

Estimation and Evaluation of  
Forest Biomass Carbon Storage in China

# 中国森林植被生物量和 碳储量评估

李海奎 雷渊才 主编

中国林业出版社



ISBN 978-7-5038-5809-3



9 787503 858093 >

定价：58.00 元

# 中国森林植被生物量和 碳储量评估

李海奎 雷渊才 主编

中国林业出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国森林植被生物量与碳储量评估 / 李海奎, 雷渊才主编. - 北京: 中国林业出版社, 2010. 3

ISBN 978-7-5038-5809-3

I. ①中… II. ①李… ②雷… III. ①森林植被-生物量-评估 ②森林植被-碳-储量-评估 IV. ①S718.54

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 041664 号

责任编辑: 沈登峰 徐小英

封面设计: 赵 芳

出版 中国林业出版社(100009 北京西城区刘海胡同7号)

E-mail forestbook@163.com 电话 010-83222880

网址 www.cfph.com.cn

发行 中国林业出版社

印刷 北京中科印刷有限公司

版次 2010年3月第1版

印次 2010年3月第1次

开本 889mm×194mm 1/16

印张 4.5

印数 1~2 000册

定价 58.00元



# 《中国森林植被生物量和碳储量评估》

## 编 写 组

### 咨询顾问

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 唐守正 | 蒋有绪 | 冯宗炜 | 张新时 | 尹伟伦 |
| 汪 绚 | 张守攻 | 刘世荣 | 陈雪峰 | 张 敏 |
| 肖文发 | 张星耀 | 张小全 |     |     |

### 主 编

|     |     |
|-----|-----|
| 李海奎 | 雷渊才 |
|-----|-----|

### 参编人员

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 曾伟生 | 陈永富 | 黄国胜 | 国 红 | 李春明 |
| 党永峰 | 王雪军 | 杨雪云 | 夏朝忠 | 法 蕾 |

# 序

全球气候变化是当今人类面临的一个重大环境问题，于1992年5月9日在纽约通过的《联合国气候变化框架公约》，我国是缔约国之一。大气中以CO<sub>2</sub>为主的温室气体的含量，对全球气候变化起到重要的作用。降低大气中温室气体浓度有两种办法：一是减少温室气体排放（源）；二是增加对温室气体的吸收（汇）。森林是陆地上最大的储碳库，约80%的地上碳储量和40%的地下碳储量发生在森林生态系统，因此，森林固碳能力是评价全球大气碳收支的重要参数，而森林固碳能力主要的计算基础是森林生物量。因此，森林生物量的估算成为现代林业科研的热点问题，特别是大尺度区域森林生物量的估算更是人们关注的焦点。

本书作者从微观和宏观不同的角度，系统地总结国内外森林生物量和碳储量估测方法的研究成果，详细分析现有的国内外估测方法的适用条件及优缺点，以全国第六、第七次森林资源连续清查资料为基础，研究比较了3种方法的估算结果，从而为我国估算森林生物量和森林碳储量提出了比较适合的估算方法。在此基础上估算了全国森林生物总量和森林碳储总量。

我相信本书的出版，必将为我国森林植物生物量和碳储量估算提供一个可靠的技术路线，对我国今后更加系统、准确、全面地开展中国森林植物生物量和碳储量计算及其动态变化的研究很有意义。

中国科学院院士

唐守正

2010. 3. 11

# 前 言

森林是陆地生态系统的主体，与陆地其他生态系统相比它具有复杂的层次结构、很长的生命周期，拥有最高的生物量和生产量，是陆地生物光合产量的主体，也是陆地生态系统的最大碳库，约 80% 的地上碳储量和 40% 的地下碳储量发生在森林生态系统。同时极易受到自然及人类活动的干扰而发生很大的变化，进而对全球碳循环过程产生重大影响。森林碳储量既是评价森林生态系统的结构和功能以及森林质量的重要指标，也是评估森林生态系统碳平衡的基础，更是联合国气候变化框架协议和千年发展目标的重要内容。大尺度森林生物量与碳储量的高低变化直接关系到各国履行 UNCF、IPCC、FRA、CBD 和 I&C 等国际公约与进程而备受关注。

中国是一个发展中的林业大国，也是《生物多样性公约》等多个国际性公约的签约国，承担着维护、改善世界生态环境的重要职责。我国地域广阔，跨越温带至热带的各个气候带，有着丰富多样的类型，自然气候条件复杂，乔木种类繁多，森林资源丰富，森林类型多样。森林资源在世界上占有相当重要的地位，森林面积和蓄积均居世界前列，人工林面积位居世界第一。开展森林生物量及碳储量估算方法研究，估测全国主要森林类型生物量与碳储量，进行碳收支评估，揭示主要森林生态系统碳汇过程及其主要发生区域，反映我国森林资源保护与发展进程，对于客观反映我国森林对全球碳循环及全球气候变化的贡献，加快森林生物量与碳循环研究的国际化进程，明确中国在《京都议定书》等国际公约中的国家责任具有十分重大的现实意义。

国家林业局历来非常重视森林植被生物量和碳储量的研究工作，在第七次全国森林资源清查汇总工作中增加了“中国森林生物量与碳储量分析与评估”专题，并根据“分析与评估”情况，适时在第八次森林资源连续清查工作中增加了生物量建模的野外调查工作，旨在今后的工作更加系统、准确、全面地摸清中国森林植物生物量和碳储量的数量和动态，更好地为林业的宏观决策服务。

森林植被生物量和碳储量评估以乔木林、疏林地、灌木林（不包括乔木林下的灌木）、

## 2 前 言

竹林、散生木和四旁树为研究对象，把全国乔木（包括疏林、散生木、四旁树，但不包括竹林）分成 49 个优势树种（组），按 31 个省级区域，采用二元生物量回归模型作为生物量计算方法，合计样地所有单木树木生物量得到样地水平的生物量，并推算到林分水平，加权平均得到省级尺度的生物量转换因子（生物量和蓄积量的比值），乘以各省优势树种（组）的蓄积量，累积合计得到中国乔木林总生物量；以木材学中各个树种纤维素、半纤维素、木质素含量含碳率作为生物量转换为碳储量的系数，获得中国乔木林总碳储量。竹林生物量的计算方法，以全国竹林平均胸径计算单株生物量，乘以总株数获得生物量，进而得到碳储量。灌木林总生物量和碳储量分省用单位面积生物量和碳密度乘以总面积获得，其中关键的灌木林单位面积生物量和碳密度根据有关文献和本省的乔木林的单位面积生物量综合考虑确定，计算结果较为保守。

森林植被生物量和碳储量评估依据的基础数据是第七次全国森林资源连续清查体系的调查成果，主要包括用于拟合 49 个优势树种（组）树高曲线的来自固定样地的 15 万个树高测定数据；用于推算林分生物量和加权平均生物量转换因子的约 240 万个样木资料；用于计算生物量的分省乔木林分优势树种（组）面积和蓄积统计表；用于计算疏林、散生木、四旁树生物量的分省相关统计表；用于计算竹林生物量的分省竹林面积和株数统计表；用于计算灌木林生物量的分省灌木林面积统计表等。

《中国森林植被生物量和碳储量评估》，采用的乔木林生物量模型来源于两部分：一是 20 世纪 90 年代唐守正院士主持的项目“二元立木生物量模型及其相容的一元自适应模型系列研究”的研究成果；二是从相关文献收集的生物量模型，例如：冯宗炜建立的桉树生物量模型和国家林业局中南林业调查规划院建立的马尾松模型等。

本书是第七次全国森林资源连续清查汇总工作之“中国森林生物量与碳储量分析与评估”专题的成果之一。在本书的完成过程中，得到了国家林业局森林资源管理司、国家林业局调查规划设计院和中国林业科学研究院有关领导的大力支持与帮助，得到了中国林业科学研究院科技处和中国林业科学研究院资源信息研究所有关领导和同仁的鼎力相助，谨以本书出版之际，感谢所有对完成本书给予支持与帮助的领导、同事和同仁。

由于作者水平有限，成书过程仓促，特别是全国尺度生物量模型的缺乏，书中的错误和不妥之处在所难免，恳请广大读者和学者不吝赐教，批评指正。

李海奎 雷渊才

2010 年 3 月



# 目 录

序

前 言

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 第一章 研究的背景及意义 .....            | 1  |
| 第二章 基于清查资料的乔木林生物量估算方法研究 ..... | 4  |
| 一、清查资料 .....                  | 4  |
| 二、森林生物量的估算方法 .....            | 5  |
| (一) IPCC 法 .....              | 6  |
| (二) 换算因子连续函数法 .....           | 10 |
| (三) 生物量经验(回归)模型估计法 .....      | 13 |
| 三、3种方法计算结果的对比分析 .....         | 18 |
| (一) 计算过程分析 .....              | 21 |
| (二) 计算方法稳定性分析 .....           | 22 |
| 四、结论与讨论 .....                 | 24 |
| 第三章 中国森林植被生物量和碳储量计算方法 .....   | 26 |
| 一、森林生物量计算方法 .....             | 26 |
| (一) 乔木林生物量计算方法 .....          | 26 |
| (二) 竹林生物量计算方法 .....           | 28 |
| (三) 灌木林生物量计算方法 .....          | 28 |
| (四) 疏林、散生木和四旁树生物量计算方法 .....   | 28 |
| 二、森林碳储量计算方法 .....             | 29 |
| (一) 基本公式 .....                | 29 |
| (二) 换算参数 .....                | 29 |

## 2 中国森林植被生物量和碳储量评估

---

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 第四章 中国森林植被生物量                   | 32 |
| 一、中国森林植被总生物量                    | 32 |
| 二、中国森林植被生物量地理分布格局               | 32 |
| 三、中国乔木林分起源、龄组生物量分布状况            | 36 |
| 四、中国乔木林不同树种(组)生物量分布状况           | 38 |
| 第五章 中国森林植被碳储量                   | 42 |
| 一、中国森林植被碳储量总量和碳密度(单位面积碳储量)      | 42 |
| 二、中国森林植被碳储量地理分布格局               | 42 |
| 三、中国乔木林分起源、龄组碳储量分布状况            | 46 |
| 四、中国乔木林不同树种(组)碳储量分布状况           | 48 |
| 附件1 江西、广东等6省份32个树种(组)的树高曲线拟合结果表 | 52 |
| 附件2 全国49个树种(组)的树高曲线拟合结果表        | 54 |
| 附件3 不同树种(组)的生物量模型和参数            | 58 |
| 参考文献                            | 59 |

# 第一章

## 研究的背景及意义

全球碳素有 3 个大的储库，海洋、大气和陆地生态系统。陆地生态系统是人类赖以生存与可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。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<sub>2</sub> 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。因此，从 20 世纪 70 年代后期开始，全球碳循环研究受到人类的普遍关注，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，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。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<sub>2</sub> 含量及气候变化的重要基础，这已引起科学界的高度重视。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）。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，而森林生态系统生物量、碳储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。对此，国内外已经开展大量针对国家及区域尺度上森林生物量、碳储量以及森林植被碳库的动态变化的研究，但是，限于森林生物量和碳储量实际观测

资料的分布分散、复杂性、森林生物量以及碳储量测定方法的差异及全国性森林碳储量研究的资料极为有限,使得所产生碳储量研究结果缺乏可比性和必要的精度支持,无法为国家在CO<sub>2</sub>减排以及维护全球气候平衡等方面的作用提供有效的数据支持。为此,本研究从微观和宏观不同的尺度,总结国内外森林生物量和碳储量估测方法的研究成果,分析现有的国内外估测方法的适用条件及优缺点,从而为我国估算森林生物量和森林碳储量提出最优的估算方法。其具体意义体现在以下三个方面:

### 1. 研究的必要性

大气成分监测、CO<sub>2</sub>通量测定以及模型模拟等方面的研究都表明,北半球是一个巨大的碳汇。但由于碳循环是一个极其复杂的生物学、化学和物理学过程,受到自然和人为活动的双重作用,所以,目前的科学技术及其数据的积累尚不能准确地回答碳汇到底有多大,其区域分布如何。也就是说,碳汇问题仍存在着相当大的不确定性。因此,很难说某一国家对碳汇的具体贡献有多大。在美国,不同研究得出的结论之差异可达5~6倍以上。为减少碳汇估计值的不确定性,方精云认为加强长期定位监测、改进现有估测模型对提高碳汇估测精度是至关重要的,特别是由于我国地域辽阔,植被类型多样,这就需要对不同地区植被分别进行研究,以寻求不同森林类型的碳库,进一步探索碳循环模式。

### 2. 研究的紧迫性

我国作为世界上最大的发展中国家,对能源的需求量很大。1992年因化石燃料燃烧产生的CO<sub>2</sub>排放量位居世界第二。北京大学研究小组利用森林资源清查资料及生物量实测数据构建了世界上第一个国家尺度的长达50年的森林生物量数据库,阐明了半个世纪以来中国森林植被CO<sub>2</sub>源汇功能的动态变化,为确认北半球陆地碳汇的存在和大小提供了直接的证据,为探索CO<sub>2</sub>失汇之谜做出了努力。但总的来说,中国在这方面的研究十分薄弱,知识积累也很少,特别是对森林生态系统中下木及林内草本碳储量的研究甚少。这不仅不利于了解中国生态系统的结构、功能及其对未来环境变化的响应,而且,对将来中国参加有关国际谈判也是十分不利的。因此,对中国来说,碳循环的研究十分重要也十分紧迫,尤其是搞清在全球碳循环中我国陆地是碳源还是碳汇,这关系到中国未来能源政策和农林业政策的制定及怎样履行在《联合国气候变化框架公约》中所达成的共识——稳定当前的大气温室气体含量。

### 3. 研究的实践意义

我国对森林生物量的调查研究在20世纪70年代末和80年代初就已经开始,20多年来已



积累了有关这方面的大量研究资料。但由于历史原因，这些研究只是关于林分生物量的实测和推测，有关全国森林生物量的估测在近几年才开始，然而这些估测的结果只是某一时间森林现存的生物量，缺乏在时间尺度上对森林生物量，特别是碳储量的动态变化进行研究，因此，无法对我国森林的源汇功能进行正确的评估，从而难以评价我国森林在全球气候变化中的作用。

## 第二章

# 基于清查资料的乔木林生物量估算方法研究

### 一、清查资料

基于清查资料的乔木林生物量估算方法需要用到以下统计表：分树种组、龄组面积和蓄积表；各省树高测定表；各省样地表；各省样木表（国家林业局，2004）。

乔木林各龄组面积蓄积按优势树种统计表

| 统计单位 | 优势树种 | 合计 |    | 幼龄林 |    | 中龄林 |    | 近熟林 |    | 成熟林 |    | 过熟林 |    |
|------|------|----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|
|      |      | 面积 | 蓄积 | 面积  | 蓄积 | 面积  | 蓄积 | 面积  | 蓄积 | 面积  | 蓄积 | 面积  | 蓄积 |
|      |      |    |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |

树高测定表

| 省代码 | 样地号 | 树种代码 | 胸径 | 树高 |
|-----|-----|------|----|----|
|     |     |      |    |    |

样地表

| 省代码 | 样地号 | 地类 | 林种 | 起源 | 优势树种 | 龄组 | 平均胸径 | 平均树高 | 活立蓄积 | 林木蓄积 | 散生蓄积 | 四旁蓄积 |
|-----|-----|----|----|----|------|----|------|------|------|------|------|------|
|     |     |    |    |    |      |    |      |      |      |      |      |      |

样木表

| 省代码 | 样地号 | 样木号 | 立木类型 | 检尺类型 | 树种代码 | 胸径 | 单株材积 |
|-----|-----|-----|------|------|------|----|------|
|     |     |     |      |      |      |    |      |

以上述统计表中数据为基础，研究吉林、北京、陕西、江西、贵州和广东等6省份的乔木林生物量。

## 二、森林生物量的估算方法

根据前期研究和讨论（例如，赵敏，2004；张茂震，2008；王效科，2001；Fang，2001；Anatoly，2002；IPCC；2003；唐守正，2002；罗云建，2009；Lehtonena，2004），我们选择 IPCC 法、生物量转换因子连续函数法和生物量经验（回归）模型估计法等 3 种方法作为本次森林生物量估算的方法。

3 种方法都属于材积源生物量法（volume-derived biomass），也叫生物量转换因子法（biomass expansion factor, BEF），是利用林分生物量与木材材积比值的平均值，乘以该森林类型的总蓄积量，得到该类型森林的总生物量的方法。

其基本原理为：

$$B_{total} = V_{total} \text{BEF} \dots\dots\dots (1)$$

式中： $B_{total}$ ——某一树种组（森林类型）的总生物量；

$V_{total}$ ——某一树种组（森林类型）的总蓄积量；

BEF——某一树种组（森林类型）的生物量转换因子。

IPCC 法森林生物量估算公式为：

$$B_{total} = V_{total} D \cdot \text{BEF}_2 \cdot (1 + R) \dots\dots\dots (2)$$

式中： $V_{total}$ ——某一树种组（森林类型）的总蓄积量；

$D$ ——某一树种组（森林类型）的木材密度；

$\text{BEF}_2$ ——生物量扩展因子（biomass expansion factor）；

$R$ ——为根茎比。

生物量转换因子为：

$$\text{BEF} = D \cdot \text{BEF}_2 \cdot (1 + R) \dots\dots\dots (3)$$

生物量转换因子连续函数法生物量估算公式为：

$$\begin{aligned} B_{total} &= B \cdot A_{total} \\ &= V \cdot \text{BEF} \cdot A_{total} \\ &= V \cdot A_{total} \cdot \text{BEF} \\ &= V_{total} \cdot \text{BEF} \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

式中： $B$ ——某一树种组（森林类型）单位面积生物量；

$A_{total}$ ——某一树种组（森林类型）的总面积；

$V$ ——某一树种组（森林类型）的单位面积蓄积量；

$V_{total}$ ——某一树种组（森林类型）的总蓄积量。

生物量转换因子为：

$$BEF = a + \frac{b}{V} \dots\dots\dots (5)$$

式中： $a$  和  $b$  均为常数，随树种不同而变化，具体数值见表 2.6。

生物量经验（回归）模型估计法生物量估算公式为：

$$\text{生物量} = \text{林分各优势树种蓄积} \times \frac{\sum_{i=1}^n \text{样地调查材积} \times \frac{\text{样地模型生物量}}{\text{样地模型材积}}}{\sum_{i=1}^n \text{样地调查材积}} \dots\dots\dots (6)$$

式中：样地模型生物量 =  $\sum_{j=1}^m$  样地内径阶模型生物量；

样地模型材积 =  $\sum_{j=1}^m$  样地内径阶模型材积；

$m$ ——某一样地内的径阶数；

$n$ ——计算生物量的优势树种样地个数；

样地调查材积指样地因子表中的材积。

生物量转换因子为：

$$BEF = \frac{\sum_{i=1}^n \text{样地调查材积} \times \frac{\text{样地模型生物量}}{\text{样地模型材积}}}{\sum_{i=1}^n \text{样地调查材积}} \dots\dots\dots (7)$$

BEF 的回归估计包含材积、年龄和立地等。

从式（3）、（5）和（7）中看，3 种方法的关键都在于如何确定生物量转换因子 BEF。

下面用吉林等 6 省份第六、第七次两期森林资源清查资料，使用 3 种方法进行生物量估算，并对生物量转换因子 BEF 进行比较分析。

## （一）IPCC 法

### 1. 方法简介

政府间气候变化专门委员会（IPCC）以森林蓄积、木材密度、生物量换算因子和根茎比



等为参数，建立材积源生物量模型，指导各国开展森林生物量估算。其基本公式见式(2)。

## 2. 基本参数

IPCC 在 2004 年出版的《土地利用、土地利用变化和林业优良做法指南》中，按北方生物带、温带和热带给出了推荐使用的有关参数。根据我国森林类型的分布情况，摘录出可参考使用的  $D$ 、 $BEF$  和  $R$  参数见表 2-1、表 2-2 和表 2-3。

表 2-1 IPCC 推荐使用的木材密度  $D$  (吨干物质/ $m^3$ 鲜材积)

| 气候带             | 树种组   | 木材密度 $D$ | 气候带  | 树种组  | 木材密度 $D$ |
|-----------------|-------|----------|------|------|----------|
| 北方<br>生物带<br>温带 | 冷杉    | 0.40     | 热带   | 陆均松  | 0.46     |
|                 | 云杉    | 0.40     |      | 鸡毛松  | 0.46     |
|                 | 铁杉柏木  | 0.42     |      | 加勒比松 | 0.48     |
|                 | 落叶松   | 0.49     |      | 楠木   | 0.64     |
|                 | 其他松类  | 0.41     |      | 花榈木  | 0.67     |
|                 | 胡桃    | 0.53     |      | 桃花心木 | 0.51     |
|                 | 栎类    | 0.58     |      | 橡胶   | 0.53     |
|                 | 桦木    | 0.51     |      | 楝树   | 0.58     |
|                 | 槭树    | 0.52     |      | 椿树   | 0.43     |
|                 | 樱桃    | 0.49     |      | 柠檬桉  | 0.64     |
|                 | 其他硬阔类 | 0.53     |      | 木麻黄  | 0.83     |
|                 | 椴树    | 0.43     |      | 含笑   | 0.43     |
|                 | 杨树    | 0.35     |      | 杜英   | 0.40     |
|                 | 柳树    | 0.45     |      | 猴欢喜  | 0.53     |
| 其他软阔类           | 0.41  | 银合欢      | 0.64 |      |          |

表 2-2 IPCC 推荐使用的生物量换算因子  $BEF_2$

| 气候带 | 森林类型 |    | 生物量换算因子 $BEF_2$  |
|-----|------|----|------------------|
| 温带  | 针叶树  | 云杉 | 1.3 (1.15 ~ 4.2) |
|     |      | 松树 | 1.3 (1.15 ~ 3.4) |
| 热带  | 阔叶树  |    | 1.4 (1.15 ~ 3.2) |
|     | 松树   |    | 1.3 (1.2 ~ 4.0)  |
|     | 阔叶树  |    | 3.4 (2.0 ~ 9.0)  |

注：这里给出的  $BEF_2$  代表平均水平，范围的上限表示幼林或立木蓄积量低的森林，下限近似于成熟林或立木蓄积高的森林。结果为树木地上部分生物量。