

Comprehensive Database of Biomass Regressions

for China's Tree Species

# 中国主要林木生物量

## 模型手册

罗云建 王效科 逯非 著

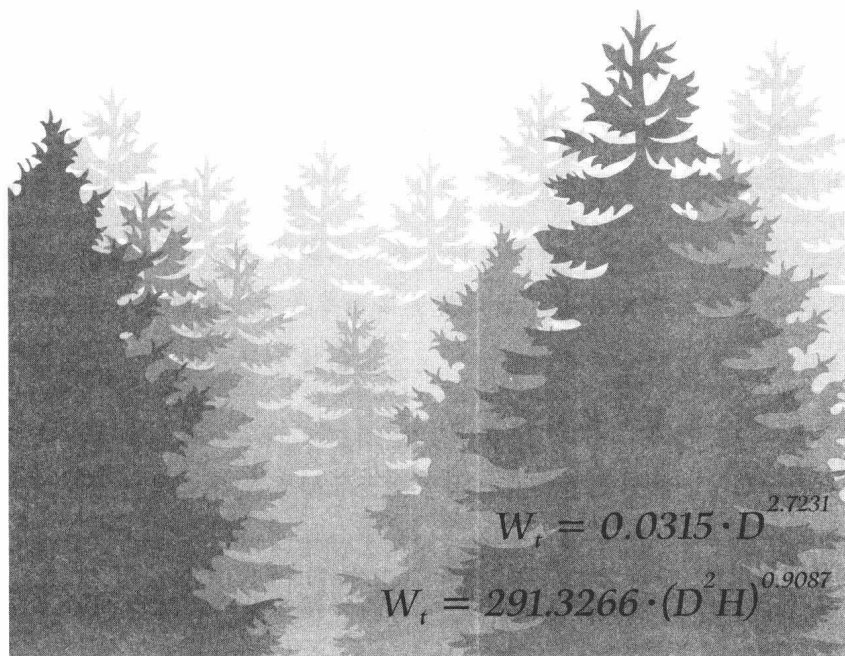


中国林业出版社

Comprehensive Database of Biomass Regressions  
for China's Tree Species

# 中国主要林木生物量 模型手册

罗云建 王效科 逯非 著



## 内 容 提 要

本书在收集我国自1978年以来建立的大量林木生物量模型(即相对生长式)的基础上,通过评价各模型构建过程中调查采样技术和数据处理方法的可靠性,筛选出我国主要林木生物量模型6000余条,并进一步构建了我国十余种重要树种的林木通用生物量模型。基于本书的生物量模型,读者可以直接根据林木的生长参数(胸径、树高)估算出林木生物量,因此本书是开展生态系统生物量和能量物质循环研究以及森林固碳能力评价的重要参考手册。

### 图书在版编目(CIP)数据

中国主要林木生物量模型手册/罗云建 王效科 逯 非著. —北京:中国林业出版社, 2015. 12

ISBN 978-7-5038-8306-4

I. ①中… II. ①罗… III. ①林木—生物量—模型—中国—手册 IV. ①S718.55-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第305179号

中国林业出版社·生态保护出版中心

策划编辑:肖静

责任编辑:肖静

---

出 版:中国林业出版社(100009 北京市西城区德内大街刘海胡同7号)

网 址: <http://lycb.forestry.gov.cn>

电 话:(010)83143577

印 刷:北京中科印刷有限公司

版 次:2015年12月第1版

印 次:2015年12月第1次印刷

开 本:889mm×1194mm 1/16

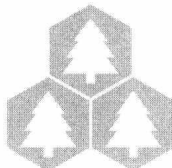
印 张:18

字 数:410千字

定 价:89.00元

# 前言

## FOREWORD



面对全球变化和区域生态环境问题，森林的作用越来越受到重视。森林生态系统在保护生物多样性、固定大气中的二氧化碳、涵养水源、净化环境和生产林产品等方面为人类生存和发展提供了大量的服务功能。科学评价森林生态系统的服务功能已经成为森林生态学研究的热点之一。作为森林生态服务功能评估基础的生物量(即现存的生物质数量)的研究已有很长的历史，且近年来重新获得了研究者的重视。特别是林木异速生长规律的发现使建立林木各器官生物量与林木胸径或胸径和树高之间的相关关系式成为一种可能。通过这种相关关系式，只需要简单地测定林木的胸径或胸径和树高，就可以估算出林木各器官的生物量。这不但减少了森林生物量估算的工作量，而且提高了估算精度和估算效率。

我国的森林生态学家从 20 世纪 60~70 年代就开始了森林生物量的调查研究。在计算技术还不发达的情况下，利用手摇计算机建立了我国杉木林木生物量模型(又称相对生长式)。随后的近半个世纪来，我国陆续建立了许多树种和立地条件的林木生物量模型。这些模型已经成为我国森林生态学研究的重要知识宝库，为我们今天估算森林生物量和森林生态系统服务功能提供了极大方便。

面对丰富的林木生物量模型，如何进行正确地选择一直困扰着使用者。使用者渴望能够快速而高效地查询到最适合使用的林木生物量模型，这也是编写本手册的初衷。在过去近十年时间内，我们尽可能全面地收集了我国有关森林生态系统生物量的调查研究资料，进行了大量的整理分析工作，筛选出了真实可靠的研究数据，并将前期工作整理出版了《中国森林生态系统生物量及其分配研究》，从理论上探讨了林木生物量分配格局及机制，从实践上给出了我国主要森林类型的生物量积累速率、生物量扩展系数、生物量换算系数和根茎比等与森林生态系统碳核算和服务功能估算密切相关的参数。在《中国主要林木生物量模型手册》的编写中，我们首先对收集到的我国林木生物量模型进行了数字演算验证，以保证模型参数的合理性，然后对林木生物量模型进行了按树种的归并，探讨了常见树种的通用林木生物量模型。



在本手册出版之际，首先要感谢导师冯宗炜院士，是他将我们带入森林生态学领域，指导我们收集整理我国森林生态系统生物量的研究成果。其次要感谢开展森林生物量野外调查的前辈和同仁，他们的青春、艰辛和汗水孕育出了一个个精确的林木生物量模型，为后代生态学家估算森林生态系统服务功能提供了关键参数。还要感谢中国科学院战略性先导科技专项(XDA05060102和XDA05050602)的资金支持，保证了本手册的编写和出版。中国林业出版社肖静编辑的认真负责保证了本手册出版的质量。因篇幅所限，在此对其他为本手册编写和出版提供过帮助的人一并致谢。

尽管经过几年的努力，希望能够为读者呈现一个个真实可靠和方便使用的林木生物量模型，然而不当和错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

扬州大学园艺与植物保护学院 罗云建

中国科学院生态环境研究中心 王效科 逯非

2015年10月

# 目 录

## CONTENTS



### 前 言

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 第一章 中国林木生物量模型研究·····        | (1)   |
| 第一节 中国林木生物量模型资料整理·····      | (2)   |
| 第二节 中国林木生物量模型的研究现状·····     | (6)   |
| 第二章 中国林木生物量模型信息·····        | (9)   |
| 第一节 按森林类型和优势树种的模型信息检索表····· | (9)   |
| 第二节 按林木树种的模型信息检索表·····      | (14)  |
| 第三节 按省份和优势树种的模型信息检索表·····   | (19)  |
| 第四节 林木生物量模型信息表·····         | (28)  |
| 第三章 中国林木生物量模型数据·····        | (78)  |
| 第四章 中国常见树种的通用林木生物量模型·····   | (227) |
| 第一节 林木生物量模型的整合分析·····       | (227) |
| 第二节 基于胸径的通用林木生物量模型·····     | (228) |
| 第三节 基于胸径和树高的通用林木生物量模型·····  | (238) |
| 参考文献·····                   | (250) |
| 附录：树种名录·····                | (277) |

# 第一章

## 中国林木生物量模型研究

森林生态系统作为陆地生态系统的主体，在维护全球气候系统、调节全球碳平衡、减缓大气中温室气体浓度上升等方面具有不可替代的作用(Pan *et al.*, 2013)。森林植被固定的碳量约占陆地植被总固碳量的 82.5% (Sabine *et al.*, 2004)，是森林固碳能力的重要标志，也是评估森林碳收支的主要参数(IPCC, 2006)。《联合国气候变化框架公约》规定，所有公约缔约方均需向公约缔约方大会递交履约信息通报(即国家温室气体排放清单)(UNFCCC, 1992)。森林生物量碳储量及其变化是土地利用变化和林业国家温室气体排放清单编制的基础(IPCC, 2006)。此外，清洁发展机制(clean development mechanism)及自愿碳市场下的造林、再造林等林业活动也需要准确透明地评估活动所产生的核证减排(certified emission reductions)(张小全和武曙红, 2010)。因此，对森林生物量这一反映森林生态系统结构和功能的基本指标进行准确估计、监测和评价，近年来重新获得了研究者的重视(Pan *et al.*, 2013)。

森林生物量的研究一般以 20 世纪 60~70 年代的人与生物圈计划(Man and the Biosphere Programme)和国际生物学计划(International Biological Programme)为起点。目前，森林生物量的估测方法包括皆伐法、平均木法、相对生长法、遥感估测法等(罗云建等, 2009)。皆伐法虽然精度很高，但很费时、费力，现已很少使用。平均木法虽然比较简单，但受到不少研究者的指责。他们认为，根据某一测树学指标(如胸径、树高)确定的平均木，对于另外的测树学指标(如树冠质量)来说，就不代表平均木(冯宗炜等, 1999)。相对生长法通过建立容易测量的林木形态指标(如胸径、树高)与林木器官生物量的关系，估测林木生物量及其生产力。这种方法不但精确度较高，而且能有效地降低对森林植被的破坏性取样(冯宗炜, 1999)。遥感估测法的使用日渐增多并趋于成熟，在大尺度陆地植被生物量和生产力动态估测上扮演越来越重要的角色，但仍然需要准确的地面数据对其估算值进行校验并提高其预测性能。因此，相对生长法仍然是目前生态学文献中和测定林木生物量时应用最为广泛的一种方法。

虽然 Huxley(1932)在 1932 年就正式提出了相对生长法则(allometric relative growth)，但其在森林生物量估测方面的应用最早是 Kitterge(1944)成功建立了白松等树种树叶生物量与胸径的经验回归模型。Parresol(1999)通过总结众多文献中林木生物量模型的函数形式，归纳出三类最常见的形式(式 1-1, 1-2, 1-3)，并深入分析了它们的异方差、可加性和一般性。

$$B = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \cdots + \alpha_i X_i + \varepsilon \quad (\text{式 1-1})$$

$$B = \alpha_0 X_1^{\alpha_1} X_2^{\alpha_2} \cdots X_i^{\alpha_i} + \varepsilon \quad (\text{式 1-2})$$

$$B = \alpha_0 X_1^{\alpha_1} X_2^{\alpha_2} \cdots X_i^{\alpha_i} \varepsilon \quad (\text{式 1-3})$$

式中： $B$  为生物量，单位一般为 kg 或 g； $X_1$ 、 $X_2$ …和  $X_i$  为测树指标（如胸径、树高）； $\alpha_i$  为模型参数； $\varepsilon$  为误差项。式 1-1 和 1-2 最简单的形式分别为一元线性方程和一元幂函数，后者是应用最为广泛的林木生物量模型形式（Enquist & Niklas, 2002; Ketterings *et al.*, 2001）。

构建林木生物量模型时，除了常用的胸径和树高之外，还可将其他林分指标作为自变量，例如，林龄（Saint-André *et al.*, 2005）、单木材积（唐守正等, 2000）。自变量数目的增加通常会使生物量的估算值更逼近真值（Saint-André *et al.*, 2005），但自变量数目的增加又会提高林分调查时基本数据获取的难度，削弱了林木生物量模型的实用性。因此，构建林木生物量模型时应充分考虑统计标准和实际应用之间的平衡（Niklas, 1994）。

开展区域乃至全球森林生物量监测和评估、建立适合较大区域范围的通用林木生物量模型将成为必然趋势。目前，通用林木生物量模型的研究可以划分两个方向：①理论林木生物量模型的研究，即研究基于生理过程、分形几何等的基本原理，对大尺度上物种进行整合，探索整个生物界普适的相对生长规律（West *et al.*, 1999; Enquist & Niklas, 2002）；②经验林木生物量模型的研究，即通过整理现有特定树种、立地等条件下的经验模型（Henry *et al.*, 2011; Ter-Mikaelian & Korzukhin, 1997; Zianis *et al.*, 2005），构建通用的经验模型（Muukkonen, 2007; Pilli *et al.*, 2006; Wirth *et al.*, 2004; Zianis & Mencuccini, 2004）。为最大限度地利用现有经验林木生物量模型，很多国家的学者已经在积极探索建立适合国家、区域乃至全球的通用经验模型（Chojnacky *et al.*, 2014; Henry *et al.*, 2011; Jenkins *et al.*, 2003; Muukkonen, 2007; Ter-Mikaelian & Korzukhin, 1997; Zianis *et al.*, 2005）。例如：Ter-Mikaelian 等（1997）通过整理北美 65 个树种的林木生物量模型（803 个），建立了主要树种的通用林木生物量模型；Chojnacky 等（2014）和 Jenkins 等（2003）分别为美国主要树种建立了一组国家尺度的通用林木生物量方程；Muukkonen（2007）建立了欧洲 5 个主要树种的通用林木生物量模型；Henry 等（2011）建立了非洲撒哈拉地区主要树种的通用林木生物量模型。

中国林木生物量模型的研究至 20 世纪 70 年代末才有正式报道，这一时期的代表研究树种主要有杉木（潘维涛等, 1978; 冯宗炜等, 1980; 朱守谦等, 1979）、红皮云杉（陈炳浩和陈楚莹, 1980）、雪岭杉（张瑛山等, 1980）等。经过 30 多年的蓬勃发展，北起寒温带，南至亚热带、热带，东自滨海，西达青藏高原，中国林木生物量模型的资料已经非常丰富。虽然中国对特定条件下的林木生物量模型进行了阶段性总结（陈传国和朱俊凤, 1989; 冯宗炜等, 1999），但是迄今尚未见到有关 30 多年中国林木生物量模型研究全面系统的梳理工作的报道。

## 第一节 中国林木生物量模型资料整理

利用“生物量相对生长”、“生物量异速生长”、“生物量方程”、“生物量模型”、“biomass equation”、“biomass model”、“biomass function”等关键词，笔者全面检索了中国



国家数字图书馆<sup>①</sup>、中国林业数字图书馆<sup>②</sup>、中国学术期刊网络出版总库(中国知网)<sup>③</sup>、中文科技期刊数据库(维普资讯)<sup>④</sup>、万方数据知识服务平台<sup>⑤</sup>、Web of Science 数据库<sup>⑥</sup>等国内外重要数据库,以期最大限度地获取 1978—2013 年正式发表的中国林木生物量模型资料(包括图书、学术期刊及论文集),但是中国台湾省的林木生物量模型资料不在收集整理之列。此外,还参考了我国已经整理的林木生物量模型清单(陈传国和朱俊凤,1989;冯宗炜等,1999;刘雯雯等,2010;罗天祥,1996;Liang *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2005; Xiang *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2013)。在上述资料收集工作中,没有预设任何筛选条件(如树种、林龄、立地条件、模型形式)。

## 一、模型的筛选原则

为保证林木生物量模型的可靠性,笔者从以下四个方面对收集到的模型进行筛选,以期达到去伪存真之目的。

### 1. 研究范围

范围限定于针叶树、阔叶树以及红树植物的器官生物量模型。这些树种既可以来自天然和人工的正常林分,也可以来自近期受到严重干扰(如虫害、火灾、间伐)的林分,特殊生境(如荒漠、湿地、林线、城市)的林分,萌生林分(即将地上部分收获之后,根系萌发形成的林分),农林复合系统等特殊林分。

### 2. 林木调查测定方法

林木生物量调查测定应采用较为规范的方法和步骤(冯宗炜等,1999; Picard *et al.*, 2012),包括调查时间(通常为生长季,尤其是落叶树)。标准地设置,标准木选择,器官生物量测定等内容。一般流程为:选择林地、林分,确定标准木,测量标准木的形态特征(如胸径、树高、冠幅),测定标准木器官的鲜质量和烘干质量(即生物量)。由于研究目的的不同,人们划分林木器官的详细程度存在较大差异。即便如此,林木器官的划分仍可用图 1-1 概括。若一些林木器官(如树枝、树叶)的总生物量没有被测定(或不可计算得到),则该文献所构建的模型将不被纳入整理的范围。

### 3. 模型构建

本次整理工作对模型形式(如幂函数、指数函数)和回归方法(如最小二乘法、最大似然法)不做任何限制,但对模型自变量有所限定。模型自变量限定于胸径( $D$ )、地径( $D_0$ )、树高( $H$ )等林木形态特征变量及其组合(如  $D^2H$ )。虽然引入其他自变量(如林龄、材积、林分密度、立地指数)在一定程度上可以提高某些林木器官生物量的预测精度,但这些变量的引入要么降低了模型的实用性,要么高度适用于某一特定生境。故而,含有这些变量的林木生物量模型不被纳入整理的范围。当使用不同模型形式但同一自变量建立林木器官的生物量模型时,笔者从模型通用性的角度,只选择一种模型形式的结果纳入收集整理的范围。如果不同模型回归效果( $R^2$ )之间的差异较小(即  $|\Delta R^2| \leq 0.1$ ),选择的优先次序为幂函数 > 指数函数 > 其他函数形式(如二项式);否则,选择回归效果最好的模型结果。

① <http://www.nlc.gov.cn/>。

② <http://www.lknet.ac.cn/sztsg.htm>。

③ <http://epub.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=CJFQ>。

④ <http://lib.cqvip.com/zk/index.aspx>。

⑤ <http://c.wanfangdata.com.cn/Periodical.aspx>。

⑥ <http://www.webofknowledge.com>。



图 1-1 林木器官划分示意图( 树体示意图引自 Picard *et al.* , 2012)

#### 4. 模型质量

由于时间跨度大、调查测定方法不一、模型构建方法多样等原因, 林木生物量模型之间存在较大的质量差异, 甚至可能夹杂了人为失误(如印刷错误)。为了保证模型的合理性, 笔者采用以下办法对模型质量进行评价。具体为: ①利用原文提供的林木特征指标推算单木和林分器官生物量, 并与原文提供的生物量值相比较; ②兼顾器官生物量分配比例的合理性, 以不超出罗云建等(2013)给出的器官生物量分配比例范围(附表 B. 6)为正常。如果发表模型的推算值与原文提供的生物量值相差较大, 或者呈现异常的器官生物量分配比例, 须根据林学和生态学的专业知识评判模型的合理性(如特定生境), 不合理的予以剔除。在模型合理的情况下, 综合考虑林木生物量调查测定方法、标准木数量(即样本量)、模型统计信息(如  $R$ 、 $R^2$ )等方面, 将收集的模型划分为 5 个质量等级(表 1-1)。

表 1-1 模型质量等级的划分标准<sup>1</sup>

| 等级  | 划分标准   |
|-----|--|
| I   | 调查测定方法合适, 模型合理   |
| II  | 调查测定方法合适, 但模型系数需校正而且可以校正; 模型合理, 起测根系直径小于细根直径下限 ( $\Phi = 2\text{mm}$ )   |
| III | 调查测定方法合适, 但模型存在较大瑕疵: ①样本量太小( $n < 5$ ); ②模型统计信息(如 $R$ 、 $R^2$ )缺失  |
| IV  | 模型合理, 但调查测定存在较大瑕疵: ①未测根桩(如采用土柱法); ②起测根系直径大于细根直径下限 ( $\Phi \geq 2\text{mm}$ ); ③挖掘面积不够( $<$ 树冠投影面积)或挖掘深度较浅( $< 0.6\text{m}$ ) |
| V   | 模型合理, 但调查测定方法缺失  |

注: ①与地上器官相比, 地下器官的生物量测定更费时费力。测定地下生物量时, 除了保证足够的挖掘面积和深度之外, 还应保证地下器官测定的完整性, 尤其是根颈和细根(Mokany *et al.* , 2006)。细根通常是指直径为 2~5mm 的根。直径小于 2mm 的细根对地下生物量的影响不大, 而且完全挖出来非常不现实。因此, 笔者认为只要挖掘出直径  $\geq 2\text{mm}$  的全部地下器官(含根颈), 即可视为挖出了全部地下器官。

基于以上四条筛选标准, 笔者共整理出 803 条记录, 其对应着 6318 个器官生物量模型, 以此构建了中国林木生物量模型数据库(ChinAllomeTree v. 1.0)。该数据集主要包括研究区、森林类型、林分起源、树种(组)、林龄(a)、林分密度(株/hm<sup>2</sup>)、模型适用范围、模型形式、模型系数、模型统计信息、模型质量等级等信息。完整的数据集将在第二章“中国林木生物量模型信息”和第三章“中国林木生物量模型数据”呈现。

## 二、模型适用范围的确定

理论上,任何林木生物量模型都需要给出其可以适用的自变量取值范围,这是因为经验模型一旦偏离了其可适用的自变量范围将会大大降低模型的预测准确性。由于一些客观原因,并非所有文献都能提供林木生物量模型的适用范围。因此,针对模型适用范围缺失的情况,笔者采用以下办法进行处理,具体见表 1-2。

表 1-2 模型适用范围的确定方法

| 方法 | 方法描述  |
|----|---|
| A  | 原文以图、表、文字等形式给出模型适用的自变量范围。若原作者以图形形式(如器官生物量—胸径的关系图、树高一胸径的关系图)间接给出自变量范围,笔者采用图像数字化软件(GetData Graph Digitizer v. 2.24)提取模型的适用范围  |
| B  | 若原文提供林木个体大小(如胸径、树高)的范围(或频度分布),笔者将其作为模型的适用范围   |
| C  | 若原文仅提供林木个体大小的平均值(Mean)和标准偏差(SD),基于林木个体大小呈正态分布的假定,笔者将 $\text{Mean} \pm 2 \times \text{SD}$ 作为模型的适用范围。这个范围包含了林木个体大小分布范围的约 95%   |
| D  | 若原文是基于较大范围的林龄序列(或环境梯度)建立的林木生物量模型,为保守起见,笔者将林分大小(如胸径、树高)平均值的范围作为模型的适用范围   |
| E  | E1: 无论用何种方法只能确定 $D$ 的范围,但生物量模型有两个自变量( $D$ 和 $H$ )。在这种情况下, $H$ 范围采用表 1-3 提供的树高一胸径曲线进行粗略推算<br>E2: 若原文仅提供林分平均胸径, $D$ 的范围以平均胸径 $\pm 0.5 \times$ 平均胸径近似代替, $H$ 的范围用方法 E1 确定<br>E3: 若原文仅提供林龄, $D$ 的范围采用表 1-3 提供的胸径—林龄曲线进行粗略推算, $H$ 的范围用方法 E1 确定<br>E4: 若原文仅提供林龄,但表 1-3 未能提供有效的胸径—林龄曲线,笔者将“林龄、亲缘关系、生境等相近模型的适用范围”作为模型的适用范围,同时遵循“器官生物量随林木发育而逐渐增加”的原则 |

表 1-3 主要树种的生长曲线和树高一胸径曲线<sup>1</sup>

| 树种(组) <sup>②</sup> | Y  | X  | 模型形式 | $a$ (S. E.)      | $b$ (S. E.)     | $c$ (S. E.)     | $n$ | $R^2$ |
|--------------------|----|----|------|------------------|-----------------|-----------------|-----|-------|
| 云冷杉                | 胸径 | 林龄 | (1)  | 24.7056 (3.4243) | 0.0177 (0.0117) | 0.9940 (0.4766) | 30  | 0.705 |
|                    | 树高 | 胸径 | (3)  | 1.1457 (0.1626)  | 0.9093 (0.0517) | —               | 30  | 0.917 |
| 落叶松                | 胸径 | 林龄 | (2)  | 0.5995 (0.0737)  | 0.2786 (1.4520) | —               | 50  | 0.580 |
|                    | 树高 | 胸径 | (3)  | 1.8234 (0.1739)  | 0.7541 (0.0422) | —               | 85  | 0.794 |
| 油松                 | 胸径 | 林龄 | (2)  | 0.3659 (0.0270)  | 0.3038 (0.7870) | —               | 106 | 0.639 |
|                    | 树高 | 胸径 | (3)  | 1.0951 (0.1066)  | 0.8184 (0.0428) | —               | 106 | 0.778 |
| 温性针叶树              | 胸径 | 林龄 | (1)  | 31.1073 (1.9776) | 0.0270 (0.0063) | 1.3346 (0.2633) | 75  | 0.733 |
|                    | 树高 | 胸径 | (3)  | 1.2506 (0.1743)  | 0.7810 (0.0546) | —               | 75  | 0.737 |
| 杉木                 | 胸径 | 林龄 | (1)  | 29.6955 (3.4903) | 0.0294 (0.0092) | 0.7860 (0.0797) | 238 | 0.745 |
|                    | 树高 | 胸径 | (3)  | 0.7226 (0.0286)  | 1.0492 (0.0160) | —               | 236 | 0.948 |
| 马尾松、黄山松            | 胸径 | 林龄 | (3)  | 1.5437 (0.2093)  | 0.7222 (0.0472) | —               | 85  | 0.738 |
|                    | 树高 | 胸径 | (3)  | 0.8895 (0.0726)  | 0.9910 (0.0325) | —               | 85  | 0.918 |
| 柏木                 | 胸径 | 林龄 | (3)  | 2.6027 (0.9565)  | 0.5557 (0.1189) | —               | 18  | 0.577 |
|                    | 树高 | 胸径 | (3)  | 0.9808 (0.3725)  | 0.8966 (0.1420) | —               | 18  | 0.714 |
| 暖性针叶树              | 胸径 | 林龄 | (1)  | 20.5007 (2.1506) | 0.1217 (0.0526) | 1.5192 (0.7052) | 51  | 0.573 |
|                    | 树高 | 胸径 | (3)  | 0.7682 (0.2594)  | 0.9740 (0.1307) | —               | 50  | 0.536 |
| 杨树                 | 树高 | 胸径 | (3)  | 2.0623 (0.4852)  | 0.6679 (0.0881) | —               | 32  | 0.657 |
| 温带落叶阔叶树            | 胸径 | 林龄 | (3)  | 2.1522 (0.4665)  | 0.4981 (0.0663) | —               | 49  | 0.546 |
|                    | 树高 | 胸径 | (3)  | 1.8784 (0.3111)  | 0.7087 (0.0689) | —               | 51  | 0.683 |

(续)

| 树种(组) <sup>②</sup> | Y  | X  | 模型形式 | a (S. E.)       | b (S. E.)        | c (S. E.) | n  | R <sup>2</sup> |
|--------------------|----|----|------|-----------------|------------------|-----------|----|----------------|
| 亚热带落叶阔叶树           | 胸径 | 林龄 | (4)  | 5.5997 (1.0933) | -0.8863 (2.6278) | —         | 21 | 0.580          |
|                    | 树高 | 胸径 | (3)  | 1.5194 (0.3618) | 0.8057 (0.0978)  | —         | 20 | 0.790          |
| 常绿速生树              | 树高 | 胸径 | (3)  | 2.3643 (0.3310) | 0.6932 (0.0555)  | —         | 87 | 0.647          |
| 常绿阔叶树              | 胸径 | 林龄 | (1)  | 2.7350 (0.4199) | 0.5055 (0.0511)  | —         | 89 | 0.530          |
|                    | 树高 | 胸径 | (3)  | 1.8980 (0.2141) | 0.7106 (0.0443)  | —         | 87 | 0.751          |

注：①模型形式采用 Chapman-Richards 模型  $Y = a \cdot [1 - \exp(-b \cdot X)]^c$ 、线性模型  $Y = a \cdot X + b$ 、幂函数模型  $Y = a \cdot X^b$ 、对数函数模型  $Y = a \cdot \ln(X) - b$ 。其中：Y 为树高 H (m) 和 X 为胸径 D (cm) 或者 Y 为胸径 D (cm) 和 X 为林龄 A (a)；a、b 和 c 为模型参数。表中所用数据来自罗云建等(2013)和 Luo *et al.* (2014)。

②划分树种(组)主要考虑的因素按重要性高低的大致顺序，依次为：足够的样本量、相似的亲缘关系(phylogenetic relationship)、相似的生理生态特征、相似的生长环境。

## 第二节 中国林木生物量模型的研究现状

通过调研 1978—2013 年公开发表的中国林木生物量模型(除中国台湾省外)，笔者共整理出 540 篇文献，构建了“中国林木生物量模型数据库”(ChinAllomeTree v. 1.0)。该数据库包括林木生物量模型信息表和林木生物量模型数据表两个表，其中信息表由 803 条记录组成，这些记录对应着数据表中的 6318 个器官生物量模型。

从 1978 年到 2013 年，林木生物量模型呈现出两次研究高峰，虽然年际间也呈现一定程度的波动(图 1-2)。从 1978 年到 1989 年，模型的记录数总体呈现增长的态势，1989 年达到第一个研究高峰(42 条记录)；随后模型的记录数总体呈现减小的趋势，2005 年降到 9 条记录；2005 年之后，林木生物量模型研究在 2012 年达到第二个高峰(51 条记录)。

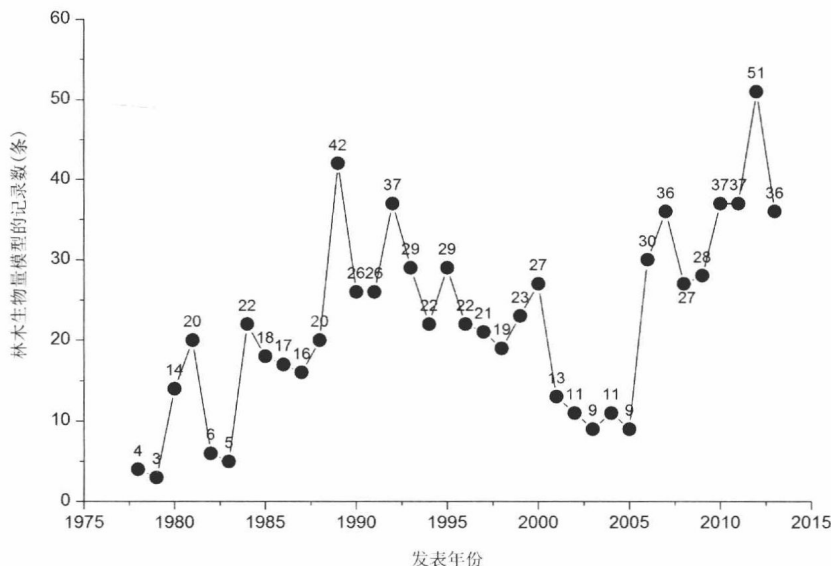


图 1-2 1978—2013 年中国林木生物量模型记录数的变化

现有林木生物量模型遍及全国 30 个省(自治区、直辖市)，共计 389 个研究区(图 1-3)。研究区主要集中于福建(30 个)、广西(28 个)、湖南(24 个)、云南(23 个)、广东(22 个)、陕西(22 个)等省份(图 1-3)；模型记录数主要集中于湖南(86 条)、广西(72 条)、广东(60 条)、云南(53 条)、福建(48 条)、黑龙江(47 条)等省份(图 1-4)。按优势树种统计，林木生物量模型记录数在 5 条以上的树种有 34 种，其中杉木(130 条)、马尾松(61



条)和油松(52条)位列前三甲(表1-4)。按林分起源统计,林木生物量模型来自天然林(含次生林)和人工林(含飞播林)的记录数分别为197条和606条,占总记录数的24.5%和75.5%。

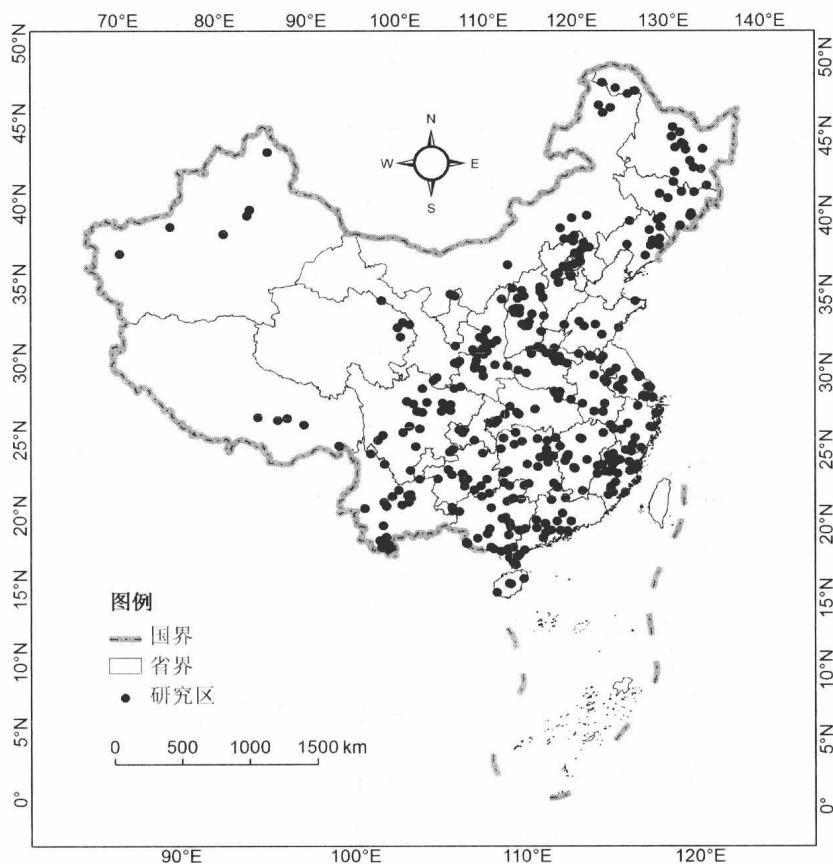


图 1-3 中国林木生物量模型研究区的空间分布示意

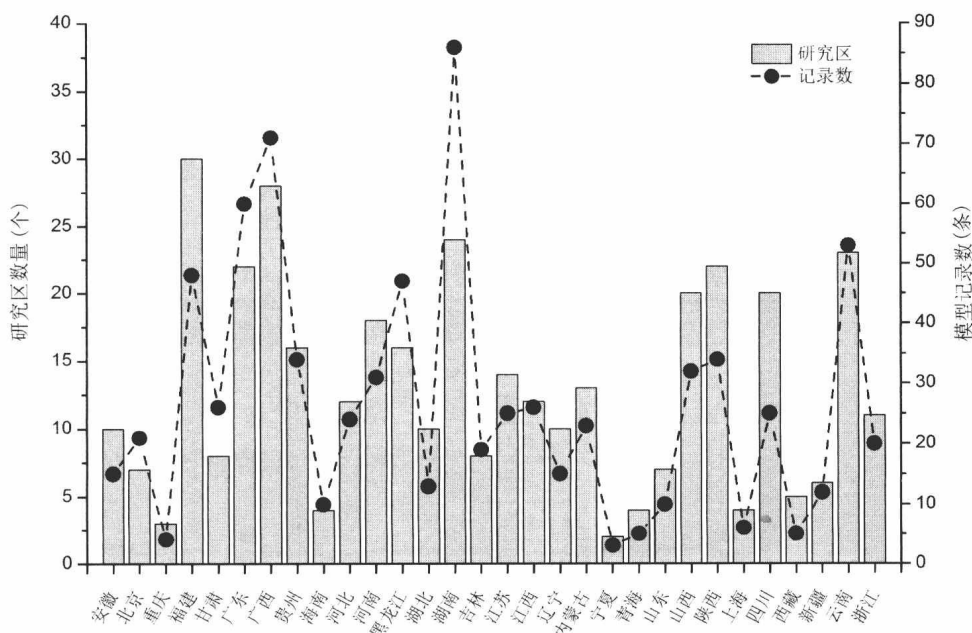


图 1-4 中国林木生物量模型研究区及记录数的统计情况

表 1-4 林木生物量模型记录数大于 5 条的优势树种<sup>1</sup>

| 优势种名     | 记录数(条) | 优势种名  | 记录数(条) |
|----------|--------|-------|--------|
| 杉木       | 130    | 山杨    | 8      |
| 马尾松      | 61     | 水曲柳   | 8      |
| 油松       | 52     | 尾叶桉   | 8      |
| 红松       | 33     | 橡胶树   | 8      |
| 华北落叶松    | 31     | 云南松   | 8      |
| 兴安落叶松    | 27     | 紫椴    | 8      |
| 白桦       | 20     | 刺槐    | 7      |
| 侧柏       | 10     | 火炬松   | 7      |
| 毛白杨      | 10     | 兰考泡桐  | 7      |
| 蒙古栎      | 10     | 日本落叶松 | 7      |
| '1-72 杨' | 9      | 尾巨桉   | 7      |
| 华山松      | 9      | 杜仲    | 6      |
| 黄花落叶松    | 9      | 亮叶桦   | 6      |
| 黄山松      | 9      | 马占相思  | 6      |
| 水杉       | 9      | 木荷    | 6      |
| 锐齿槲栎     | 8      | 青冈    | 6      |
| 色木槭      | 8      | 樟树    | 6      |

注：① 按记录数从多到少的顺序排列。

在整理的 6318 个器官生物量模型中，78.5% 的模型是基于 5 株及以上的标准木构建的，1% 的模型是基于 5 株以下的标准木构建的，但是存在相当比例(20.5%) 的模型没有准确的标准木数量信息(图 1-5A)。此外，在这些器官生物量模型中，I 级的比例占绝大多数(92.5%) (图 1-5B)。

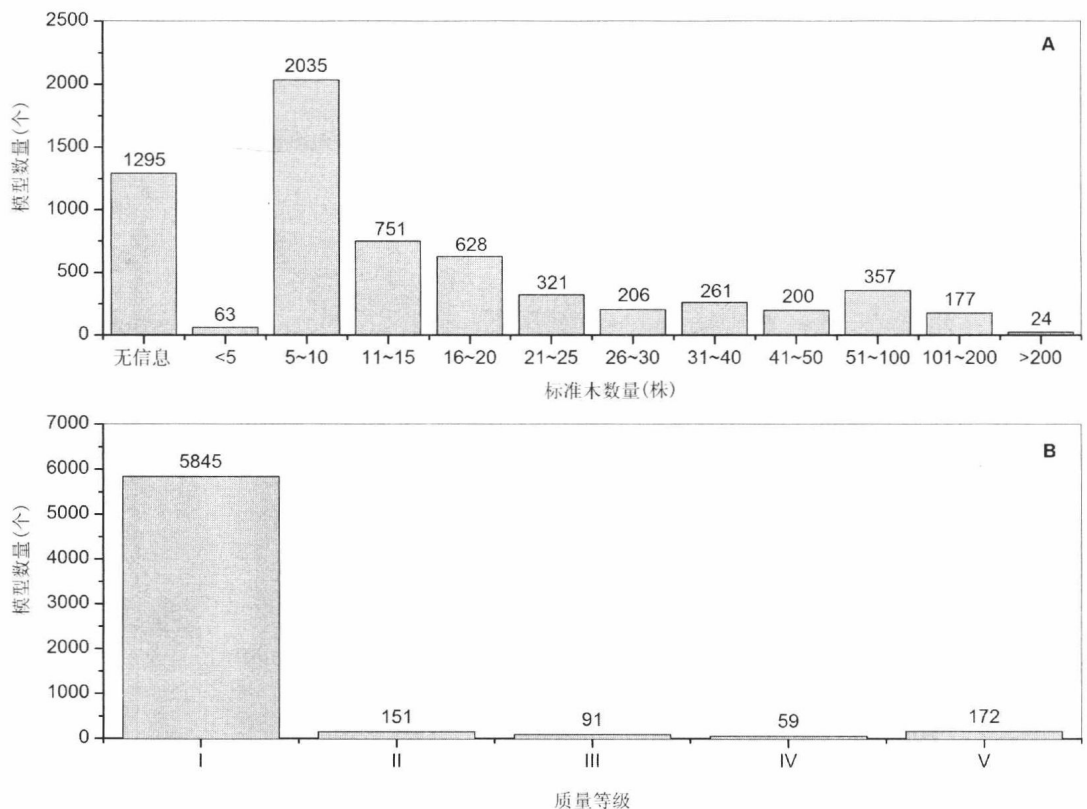


图 1-5 林木生物量模型标准木数量及质量等级的频率分布

## 第二章

# 中国林木生物量模型信息

笔者在收集林木生物量模型方程时，也收集了林木生物量模型建立时的样地信息，包括研究区、森林类型、林分起源、林龄、林分密度以及模型建立的方法和适用胸径、树高的范围。为了林木生物量模型的检索和使用方便，首先建立了按森林类型和优势树种(表 2-1)、林木树种(表 2-2)及省份和优势树种(表 2-3)编排的林木生物量模型信息检索表，然后列出了所有林木生物量模型的基本信息(表 2-4)。

### 第一节 按森林类型和优势树种的模型信息检索表

根据林木生物量模型信息表(以下简称模型信息表，完整的模型信息表请见本章第四节表 2-4)，将森林划分为 6 个森林类型组、81 个森林类型、167 个优势树种。为便于按照森林类型和优势树种检索林木生物量模型信息，笔者制作了按森林类型和优势树种的模型信息检索表(表 2-1)。

检索表按照森林类型组、森林类型、优势树种三级分类进行编排；森林类型组按落叶针叶林、常绿针叶林、落叶阔叶林、常绿阔叶林、针阔混交林、红树林的顺序排列；在每个森林类型组，森林类型按照拼音排序；在每个森林类型，优势树种也按照拼音排序，当森林类型中的优势种超过 2 种时，优势树种一列未列出树种名。

表 2-1 按森林类型和优势树种的模型信息检索表

| 森林类型组 | 森林类型 | 优势树种  | 模型信息表中的编号 |
|-------|------|-------|-----------|
| 落叶针叶林 | 落叶松林 | 华北落叶松 | 1~30      |
|       |      | 黄花落叶松 | 31~39     |
|       |      | 日本落叶松 | 40~46     |
|       |      | 四川红杉  | 71        |
|       |      | 太白红杉  | 72~73     |
|       |      | 兴安落叶松 | 47~70     |
|       | 水杉林  | 水杉    | 74~82     |
| 常绿针叶林 | 柏木林  | 柏木    | 83~84     |
|       |      | 墨西哥柏  | 85        |

(续)

| 森林类型组 | 森林类型  | 优势树种    | 模型信息表中的编号 |
|-------|-------|---------|-----------|
| 常绿针叶林 | 侧柏林   | 侧柏      | 86~94     |
|       | 建柏林   | 福建柏     | 95~97     |
|       | 冷杉林   | 长苞冷杉    | 98        |
|       |       | 急尖长苞冷杉  | 99        |
|       |       | 冷杉      | 100~101   |
|       | 柳杉林   | 柳杉      | 102~105   |
|       |       | 日本柳杉    | 106       |
|       | 罗汉松林  | 鸡毛松     | 107       |
|       | 杉木林   | 杉木      | 108~232   |
|       | 松林    | 巴山松     | 233       |
|       |       | 白皮松     | 234       |
|       |       | 长白松     | 235~237   |
|       |       | 高山松     | 238~239   |
|       |       | 海南五针松   | 240       |
|       |       | 黑松      | 241~242   |
|       |       | 红松      | 243~261   |
|       |       | 华山松     | 262~270   |
|       |       | 黄山松     | 271~278   |
|       |       | 火炬松     | 279~285   |
|       |       | 马尾松     | 286~338   |
|       |       | 湿地松     | 339~352   |
|       |       | 思茅松     | 353~356   |
|       |       | 油松      | 357~407   |
|       |       | 云南松     | 408~414   |
|       | 樟子松   | 415~419 |           |
|       | 油杉林   | 青岩油杉    | 420       |
|       | 圆柏林   | 祁连圆柏    | 421       |
| 云杉林   | 川西云杉  | 422     |           |
|       | 红皮云杉  | 423~424 |           |
|       | 青海云杉  | 425~427 |           |
|       | 雪岭杉   | 428~429 |           |
|       | 油麦吊云杉 | 430     |           |
|       | 云杉    | 431~432 |           |
|       | 紫果云杉  | 433     |           |
| 针叶混交林 |       | 434~440 |           |
| 落叶阔叶林 | 檫木林   | 檫木      | 441       |
|       | 赤杨叶林  | 赤杨叶     | 442       |
|       | 臭椿林   | 臭椿      | 443       |
|       | 刺槐林   | 刺槐      | 444~460   |
|       | 杜仲林   | 杜仲      | 461~466   |



(续)

| 森林类型组 | 森林类型      | 优势树种    | 模型信息表中的编号 |
|-------|-----------|---------|-----------|
| 落叶阔叶林 | 鹅掌楸林      | 鹅掌楸     | 467~468   |
|       | 枫香林       | 枫香树     | 469       |
|       | 厚朴林       | 凹叶厚朴    | 470       |
|       |           | 厚朴      | 471       |
|       | 胡桃楸林      | 胡桃楸     | 472       |
|       | 花椒林       | 椿叶花椒    | 473       |
|       | 桦木林       | 白桦      | 474~484   |
|       |           | 黑桦      | 485       |
|       |           | 红桦      | 486       |
|       |           | 亮叶桦     | 487~492   |
|       |           | 硕桦      | 493       |
|       |           | 西桦      | 494~497   |
|       | 黄檗林       | 川黄檗     | 498~500   |
|       | 栎林        | 白栎      | 501       |
|       |           | 辽东栎     | 502~504   |
|       |           | 麻栎      | 505~507   |
|       |           | 蒙古栎     | 508~511   |
|       |           | 锐齿槲栎    | 512~519   |
|       |           | 栓皮栎     | 520~524   |
|       | 连香树林      | 连香树     | 525       |
|       | 柳林        | 白柳      | 526       |
|       | 栎树林       | 栎树      | 527       |
|       |           | 全缘叶栎树   | 528       |
|       | 木姜子林      | 山鸡椒     | 529       |
|       | 南酸枣林      | 南酸枣     | 530       |
|       | 泡桐林       | 兰考泡桐    | 531~537   |
|       |           | 豫杂一号泡桐  | 538       |
|       | 苹果园       | 苹果树     | 539       |
|       | 槲木林       | 辽东槲木    | 540~541   |
|       |           | 槲木      | 542~543   |
| 槭树林   | 元宝槭       | 544     |           |
| 山桐子林  | 山桐子       | 545     |           |
| 水曲柳林  | 水曲柳       | 546     |           |
| 桃园    | 桃树        | 547     |           |
| 杨林    | ‘35 杨’    | 548     |           |
|       | ‘107 杨’   | 549     |           |
|       | ‘1-69 杨’  | 550~553 |           |
|       | ‘1-72 杨’  | 554~562 |           |
|       | ‘1-214 杨’ | 563     |           |
|       | 大官杨       | 564     |           |