



邢艳秋 著
王立海 审



基于3S技术的 森林生物量估测研究

东北林业大学出版社

基于 3S 技术的森林 生物量估测研究

邢艳秋 著
王梅 审

江苏工业学院图书馆
藏书章

东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

基于 3S 技术的森林生物量估测研究/邢艳秋著. —哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2008. 12

ISBN 978-7-81131-121-1

I. 基… II. 邢… III. ①全球定位系统—应用—森林—生物量—森林调查—研究②地理信息系统—应用—森林—生物量—森林调查—研究③遥感技术—应用—森林—生物量—森林调查—研究 IV. S718.55-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 206123 号

责任编辑: 卢伟 张红梅

封面设计: 彭宇



NEFUP

基于 3S 技术的森林生物量估测研究

Jiyu 3S Jishu De Senlin Shengwuliang Guce Yanjiu

邢艳秋 著

王立海 审

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

黑龙江省教育厅印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 6.625 插页 4 字数 172 千字

2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—1 000 册

ISBN 978-7-81131-121-1

定价: 23.00 元

前 言

全球碳素有 3 个大的贮库——海洋、大气和陆地生态系统。在陆地生态系统中,森林植被是陆地生物圈的主体,集中了大约 85% 的陆地生物量,是最大的有机碳的贮库。森林及其变化对陆地生物圈及其他地表过程有着重要影响。为了正确了解森林生态系统在碳循环中的作用,对森林的碳动态进行更为细致的研究正日益成为人们关注的焦点。森林生物量估算是进行陆地生态系统碳循环和碳动态分析的基础,业已成为生态学和全球变化研究的重要内容之一。

近年来大气中二氧化碳等温室气体的含量大大增加。联合国气候变化框架公约(UNFCCC)要求成员国定期报告其森林生物量及碳贮量的变化,《京都议定书》(Kyoto Protocol)允许通过保持及增加森林生态系统碳贮量的方式协助签约国实现其减限排承诺。为了帮助发展中国家实现可持续发展,同时协助发达国家实现其在《京都议定书》第 3.1 条款下的减限排承诺,《京都议定书》第 12 条确立了清洁发展机制 CDM (Clean Development Mechanism)。2003 年 12 月,《联合国气候变化框架公约》第九次缔约方大会,已经正式通过了《CDM 造林再造林项目活动的方式和程序》。2004 年 12 月第十次缔约方大会进一步确定了小规模 CDM 造林再造林项目活动的简化方式和程序。随着《京都议定书》的生效,CDM 造林再造林项目日益受到各国的重视。森林生态系统生物量、碳贮量以及森林植被碳库的动态变化研究是与实施 CDM

造林项目密切相关的学术问题。由于我国尚未正式开展此类项目,各地对如何开展这类项目尚缺乏经验。本书为适应这一需要,以吉林省汪清林区为实验基地,利用 3S 集成技术进行理论和方法研究,以期达到能够实时有效地对森林生物量做出精确估测,为我国今后开展此类项目提供实践经验。

由于估测方法不同,森林生物量估测结果存在着相当大的不确定性。为减少这种不确定性,进而提高森林生物量估测精度,加强长期定位监测、改良现有估测模型至关重要。目前,关于东北天然林森林生物量估测模型的研究很少,缺乏森林多层次模型的研究,且没有考虑到分量模型与总量模型之间的相容关系。本书基于森林调查数据,利用森林生物量与其各分量之间的代数关系,通过各分量联合估计系统,建立了汪清地区天然林森林生物量模型,解决了独立模型不相容问题,且保证了估测精度。

3S 集成是遥感(RS)、地理信息系统(GIS)和全球空间定位系统(GPS)的有机结合。利用 3S 集成技术,基本实现了区域尺度甚至全球尺度不同陆地生态系统生物量动态监测。但在应用遥感技术进行生物量估测取得成功的同时,应该看到存在着的局限性:大多数基于遥感技术的森林生物量估计建立在生物量与遥感数据之间的线性相关分析上,缺乏对非线性遥感森林生物量模型的研究;对地形及环境影响的重视程度不够,导致当前的模型很难超越时空限制进行推广应用。基于 TM 遥感图像,本书采用遥感数据及地形因子作为模型自变量,应用 B-P 神经网络建立了森林生物量非线性遥感模型系统,旨在探索一种森林生物量及碳贮量的精确估计方法。

本书共分 5 章:第 1 章“绪论”回顾了国内外森林生物量估测的发展历程并对其未来的发展方向进行展望;第 2 章“遥感基础”简述了遥感基本原理及应用于森林定量估测的主要遥感卫星及其技术参数;第 3 章“基于森林调查的相容性森林生物量模型研究”

提出了相容性森林生物量模型的设计思想,并全面系统地阐述了该模型的开发过程及其应用;第4章“GIS技术支持下的森林生物量非线性遥感模型研究”则重点阐述了非线性遥感模型研究方法,并评价其应用结果;第5章“森林生物量/碳贮量分布GIS空间分析”从空间上对森林生物量的分布及森林经营管理进行分析讨论,充分体现了3S技术的空间特征。

东北林业大学王立海教授仔细审阅了全书,提出了许多宝贵意见和建议,在此表示衷心感谢!

由于受编写时间及作者水平之限,本书难免存在缺点甚至错误,敬请读者批评指正。

作 者

2007年11月

摘 要

近年来,森林锐减、土地退化、环境污染、生物多样性丧失,特别是人类活动产生的 CO_2 浓度急剧上升和由此导致的温室效应等是目前人类面临的最严峻的全球环境变化问题,所以全球碳循环研究受到人类的普遍关注。为了正确评估森林在全球碳平衡中的作用,了解森林生态系统在碳循环中的作用,对森林的碳动态进行更为细致的研究正日益成为人们关注的重点。森林生物量估算是进行陆地生态系统碳循环和碳动态分析的基础,业已成为生态学和全球变化研究的重要内容之一。3S(RS、GIS 和 GPS)技术的出现和发展,为在大尺度上进行生物量研究提供了可能。

本研究适应这一需要,以吉林省汪清林区为实验基地,利用 3S 集成技术及时进行理论和方法研究,以期达到能够实时有效地对森林生物量做出精确估测,为我国今后开展此类项目提供实践经验。本书主要研究内容为:

(1)基于森林调查的相容性森林生物量模型设计思想,采用联立方程组为不同森林群落构造了一系列引入林分蓄积因子的相容性生物量模型,并且得到了相当高的预估精度。其中针叶林、阔叶林和针阔混交林群落的森林生物量模型预估精度均在 95% 以上,基本上解决了森林生物量模型的相容性问题,是该领域一个较大的进展。利用该模型得到汪清林业局针叶林、阔叶林和针阔混交林的森林生物量密度分别为 $97.78 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $121.96 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $110.44 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,其中乔木层生物量占三种森林群落森林生物量

的比例分别为 95.01%、93.89% 和 94.2%。无论是对乔木层、下层灌草还是整体森林群落,生物量密度都以阔叶林为最大,针阔混交林次之,针叶林为最小。下层灌草生物量占森林生物量的比例以阔叶林为最大,针阔混交林次之,针叶林为最小。

(2)结合 GIS 技术,应用 B-P 神经网络建立了森林生物量非线性遥感模型系统。该系统除了采用遥感图像提供的各波段的灰度值、植被指数等信息作为模型自变量外,还引入了立地类型、海拔、坡度和坡向等定量与定性因子。通过压缩输入数据和增强网络训练学习算法等措施,对标准 B-P 神经网络进行了增强。结果证明增强型 B-P 神经网络具有收敛速度快和自学习、自适应功能强的特点,能最大限度地利用已知数据遥感图像样本集的先验知识,自动提取合理的模型。因此最终采用增强型 B-P 神经网络构造了森林生物量模型系统。在研究中发现,基于几何精校正后的数据较几何精校正前的更为适合用于建立森林生物量模型。以 75 m 为缓冲区提取的数据较 15 m 和 45 m 的更为适合用于建立森林生物量模型。对针叶林、阔叶林和针阔混交林的森林生物量模型系统,增强型算法仿真结果的平均相对误差分别为 -1.47%、2.38% 和 3.56%,平均相对误差绝对值分别为 6.33%、8.46% 和 8.91%,取得了理想的预估效果,并输出了森林生物量/碳贮量分布图。综合土地覆盖图的分类精度(90.47%),增强型 B-P 神经网络森林生物量模型的最终预测精度为 88.04%,满足生产精度要求。

(3)以森林生物量分布图为基础图层进行了空间分析。研究区阔叶林生物量/碳贮量占总量的 61%,在该地区占主导地位,为主要森林碳库。其次为针阔混交林和针叶林,森林生物量/碳贮量分别占总量的 22% 和 17%。1995~1999 年,我国遥感估计森林面积为 142.60 Mhm²,平均碳贮量和碳库分别为 25.77 t·hm⁻² 和 3.68 Gt C。本研究区的遥感估计森林面积为 0.222 2 Mhm²(除去

云及阴影区和兰家林场),占全国森林面积的 0.16%,而森林碳库却为 0.012 Gt C,占全国碳库的 0.33%。森林平均碳贮量为 $51.84 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,明显高于全国平均值。森林生物量分布随海拔等级变化从大到小的排列次序为:中等 > 较低 > 较高 > 低 > 高。随坡度变化从大到小的排列次序为:缓坡 > 斜坡 > 平坡 > 陡坡 > 急坡 > 险坡。在 10° 的坡面上,森林对光的利用率最高。

(4)以森林生物量分布图为基础图层进行了森林经营区划,其中抚育间伐区、自然保护区和造林区的经营面积分别为 $54\,037.35 \text{ hm}^2$ 、 $64\,749.6 \text{ hm}^2$ 和 $89\,887.68 \text{ hm}^2$ 。如实施本区划方案,可带来可观的生态效益、社会效益和经济效益。

Abstract

Recently, serious forest decreasing, land degradation, environment pollution, biodiversity losing, especially carbon dioxide concentration increasing and greenhouse effect etc. are most crucial global environment change problems. Thus carbon cycle study in global scale is paid more attention currently. To assess precisely the role forest playing in global carbon balance and understand the role forest ecology system playing in carbon cycle, it is increasingly gaining the global attention to study the carbon dynamic more accurately. As a base to analyze the terrestrial carbon cycle and dynamic, forest biomass estimation has been one of important contents of ecology and global change study. 3S (RS, GIS & GPS) technique with its development continuously offers a potential method to study biomass in large scale.

To meet the demand, taking Wangqing forest area as the experiment base, the study used 3S integrated technique to do investigation in both theory and method so as to estimate forest biomass precisely in real time effectively, and offer the practical experiences to do further research in China. The key contents of the study is as following:

(1) Based on the forest inventory, the compatible forest biomass model design concept has been realized. Taking stem volume as one of independent variables, the study produced a series of compatible biomass models for different forest types using the joint equations, and

gained quite high accuracy. It has basically solved the problem of compatible forest biomass models, and thus was a great developing in the relative research field. Employing the models, the forest biomass in the study area for conifer forest, broad leaf forest and mixed forest was estimated as $97.78 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, $121.96 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, and $110.44 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ respectively, and among them tree biomass accounted for 95.01%, 93.89% and 94.2% respectively for three forest types. For any forest layer including tree, shrub and grass, the relative biomass density in broad leaf forest was highest, followed by that in mixed and conifer forest. The ratio shrub & grass biomass accounted in broadleaf forest is highest, followed by that in mixed and conifer forest.

(2) With GIS (Geographic Information System), applying the B - P Nerve Network the nonlinear forest biomass RS (Remote Sensing) modeling system was designed. Except for the RS factors such as Digital Number of bands and Vegetation Index etc, the study adopted as well as some quantified and qualified factors such as Landform type, Altitude, Slope and Aspect and so on. During modeling stage, by certain methods such as reducing input data and enhancing arithmetic of exercise and so on, the standard B - P Nerve Network was developed and applied to model the forest biomass. The result denoted that enhanced B - P Nerve Network had the faster convergence speed and stronger self-study and self-adaptation function, was able to use transcendent knowledge of the defined RS sample data sets and draw automatically the reasonable model. Therefore, the study decided to employ the enhanced B - P Nerve Network to construct a forest biomass modeling system. It was found in the study that the data set after geometric transformation was more suitable than that before geometric transformation to model the forest biomass. In addition, the data set

drawn from 75m buffer zones was more suitable than that from 15 and 45m buffer zones to model the forest biomass. For conifer, broad leaf and mixed forest biomass modeling system, the mean relative error of enhanced simulation results was -1.47%, 2.38% and 3.56% respectively, and the mean relative absolute error was 6.33%, 8.46% and 8.91% respectively. Combined the land cover map accuracy (90.47%) together, the final predicted of the enhanced B - P Nerve Network forest biomass model was 88.04%, which was able to meet the production demand. The ideal predicted estimation was achieved and the forest biomass and carbon storage distribution maps were produced at the same time.

(3) From the spatial analysis based on the forest biomass map, the following information was drawn. The broad leaf forest biomass/carbon storage accounted for 61% of total forest biomass in the study area, which took a dominant status, and following by that of mixed and conifer forest as 22% and 17% respectively. From the previous RS estimation, the forest area, the forest storage and carbon pool in China during 1995 ~ 1999 was 142.6 Mhm^2 , $25.77 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ and 3.68 Gt C respectively. From the study result, the forest cover of the study area was 0.2222 Mhm^2 (excluding cloud and shadow area and Lanjia area) which accounted for 0.156% of the total forest area of China; however the forest carbon pool was 0.012 Gt C in the study area which accounted for 0.326% of total forest carbon pool of China. Moreover, the mean forest carbon storage was $51.84 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, which was much higher than the average value of that in China. The order forest biomass/carbon storage distribution from large to small following altitude classes change was middle > lower > higher > low > high. The order forest biomass/carbon storage distribution from large to small fol-

lowing slope classes change was slow slope > slope > even slope > steep slope > dangerous slope. On the 10° slope section, forest was able to absorb the light with the highest efficiency.

(4) Taking the biomass map as the basic map, the study made out the forest management planning map. The cover area of the thin cutting area, natural protection area and forestation area was 54 037.35 hm², 64 749.6 hm² and 89 887.68 hm² respectively. The Ecology, Society and Economy benefit will be gained if the plan could be taken into effect.

目 录

1 绪论	1
1.1 森林生物量/碳贮量估测研究的意义	1
1.2 国内外森林生物量/碳贮量估测研究现状与展望	6
1.3 研究目标、内容与技术路线	34
2 遥感基础	41
2.1 电磁波谱	41
2.2 地物反射	43
2.3 遥感卫星系统	46
3 基于森林调查的相容性森林生物量模型研究	53
3.1 森林生物量实验计算	53
3.2 相容性森林生物量模型设计思想	63
3.3 基于森林调查的相容性森林生物量模型研究	64
3.4 模型结果及分析	90
3.5 本章小结	97
4 GIS 技术支持下的森林生物量非线性遥感模型研究	99
4.1 土地覆盖分类	99
4.2 GIS 技术支持下的森林生物量非线性遥感模型设计思想	109
4.3 森林生物量非线性模型的研究方法	110
4.4 森林生物量与各遥感因子的相关性分析	115
4.5 增强型 B-P 神经网络森林生物量模型系统	117

4.6	森林生物量空间分布	139
4.7	本章小结	139
5	森林生物量/碳贮量分布 GIS 空间分析	142
5.1	等级专题图	143
5.2	森林群落的分布特征分析	145
5.3	森林生物量/碳贮量空间分布特征分析	150
5.4	森林经营区划	155
5.5	森林经营区划效益分析	160
6	结论与建议	164
6.1	结论	164
6.2	建议	167
	附 录	168
	参考文献	181

1 绪 论

1.1 森林生物量/碳贮量估测研究的意义

根据国际粮农组织 FAO - FRA (Global Forestry Resources Assessment) 2005 年的定义, 林木生物量是指除树叶、花和种子之外, 所有活的以及死的林木的木质部分(树干、树皮、树枝和嫩枝)和灌木的绝干质量之和, 包括树桩、树根。地上林木生物量是除树桩、树根外, 所有活林木的木质部分(树干、树皮、树枝和嫩枝)绝干质量之和。结合遥感数据的特点, 本书所研究的森林生物量是指地上活林木生物量、灌木生物量和草本生物量三者之和。根据国际粮农组织 FAO - FRA 2005 年的定义, 森林碳贮量是指森林生物量中的碳元素贮量。森林生物量中的碳贮量取决于植物生长部位、树种和立地条件, 所以, 最好采用具体的转换因子来计算森林碳贮量。如果没有具体的转换因子可用, 大多数国家则根据 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 大纲中的规定, 用森林生物量的 47% 作为森林碳贮量。

全球碳素有 3 个大的贮库, 即海洋、大气和陆地生态系统。从 20 世纪 70 年代后期开始, 全球碳循环研究受到人们的普遍关注, 特别是在几十年到几百年时间尺度上的人类活动, 如化石燃料(煤、石油和天然气等)的燃烧和非持续性土地利用(砍伐森林、开垦草地、改造沼泽等)对全球碳循环的影响。在当前

的国际地圈—生物圈研究计划 (IGBP) 中, 碳循环是全球变化与陆地生态系统 (GCTE) 等多个核心计划中的重要研究内容。陆地生态系统是人类赖以生存与持续发展的生命支持系统, 也是受人类活动影响最大的区域, 而陆地碳循环是全球碳循环的重要组成部分, 在全球碳收支中占主导地位。自 20 世纪以来, 人类活动的影响在规模上已从陆地系统扩展到整个地球系统。森林锐减、土地退化、环境污染、生物多样性丧失, 特别是人类活动产生的 CO_2 浓度急剧上升和由此导致的温室效应等是目前人类面临的最严峻的全球环境变化问题。研究陆地碳循环机制及其对全球变化的响应, 是预测大气 CO_2 含量及气候变化的重要基础, 这已引起科学界的高度重视。在陆地生态系统中, 森林是最大的有机碳的贮库, 森林及其变化对陆地生物圈及其他地表过程有着重要影响。森林植被是陆地生物圈的主体, 约有 85% 的陆地生物量集中在森林植被 (Lieth & Whittaker, 1975)。因此, 为了正确评估森林在全球碳平衡中的作用, 了解森林生态系统在碳循环中的作用, 对森林的碳动态进行更为细致的研究正日益成为人们关注的重点。而森林生物量估算是进行陆地生态系统碳循环和碳动态分析的基础 (Hussin, 2003), 业已成为生态学和全球变化研究的重要内容之一。

1992 年, 全世界 166 个国家签署了《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC); 1997 年 12 月各国又在日本京都签订了《京都议定书》(Kyoto Protocol), 规定了各国为减少温室气体的排放而应履行的责任和义务。为了帮助发展中国家实现可持续发展, 同时协助发达国家实现其在《京都议定书》第 3.1 条款下的减限排承诺, 《京都议定书》第 12 条确立了清洁发展机制 (CDM - Clean Development Mechanism)。2003 年 12 月, 《联合国气候变化框架公约》第九次缔约方大会, 已经正式通过了《CDM 造林再造林项目活动的方式和程序》。2004 年 12 月第十次缔约方