

东北天然次生林多目标经营与经济效应研究

何友均　覃 林　梁星云　苏立娟　邹 慧　范垚城　陈科屹/著

科学出版社

东北天然次生林多目标经营与经济效应研究

何友均　覃　林　梁星云　苏立娟
邹　慧　范垚城　陈科屹　著

本书系国家自然科学基金面上项目 31170593 和
31570633 的部分成果

科学出版社
北　京

内 容 简 介

本书以黑龙江省哈尔滨市丹清河实验林场的天然次生林为研究对象，研究了粗放森林经营模式、目标树森林经营模式、调整育林法森林经营模式和无干扰森林经营模式对东北天然次生林的综合影响及经济学效应。主要内容包括：不同森林经营模式对天然次生林群落结构、生物多样性、林木竞争和天然更新的影响机制；不同森林经营模式对天然次生林森林生态系统碳储量的影响；不同森林经营模式下土壤理化性质、酶活性、微生物数量、微生物生物量及微生物碳源利用和功能多样性的差异，以及土壤化学性质对土壤酶活性及微生物指标的影响；不同森林经营模式对木材生产、固碳功能及其经济价值的影响，以及森林经济价值对不同因子的敏感度。

本书可供林草建设、生态保护、资源经济、环境管理等领域的管理、科研和教学人员阅读，也可为相关专业大中院校学生、技术人员和企业、林农等利益相关者提供参考。

图书在版编目（CIP）数据

东北天然次生林多目标经营与经济效应研究 / 何友均等著 .
—北京 : 科学出版社，2019.3

ISBN 978-7-03-059875-2

Ⅰ . ①东… Ⅱ . ①何… Ⅲ . ①天然林—次生林—森林经营—研究—东北地区 Ⅳ . ① S718.54 ② S75

中国版本图书馆CIP数据核字（2018）第265565号

责任编辑：李 敏 杨逢渤 /责任校对：樊雅琼
责任印制：吴兆东 /封面设计：无极书装

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

北京建宏印刷有限公司 印刷
科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年3月第 一 版 开本：787×1092 1/16
2019年3月第一次印刷 印张：10
字数：240 000

定价：148.00元

（如有印装质量问题，我社负责调换）

前　言

森林经营直接关乎我国经济社会持续健康发展的两个安全问题，即生态安全和木材安全。在生态安全方面，我国已经将生态文明建设纳入中国特色社会主义事业“五位一体”的总体布局当中。林业是生态文明建设的主阵地，扮演着至关重要的角色。森林经营正是实现上述过程的重要环节，也是当前的薄弱环节。《“十三五”森林质量精准提升工程规划》的出台，为森林经营工作明确了新的方向，也提出了更高的要求。森林质量精准提升就是要通过合理的森林经营措施，针对目前我国森林资源的突出问题，重点加强森林抚育和退化林修复等工作，并在森林经营过程当中注重经营的差异化和精细化，有针对性地改善森林结构，提升森林质量和提高森林生态服务功能。在木材安全方面，当前我国木材供需矛盾已经十分突出。《全国木材战略储备生产基地建设规划（2013—2020年）》已明确提出，要通过采取科学的森林经营措施，着力培育珍稀大径级用材林，构建结构优化的木材后备资源体系。因此，无论是我国森林资源的质量现状，还是林业发展的政策环境，都对森林经营工作提出了全新的期待和更高的要求。

由于历史上对东北林区森林资源的大肆掠夺和过度消耗，东北地区面积约 37×10^4 km^2 的森林资源大部分已退化为天然次生林。面对严重退化的森林资源与不断增长的人类需求之间的突出矛盾，如何对东北天然次生林进行科学经营和管理，使森林生态系统高效地发挥其社会、经济和生态等多种效益和功能，成为林业及相关从业者亟待解决的科学问题。

从2012年开始，笔者选取黑龙江省哈尔滨市丹清河实验林场的天然次生林为研究对象，研究了粗放森林经营模式（FM1）、目标树森林经营模式（FM2）、调整育林法森林经营模式（FM3）和无干扰森林经营模式（FM4）对东北天然次生林的综合影响和经济效应。主要内容包括：不同森林经营模式对天然次生林群落结构、生物多样性、林木竞争和天然更新的影响机制；不同森林经营模式对天然次生林森林生态系统碳储量的影响；不同森林经营模式下土壤理化性质、酶活性、微生物数量、微生物生物量及微生物碳源利用和功能多样性的差异，以及土壤化学性质对土壤酶活性及微生物指标的影响；不同森林经营模式对木材生产、固碳功能及其经济价值的影响，以及森林经济价值对不同因子的敏感度。通过以上研究，以期为我国东北天然次生林的恢复与保护，以及我国多功能森林经营和林业可持续发展提供科学依据和决策参考。

本书系国家自然科学基金面上项目（31170593、31570633）的部分成果。在野外调查、

分析测定、数据分析、软件模拟和研究协调过程中，得到了相关单位和人员的大力支持，在此一并致谢。他们分别是中国林业科学研究院林业科技信息研究所原所长陈绍志研究员、王登举所长、叶兵副所长；黑龙江哈尔滨市林业局原副局长邬可义；黑龙江哈尔滨丹清河实验林场霍彦伟场长、李密场长、周锦北副场长、吕长军副场长、陈进生副场长和张崇文高工；广西大学谭玲女士。

由于时间和著者水平有限，本书若有不当之处，敬请广大读者批评指正。

著　者

2018 年 12 月

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目　　录

第 1 章　森林可持续经营概述 …… 1

1.1　森林经营研究概况 …… 1
1.2　森林群落结构和功能研究概况 …… 7
1.3　森林效益评估研究概况 …… 18

第 2 章　研究区概况与研究方法 …… 23

2.1　研究区概况 …… 23
2.2　研究方法 …… 25
2.3　数据处理 …… 40

第 3 章　植物群落结构与生物多样性影响 …… 42

3.1　群落结构 …… 42
3.2　生物多样性 …… 51
3.3　结论与讨论 …… 53

第 4 章　林木竞争与天然更新影响 …… 56

4.1　林木竞争 …… 56
4.2　天然更新 …… 58
4.3　结论与讨论 …… 61

第 5 章　森林生态系统碳储量影响 …… 62

5.1　乔木层碳储量 …… 62
5.2　灌木层碳储量 …… 62
5.3　草本层碳储量 …… 63
5.4　凋落物层碳储量 …… 64
5.5　土壤层碳储量 …… 64
5.6　不同森林经营模式总碳储量 …… 66
5.7　结论与讨论 …… 67

第 6 章　土壤理化性质影响 …… 69

6.1　土壤物理性质 …… 69

6.2 土壤化学性质 …… 71
6.3 土壤有机质与各理化性质的相关性 …… 74
6.4 结论与讨论 …… 75
第 7 章 土壤酶活性影响…… 77
7.1 土壤酶活性的差异 …… 77
7.2 土壤化学性质与土壤酶活性的关系 …… 79
7.3 结论与讨论 …… 82
第 8 章 土壤微生物影响…… 84
8.1 土壤微生物数量 …… 84
8.2 土壤微生物生物量 …… 87
8.3 土壤微生物功能多样性 …… 91
8.4 结论与讨论 …… 96
第 9 章 木材收获和木质林产品碳储量影响…… 100
9.1 蓄积量与收获量 …… 100
9.2 乔木层地上碳储量 …… 103
9.3 木质林产品碳储量 …… 105
9.4 不同森林经营模式对多目标经营的影响 …… 105
9.5 结论与讨论 …… 106
第 10 章 木材和碳汇价值影响与模拟预测 …… 108
10.1 静态结果分析 …… 108
10.2 一个经营周期动态综合价值分析 …… 113
10.3 结论与讨论 …… 115
第 11 章 灵敏度分析 …… 117
11.1 木材价格灵敏度 …… 118
11.2 采伐成本灵敏度 …… 119
11.3 碳汇价格灵敏度 …… 120
11.4 折现率灵敏度 …… 120
11.5 结论与讨论 …… 121
参考文献…… 123
附录…… 144
附表…… 150

第 1 章　森林可持续经营概述

1.1　森林经营研究概况

广义的森林经营包括森林的培育、保护与利用。而人们通常所说的，是狭义的森林经营概念，指森林整个培育过程所涉及的各项经营措施和管理工作，以及造林、抚育、林分改造、采伐、更新等各项营林生产活动及相关组织管理（吴秀丽等，2013）。不同的经营模式，其经营理念、目的或措施均有所区别。本书主要基于狭义的森林经营概念。

研究不同森林经营模式对林业发展具有重要的意义。当代世界主流的森林经营模式主要有 3 种，即森林的经济、社会和生态三大效益一体化经营模式，森林多效益主导利用经营模式，森林多效益综合经营模式（关百钧，1991）。相比之下，郑小贤（1999）、亢新刚（2001）认为国外典型的森林经营模式有 3 种，即近自然森林经营模式，以德国为代表；森林生态系统经营模式，以美国为代表；林业分类经营模式，以澳大利亚、法国为代表。不难看出，多效益经营是世界森林经营发展的主流和趋势，当前林业发达的国家大多数在探索森林多效益经营（吴涛，2012）。

1.1.1　森林经营理论研究进展

1.1.1.1　森林可持续经营

1992 年，联合国环境与发展大会在巴西里约热内卢召开，大会对森林在经济发展和生命维持中的重要性给予明确认识，通过了有关保护森林的非法律性文件《关于森林问题的原则声明》。大会还在《21 世纪议程》中专辟一章（第 11 章）对森林的可持续发展进行描述，由此诞生了以社会、经济和环境可持续发展为目标的森林可持续经营理念。虽然目前森林可持续经营尚未有统一的定义，但它却是国际森林政策，尤其是联合国森林论坛及其针对森林和相关目标的非法律性文本的基础，森林可持续经营的研究范围也随着越来越广泛的森林问题而变化。人们逐渐意识到，对不同尺度的森林可持续经营——从全球到国家再到区域，尤其是森林经营单位进行监测、评估和报告的重要性。

世界各国有不同的方法和途径来实现森林可持续经营。德国的近自然森林经营，核心思想是尽可能使林分建立、抚育、采伐的方式同“潜在的自然植被”的关系接近。法国和瑞士的“检查法”森林经营核心思想是采伐量不能超过生长量。美国的“生态系统经营”，以森林生态系统的可持续性为主要目标，包括生态系统的完整性、生物多样性（biodiversity）、生物过程、物种、生态系统的进化潜力及维持土地的生态可持续性，同时还包括森林对社会良性运行的意义。加拿大“模式林计划”，核心思想是促进可持续林

业管理系统和工具的开发与应用；推广通过示范林计划取得的成果；加强示范林网络活动；增加地方参与可持续林业管理的机会。中国的“天然林采伐更新体系”，依照森林生态理论指导森林采伐作业，使采伐和更新达到既利用森林又促进森林生态系统健康与稳定的目的。结构化森林经营以培育健康稳定的森林为目标，以系统结构决定系统功能为基础，以未经干扰或经过轻微干扰已得到恢复的天然林为模式，以优化林分空间结构为手段，充分利用森林生态系统内部的自然生长规律来开展活动。

1.1.1.2 近自然经营

1898 年德国的 Karl Gayer 提出了近自然林业理论，对传统的木材培育论进行深刻反思，充分认识到人类对森林的过度干预，在收获大量木材的同时对森林造成了严重的破坏，倡导森林经营应“回归自然、遵从自然法则，充分利用自然的综合生产力”。20 世纪 90 年代，近自然林业理论在欧洲地区逐渐兴起，现已成为世界林业经营理论的重要组成部分。

在近自然林业的思想与理论的指导下，为了更科学的森林经营，从森林类型上立足于将现有的针叶纯林改变为混交林，将同龄林改为异龄林。近自然森林经营的林分作业体系是以单株林木为对象进行的目标树抚育管理体系，把所有林木分类为目标树、干扰树、生态保护树和其他树木等类型，采用单株木择伐作业，仅清理影响目标树生长的干扰树，在没有目标树的地块通过开林窗来促进天然更新（Wang and Liu，2011），恢复天然植被，使每株树都有自己的功能和独特利用价值，分别承担起生态、社会和经济效益。更新树种一般为本地树种，但是在某些情况下也可以采用非本地树种（Gamborg and Larsen，2003）。合理引进非本地树种可以增加林分的盈利能力，作为本地树种的一种补充可以增强森林对气候变化的适应性，这也是适应性经营的一种策略。因此，近自然林业可以认为是改变过去人工林同龄、单一树种和皆伐的经营方式，转而利用和控制森林自然发生的过程，从而在实现森林木材生产功能的同时，保护生物多样性和生态系统稳定，进而实现森林发挥休闲等社会功能的多重目标，最终实现森林可持续经营。

对近自然林业的理论分析和研究已有不少，但仍处于起步阶段，实践经验和实验数据十分有限。在不断变化的社会需求和环境条件下，近自然林业能否实现提高森林的木材产量、维持森林的健康活力、维持森林生态系统的稳定性和生物多样性等多重目标，发挥生态、经济和社会多种功能？不少研究表明，近自然林业至少能实现其中一到多个目标，可见森林的不同功能之间存在对抗，达到多功能的目标是不容易的（Schütz，2011），因此，近自然林业仍需在实践中不断发展和完善。

1.1.1.3 结构化森林经营

随着社会的进步和科学技术的发展，人们对自然和谐的生态环境和天然环保的生活用品的需求越来越大，并且认识到了森林经营不仅以获得木材为目的，森林本身的健康和稳定重要性逐渐凸显出来。基于对森林的空间结构的分析，设计、优化合适的经营方案成为国际上目前在森林经营研究方面的一个重要方向。在森林可持续经营原则的指导下，惠刚盈等（2007）依据系统结构决定系统功能的原理，提出了基于林分空间结构优化的森林经

营方法——结构化森林经营。结构化森林经营以创造最佳的森林空间结构为手段，强调森林的生态效益，以森林多功能的发挥和多效益的利用为追求，培育健康稳定的森林，而健康的生态系统通常都具有较高的结构多样性、生物多样性和空间异质性。

结构化森林经营模式具有完整的理论技术体系，以原始林为楷模，遵循连续覆盖和生态有益性原则，同时注重顶级群落树种及主要伴生树种的中、大径木的空间结构的调节。结构化森林经营认为，只有正确表达和解析森林空间结构，通过创立和维护最佳的森林空间结构，才能使森林健康而稳定地发展（于洪光等，2014）。在应用结构化森林经营的技术进行森林经营管理时，针对每一种林分分别从空间结构指标和非空间结构指标两方面来分析经营的迫切性。空间结构指标包括林木的分布格局、树种的多样性、顶级群落树种的优势度等，非空间结构指标包括树种组成、林木覆盖度、直径分布等（惠刚盈等，2009）。在具体实施过程中首先伐除不健康的个体，然后根据顶级群落树种或主要伴生树种中的中、大径木的空间结构参数来进行空间结构的调整，使得目标树种即经营对象处于优势地位，不会在竞争中受到威胁，森林格局呈现出随机分布的模式，林分生物多样性得到提高，最终使得森林中的林木个体和其周围的环境均获得健康。

Daume 等（1998）运用结构参数混交度模拟了疏伐优先指数；Albert（1999）将空间结构参数作为基础，研发了疏伐分析软件。我国以往在森林空间结构方面的研究均具有单一性，如在对树种关系方面的研究较多地集中在树种联结的关系及其显著性（罗传文，2005；何友均等，2006）或者探讨人工林混交比例、混交方式等。角尺度、混交度、大小比数等概念被引入作为森林空间结构的描述分析方法迅速运用起来，汤孟平等（2004）运用这些参数对择伐后的林分空间结构优化模型进行了研究；郝云庆等（2005）运用这些参数来预测经过纯林改造后的林分空间结构；吕林昭等（2008）应用空间结构参数研究了长白山落叶松人工林的空间格局变化；龚直文等（2010）则运用这些参数分析了长白山云冷杉针阔混交林在演替过程中的空间格局变化。结构化森林经营很大程度上采纳、量化、发展了近自然经营的原则，以培育健康森林为目标，既注重林木个体的活力，也强调森林群体的健康，凭借可释性强的结构单元，俨然成为一种独特的更具可行性的森林可持续经营方法。

1.1.1.4　生态系统经营

生态系统经营由美国林学界于 20 世纪 90 年代提出，是基于生态学原理的一种森林经营模式，其核心是生态系统的长期维持与保护，本质特征是自然和人工森林生态系统的生态平衡，是森林可持续经营的一条生态途径，也是森林可持续经营技术保障体系的核心（任海等，2000）。1992 年美国林务局宣布采用生态系统经营作为美国国有林森林经营的基本方针。生态系统经营作为森林经营理论和实践的重大转变，对森林经营技术、政策法规支撑和全社会的参与、支持提出了更高的要求（杨馥宁等，2009）。

以生态系统经营为模式的森林经营从林分水平提高到景观水平，在景观水平基础上长期保持森林健康和生产力，这也是生态系统经营有别于永续收获经营的一个重要特征。不同类型的森林生态系统是森林生态系统经营中的基本功能单位，在生产实践中，不同的经

营目标必须通过每一个具体的功能单位来实现，每项经营措施必须落实到具体的地块上。从生态和生产两方面考虑，一个具体的森林生态系统边界的确定以气候、地形、土壤及植被的综合作为基础。因此，在实际操作中每一个具体的功能单位的边界可采用将小班区划与林型划分相结合的方法来确定（欧阳勋志，2002）。林分作业体系采用“生态采伐”，集中伐区采用低强度择伐作业，尽量避免大面积皆伐，采用生态系统经营后的采伐迹地与皆伐施业完全不同，地下植被变多，除保留木外，还保留了倒伏木和枯立木（杨馥宁等，2009），维持了森林生态系统的生产力，保护了森林的生物多样性，实现了森林的可持续发展。

森林生态系统经营是传统永续经营模式的继承和发展，从理论到实践都有很多问题亟待解决。目前国内外在这方面的研究大多处于初级阶段，缺乏成熟的理论和技术体系，由于知识的不完备及生态系统组成、结构、反馈机制等的复杂性，在生态系统经营模式指导下的大规模经营实例也很缺乏。尽管美国有很坚实的研究基础，林业比较发达的意大利、瑞典、巴西、芬兰和印度尼西亚等国也正积极地进行森林生态系统管理的实践，但森林生态系统经营理论仍需要在实践中对其综合效果进行深入的探讨，来检验其先进性和可行性。

1.1.2 森林经营对森林的影响

1.1.2.1 森林经营对植物群落结构与生物多样性的影响

自然界中的生物往往是成群生长或生活在一起的，经过一定时间的发展，通过生物之间的相互作用及其与环境之间的相互作用，这些一起生长或生活的生物会形成一种具有一定外貌、一定物种组成和一定结构的生物集合体，生态学家称为群落（李振基和陈圣宾，2011）。

生物多样性的概念像其他科学概念一样，至今没有一个严格、统一的定义。目前，对生物多样性的含义有许多解释，但所表述的内容基本一致。美国国会技术评价办公室（Office of Technology Assessment，OTA）在 1987 年将生物多样性定义为：生物之间的多样化和变异性及物种生境的生态复杂性。1992 年，联合国《生物多样性公约》对生物多样性的定义是：生物多样性是指所有来源的形形色色的生物体，这来源包括陆地、海洋和其他水生生态系统及其所构成的生态综合体；这包括物种内部、物种之间和生态系统的多样性。1995 年，联合国环境规划署（United Nations Environment Programme，UNEP）发表的关于全球生物多样性的巨著《全球生物多样性评估》给出了一个较简单的定义：生物多样性是所有生物种类、种内遗传变异和它们与生存环境所构成的生态系统的总称。现在生态学家已证明，物种多样性越高的森林，其多重生态服务功能水平越高（Gamfeldt et al.，2013）。

植物群落的组成、结构和功能是其最主要的生态属性（Timilsina et al.，2007；Shaheen et al.，2012）。因此，森林群落物种组成和结构复杂性成为衡量可持续森林经营的重要指标（Lindenmayer et al.，2000；Burrascano et al.，2011）。不同的森林经营模式对森林群落的组成、结构和功能有着非常大的影响（Vidal，2008；Timilsina and Heinen，

需要全本请访问 www.ertongbook.com

2008；Souza et al.，2012），研究森林经营对群落结构和功能及生物多样性的影响具有重要意义（Korzukhin et al.，1996；Pélissiera et al.，1998）。

在我国的森林经营历史上，一开始由于只注重经济效益，对森林生态系统的生态效益不够了解和重视等，因而出现了滥砍滥伐、不注重恢复等的森林经营方式，导致天然林严重退化、次生林和人工林质量低下，其生态稳定性和生态功能较差（唐守正，1998）。随后，面对森林资源的匮乏和不断增长的人口需求，为了协调森林生态和经济效益的冲突及矛盾，我国于 20 世纪末提出林业分类经营理论，将森林划分为生态公益林和商品经济林进行经营和管理（雍文涛，1992；陈国明，1996；洪菊生和侯元兆，1999）。尽管人工林得以迅速发展，然而大面积的人工林、连栽等经营方式会造成生物多样性降低、生产力下降、地力衰退及病虫害严重等生态问题（刘丽等，2009；田大伦等，2011；夏志超等，2012）。

为了改善林分结构，提高林地的生物多样性，解决传统经营方式带来的各种生态问题，一些学者借鉴国外的林业经验，其中以德国的近自然林业为代表（邵青还，1991）。近自然林业应用于森林经营已有 100 余年的历史，并且取得了良好效果，改善了植被结构和土壤肥力（Bradshaw et al.，1994，Schütz，1999；Meyer，2005；张俊艳等，2010）。虽然在国外有着不少的成功案例，但这种经营方式在国内的实践极少，且由于林业周期长，近自然经营对植物群落结构和生物多样性的影响还较少报道，尚未形成定论。例如，张象君等（2011）研究发现，小兴安岭落叶松人工纯林近自然化改造有利于林下草本植物的发育和草本植物多样性的提高，但对林下木本植物的影响还有待深入研究。而张俊艳等（2010）研究发现，近自然改造后，云南松人工林灌木层更新种类增多，多样性增加，但草本层物种多样性变化不大。宁金魁等（2009）对经过近自然森林经营的油松人工林的植物群落进行了研究，发现相对于未改造林分，其群落结构得到了改善。

不同的森林经营模式对森林植物群落的结构和生物多样性有着不同的影响，对质量低下的东北天然次生林，采取什么样的经营模式能获得更好的群落结构和更高的生物多样性，目前这方面的研究还未见报道。

1.1.2.2　森林经营对森林生态系统碳储量的影响

采取合理的森林经营管理策略，能有效地增强森林生态系统的固碳能力和改善土壤结构与功能（Dixon et al.，1994；Johnson and Curtis，2001；Jandl et al.，2007；Bellassen and Luyssaert，2014）。不同的森林管理措施都可能会增加林分中的生物量和碳累积（Reichstein et al.，2010），其中包括防火、病虫害防治、轮伐期（采伐）延长、树木密度控制、营养状况改善、物种和基因型选择、生物技术使用、采伐后残留物管理方式改变等。就森林生态系统碳储量的影响因素而言，不确定性最大的当属自然因素（尤其是温度和降水）（王棣等，2014）。虽然自然因素是不可抗因素，但我们可以通过多方位、多角度的森林经营措施来改变森林生态系统碳储量。已有研究表明，改变物种组成、轮伐期长度和疏伐体系及保护森林、增加森林面积和保护土壤等经营管理措施都可增加森林中的碳汇量（Sohngen et al.，2005；Fuhrer et al.，2006）。针叶树单位生物量中碳的比例高于阔叶树

（Ibáñez et al.，2002），林分最佳物种组成选择取决于多种因素（如管理目标、立地特征等），但 CO_2 存储应视为其中的一个目标，可通过更新树种选择、疏伐或其他林分抚育管理方式来改变林地的树种组成。轮伐对森林碳储存的影响并不明确，如果选择的轮伐期比生物学轮伐期长，则最后阶段采伐木材中碳储量比中间阶段采伐的大（Bravo et al.，2008），相对于林分总碳储量来说，轮伐期越长，最后一次采伐时林分碳储量比例越高。综上所述，用于增加碳储量的森林经营管理策略可归纳为如下几个方面：通过减少毁林和森林退化、人工造林及林地的自然扩张来维持或增加森林面积（Liski et al.，2002；Lindner and Karjalainen，2007）；通过适宜的营林技术（如优化物种组成、部分采伐、疏伐）来维持或增加林分水平的碳密度；通过森林保护、轮伐期延长、火灾管理和病虫害防治来维持或增加景观水平的碳密度（Nabuurs et al.，2003）。

Bravo 和 Díaz-Baleiro（2004）指出，与传统的短期轮伐期经营管理体系相比，延长轮伐期会导致采伐率降低，在这种情况下，一部分的碳库会增加（如立木中的碳），而其他部分的碳库则会减少（如林木产品中的碳）（Kurz et al.，1998）。因此，碳库的动态应从更大的时间和空间尺度上来分析。疏伐是营林中主要的人为干预措施，Río 等（2008）对海岸松林不同疏伐情景进行研究发现，任何疏伐体系的固碳量均比未疏伐的情况要多，但不同疏伐体系间存在一定的差异。Balboa-Murias 等（2008）与 Pohjola 和 Valsta（2006）研究发现，低强度的经营管理可以促进林分的碳固定。苏少川等（2012）对 9 种经营模式下的天然林碳储量进行比较分析，证明采育结合的经营方式更有利于提高天然林树干、树枝和根系的碳储量，但各种经营方式下的树叶碳储量差距不大。东北地区是中国森林的主要分布区（Fang et al.，1996；Fang et al.，2001；Li，2004）。利用不同气候情景下的气象数据，结合中国森林生态系统碳收支模型 FORCCHN，计算模拟的结果表明，1981 ~ 2002 年东北森林生态系统平均每年吸收 0.15 Pg C，对我国的碳收支起着举足轻重的作用（赵俊芳等，2008）。由于历史上不合理地利用森林资源，东北地区的森林已大部分退化为天然次生林，如能寻找到合适的森林经营策略，将会改善土壤理化性质，提高森林生产力，更大程度上发挥其应有的固碳潜力，从而加速推动天然次生林恢复进程。

1.1.2.3 森林经营对木材产量的影响

因木材价格受木材价值、市场供求、采伐政策、森林资源费（王守安等，1986；曹芳华和徐江文，1997；胡国登，2007；陈文汇等，2010）等多个因素的影响，不同地区，尤其是不同树种、不同径级的木材价格也不尽相同。张德成等（2013）对中国林业科学研究院热带林业实验中心的木材价格进行调研，分析不同林龄的森林木材价格差异，建立起马尾松林的原木价格模型，为森林采伐决策提供依据；陈文汇等（2010）构建了一个木材供需动态模型，该模型考虑了政策、市场等因素的影响和变动；Brown 等（2012）研究了木材销售地区、政策和行政特点对国家立木价格的影响，并为提高木材价格提出了可行的政策建议。

在木材产量影响因素分析方面，国内主要借助环境库兹涅茨曲线模型（许姝明，2011）和柯布—道格拉斯函数（陈章纯等，2012），在社会主义市场经济的背景下，中国木材产量深受政策变动、投资和土地的影响，同时木材产量增长可以对从业人员（覃凡丁

和奉钦亮，2011）等产生显著的影响。国内木材产量预测研究的主要方法有二次指数平滑法（邢守春和王士一，1987；朱洪革和王玉芳，2008）、一元回归法（蒋敏元和王永清，1988），除此之外还涉及 Lieth-Box（洪伟和吴承祯，1999）、立地指数曲线（朱磊和王庆成，2006；朱磊等，2007）等模型方法，技术上主要是样地调查、历史数据调查和遥感，内容涉及整个国家、区域、省市、林场、林分层次及单个树种的研究，现存研究不足之处是：研究尺度多集中在国家层面，省域、经营单位，甚至林分水平的研究缺乏；由于数据统计上的限制，依赖统计数据的方法结果可能与实际出入较大。

在国外关于木材产量的研究较早，包括木材产量的生理学特性（Cannell，1989）、基因学（Zobel and Jett，1995）及各树种的产量研究（Hillis and Brown，1984；Ledin，1996）等，还研究了干旱（Brando et al.，2008）、气温、人口压力（Patel et al.，1995）、森林病虫害和火灾（Maclean，1990）、气候变化（Garcia-Gonzalo et al.，2007）等各种自然社会因素对木材产量的影响，一般以整个地区为研究对象：Vilà 等（2007）以地中海地区森林为研究对象，发现该地区树种丰富度和木材产量具有很好的协调性，落叶松林比针叶松林和灌木丛林产量更高，木材产量随着树种丰富度的增加而增加；Kellomäki 和 Kolström（1993）的研究表明，在芬兰南部气候变化条件下，气温上升可以提高欧洲赤松产量，尤其是当温度缓慢上升时，低强度的疏伐水平能最大限度地提高赤松产量；Lilles 和 Coates（2013）分析了影响哥伦比亚单一纯林与混交林产量的主要因素。国外学者对木材产量的预测中，应用的方法和模型多种多样，较早的研究多用非线性模型（Murphy，1983），Hall 和 Clutter（2004）研究了木材增长预测的多元非线性混合影响模型，并以佐治亚大学的湿地松生长数据为基础进行了案例分析。Brienen 和 Zuidema（2007）、Rozendaal 等（2010）都对亚马孙地区热带木材产量进行预测，表明不同树种的增长差异显著，通过不同树种不同估算方法得出的产量预测比使用平均增长率计算的结果高出 36% ~ 50%，表明产量预测方法的重要性。用树木年轮法预测树种产量也多有研究，Brienen 和 Zuidema（2006）用树木年轮法预测玻利维亚地区 4 个树种的木材产量。因此，对木材产量预测必须选择合理的模型。

1.2　森林群落结构和功能研究概况

1.2.1　林木竞争研究进展

在植物群落内，相邻的植物个体为了获得适合于自身生长的最佳生态位，必然要争夺环境资源（如光、水、矿质元素等），这就导致了植物个体之间必然产生的竞争，包括种内竞争和种间竞争、地上竞争和地下竞争（Clements and Weaver，1929；Tilman，1982；金则新，1997；王平等，2007）。竞争作用是生物相互作用的一个基本形式，竞争是影响植物个体生长、形态结构和存活状况的主要因素之一，同时也影响植物种群的空间分布格局、动态变化及整个群落的物种多样性（Kawata，1997；Yokozawa et al.，1998；Weiner，1990）。因此，植物的种内种间竞争研究一直是生态学研究的一个核心问题。研

究林木竞争的状况，有助于对群落的结构和林木关系的理解，对森林经营方案的制订和实施具有重要的指导作用。

林木竞争关系的研究由来已久，1884 年 Kraft 提出用林木分级法，通过形态定性来描述竞争关系，1951 年 Staebler 首次提出林木竞争指数，用数学方法来定量表示竞争的关系，此后很多学者为了更准确地预测林木的生长，相继提出了许多描述林木间竞争强度的数量指标（马履一和王希群，2006；孙澜等，2008），Weigelt 和 Jolliffe（2003）指出，目前应用到植物竞争研究的指数达 50 多个。

竞争指数按距离空间的关系可分为两类，即与距离有关的竞争指数和与距离无关的竞争指数（Avery and Burkhart，1983；Biging and Dobbertin，1992；Biging and Dobbertin，1995）。与距离有关的竞争指数包括：①距离加权的林木大小比值；②树冠或竞争影响圈的树冠重叠指数；③林木实际占有的生长空间指数（Ledermann and Stage，2001）。其中，以 Hegyi 提出的与距离有关的竞争指数的接受度和应用最为广泛（Daniels，1976； 关玉秀和张守攻，1992；Zhang et al.，2009；汪金松等，2012a）。与距离无关的竞争指数也有应用，如沈琛琛等（2011）用相对胸径、株数、断面积等 6 个与距离无关的竞争指数研究了落叶松 – 云冷杉间伐实验样地的竞争动态，但这类指数不考虑林木之间的空间关系，一般较少采用。

基于 Hegyi 竞争指数，众多学者对植物群落的林木竞争关系展开了大量的研究。研究发现，不同立地和树种的竞争状况是不同的。在特定群落内，一些物种的种内竞争强于种间竞争，如孙澜等（2008）发现马尾松 - 川灰木人工混交林内，马尾松的种内竞争＞马尾松与川灰木的种间竞争，另外还有四川大头茶（金则新，1997）、元宝山冷杉（李先琨等，2002）等种内竞争均强于种间竞争；另一些物种的种内竞争弱于种间竞争，如黄果厚壳桂的种内竞争弱于其与伴生树种云南银柴的种间竞争（张池等，2006），而东北红豆杉的种内竞争强度仅占总竞争的 4%，种间竞争则占总竞争的 96%（刘彤等，2007）。

许多学者详细地比较了不同树种的竞争强度，如邹春静和徐文铎（1998）发现沙地云杉种内、种间竞争的强度顺序为山扬＞沙地云杉种内＞白桦＞家榆；邹春静等（2001）研究表明，阔叶红松林种内、种间的竞争强度顺序为红松 – 水曲柳＞红松 – 蒙古栎＞红松 – 红松＞红松 – 紫椴＞红松 – 色木槭＞红松 – 糠椴＞红松 – 白牛槭；段仁燕和王孝安（2005）、段仁燕等（2007）发现，太白红杉自然群落内物种之间的竞争强度为太白红杉 – 太白红杉＞巴山冷杉 – 太白红杉＞牛皮桦 – 太白红杉＞其他树种 – 太白红杉；康华靖等（2008）发现，大盘山香果树种内及其与常见伴生种之间的竞争强度的大小顺序为香果树＞杉木＞七子花＞红脉钓樟＞山胡椒＞尖连蕊茶。

有学者研究表明，林木竞争关系影响植物的生物量分配。例如，汪金松等（2012a；2012b）研究发现，林木之间的竞争对臭冷杉和红松生物量的分配有很大影响。另外一些学者关注与竞争有关的模型研究，如吴巩胜和王政权（2000）从水曲柳落叶松混交林中树木的种内种间竞争机制出发，对与距离有关的竞争模型和邻体干扰模型进行了改进；申瀚文（2012）以马尾松木荷次生林为研究对象，在研究其竞争关系的基础上，建立了各树种的单木生长（胸径、树高、材积）模型、树高曲线模型，并通过单木生长模型模拟林分总断面面积和蓄积量短期内的变化情况。同时大量研究指出（金则新，1997；邹春静和徐文

铎，1998；邹春静等，2001；李先琨等，2002；段仁燕和王孝安，2005；刘彤等，2007；孙澜等，2008；刘方炎等，2010），林木竞争强度随林木径级的增大而逐渐减小，甚至严格服从幂函数关系，公式如下所示：

$$CI=AD^{-B}$$

式中，CI 为竞争系数；D 为对象木胸径；A 、B 为模型参数。

以上研究揭示了不同植物种内和种间的竞争关系及其与径级的关系，大大促进了人们对植物种间和种内关系及竞争在群落中作用的了解，对森林经营起到了一定的指导性意义。然而，植物间的竞争总是处在动态变化中的，当群落受到干扰（尤指人类干扰）的时候，这些竞争关系是如何响应的呢？顾梦鹤等（2008）针对施肥和刈割对垂穗披碱草、中华羊茅和羊茅种间竞争力的影响进行了研究，结果发现，施肥和刈割处理对原来的竞争格局没有影响。到目前为止，不同的森林经营模式对群落林木竞争关系的影响研究鲜见报道。

在林木竞争的研究过程中首先要区分对象木和竞争木。对象木就是人们所关注的具有经济价值或生态作用较大的林木，所有与对象木产生竞争关系的林木都是竞争木。对象木和竞争木为同一树种时发生的为种内竞争，否则为种间竞争。

如何确立有效竞争木是一个关键而且令人头疼的问题。一般在研究与距离有关的竞争指数时，必须确定有效竞争范围，在此区域内的林木则为竞争木。目前学者使用的方法不一，常见的有以下 4 种方法：①根据林分的密度来确定竞争范围，如汪金松等（2012b）以此方法确定林木的竞争范围是以 10 m 为半径的圆；②在一定的范围内直接选择与对象木相邻的 4 株或 8 株林木作为竞争木，如张彦东和谷艳华（1999）选择对象木周围 8 株相邻且距离最近的林木作为竞争木；③根据回归分析的统计方法，逐步扩大对象木的影响范围，最终确定林分平均的最佳竞争范围，如申瀚文（2012）用该方法确定了在以中小径阶为主的马尾松木荷次生群落中，最适宜的竞争半径为 5m；④根据群落的林窗和冠幅大小来确定竞争范围，如喻泓和杨晓晖（2010）据此确定樟子松林的竞争范围是半径为 10m 的圆。

但以上方法均不能完美地解决有效竞争木的问题。由于林木竞争指数的空间异质性较大，完全准确地定义竞争范围是不可能做到的（周隽和国庆喜，2007）。而采用固定半径圆可能把非直接竞争者选为竞争木，并把某方向上的直接竞争者排除在竞争单元之外。汤孟平等（2007）认为，基于二次开发语言 MapBasic 进行编程，利用 MapInfo 的 Voronoi 图功能确定竞争单元，可以克服以上两个缺点，但此法对野外数据条件、软件和编程的熟悉程度要求均较高，因此少见应用。

1.2.2　森林天然更新研究进展

森林天然更新是森林生态系统自我繁衍恢复的手段，因此，研究森林天然更新的条件及其与森林群落结构关系是至关重要的。这无论对了解森林生态系统的动态规律，还是采取合理的经营措施都是非常必要的（徐振邦等，2001）。本研究所涉及的林分均是以红松作为建群种，因此，重点关注红松林的天然更新情况。

由于红松的高经济价值及其生态价值，其天然更新受到了高度重视，已有许多研究较完整地揭示了其更新过程及影响因子。红松种群的天然更新过程是由种子→种子库→幼苗→幼树等若干阶段构成的（刘庆洪，1987）。红松更新的第一个阶段：种子→种子库的传播过程主要依靠动物（三岛超，1951；Hayashida，1989）。由于红松球果大，一般长为 10 ~ 15cm，重约为 160g，成熟后种鳞不张开，种子不脱落，整个果球落下，无法借风力或重力自行传播；兼之红松种子具有深休眠性，自然条件下成熟的种子需到第三年春天才能大量发芽，如此长的休眠期大大增加了被取食者消耗的概率；而且球果在落地后经昆虫和微生物的作用，多腐烂并使种子丧失萌发能力。因此，红松的种子传播和天然更新主要依赖于松鼠、星鸦等动物从球果中取出种子，然后将其按 2 ~ 5 粒一簇（或更多）埋藏在地下，只有这样种子才得以与土壤接触，并获得萌发所需的水分和温度等条件（赵锡如，1987；Miyaki，1987；马建章和鲁长虎，1995；鲁长虎，2003；Zong et al.，2009）。调查表明，分布在林地凋落物层上、下的有生命力的红松种子中，高达 95% 是经动物埋藏的（刘庆洪，1987）。

一般情况下，红松种子经埋藏约 20 个月之后，会在第三年春天萌发成三五成群的幼苗。红松幼苗适合荫蔽的环境，其更新最好是在郁闭的林分下（徐振邦等，2001）。红松幼苗虽然能忍耐林下荫蔽，但其在荫蔽的条件下生长十分缓慢，而其正常生长仍然要求有一定的光照条件，红松除幼年能耐一定荫蔽外，其他绝大部分时间是需要光照的（张群，2003）。有研究表明，当林下光照强度低于 90 ~ 230 μ mol/(m^2 · s) 时，红松的生长就会受到抑制（丁宝永等，1994）。调查发现，10 年以上的红松幼苗如果生长在上层红松生物量较大的林分内，会大量死亡，能长成小径木的非常少（李俊清和王业蘧，1986）。并且红松原始林冠下极少年龄大于 20 年的红松幼树存在（王树力等，1998）。红松种群的更新具有逐年稳定发生、长期忍耐林下生境的特点，从而保证了在成熟、过熟的红松天然林下，始终存在着一个由年龄为几年到几十年的低矮的异龄更新层。在红松林建成以后，上层林冠稳定不变的几百年内，林冠下的红松种群进行着发生、忍耐和消亡的动态过程。当上层林冠经过破坏或自然死亡后，林下的红松更新层才有可能获得充足的阳光而迅速生长，进入林冠层（刘庆洪，1987）。伊延青（2002）认为，在人工促进红松更新的时候，应在冠下更新幼树年龄为 12 ~ 13 年生时“揭盖”（即伐去影响红松光照条件的林木的经营措施）比较理想，并且“揭盖”应该在春季进行。

另有研究表明，红松更新也不适合全光照条件，最适宜的光照条件不但存在下限，还存在上限。刘庆洪（1988）的研究表明，郁闭度为 0.6 的红松林中，红松天然更新最好，小于 0.3 或者大于 0.8 的林分更新很差。臧润国等（1999）的研究则表明，原始红松阔叶林中绝大部分树种的更新密度在林隙面积为 20 ~ 40m^2 时最大，超出这个范围由于光照过弱或过强，红松等树种的更新密度呈现下降趋势。但不足之处在于，他们的研究没有区分红松不同生活史时期对光照的不同要求，而在植物生活史的不同阶段，影响和限制其生长发育的生态因子往往是不同的。

人类干扰往往能显著地影响森林的天然更新状况。刘足根等（2004）对长白山自然保护区的红松天然更新进行了研究，结果表明，在对红松林的松果进行采摘后，地面红松种子主要分布在地被物下层且大多呈单粒状分布，而未受干扰前则地被物上层和下层皆有

需要全本请访问 www.ertongbook.com