量各组分的预测	39
4.2.3 不同林龄和立地的落叶松人工林生物量各组分的估计	42
4.3 讨论	43
4.4 小结	44
5 落叶松人工林凋落物现存量与年凋落量的研究	45
5.1 样地概况	45
5.2 研究方法	46
5.2.1 取样方法	46
5.2.2 地统计学方法	46
5.2.3 落叶松人工林的年凋落量	48
5.3 结果与分析	48
5.3.1 落叶松人工林凋落物现存量的地统计学方法估计	48
5.3.2 落叶松人工林凋落物层重量与林龄的关系	57
5.3.3 凋落物层重量与分解层次之间的关系	59
5.3.4 落叶松人工林年凋落量与林龄的关系	60
5.4 讨论	61
5.4.1 凋落物现存量的地统计学方法估计	61
5.4.2 落叶松人工林年凋落量与林龄的关系	62

5.4.3 落叶松人工林凋落物层重量与林龄的关系	63
5.4.4 凋落物层重量与分解层次之间的关系	64
5.5 小结	64
6 落叶松人工林细根生物量及细根生产与周转的研究	66
6.1 研究方法	67
6.1.1 取样方法	67
6.1.2 地统计学方法	68
6.1.3 常规方法	69
6.1.4 细根生产计算方法	69
6.1.5 细根周转率计算方法	69
6.2 结果与分析	69
6.2.1 根系生物量的地统计学方法估计	69
6.2.2 落叶松人工林各类根系生物量的季节动态	100
6.2.3 落叶松人工林细根的生产	103
6.2.4 落叶松人工林细根的周转	104
6.3 讨论	105
6.3.1 落叶松人工林根系生物量的地统计学方法估计	105
6.3.2 落叶松人工林根系生物量随林龄和季节的变化	106
6.3.3 落叶松人工林根系生物量随土壤深度的变化	107
6.3.4 落叶松人工林细根的生产	107
6.3.5 落叶松人工林细根的周转	108
6.4 小结	108
7 落叶松人工林凋落物养分转移及储量与释放规律的研究	110
7.1 研究方法	111
7.1.1 样品采集	111
7.1.2 养分分析	112
7.1.3 计算方法	112
7.2 结果与分析	113
7.2.1 叶凋落前的养分转移量	113
7.2.2 凋落物层的养分储量	114
7.2.3 土壤中的养分储量	118
7.2.4 根系死亡后养分释放的研究	123
7.2.5 枯叶养分释放的研究	126
7.2.6 枯枝养分释放的研究	129
7.2.7 树皮养分释放的研究	130

7.3 讨论	132
7.3.1 养分的内循环	132
7.3.2 凋落物的养分释放	132
7.4 小结	133
8 落叶松光响应曲线特性及林内光照分布的研究	135
8.1 研究方法	136
8.1.1 试验材料	136
8.1.2 光合测定	136
8.1.3 光合叶面积测定与计算方法	136
8.1.4 落叶松光合特性参数的计算	137
8.1.5 叶面积指数和光照测量点的布设	137
8.1.6 落叶松人工林叶面积指数的测定	137
8.1.7 落叶松林冠下光照水平分布状况的测定	138
8.1.8 落叶松人工林叶面积指数和光照数据的处理方法	138
8.2 结果与分析	138
8.2.1 落叶松阳生叶对光照强度的响应	138
8.2.2 落叶松阴生叶对光照强度的响应	139
8.2.3 落叶松阳生叶和阴生叶光合特性的比较	139
8.2.4 落叶松人工林的叶面积指数	140
8.2.5 落叶松人工林的光照指数	143
8.3 讨论	146
8.3.1 落叶松针叶的光合特性	146
8.3.2 落叶松人工林的叶面积指数	146
8.4 小结	147
9 经营措施对落叶松人工林立地长期生产力影响的研究	148
9.1 研究方法	148
9.1.1 模型运行所需数据的收集	148
9.1.2 不同经营措施的模拟	150
9.2 结果与分析	151
9.2.1 落叶松不同器官及部位养分含量的比较	151
9.2.2 未经管理的落叶松人工林多代连栽模拟	156
9.2.3 施肥对连栽落叶松立地长期生产力的影响	159
9.2.4 保留枯落物对连栽落叶松立地长期生产力的影响	160
9.2.5 采伐剩余物归还对连栽落叶松立地长期生产力的影响	164
9.3 小结	168
参考文献	170

1 引 言

1.1 人工林经营与地力衰退

17 世纪工业革命后,木材成为工业生产所必需的原料。由于天然林经过人类的毁林开垦和肆意砍伐,其提供的木材越来越少,不能满足工业生产的需要。为了不断供给工业生产所需要的木材,发展人工林成为必要。人工林的发展经历了一般人工林和速生丰产林,现已进入工业用材林阶段。工业用材林,又称工业人工林,是指专门为某一工业部门提供原料而定向培育的速生丰产林,如巴西轮伐期为 7~18 年的桉树纸浆林,美国轮伐期为 4 年的白杨能源林等。工业人工林的一个显著特征是短轮伐期。国外一般把轮伐期为 1~5 年者称为超短轮伐期,轮伐期为 5~15 年者称为中短轮伐期,轮伐期为 15~30 年者称为短轮伐期(崔国发,1995)。

随着我国森林可采资源的急剧减少,木材需求量的迅速增加,专家们认为,发展工业人工林,建设木材培育基地是扭转我国森林资源危机的有效途径(洪菊生和侯元兆,1990),并建议按短周期定向培育工业人工林的特点经营培育以生产木材为目的的人工林,提出落叶松纸浆林轮伐期为 18~21 年,建筑林轮伐期为 16~32 年,大大缩短了落叶松人工林培育周期(40 年)(洪菊生和侯元兆,1990)。我国由于一味追求速生丰产,走西方石油农业的生产模式,忽视和违背了生态学的基本原理,出现了人工林树种单一、群落结构简单、生物多样性低、稳定性差、病虫害严重和人工林地力下降等一系列问题(陈立新,2003),尤其是对杉木、落叶松等人工林不合理的经营,已引起潜在的地力衰退。

关于人工林连栽后的生长及林地的养分状况,国内外都比较重视,研究得也较多,所得结论可以归纳为以下两个方面。

(1) 连栽导致多代人工林生产力下降。多数人认为,第二代人工林生产力存在下降的趋势。早在 1833 年,人们就观察到第二代云杉林的产量不及第一代云杉林,此后在柚木、日本落叶松、欧洲松、辐射松等二代林中均观察到类似的情形。Keeves (1966) 指出,尽管辐射松第一代人工林生长得非常好,但是 85% 的第二代人工林生产力平均下降 25%。Evans (1990) 对世界各地人工林的生产力下降问题进行了广泛的考察研究后指出,轮伐期小于 10 年的人工林更易造成地力下降。

在我国的南方,杉木二代及多代人工林存在着严重的地力衰退问题。方奇(1987)研究表明,随连栽代数增加,杉木生长量下降,15 年生二代林和三代林

高生长比一代林分别下降 7% 和 23%，地位指数由一代林的 16 和 18，下降为 14 和 16。俞新妥等（1989b）在 12 年生和 17 年生不同连栽对比样地调查结果中指出，从杉木林地上部分生物量来看，二代林为一代林的 83%，三代林为一代林的 55%；从蓄积量来看，二代林比一代林减少 28%，三代林比一代林减少 69%。可见，杉木人工林连栽引起生长量下降是普遍现象，他们研究的结果与“下降论”的观点基本一致。

除了杉木人工林地力衰退现象的大量报道外，马尾松、桉树、杨树、落叶松等人工林地力衰退的现象也有报道。例如，孙翠玲等（1995）报道杨树人工林第一代林地养分就有下降趋势，而到第二代时林地土壤养分及林木生长出现明显的下降；陈乃全等（1990）的研究表明，相同条件下（立地条件、林龄、营林措施等），落叶松二代林生长量比一代林平均下降百分率：胸径为 10.2%，树高为 7.8%，蓄积量为 15.1%。

（2）通过集约经营、科学管理和合理造林技术措施的运用，第二代人工林的生产力不会下降。周学金等（1991）通过对立地相似的两块杉木林地养分的分析，认为地力下降是人为因素造成的。赵大军（1995）认为落叶松人工林会导致地力衰退的说法不科学，提出地力衰退是由皆伐、集材、整地、炼山等过程中的人为因素造成的，与连栽无显著相关性。Evans（1990）认为世界各地报道的第二代人工林生产力下降的实例，多数是由于气候变动、某些养分缺乏、杂草竞争、采伐中立地干扰过重、树种与立地不相适应等因素所致。张浩军等（1993）对二代杉木幼林调查发现，与第一代杉木林相比，均不逊色，指出地力下降绝非人工林连栽的必然结果。

人工林地力衰退问题是营林科学研究的热点。防止人工林地力衰退，维持人工林长期生产力，引起了很多国家林学家们的关注，并在国际林业研究组织联盟第 19 届世界大会上被认为是今后的重点研究课题。

1.2 人工林地力衰退的防治措施

20 世纪 60 年代中期以来，世界范围内出现人工林地力衰退和生产力下降现象。林业发达的德国、加拿大、澳大利亚、新西兰等国家相继进行了一系列维持地力的林地营养管理措施方面的研究。国外的林地营养管理措施包含了合理利用林地自身营养和养分人工调控等内容丰富的技术体系。林地施肥是整个林地营养管理技术体系的一个重要组成部分，是补充采伐和其他人为干扰所造成的林地养分损失的重要途径之一。施肥往往是建立在严密的科学研究和充分的试验工作基础之上（Weetman et al. 1989）。国外在林地营养管理方面比较重视养分调控决策技术系统，即在完善的林地-林木营养诊断评价基础上，通过采取减少林地养

分流失、提高林地肥力的调控经营技术,使人工林系统处于最佳的养分状态,以使林地生产力得以长期维持。具体措施主要有采伐剩余物处理、减少林地土壤养分流失的整地、应用固氮植物、管理林地植被、配套应用间伐与施肥、管理凋落物层、监测养分动态确定生态轮伐期等。通过上述措施的综合应用,不仅可以使人工林处于最佳养分状态、长期维持林地生产力,而且投入相对较少、效果较好并有利于保护环境。我国在林地营养管理方面的研究起步较晚,主要集中于林地营养诊断方面的研究。

1.2.1 采伐剩余物处理

大量研究表明,造林前采伐剩余物的林地清理方式对地力的影响极大(杨玉盛等,2000;马祥庆等,1997,1995;Cole,1995;俞新妥,1990;Farrell et al.,1986;Kimmins,1977)。Kimmins (1977) 报道,在采伐迹地实施火烧清理,损失采伐剩余物和森林死地被物总量的 41%。平铺采伐剩余物能改善林地肥力,氮损失为 9.1% (随干材取走),而火烧清理氧损失高达 28% (徐化成,1992)。Farrell 等 (1986) 对两代辐射松的对比研究表明,凡是第二代早期生长良好的林分都与前一代采伐剩余物铺覆有关,平铺采伐剩余物可有效地改善土壤水分状况,增加土壤湿度,促进氮的矿物化,增加氮和其他营养的来源。巴西 Aracruz 公司对桉树纸浆林的养分平衡进行了大量研究,结果表明,如果树皮留地,氮、磷、钾、钙和镁的含量分别增加 83%、87%、63%、83% 和 82%。因此,在北方林区针对气候寒冷的特点,可以将枝丫等采伐剩余物截成 1m 小段或粉碎,散铺在林地,促其腐烂,还给土壤养分。尽量不采用火烧方式,以保证土壤养分结构含量合理。

1.2.2 整地

早在 19 世纪中期,德国林业工作者就已了解到凋落物移走所引起的林地养分移出能减少树木的生长,但是直到 20 世纪 60 年代中期,有关营林的一些具体措施对土壤养分含量的影响才引起人们的广泛关注。Morris 和 Pritchett (1983) 的研究结果表明,湿地松造林前整地可以使采伐迹地枯枝落叶层的营养储备显著改变,强度耕作可使土壤中的氮、磷、钾、钙、镁等含量大大降低,分别为 $19\text{kg}/\text{hm}^2$ 、 $1\text{kg}/\text{hm}^2$ 、 $1\text{kg}/\text{hm}^2$ 、 $8\text{kg}/\text{hm}^2$ 和 $2\text{kg}/\text{hm}^2$,而在未干扰的森林中和干扰较小的人工林中,上述各种元素的含量相应高出 10 倍。Morris 和 Pritchett (1983) 认为强度耕作使有机质矿化作用加强,这是土壤氮含量降低的主要原因。整地与地力关系密切,合理的整地方式能改善林地的微环境,提高土壤肥力(吴

明晶, 2001)。整地尽量不用全垦整地, 而用带垦、穴垦、块状垦, 以利于保持水土, 防止土壤养分流失。

1.2.3 固氮植物的应用

在林地中引进固氮植物, 营造混交林, 是保持地力的一项重要措施 (周湘泉, 1983)。林业上, 利用固氮树种作混交树种有两种类型, 一种是固氮树种与非固氮树种同时作为目的树种的乔木混交类型; 另一种是利用固氮树种作伴生树种的乔灌混交类型 (张东方和王理平, 2000)。在乔木混交类型中, 固氮树种是高大乔木, 既提供木材, 又通过其根瘤固氮, 培肥土壤。例如, 四川大面积的桉木与柏木混交林, 由于桉木的固氮培肥作用, 使原本 8 年以上才能郁闭的柏木林 3~5 年郁闭成林, 而且柏木的高生长比纯林提高 17 倍; 南亚热带的大叶相思与桉树行间混交 (1:1), 土壤中的氮素、有机质、速效钾与桉树纯林相比明显提高 (杨曾奖等, 1995)。目前, 乔木混交类型比较成功的组合还有杨梅+湿地松、台湾相思+湿地松、台湾相思+火力楠、台湾相思+福建柏、刺槐+油松、刺槐+杨树、刺槐+侧柏等。在乔灌混交类型中, 主要利用固氮灌木树种的固氮、培肥、改土作用, 提高土壤氮素含量, 改善土壤条件, 以促进非固氮目的树种的生长。据研究, 油松在与沙棘混交的林分中平均树高和胸径比同龄油松纯林分别提高 153% 和 191%; 在小叶杨人工林中混交沙棘, 混交林比纯林树高增加 58%~169%, 胸径增加 106%~328%。这种混交类型的组合还有柏木+马桑、落叶松+胡枝子、油松+紫穗槐、油松+胡枝子、马尾松+马桑等。

1.2.4 林地植被管理

植物群落生态学家认为, 竞争是植物之间最重要的交互作用。在林分发展的早期阶段, 控制非目的树种, 减小竞争, 有利于林分的早期建立。在某些情况下, 必须进行林地植被管理, 控制非目的树种的生长 (Glover et al., 1989; Walstad and Kuch, 1987)。但是林分郁闭以后, 继续控制非目的树种生长的方法却值得怀疑。大量研究表明, 林冠下植被往往具有许多独特的功能, 如为人类提供食物, 提高养分的有效性 (Angermeier and Karr, 1994; Fried et al., 1990), 通过生物固氮补充土壤的氮库 (Hart et al., 1997), 林分受到干扰之后稳定土壤的养分和生物学特性 (Amaranthus and Perry, 1994), 增加目的树种对食叶昆虫、病原菌和火烧的抵抗性等 (Taylor et al., 1996; Schowalter and Turchin, 1993; Perrv, 1988; Zutter et al., 1987)。此时植物之间的相互作用变得很复杂, 不单单是竞争一种表现形式。正如 Shainsky 和 Rose (1995) 所指

出的：“竞争是非线性的和无方向性的。”阎德仁认为落叶松人工林地力衰退的原因之一是林下植被的缺乏，提出林下植被发育状况可作为地力衰退的监测指标。（阎德仁，1993；阎德仁等，1996）Truman 等（1990）、Radcliff 等（1991）、Mah 等（1992）分别报道林下植被可以改变土壤物理性质，增加土壤空隙度，有利于植物生长。冯宗炜等（1985）报道，杉木人工林下植被是人工林生态系统的重要组成部分，在促进系统养分循环、提高林地肥力方面起到巨大作用、并提出草本层及下木层所含营养元素高于乔木层 1~2 倍。

1.2.5 间伐

通过间伐改善林分结构，促进林下植被的发育，是增加土壤腐殖质、防止地力衰退和提高土壤肥力最直接的办法。研究表明，通过间伐，土壤的微生物区系、土壤酶活性及养分含量均能得到明显改善（盛炜彤和杨承栋，1997）。熊有强等（1995）报道，林下植被随间伐强度增加而增加，中等以上强度间伐，林下植被达 60%~70%，生物量达 5~7t/hm²。林开敏等（1996）报道，不同密度杉木人工林对土壤肥力有一定的影响，土壤有机质、全氮、全磷、水解氮和速效磷含量，随密度增加而下降。杨承栋等（1995）报道，间伐后杉木人工林土层中，有机质、水解氮、速效钾含量明显增加，水解酶及氧化还原酶活性得到提高，因此提出发展林下植被是恢复杉木人工林地力的重要途径。

1.2.6 合理施肥

在过去的 30 年里，国内外已进行了大量的林地施肥试验。据报道，施肥对林木生长的促进作用一般为 30%~50%，最高可达 500%。施肥能导致林木将较大比例的碳分配给树干（McMurtrie et al., 1990）。施肥的投入产出比最高可达 1:8，但林地施肥投入较高、回收期长、影响因素复杂。不当的施肥行为可能对环境带来负面影响，如引起病虫害、污染环境等（Weetman et al., 1989）。施肥试验经常是和其他的营林措施结合在一起进行，如疏伐和控制非目的树种。在某些情况下，必须进行疏伐和控制非目的树种，否则施肥效果就无法显现出来（South et al., 1995）。氮肥的施肥效果很明显，但其结果不稳定（Miller et al., 1986；Hart et al., 1986）。有研究表明，即便是在干旱的立地上，采取灌溉方式也不能显著提高生产力，表面上看似似乎是水分限制了植物的生长，其实质是氮素受限的结果。瑞典研究人员发现，小剂量多次增施氮肥能够比较好的模拟自然过程并且显著好于施肥次数少、施肥剂量大的处理（Ingestad et al., 1981）。应用此种方法，在花旗松（*Pseudotsuga taxifolia*）幼苗的试验中也取得了类似的

研究结果。在 4 年的花旗松幼苗试验中, 叶面积增加 1 倍, 树干体积比对照增加了 180% (Albaugh et al., 1998)。Albaugh 等 (1998) 认为这种生长反应现象, 部分归因于植物把较多的光合产物从细根重新分配到地上组织。植物群落田间试验研究表明, 植物低生产力往往是多种资源受限制的结果 (Adair and Binkley, 2002; Hooper and Johnson, 1999; Seastedt and Knapp, 1993)。在某些地区, 增施氮肥和磷肥也不能带来立地生产力的显著提高, 研究表明, 这种现象可能是因为缺失钾、硫、硼、镁、铁等其他养分 (Shumway and Chappell, 1995; Velazquez et al., 1992)。

1.2.7 管理凋落物层

森林凋落物是森林土壤重要的养分来源 (Scott and Binkley, 1997)。研究表明, 森林每年通过凋落物分解归还土壤的氮量占森林生长所需氮量的 70%~80%, 磷量占 65%~80%, 钾量占 30%~40% (Gholz and Fisher, 1985)。凋落物的数量和分解速率是影响林地营养状况的重要因素。许多有关凋落物层管理方面的研究都与到达林地的凋落物数量和分解速率有关。营造混交林能增加林地的凋落物数量 (樊后保等, 2003), 加速枯枝落叶的分解速率 (Thomas, 1968), 增加林地土壤表层的养分 (冯玉龙等, 1996), 改善土壤物理性质 (王庆成等, 1994)。提高林内凋落物的数量是改变土壤化学性质最好的方法 (贾守信, 1987)。王化国和李利 (1997) 报道, 马尾松和栎树混交, 可使林内凋落物储量比纯林高, 各种营养元素为纯林的 176.8%, 灰分储量为纯林的 152.8%, 土壤有机质含量及氮、磷、钾含量均高于纯林。林分密度影响凋落物的积累和分解 (樊后保等, 2003)。疏伐与化学肥料的使用, 是加快林地凋落物分解速率最简单的技术 (廖利平等, 2000; Williams, 1972)。凋落物中的氮素是影响凋落物分解速率的重要因素。杨玉盛等 (2002) 报道, 碳/氮比值及木质素/氮比值与凋落物分解速率呈显著负相关, 氮、水溶性化合物初始浓度与分解速率呈显著正相关。

1.2.8 长轮伐期

Raison 等 (1986) 认为, 轮伐期长短是影响下一代人工林地力的重要因素, 认为温带地区 80~100 年轮伐期, 不会造成地力下降。木材收获和造林前立地准备所造成的养分损失远超过淋洗和侵蚀所引起的养分丢失 (Cole, 1995; Johnson, 1992; Mann et al., 1988)。大量研究表明, 全树收获所造成的养分损失比只获取木材所造成的养分损失高 50%~400% (杨玉盛等, 2002; Mann et al., 1988; Smith et al., 1986; Kimmins, 1977)。全树利用及其短轮伐期经营

制度是导致林地养分衰竭和生产力下降的主要原因(余雪标等, 1999)。确定合理的轮伐期是解决此问题的关键。传统人工林轮伐期确定主要依据林分数量、工艺和经济成熟龄, 较少考虑轮伐期对地力恢复的影响, 因此确定人工林轮伐期时, 除考虑数量、工艺及经济成熟龄外, 还应适当考虑林分的生态成熟龄, 即 Kimmins (1973) 提出的生态轮伐期(马祥庆等, 2000)。Kimmins (1973) 从森林经营的角度, 给出森林经营应该是生态系统基础上的经营的生态学原理, 提出生态轮伐的概念, 认为采取获取木材的轮伐期大于或与生态轮伐期相等的情况下, 林地营养的可持续性是可以实现的。生态轮伐期的定义为在给定的经营技术措施下, 一个给定的立地返回到干扰之前的生态条件所需要的时间。

1.3 落叶松人工林地力衰退研究概况

关于落叶松人工林的连栽效果评价问题, 日本起步比较早。1929 年长野县内务部最早提出了“在落叶松采伐迹地上更新的二代林比一代林生长差”的观点。我国关于落叶松人工林栽培引起地力衰退问题的提出始于 20 世纪 80 年代, 多数研究限于一代林, 即短期生产力的研究, 关于二代林的研究甚少。王秀石(1982)报道, 落叶松人工林可以引起地力逐渐衰退, 造成生产力下降。关于二代落叶松人工林对地力影响的报道始见于陈乃全等(1990): 重茬的长白落叶松人工林生长明显下降, 在相似立地或同一地块条件下, 二代林生长下降的趋势都较明显, 在好、中、差三种立地类型上, 林分高生长分别下降 12.7%、23.3% 和 29.3%; 与上一代相比, 落叶松二代林土壤有机质下降 19.5%, A 层(淋溶层)、B 层(淀积层)全氮量分别下降 22.0% 和 19.5%, A 层、B 层全磷量分别下降 24.3% 和 28%, A 层、B 层有效钙量分别下降 14.9% 和 27.2%, 而 A 层、B 层的有效锰量分别增加 59.4% 和 74% (A 层可能产生锰害); 指出二代落叶松人工林比一代林 pH 下降了 0.2 个单位, 呈现弱度酸化现象。阎德仁等(1996)对落叶松人工林研究结果表明, 与对照林地相比, 落叶松人工纯林土壤微生物总量、细菌和放线菌数量分别下降 77.4%~91.5%、77.4%~93.7% 和 43.1%~78.1%, 并随林龄增大, 土壤微生物活性进一步恶化, 指出随着林木林龄的增大, 脲酶、过氧化酶活性降低。刘世荣和李春阳(1993)通过比较相同自然背景、相似立地条件下的落叶松人工纯林和红松阔叶混交林的土壤养分发现除了钾元素外, 氮、磷、钙和镁元素含量均表现为落叶松人工纯林明显低于红松阔叶混交林。这在一定程度上, 反映了落叶松人工林土壤肥力出现退化趋势。同时指出, 有关地力问题的研究往往与落叶松重茬更新相提并论, 实际上, 地力变化对落叶松重茬更新效果的影响仅仅是一个方面。江山娇实验林场落叶松人工纯林土壤连续 5 年定位研究结果表明, 土壤表层(0~5m)腐殖质含量和磷含量(全磷

和速效磷含量)出现下降趋势。其中,速效磷含量下降尤为明显,大密度林分较小密度林分降低明显(高雅贤,1983)。可见,我国一些学者关于落叶松连续长期不合理经营会导致土壤肥力下降这一问题的观点是基本一致的。

面对落叶松人工林连栽导致林分潜在地力衰退和林分生产力下降的事实,越来越多的学者从理论与实践的结合上探讨地力下降的根治对策。刘世荣和李春阳(1993)指出存在潜在地力衰退趋势的落叶松人工林,如果林分的状况得到改善,那么人工林潜在的地力衰退趋势就会得到相应的改善。实践证明,如能控制好造林密度,成林后适时进行抚育间伐,维护好林下植被(Kimmins et al., 1999; 阎德仁等, 1996; 阎德仁, 1993; 杨承栋等, 1995),施肥(李贻铨, 1992)以及重视生物自肥(刘世荣和李春阳, 1993),或营造针阔混交林(冯玉龙等 1996),对落叶松林地土壤肥力的改善将会起到良好的作用。

1.4 模型在经营措施效果评价中的应用

Dyck 和 Cole (1994) 归纳出 4 种方法能够用于评价经营管理活动对森林的影响并阐述了它们的优缺点,分别为长期的田间试验法、空间代替时间法、历史回顾法和生态模型法。长期的田间试验法往往受研究时间的限制,仅仅是几年或十几年的研究成果(Dewar and McMurtrier, 1996),并且短期试验和长期试验的研究结果有时相差很大(Dyck and Skinner, 1990)。在缺少长期多代经营的田间试验情况下,常常采用空间代替时间法,但是此种方法存在着难以找到适宜样地的困难,并且也很少有时空互代的方法能够说明多代经营的效果。历史回顾法存在着缺乏采伐之前林分的状况和采伐情形的具体描述。生态模型法可能是更有利于反映长时间尺度和大空间尺度条件下,不同经营管理措施或自然干扰影响下的生态系统状况(Korzukhin et al., 1996)。

1.4.1 经营措施效果评价的实验生态学方法

长期的田间试验法、空间代替时间法属于实验生态学方法。营林生产中的经营措施有多种,关于其效果的评价已有很多报道。本章 1.2 “人工林地力衰退的防治”一节进行了论述,此处不再重复叙述。需要指出的是,实验生态学方法是总结经验的很好方法,也是验证经营措施效果的直接方法,任何生态模型的最终验证,均是通过实验生态学方法进行的。例如,Blanco 等(2007)利用 29 年的田间试验数据对森林生态系统经营管理(forestry and environmental change assessment, FORECAST)模型的模拟结果进行了检验,结果表明,该模型能够很好地模拟间伐和施肥措施对花旗松的树高、胸径、密度、各器官生物量、凋落