

国家林业公益性行业科研专项（200904003）资助项目

基于林改的森林资源可持续经营技术研究系列丛书

总主编 宋维明



林改区域典型树种 森林碳储量监测技术研究

孙玉军 王新杰 马 炜 等著

中国林业出版社

基于林改的森林资源可持续经营技术研究系列丛书

总主编 宋维明

林改区域典型树种 森林碳储量监测技术研究

孙玉军 王新杰 马 炜 等著



中国林业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

林改区域典型树种森林碳储量监测技术研究/孙玉军,王新杰,马炜等著. —北京:中国林业出版社, 2014. 12

(基于林改的森林资源可持续经营技术研究系列丛书/宋维明总主编)

ISBN 978-7-5038-7771-1

I. ①林… II. ①孙… ②王… ③马… III. ①森林—树种—碳—储量—监测—技术方法—中国 IV. ①S79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 286820 号

策划编辑 徐小英
责任编辑 徐 平 梁翔云
美术编辑 赵 芳

出版 中国林业出版社 (100009 北京西城区刘海胡同 7 号)

网址 [lycb. forestry. gov. cn](http://lycb.forestry.gov.cn)

E-mail forestbook@163.com 电话 010-83143515

发行 中国林业出版社

印刷 北京中科印刷有限公司

版次 2014 年 12 月第 1 版

印次 2014 年 12 月第 1 次

开本 787mm × 960mm 1/16

印张 19.5 彩插 8 面

字数 381 千字

印数 1 ~ 1000 册

定价 80.00 元

基于林改的森林资源可持续经营技术研究系列丛书

编撰委员会

总主编	宋维明				
主 编	孙玉军	赵天忠	张 颖	徐基良	
	胡明形	程宝栋			
编 撰	王新杰	刁 钢	栾晓峰	李媛辉	金 笙
	杨桂红	陈文汇	刘俊昌	蓝海洋	陈飞翔
	曾 怡	王海燕	李 维	高险俊	

《林改区域典型树种森林碳储量监测技术研究》

作者名单

主要著者	孙玉军	王新杰	马 炜		
著 者	(以姓氏笔画为序)				
	王秀云	王天博	王轶夫	王雪军	巨文珍
	方 景	付 尧	关海玲	许俊利	许 昊
	刘凤娇	衣晓丹	张 俊	闵志强	何齐发
	李璐一	吴明钦	杨俊玲	郭孝玉	唐晓川
	梅光义	韩爱慧	董 宇	董云飞	蔡兆炜
	魏晓慧				

内容简介

本书以代表性区域的杉木、马尾松、毛竹（东南武夷山脉）和落叶松（东北小兴安岭南坡）为研究对象，提出森林碳汇计量的示范性方法体系；利用建立生物量模型以及测定评估参数，全面估算森林生物量；结合含碳率和土壤有机碳测定结果，较为准确地计算碳储量和固碳释氧量，从而掌握典型树种森林生物量和碳储量的空间分布格局，以及随林龄等林分因子变化的动态规律；最终构建一个以地面样地调查为主体、以生物量和遥感模型估算为补充的碳汇功能计量和评价体系，实现与国际森林生物量和碳储量监测技术的接轨。全书共分9章。第1章综述了森林生物量和碳储量的研究背景、研究对象和方法以及存在问题和发展趋势；第2章综述了杉木、马尾松、落叶松和毛竹4个典型树种的资源分布、特征及其经营现状；第3章详尽地论述了研究材料以及样地、生物量、碳储量等调查和研究方法的共性技术；第4章、第5章、第6章和第7章分别介绍了杉木、马尾松、落叶松和毛竹4个典型树种，估算了它们的生物量、含碳系数和碳储量等指标，探讨了这些指标获取的个性技术及其空间分布规律，并揭示了这些指标在不同年龄和林分密度等条件下的动态变化；第8章研究了基于遥感信息的森林生物量估测技术；第9章对杉木、马尾松、落叶松和毛竹的生物量、碳储量以及固碳释氧能力进行了比对，总结了4种典型树种的碳汇功能。

本书可供林学、生态学以及其他相关学科的科技工作者和高等院校有关专业师生参考，也适用于从事林业生产或管理的工作者阅读。

总 序

被誉为中国农村“第三次土地革命”的新一轮集体林权制度改革是一场举世瞩目的深刻变革。我国于2003年启动了该项工作的试点，在2008年开始全面推进，至今已有十余年。如今，我国集体林权制度改革工作已经取得显著进展，对推动农村社会经济发展和提高居民生产生活水平具有重要价值，在建设生态文明和美丽中国中也具有重要作用。

十余年栉风沐雨。我国这一轮集体林权制度改革的十余年，也是一个不断探索、不断发展、不断完善的过程。集体林区一直是我国重要的木材资源供应基地之一，也是我国珍稀濒危及特有野生动植物的重要分布范围。林改后，森林资源经营管理方式发生了显著改变，许多新问题也由此而来，特别是如何在坚守生态红线的前提下提高集体林区资源培育、经营与保护效率，在当前也十分具有挑战性。因此，集体林权制度改革的发展给相关的技术革新和政策体系建设提出了新的需求。

为此，我们实施了林业公益性行业科研专项项目“基于林改的森林资源可持续经营技术研究”，从森林资源培育—生产经营—保护—服务及相关平台建设角度为集体林权制度改革提供全方位理论及技术支撑，开展了六个方面研究，即基于林改的森林多功能经营技术与示范、基于林改的资源供给与规模化经营模式研究、基于林改的野生动植物生境保护技术与示范、林权改革后森林资源经营的改变对环境的影响及其优化技术研究、集体林区政策性森林灾害保险制度设计与保费精算技术研究、基于林改的信息服务体系及综合信息服务平台建设。

依据这六个研究方面，项目组成员对项目成果进行了精心凝练，并整理形成了本系列丛书，共包括6册专著，即《林权制度改革对环境的影响

及其经营优化研究》《林权制度改革后南方集体林经营管理模式与机制研究》《基于林改的资源供给与规模化经营模式研究》《基于林改的野生动物保护技术与对策研究》《林改区域典型树种森林碳储量监测技术研究》《面向林改的林业信息服务体系及平台构建》。其中,《林权制度改革对环境的影响及其经营优化研究》探讨了林权制度改革后对森林生态环境的影响以及环境影响评价、优化技术与制度保障体系;《林权制度改革后南方集体林经营管理模式与机制研究》选择南方集体林权制度改革的典型区域,从林农角度对森林资源经营管理的方案编制、经营合作组织、经营管理人力资源和融资等四个方面进行了深入调查分析,对南方集体林区林权制度改革后经营管理的现状和未来发展进行了深入探讨;《基于林改的资源供给与规模化经营模式研究》探讨了我国木材供需预测分析、林权制度改革对我国集体林区木材供给的影响、南方集体林区速生丰产用材林经营模式以及集体林权制度改革后林农合作组织;《基于林改的野生动物保护技术与对策研究》涉及我国野生动物及栖息地保护相关政策评估,林权改革对野生动物种群、行为和栖息地的影响,林改后野生动物栖息地保护与补偿调查,以及林改后我国野生动物栖息地保护技术与政策保障等;《林改区域典型树种森林碳储量监测技术研究》以杉木、马尾松、毛竹和落叶松为研究对象,提出森林碳汇计量的示范性方法体系,利用建立生物量模型以及测定评估参数,全面估算森林生物量,从而掌握典型树种森林生物量和碳储量的空间分布格局,以及随林龄等林分因子变化的动态规律,最终构建一个以地面样地调查为主体、以生物量和遥感模型估算为补充的碳汇功能计量和评价体系;《面向林改的林业信息服务体系及平台构建》从应用的角度对林改后基层林业单位对信息服务的需求进行深入细致的分析和研究,建立了相应的实用型系统并构建了信息服务平台。

虽然每册专著各有侧重,保持了各自的内涵、外延与风格,但它们也相互联系,具有理论性、知识性、经验型和政策性的共同特点,旨在全面介绍我国集体林权制度改革工作的发展背景、历程与现状,从森林资源培育、生产经营、生物多样性保护、环境保护、信息服务体系与相关平台建设等方面提出完善我国集体林权制度改革工作的技术与政策体系,为各级

政府部门、林业生产经营与保护单位提供决策参考与工作指南，以推动我国集体林权制度改革工作的健康有序发展，并促使其在建设生态文明中发挥更大的作用。

本系列丛书的出版，得到林业公益性行业科研专项项目“基于林改的森林资源可持续经营技术研究”（NO. 200904003）的资助。感谢国家林业局有关领导对本项目和本系列丛书的关心、支持与指导！感谢项目组的所有成员！感谢所有关心与支持本项目、本系列丛书的专家、学生和朋友！

由于时间与编撰水平限制，这套丛书在理论观点、知识体系、论据资料、引证案例或其他方面可能还有错误、疏漏和不当之处，恳请广大读者批评指正。

A large, stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to Song Shu, the author of the preface.

2014 年 11 月

人们已经广泛认识到气候变暖的主要驱动力是大气中 CO_2 浓度的升高, 这对生态系统产生的影响日趋严重, 已成为国际社会普遍关注的政治、经济焦点, 许多科学家早就开始进行陆地碳的平衡、存储及分布等方面的相关研究。森林作为全球陆地生态系统的主体, 是陆地碳循环最重要的碳库, 在全球碳平衡中起着巨大的作用。联合国粮食和农业组织发表的《世界森林状况报告》指出, 全世界有近 40 亿公顷的森林, 约占陆地面积的 30%, 而森林的生物量、生产量和碳储量分别约占整个陆地生态系统的 90%、70% 和 46%。因此, 森林生态系统的“碳汇”功能在降低 CO_2 等温室气体浓度, 减缓气候变暖以及调节全球碳平衡过程中起着重要的作用。中国森林在 20 世纪末的 20 年内仅蓄积量增加所吸收的 CO_2 就有 $0.021 \times 10^9 \text{ tC} \cdot \text{a}^{-1}$, 起到了巨大的“碳汇”的作用, 据此可吸收中国燃烧矿物燃料所释放的 CO_2 总量的 21% 左右。

政府间气候变化专门委员会 (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006) 提出的《国家温室气体指南 (National Green Gas Inventory Guideline)》也得到了广泛认同, 在世界范围内普遍应用。值得一提的是, 《京都议定书》第 12 条确立了“清洁发展机制 (CDM)”, 为了保护大气生态环境, 降低全球温室效应的重点就是减少 CO_2 的排放量, 而大力发展“碳汇”林业, 用植树造林方式将大气中的气态碳变成固态碳, 降低大气中 CO_2 的浓度, 正是治理全球大气生态环境恶化的重要途径之一。2003 年, 第九次《联合国气候变化框架公约》缔约方大会通过《CDM 造林再造林项目活动的简化方式和程序》, 森林“碳汇”贸易成为林业投融资的新渠道, 也被认为是实现森林生态效益价值补偿的有效方式。为进一步加强林业建设和发展, 我国实施了“退耕还林”和“防护林建设”等林业工程, 促进了森林面积蓄积的增加, 森林在 CO_2 吸收和固定等方面的作用越来越得到国家重视。因此, 对森林“碳汇”功能的研究已成为林学

及生态环境领域的最重要内容之一。

林业承担着经营管理森林资源、向社会提供森林服务的历史重任。如何合理保护和利用森林资源,提高林地生产力,加强森林“碳管理”成为当前林业的首要任务之一。森林,特别是人工林是目前陆地“碳汇”增长最主要的媒介之一,其碳库变化对大气 CO_2 浓度产生重要影响,会因为采伐、破坏、土地利用变化等过程而使森林面积、生物量、森林土壤有机质等急剧减少,使森林生态系统表现净碳释放而成为“碳源”;也会因为造林、更新恢复、生长等过程使森林面积与生物量增加,森林土壤有机质积累,表现出碳的净吸收而成为“碳汇”。提高森林经营水平,加强森林生态系统碳的研究,对预测和维护其生产力,以及在《京都议定书》的框架范围内进行“碳汇”贸易、谈判具有重要意义。

本书的宗旨,是从监测不同区域森林生态状况和功能的需要出发,以生物统计学、生态学、林学等为理论基础,综合运用基础数据采集与处理技术以及 3S 系统,以样地调查为主体,采集森林生物量和碳储量基本信息,采用样地实测、遥感监测、定点监测、模型估测、实验分析等方法,进行数据采集与测定,通过基础调查产出的计量模型和功能参数,结合固定样地调查产出的面上信息,利用统计汇总、分析评价、综合评估,产出反映区域以及各森林类型碳汇方面的功能计量评价参数以及变化状况监测等成果。具体而言:

首先,规范森林生物量和碳库层分类,划分为乔木层、林下灌草层、残体和土壤。

其次,基于地面调查结合遥感反演等 3S 技术,在典型树种的代表性分布区域设置样地,野外全面调查森林植被的组成、结构及生物量蓄积、土壤碳库等因子,为准确估算森林生态系统碳平衡提供必要的基础数据。

第三,分别主要乔木树种、竹种、下木种、灌木种和草本种等森林植物,采伐收获它们的各部位满足数量要求的样本以建立单木或样方生物量模型,测定含碳系数,计算土壤碳储量,以准确估算生物量、碳储量以及固碳释氧量。

最后,探讨森林生态系统碳储量的空间分布格局,以及碳固定、累积过程和动态变化规律,分析相关因素的影响作用,为其它相关研究提供理论参考价值。

我国杉木、马尾松、落叶松等典型针叶树种和毛竹森林资源丰富,具

有分布广、易栽植、成活率高、生长快、成材早、树干通直圆满以及自然整枝性良好等优点，是主要造林树种，也是重要的用材林。特别是它们速生丰产的特性对于提高我国森林生态系统“碳汇”水平，探讨碳汇林的营造具有重要意义。本书总结了近年来我们在森林碳汇方面的研究成果，论述了在东北小兴安岭和南方武夷山等代表性区域，监测并估算的杉木、马尾松、落叶松和毛竹4种典型树种的森林生态系统生物量与碳储量，探讨其时空分布以及动态的累积、变化规律，评估做为建群种组成的典型森林类型的碳存储能力，形成了一套规范、可操作的技术规程。这些是森林生态及森林经理的重要任务，也是本书作者致力研究的重点。

希望我们的研究成果，能作为森林“碳汇”研究的一项实践，为规范森林碳汇监测技术（包括森林碳库分类、地面和遥感监测方法以及碳库动态变化等）和森林资源与生态状况的综合监测评价工作提供参考，为全球气候变化监测提供一些基础数据。

本书主要是依据林业公益性行业科研专项经费（200904003-1）的研究成果，同时，吸收了国家自然科学基金（30571492）、国家自然科学基金（30940014）、国家林业局948项目（2008-4-48）和高等学校博士学科点专项科研基金（20060022009）等课题的部分成果撰写而成。在本书出版之际，衷心感谢我的研究生们。本书主要内容的素材源于十多届毕业研究生的学位论文和他们在期刊上发表的文章。感谢课题组所有成员和项目示范地，将乐国有林场和东折稜河经营所，谢汝根、穆景森、何学凯等为野外调查工作提供了大力帮助。感谢本书引用文献的作者，感谢关心和支持本书出版的专家、学生和朋友！

由于作者水平有限，书中会存在一些不足，恳请读者批评指正。

孙玉军

2014年仲夏于北京

目 录

总 序 前 言

第 1 章 森林碳储量及其研究进展	(1)
1.1 森林碳储量研究背景	(1)
1.2 森林生物量和碳储存库层	(5)
1.3 森林生物量估测	(6)
1.3.1 平均生物量法	(6)
1.3.2 生物量转换因子法	(9)
1.3.3 遥感信息模型法	(11)
1.3.4 其他方法	(19)
1.4 森林碳汇计量	(20)
1.4.1 含碳率测定	(20)
1.4.2 森林碳储量计算	(20)
1.4.3 森林固碳释氧量计算	(22)
第 2 章 杉木、马尾松、落叶松和毛竹森林资源分布特征	(23)
2.1 杉木、马尾松和落叶松	(23)
2.1.1 优势地位	(24)
2.1.2 分布情况	(26)
2.2 毛 竹	(30)
第 3 章 研究材料数据获取及分析方法	(34)
3.1 研究地概况	(34)
3.1.1 将乐国有林场	(34)
3.1.2 东折稜河经营所	(36)

3.2	资源现状及经营区划	(38)
3.2.1	森林资源及经营现状	(39)
3.2.2	综合区划	(40)
3.3	标准地布设及调查	(42)
3.3.1	标准地选取与设置	(42)
3.3.2	标准地调查	(42)
3.3.3	标准木解析	(49)
3.4	森林生物量估算	(49)
3.4.1	乔木生物量	(49)
3.4.2	林下植被生物量	(58)
3.4.3	残体生物量	(61)
3.5	数据处理及实验分析	(64)
3.5.1	数据处理	(64)
3.5.2	实验分析	(64)
3.5.3	数据统计与汇总	(66)
3.6	土壤碳储量	(66)
3.7	森林碳储量计量	(66)
第4章	杉木林生物量和碳储量的估算	(68)
4.1	杉木林样本数据	(68)
4.1.1	杉木林类型	(68)
4.1.2	杉木标准地及样木	(69)
4.2	杉木单木生物量分配	(71)
4.3	杉木生物量模型构建	(71)
4.3.1	独立模型的建立	(71)
4.3.2	相容性模型的建立	(79)
4.4	杉木林生物量	(86)
4.4.1	乔木层	(86)
4.4.2	林下植被层	(89)
4.4.3	残体层	(91)
4.5	杉木林碳储量	(92)
4.5.1	乔木层	(92)
4.5.2	林下植被层	(94)
4.5.3	残体层	(95)
4.5.4	土 壤	(96)

第 5 章 马尾松林生物量和碳储量的估算	(99)
5.1 马尾松林样地和标准木	(99)
5.2 马尾松单木生物量	(100)
5.2.1 各器官含水率	(100)
5.2.2 各器官生物量分配	(101)
5.3 马尾松生物量估测模型	(103)
5.3.1 自变量的设定与选取	(103)
5.3.2 模型类型	(104)
5.3.3 模型的检验	(104)
5.3.4 不同方程对拟合效果的影响	(105)
5.3.5 最优方程	(106)
5.3.6 误差检验结果分析	(108)
5.4 马尾松林生物量	(108)
5.4.1 生物量与蓄积关系	(108)
5.4.2 生物量的时间变化规律	(109)
5.4.3 生物量的径阶分配特点	(110)
5.4.4 乔木层净生产力分析	(111)
5.5 马尾松林碳储量	(112)
5.5.1 乔木层含碳率	(112)
5.5.2 碳储量及分配	(113)
第 6 章 落叶松林生物量和碳储量的估算	(115)
6.1 落叶松林分标准地	(115)
6.2 落叶松林乔木层生物量与碳储量	(116)
6.2.1 乔木生物量模型构建及估算	(116)
6.2.2 乔木各器官含碳率	(124)
6.2.3 乔木碳储量	(125)
6.3 落叶松林林下植被层生物量与碳储量	(130)
6.3.1 林下植被层生物量	(130)
6.3.2 林下植被含碳率	(133)
6.3.3 林下植被碳储量	(134)
6.4 落叶松林残体层生物量与碳储量	(137)
6.4.1 残体生物量	(137)
6.4.2 残体含碳率	(138)
6.4.3 残体碳储量	(139)

6.5	落叶松林土壤碳储量	(142)
6.5.1	土壤基本理化性质	(142)
6.5.2	土壤碳储量	(143)
6.6	落叶松林生物量变化规律	(147)
6.6.1	不同林龄的分布	(147)
6.6.2	不同林分密度的分布	(149)
6.6.3	与物种多样性的关系	(155)
6.7	落叶松林碳储量	(164)
6.7.1	落叶松林平均含碳率	(164)
6.7.2	落叶松林碳储量	(166)
6.7.3	落叶松林碳汇	(171)
第7章	毛竹林生物量和碳储量的估算	(175)
7.1	毛竹林样地和样木	(175)
7.2	毛竹单木生物量	(177)
7.2.1	单木生物量及分配	(177)
7.2.2	不同年龄和胸径单木生物量分布	(178)
7.3	毛竹林生物量模型构建	(180)
7.3.1	模型变量相关分析	(181)
7.3.2	模型构建与结果分析	(183)
7.3.3	最优模型	(189)
7.4	毛竹林分生物量	(191)
7.5	毛竹林碳储量	(192)
第8章	基于遥感信息估测森林生物量	(195)
8.1	利用多元回归分析法估测落叶松林生物量	(195)
8.1.1	研究数据及相关资料的获取	(195)
8.1.2	遥感影像处理	(198)
8.1.4	遥感因子线性模型应用	(203)
8.2	利用多元回归分析法估测将乐县森林生物量	(203)
8.2.1	研究数据及相关资料的获取	(204)
8.2.2	遥感影像处理	(206)
8.2.3	生物量遥感模型的建立	(209)
8.2.4	森林生物量时空变化规律	(219)
8.3	利用人工神经网络法估测将乐县森林生物量	(223)
8.3.1	研究数据及相关资料的获取	(223)

目 录

8.3.2	遥感数据预处理	(223)
8.3.3	基于 BP 神经网络的单木生物量模型构建	(224)
8.3.4	基于 BP 神经网络的森林生物量模型构建与应用	(229)
第 9 章	森林生物量和碳储量的比对研究	(236)
9.1	不同树种生物量比较	(236)
9.1.1	落叶松林	(236)
9.1.2	杉木、马尾松和毛竹林	(242)
9.2	不同树种含碳率比较	(244)
9.3	不同树种碳储量比较	(246)
9.3.1	生态系统碳储量	(246)
9.3.2	碳年均固定量	(250)
9.3.3	固碳释氧量	(253)
附件 1	缩写语	(256)
附件 2	森林生物量和碳储量监测技术规程	(258)
参考文献		(279)

第 1 章

森林碳储量及其研究进展

1.1 森林碳储量研究背景

森林是陆地生态系统的主体,在生物地球化学过程中起着重要的“缓冲器”和“阀”的功能,是地球上最大的“碳汇”,它在减少碳收支不平衡中起着关键作用(蒋有绪,1996)。森林的固碳释氧与涵养水源、保育土壤、净化大气和保护生物多样性并称森林的五大生态功能,是森林生态功能的首要体现,其重要性不言而喻(张俊红,2004;国家环保总局,2005;国家林业局,2008)。我国广东省的森林固碳释氧效益占总效益的 57.2%;浙江省重点公益林的森林固碳释氧效益占总效益的 40.8%。森林碳储量是计算固碳释氧量的主要依据,对森林生态系统碳储量的研究也有近半个世纪之久,开展森林碳汇的研究和监测,对于评估森林储碳释氧等功能及效益具有重要作用,成为 21 世纪和当今林业生产和科研的热点问题。事实上,在全球气候变化的背景下,不论从应对全球气候变化、履行《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》等国际公约的角度考虑,还是从加强生态建设、发展现代林业的需求出发,都需要及时提供并掌握我国典型树种对全球碳循环的贡献以及二氧化碳(CO_2)等温室气体的排放和吸收情况,着力强化碳汇监测和功能效益评价,切实增强样地和遥感等多种调查方法技术体系的综合监测和信息服务能力。近几年,2007 年巴厘岛路线图的提出、2009 年哥本哈根气候变化峰会和 2011 年德班联合国气候变化大会的召开,无疑都是国际社会对碳循环影响全球气候变化的响应。

森林生态系统碳库由植被、残体和土壤 3 部分组成,碳储量大小与各库层的碳密度、不同森林类型的面积和立地条件等相关。森林生态系统碳储量是森林生态系统与大气间碳交换研究的一个基本参数(Dixon *et al.*, 1994),也将为人工调控碳循环提供支持,所以碳储量的测定是研究森林生态系统的基础工作。森林植物生物量是指植物在一定时间内所积累的有机干物质的重量,是森林生态系统的最基本数量特征。同时因为光合作用吸收 CO_2 能有效固定和储存碳,所以生物量也是碳储量计算的最为重要的基础指标,是森林固碳能力的重要标志及评估森林