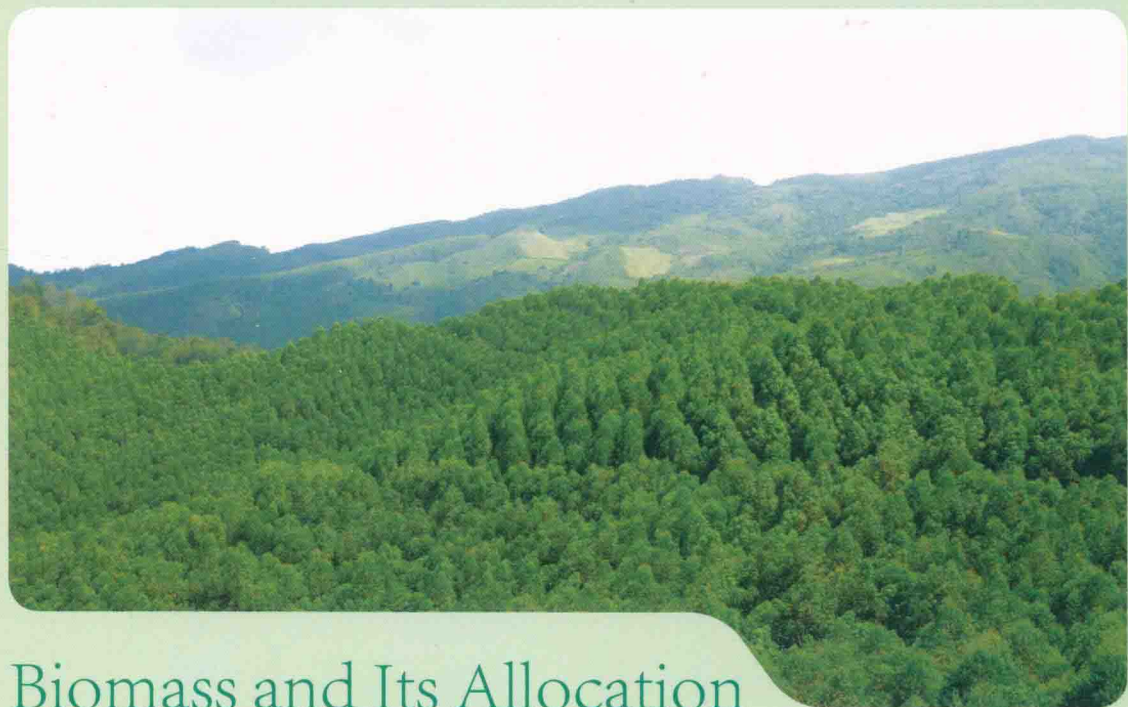




Biomass and Its Allocation
of Forest Ecosystems in China

中国森林生态系统 生物量及其分配研究

罗云建 王效科 张小全 逯 非 著

中国林业出版社

Biomass and Its Allocation
of Forest Ecosystems in China

中国森林生态系统 生物量及其分配研究

罗云建 王效科 张小全 逯 非 著

中国林业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国森林生态系统生物量及其分配研究 / 罗云建等著. —北京: 中国林业出版社, 2013. 4

ISBN 978-7-5038-6976-1

I. ①中… II. ①罗… III. ①森林生态系统 - 生物量 - 研究 - 中国
IV. ①S718. 55

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 043786 号

中国林业出版社·自然保护图书出版中心

策划编辑: 肖静

责任编辑: 肖静 李敏

出版 中国林业出版社(100009 北京西城区德内大街刘海胡同 7 号)

网址 <http://lycb.forestry.gov.cn> 电话: (010)83280498

印刷 北京中科印刷有限公司

版次 2013 年 4 月第 1 版

印次 2013 年 4 月第 1 次

开本 787mm × 1092mm 1/16

印张 21.25

印数 1 ~ 1000 册

字数 370 千字

定价 86.00 元

前言

FOREWORD

生物量作为生态系统的基本功能指标，是评价生态系统服务功能的基础参数，一直受到森林生态学家的高度关注。自 20 世纪 60 年代中期国际生物学计划(International Biological Programme, IBP)执行以来，森林生态系统生物量的研究就没有间断过。在全球范围内，针对从北方针叶林、温带阔叶林、暖温带常绿阔叶林、地中海硬叶阔叶林一直到热带雨林都开展了森林生态系统生物量研究。早在 20 世纪 60 年代初，我国生态学家就开始了杉木人工林生态系统生物量的研究。“十年动乱”后，森林生态系统生物量研究发展很快，北起寒温带，南至亚热带、热带，东自滨海，西至青藏高原，都有森林生态系统生物量的研究工作报道。在 20 世纪 90 年代初期，一批学者对中国森林生态系统生物量进行了总结和分析，为我国森林生态系统碳循环研究提供了重要参数。20 年的时间过去了，又有一大批新的研究报道涌现，为此笔者又进行了新的全国森林生态系统生物量研究的整理工作，以期为我国目前应对全球气候变化的研究工作提供基础参数。

全球气候变化依然是当前备受关注的世界性重大环境问题之一。政府间气候变化委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)发布的第四次评估报告指出：近百年来，地球气候正经历着一次以全球变暖为主要特征的显著变化，全球变暖已经对地球生态系统和社会经济系统产生了明显而且深远的影响；人类活动所导致的大气中温室气体浓度的增加被认为是导致全球升温的主要根源。气候变化的国际谈判已成为各国政府之间、发达国家与发展中国家之间的政治博弈，也直接关系到每个国家的发展与安全。

为减缓全球气候变化，保护人类赖以生存的环境，联合国政府间谈判委员会于 1992 年 5 月 22 日达成了《联合国气候变化框架公约》(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)，并于同年 6 月 4 日在巴西里约热内卢召开的联

联合国环境与发展大会上获得通过，向世界做出了一个“将大气中的温室气体稳定在安全水平上”的庄严承诺。*UNFCCC* 是世界上第一个为全面控制温室气体排放，以应对全球气候变暖给人类经济和社会带来不利影响的国际公约，也是国际社会在对付全球气候变化问题上进行国际合作的一个基本框架。*UNFCCC* 缔约方通过缔约方大会先后达成了《京都议定书》(1997 年)、《波恩政治协议》(2001 年)、《马拉喀什协定》(2001 年)、《巴厘岛路线图》(2012 年)等。期间，各国就缓解和解决气候变化中与土地利用变化和林业相关的问题达成了一致意见，这标志着国际社会为控制大气中温室气体浓度上升、缓解全球气候变化所做的努力取得了实质性进展。

UNFCCC 第四条规定：所有公约缔约方均有义务定期更新和公布人为活动引起的温室气体源排放和汇清除的清单，即国家温室气体清单，并尽可能降低不确定性。土地利用、土地利用变化和林业(land use, land-use change and forestry)是国家温室气体清单的重要组成部分。此外，《京都议定书》首次为工业化国家(附件 I 国家)规定了具有法律约束力的温室气体减限排目标，即在第一承诺期内(2008 ~ 2012 年)，附件 I 国家温室气体排放量在 1990 年的基础上平均削减 5.2%。《京都议定书》第三条第三款规定：允许将造林、再造林和毁林活动引起的温室气体源排放和汇清除的净变化用于抵消承诺的温室气体减限排指标。其第十二条确立了清洁发展机制(clean development mechanism)，目的是帮助附件 I 国家完成减限排目标的同时，协助发展中国家的可持续发展。《京都议定书》提出可以通过增加陆地生态系统碳汇抵减经济发展中的碳排放，2012 年的后京都协议谈判可能将基于农林和其他土地利用(agriculture, forestry and other land use, AFOLU)列为一种灵活的减排机制。

中国已经成为世界上化石燃料二氧化碳排放最大的国家。改革开放 30 多年来，中国的经济得到持续而快速的增长，依赖于资源投入的传统经济增长模式，使得中国成为温室气体排放率上升最快的国家之一。中国温室气体排放问题已经成为全球关注的焦点，中国政府面临着巨大的减排和增汇压力。这也将成为制约国家经济发展的严峻挑战。如何通过增加陆地碳汇或减少陆地碳排放是值得高度重视的战略性科技问题。中国政府从 20 世纪 70 年代以来先后启动了一批重大生态建设工程(如天然林资源保护工程、退耕还林工程等)。随着这些重大森林生态建设工程的实施，不仅显著改善了中国生态环境，而且在森林生态系统碳固定方面也发挥了巨大的作用。然而，长期以来对于这些工程的固碳作用和效果还没有引起足够的重视，而且每个研究者所使用的方法及数据也存在着很大的差异。因此，需要深入了解森林生态系统的固碳潜力及速率，同时解决森林生态系统碳计量过程中必要的参数问题。对较大尺度森林生态系统碳收支评估及其相关模型开发显得尤为必要和迫切。

中国地处北半球中高纬度地区,幅员辽阔,自然条件复杂,跨越多个气候带,森林生态系统类型多样,是全球陆地生态系统碳循环研究的重点区域之一。中国森林群落组成、结构、林龄以及立地条件等存在很大的差异,加之可用于国家(区域)尺度上森林生物量及其动态评估过程中需要的参数(方程)的匮乏,导致中国森林生物量及其累积速率(碳储量及其固碳速率)的研究结果存在很大的差异。《土地利用、土地利用变化和林业的优良做法指南》和《2006年IPCC国家温室气体清单编制指南》对编制国家温室气体清单提出了更高的要求,也使中国未来林业温室气体清单的编制工作面临更大的挑战。随着应对全球气候变化以及温室气体减排意识的增强,以及具有法律约束力的国际气候协定的签订和生效,温室气体排放贸易也应运而生。如何进行调查、核算、监测和评估生态系统的固碳能力则是进行温室气体排放贸易的科学基础。但由于缺乏适合中国森林生物量估算的参数体系,使得准确评估中国森林生态系统的固碳能力及其累积速率非常困难,而且目前的估计存在极大的不确定性,尚不能有效地为中国气候变化战略谈判和温室气体排放贸易谈判提供技术支撑。因此,加强中国森林生物量以及累积速率研究,提出适合于中国且又在国际上承认的方法论及其指标等是当前亟待开展的研究工作。

本书通过广泛收集1978~2008年公开发表和出版的中国森林生物量研究的资料,构建了中国森林生态系统生物量数据库,并筛选出具有代表性、客观性和可比性的数据资料,分析了我国不同森林类群和森林类型的生物量及其分配和累积速率,并提出了根据森林生态系统生物量估算碳贮量的基本参数。

本书共分七章,具体为:森林生态系统生物量研究现状(第一章),中国森林生态系统生物量(第二章),中国森林生态系统生物量累积速率(第三章),中国森林生态系统乔木层生物量分配(第四章),中国森林生态系统生物量扩展系数(第五章),中国森林生态系统生物量换算系数(第六章),中国森林生态系统生物量根茎比(第七章)。附录中列出了中国森林生态系统生物量数据的所有原始值和主要森林类型不同龄级的各类生物量统计值,可以供直接引用。

本书的完成,首先要归功于被引用文献的作者。他们冒酷暑,战严寒,用汗水和辛勤劳苦,才获得了森林生态系统的实际生物量,值得笔者深深感谢。只因篇幅限制,不能一一列出致谢。还应该感谢冯宗炜院士等前辈们,开创了我国森林生态系统生物量的研究工作,而且在10多年前就对中国森林生态系统生物量 and 生产力现状进行了总结。本书只希望能够补充新的资料,为我国森林生态系统生物量及其相关研究提供参考。

还应该感谢中国科学院战略性先导科技专项(XDA05060102和XDA05050602)为

本书的最后完成和出版提供项目资助。

本书力图反映近 30 年中国森林生态系统生物量研究的全部数据，但由于中国森林生态系统生物量数据量大、资料来源和研究方法存在差异等原因，书中一些不当和错误之处仍在所难免，敬请读者批评指正。

著 者
2012 年 7 月于北京

目 录

CONTENTS

前 言

第一章 森林生态系统生物量研究现状	1
第一节 森林生物量研究历史	2
第二节 森林生物量测定方法	3
第三节 森林生物量估算方法	5
第四节 中国森林生态系统生物量数据库	7
第五节 中国森林生态系统生物量研究现状	11
第二章 中国森林生态系统生物量	13
第一节 生物量统计	15
第二节 不同龄级生物量	16
第三节 主要森林类型生物量	21
第四节 林分因素对生物量的影响	24
第五节 气候因素对生物量的影响	25
第六节 主要森林类型生物量潜力	28
第三章 中国森林生态系统生物量累积速率	31
第一节 生物量累积速率统计	32
第二节 不同龄级生物量累积速率	33
第三节 主要森林类型生物量累积速率	37
第四节 林分因素对生物量累积速率的影响	37
第五节 气候因素对生物量累积速率的影响	40

第四章 中国森林生态系统乔木层生物量分配	43
第一节 乔木层生物量分配统计	45
第二节 林分因素对乔木层生物量分配的影响	47
第三节 气候因素对乔木层生物量分配的影响	49
第四节 各器官生物量与乔木层生物量的关系	55
第五章 中国森林生态系统生物量扩展系数	61
第一节 生物量扩展系数统计	63
第二节 林分因素对生物量扩展系数的影响	64
第三节 气候因素对生物量扩展系数的影响	66
第四节 地上(或乔木层)生物量与树干生物量的关系	69
第六章 中国森林生态系统生物量换算系数	73
第一节 生物量换算系数统计	75
第二节 林分因素对生物量换算系数的影响	77
第三节 气候因素对生物量换算系数的影响	78
第四节 森林生物量与立木蓄积量的关系	86
第七章 中国森林生态系统生物量根茎比	95
第一节 生物量根茎比统计	97
第二节 林分因素对生物量根茎比的影响	98
第三节 气候因素对生物量根茎比的影响	99
第四节 地下与地上生物量间的关系	101
参考文献	103
附录 A 中国森林生态系统生物量数据库	115
附录 B 中国主要森林类型不同龄级的各类统计表	306

第一章

森林生态系统 生物量研究现状



第一节 森林生物量研究历史

森林作为陆地生态系统的主体,不仅维护着区域生态环境,而且在调节全球碳平衡、减缓大气中温室气体浓度上升以及维护全球气候系统等方面具有不可替代的作用(Houghton, 2005; Olson *et al.*, 1983; Woodwell *et al.*, 1978)。森林生物量作为森林生态系统最基本的特征数据,是研究森林生态系统结构和功能的基础(Lieth and Whittaker, 1975; West, 2009),对于深入研究森林生态系统生物地球化学循环、水文学过程、碳循环和碳管理以及评估系统生产力与环境的相互关系等都具有重要的科学价值(Fahey *et al.*, 2010; 方精云, 2000)。此外,森林生物量还是陆地生态系统碳计量与监测的核心问题,例如,国家温室气体清单、林业碳补偿项目等(IPCC, 2006; Ravindranath and Ostwald, 2008; 张小全和武曙红, 2010)。依据《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)及《京都议定书》,缔约方需定期提交土地利用变化和林业部门国家温室气体排放清单,而且经过核准的碳汇量可用于抵消温室气体的排放量。因此,森林生物量的研究一直受到重视,从20世纪60~70年代的人与生物圈计划(Man and the Biosphere Programme, MAB)和国际生物学计划(IBP)(Lieth and Whittaker, 1975)到最近的全球森林碳平衡再评估(Pan *et al.*, 2011),有大量研究报道。

在MAB和IBP的推动下,世界各国研究了陆地生态系统各植被类型的生物量和生产力及其地理分布规律,以及植被生产力与气候因子、植物群落分布之间的关系(Cannell, 1982; Duvigneaud, 1971; Lieth and Whittaker, 1975; Reiche *et al.*, 1975)。中国森林生态系统生物量和生产力的研究开始于20世纪70年代末,这一时期的代表研究有杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.]林(潘维俦等, 1978; 冯宗炜, 1980; 朱守谦和杨世逸, 1979)、油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)林(董世仁和关玉秀, 1980)、红皮云杉(*Picea koraiensis* Nakai)林(陈炳浩和陈楚莹, 1980)、雪岭云杉(*Picea schrenkiana* Fisch. et Mey.)林(张瑛山等, 1980)等。此后,中国陆续开展了不同地带主要森林类型生物量和生产力的调查研究工作(冯宗炜等, 1999; 罗天祥, 1996; 史军, 2005; Wang *et al.*, 2008)。经过30余年的发展,积累了丰富的生物量数据,遍布寒温带、温带、暖温带、亚热带和热带等气候区,为全面总结中国森林

生物量研究的成果奠定了基础。有些学者整理了某一区域(如东北林区)(Wang *et al.*, 2008)、某类森林(如人工林)(史军, 2005)或者某一时间段(如1996年以前)(罗天祥, 1996; 冯宗炜等, 1999)中国森林生物量研究的资料。尽管到近10余年(1996年至今)生物量研究蓬勃发展, 但是迄今尚未见到针对30余年中国森林生物量研究全面而系统的梳理工作。

第二节 森林生物量测定方法

生物量(biomass)是指任一时间区间内单位面积绿色植物净第一性生产量的累积量, 即某一时刻的生物量也就是在此时刻以前生态系统所累积下来的活有机质量的总和, 一般以单位面积的烘干重(如 g/m^2 和 Mg/hm^2)表示。此外, 现存量(standing crop)这一概念也出现在一些文献中, 指某一特定时刻单位面积活有机物质的总量。尽管生物量和现存量在概念上存在一些差异, 但通常还是把二者视为同义词(孟宪宇, 2006)。

森林生物量通常包括乔木层生物量(如干、枝、叶、根、花、果等)和林下植被生物量(如灌木、草本、苔藓等)。通常采用直接收获的手段来获取生物量各组分的重量, 测定方法主要包括皆伐法、标准木法和相对生长法三种常规方法(冯宗炜等, 1999; 孟宪宇, 2006)。

(1) 皆伐法

在林分内选择适当面积的林地, 将该林地内的林层进行皆伐, 测定所有器官的生物量, 以此推算单位面积各林层以及器官的生物量。采用该法测定的数据准确可靠, 常作为真值与采用其他方法的估计值进行比较, 但此法费时费力且具有巨大的破坏性, 在实际操作中较少用于测定乔木层生物量, 而常用于测定林下植被生物量。

(2) 标准木法

此法可细分为平均标准木法和分层标准木法两种。①平均标准木法: 在对标准地进行每木调查的基础上, 选取能够代表群落平均特征的标准木, 伐倒后测定标准木的器官生物量, 然后乘以林分密度得到林分生物量。②分层标准木法: 按不同胸径级或树高将标准地树木分成数层, 然后在各层内选取标准木, 伐倒称重后再乘上各层的株数, 最后合计得到林分生物量。标准木法比较适合于人工林, 因为人工林的林木大小具有小的或中等离散度的正态频率分布。值得注意的是, 根据不同的测

树指标(胸径、树高、断面积等)选取的标准木是不同的,进而推算的林分生物量值也存在一定的差异(Baskerville, 1965)。

(3) 相对生长法(allometric relationships)

基于树木器官生长量间存在协调生长的相对关系(Huxley, 1932; Ketterings *et al.*, 2001; Niklas, 1994),人们在研究区内选取多株标准木,伐倒后测定标准木的器官生物量,然后建立器官生物量与测树指标(如胸径、树高等)之间的关系,然后再以实测的测树指标推算林分生物量。此法广泛应用在森林生物量和生产力的估测中(Gower *et al.*, 1999; Ogawa, 1977)。

Parresol(1999; 2001)在总结了众多文献中相对生长关系的函数形式之后,归纳出最常见的三类(式 1.1, 1.2, 1.3),并分析了模型的异方差、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; $X_1, X_2, \cdots, X_i$ 为形态学变量(如胸径、树高); α_i 为模型参数; ε 为误差项。式 1.1 和 1.2 的最简单形式分别为一元线性方程和一元幂函数,后者是最常见的函数形式(Enquist and Niklas, 2002; Ketterings *et al.*, 2001)。

相对生长模型中的自变量除了传统的胸径和树高之外又引入了其他因子,如林龄(Saint-André *et al.*, 2005)、材积(唐守正等, 2000)等。在统计学上自变量数目的增多一般会使生物量的估算更趋于准确(Saint-André *et al.*, 2005),但自变量数目的增多又会加重林分调查时基本数据获取的难度,降低了相对生长模型的实用性。因此,在建立相对生长模型时应充分考虑统计标准和实际应用之间的平衡(Niklas, 1994)。目前对相对生长模型的研究大体可分为两个研究方向:①系统整理特定条件下的经验相对生长方程(Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997; Zianis *et al.*, 2005),建立广适的经验相对生长方程(Muukkonen, 2007; Pilli *et al.*, 2006; Wirth *et al.*, 2004; Zianis and Mencuccini, 2004);②研究基于生理过程、分形几何等的理论相对生长模型,以期实现大尺度上物种的整合,探索整个生物界的相对生长规律(West *et al.*, 1999; Enquist and Niklas, 2002)。

我国已经阶段性总结了特定条件下的经验相对生长方程(陈传国和朱俊凤, 1989; 冯宗炜等, 1999),但大多在方程建立过程中没有对异方差和可加性等加以控制。为此,不少学者(胥辉和张会儒, 2002; 张会儒等, 1999)提出了一些消除异方差的方法,如加权最小二乘法、增加可能造成异方差的自变量(如树高或林龄等)等。

至于模型的可加性,唐守正等(2000)通过引入材积自变量,首次解决了以往生物量估算领域中各分量模型间不相容的问题,实现了生物量模型和材积模型的兼容,并结合了我国现行的森林资源清查方法。

第三节 森林生物量估算方法

相对于航空摄影测量、激光雷达(LiDAR)等基于遥感信息的方法,基于森林资源资料的传统方法在区域(全球)尺度森林生物量及其动态的评估中仍然占据十分重要的位置,还可用于校验基于遥感信息的模型并提高其预测性能。政府间气候变化委员会(IPCC)相关技术指南也采用这种传统方法,如《土地利用、土地利用变化和林业的优良做法指南》(IPCC, 2003)和《2006年IPCC国家温室气体清单编制指南》(IPCC, 2006)。森林资源资料作为大范围的地面调查数据,以其系统性、完整性得到了政府和科学家们的高度重视,它具有分布范围广、包含森林类型多、测量的指标容易获得、时间连续性强、抽样调查基础严格等诸多优点(Brown and Schroeder, 1999; Gibbs *et al.*, 2007; Graeme *et al.*, 2001; Tomppo *et al.*, 2010; Turner *et al.*, 1995; Usoltsev and Hoffmann, 1997; Xie *et al.*, 2011)。例如,中国国家林业部门已经连续开展了7次系统的全国森林资源清查工作(1973~1976年, 1977~1981年, 1984~1988年, 1989~1993年, 1994~1998年, 1999~2003年, 2004~2008年),而且省(自治区)级林业部门也经过几十年的调查现已积累了大量林分收获表、生长进程表等森林资源资料。这些资料虽然为人们提供了区域尺度森林蓄积量的信息,但它们大多不提供森林生物量相关的信息(Gibbs *et al.*, 2007; Tomppo *et al.*, 2010; Xie *et al.*, 2011)。因此,如何有效地将这些资源数据用于估算区域森林生物量及其动态,进而评估森林生态系统碳循环及其在全球碳平衡中的作用与地位,已经成为当前森林经营管理和全球变化研究等的热点问题之一。

要获知区域(全球)森林生物量及其动态的情况,目前主要有平均生物量法和材积源生物量法等两种常规方法(Guo *et al.*, 2010)。下面就这两种方法进行较为系统的论述,同时结合中国的研究实际提出未来的研究重点,以期有助于提高中国森林生态系统生物量、碳收支及其动态评估的准确性。

(1) 平均生物量法

平均生物量法是指基于野外实测标准地的平均单位面积生物量与该森林类型的面积来估算区域尺度生物量的方法。该方法在国际生物学计划实施期间得到广泛应

用(Brown and Lugo, 1982; Lieth and Whittaker, 1975)。然而,标准地通常选择高于研究区平均生物量水平的林分,这将会高估区域尺度森林生物量(Brown and Lugo, 1984; Dixon *et al.*, 1994; Fang *et al.*, 2005)。

标准地生物量实测的主要步骤包括林分的选择、标准地的设置、标准木的确定、标准木生物量的测定以及林分生物量的推算。推算林分生物量有两种途径:①根据每一块标准地的标准木推算林分生物量,用标准木各组成器官(如树干、树枝、树叶和树根等)的生物量乘以该标准地的林木株数;②根据单木相对生长关系,即首先在研究区域内选取多株标准木,伐倒后按器官称重,然后建立各器官生物量与测树指标(如胸径、树高)间的相对生长关系,最后以实测的测树指标来获得林分生物量。然而,即使森林资源资料能提供所需的单木数据,单木相对生长关系也通常被认为不能用于区域尺度森林生态系统碳计量(Fehrmann and Kleinn, 2006; Lehtonen *et al.*, 2004; Somogyi *et al.*, 2007; van Camp *et al.*, 2004; Wirth *et al.*, 2004)。

(2) 材积源生物量法

材积源生物量法(volume-derived biomass)是指基于立木材积(立木蓄积量),通过生物量估算参数估算区域尺度器官生物量、地上生物量乃至总生物量的方法(Bi *et al.*, 2001; Brown and Lugo, 1984; Fang *et al.*, 2001; Lehtonen *et al.*, 2004; Somogyi *et al.*, 2007; Usoltsev and Hoffmann, 1997; Wang *et al.*, 2001)(图 1.1)。树干生物量虽然在森林生物量中的比例因发育阶段、树种和条件等的不同而有较大差异(Landsberg and Sands, 2011; Poorter *et al.*, 2012),但是与立木材积(或其他器官生物量)存在很强的相对生长关系(Cheng *et al.*, 2007; Enquist and Niklas, 2002; Whittaker and Likens, 1975)。因此,基于立木材积(立木蓄积量)来推算森林生物量在理论上是可行的。

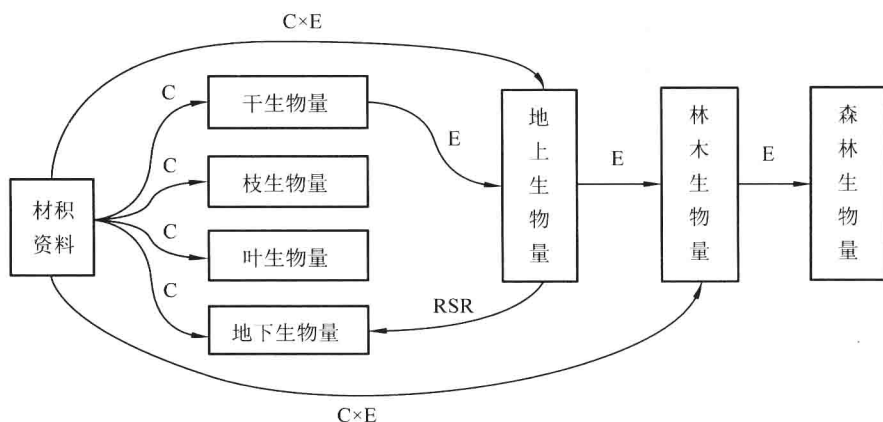


图 1.1 基于立木材积(立木蓄积量)估算森林生物量的途径

(C 为换算过程; E 为扩展过程; C×E 为换算与扩展过程; RSR 为根茎比)

根据图 1.1 所示, 材积源生物量法中的估算参数主要有: 生物量扩展系数(biomass expansion factor, 无量纲)、生物量换算系数(biomass conversion and expansion factor, Mg/m^3)以及根茎比(root: shoot ratio, 无量纲)。目前, 生物量估算参数在发展过程中可分为两个阶段: 平均生物量估算参数阶段以及连续生物量估算参数阶段。平均生物量估算参数是利用某森林类型生物量估算参数的平均值来推算森林生物量(Brown and Lugo, 1984; Johnson and Sharpe, 1983; Kauppi *et al.*, 1992; Sharp *et al.*, 1975; Turner *et al.*, 1995)。然而, 生物量估算参数随着森林类型、林分起源、林龄、林分密度、生长环境等的变化而变化(Albaugh *et al.*, 2009; Brown and Schroeder, 1999; Levy *et al.*, 2004; Lehtonen *et al.*, 2004; Pajtik *et al.*, 2008; Teobaldelli *et al.*, 2009; 罗云建等, 2007)。于是, 便产生了连续生物量估算参数, 即针对某一森林类型, 构建以林龄、蓄积量、器官生物量等指标为自变量, 生物量估算参数为因变量的连续函数关系(Fang *et al.*, 2001; Lehtonen *et al.*, 2004; Levy *et al.*, 2004; Schroeder *et al.*, 1997; 罗云建等, 2007)。

第四节 中国森林生态系统生物量数据库

根据优势种(建群种)和森林类型名录(吴中伦, 1997; 张新时, 2007), 对著名图书馆馆藏(如国家图书馆、中国林业数字图书馆等)、网络数据库(如中国知网、维普资讯等)以及现有生物量数据集(Wang *et al.*, 2008; 冯宗炜等, 1999; 罗天祥, 1996; 史军, 2005)进行了全面查阅和检索, 以期最大限度地获取 1978 ~ 2008 年公开发表(或出版)的中国森林生物量研究的文献资料(除中国香港、澳门、台湾外)。为保证数据的代表性、真实性和可比性, 笔者利用以下 3 条标准对所获取的文献以及生物量数据进行了严格筛选。

(1) 收集范围仅限于以生长状态稳定的林分为对象的研究。对于人工林起源的林分, 只收集林龄 3 年以上的数据。本数据库不包括那些近期受到严重扰动(如虫害、火灾、间伐等)或者处于特殊生境(如城市环境、环境污染区和林线附近等)的森林生态系统, 也不包括荒漠森林生态系统、湿地森林生态系统、农林复合系统以及萌生森林生态系统(即地上部分收获之后, 由地下部分萌发形成的森林生态系统)。

(2) 仅收集生物量实测数据(烘干重), 而且原文中应使用规范的生物量调查方法, 包括调查时间(尤其是落叶林)、标准地设置以及生物量测定方法等(Ni *et al.*,

2001; 冯宗炜等, 1999)。实测数据是指: ①利用皆伐法所测定的单位面积生物量; ②利用收获法测定的标准木器官生物量, 用标准木法(或相对生长法)所推算的单位面积生物量。若原文中提供地下生物量数据, 仅收集那些包含所有根系(根桩和各径级根系)的数据, 而且测定地下生物量时应达到足够的挖掘面积和深度(Mokany *et al.*, 2006)。本数据库不包括推算数据(利用他人生物量模型所推算的数据)以及那些树枝和(或)树叶未测的生物量数据。

(3)异常生物量数据需经过专业判断来决定其取舍。由于数据来源广泛, 而且在调查过程中所使用的方法、操作程序和生长环境的差别, 以致所收集的数据本身就存在质量差异, 甚至夹杂了一些人为失误造成的错误数据。因此, 与生长条件基本相同的数据相比, 一些过大或过小的数据须根据林学和植物学的专业知识评估其合理性, 不合理的予以剔除。

共整理出 1607 条数据(附表 A.1 和 A.2)。每条数据主要包括: 研究地[地名、经度($^{\circ}$)、纬度($^{\circ}$)和海拔(m)]、气候指标[年平均温度($^{\circ}\text{C}$)和年平均降水量(mm)]、林分特征[林分起源、树种组成、林龄(a)、平均胸径(cm)、平均树高(m)、林分密度(株/hm 2)、立木蓄积量(growing stock volume, GSV, m 3 /hm 2)]、乔木层生物量(树干、树枝、树叶、地下、地上等)、下木生物量(幼树、灌木、木质藤本等)、草本生物量(草本、苔藓等)、林下植被生物量(地上和地下)以及死生物量(枯立木、枯枝、倒木和凋落物等)。缺失的经度和纬度用 Google Earth 定位研究地的中心地理坐标; 缺失的气候信息则是通过地理坐标插值空间分辨率 30" 的全球气候数据库(Hijmans *et al.*, 2005; <http://www.worldclim.org/>)得到。

对于有较多调查资料和生理生态特征较相似的森林类型进行了归并处理, 共划分出 17 种森林类型(表 1.1)。根据森林的发育阶段, 划分为幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林和过熟林五个龄级。对于龄级的划分, 不同森林类型是不一样的。根据国家林业部门颁布的林业调查标准和各优势种的生理生态特点, 按表 1.2 列出的标准将所有样地资料按不同龄级划分。需说明的是, 在划分时, 由于人工林和天然林生长状况不尽一致, 因而应用了不同的标准。

部分研究虽未报道立木蓄积量, 但提供了平均胸径(D , cm)、平均树高(H , m)和林分密度(N , 株/hm 2)等信息。因此, 可通过这些已知信息推算缺失的立木蓄积量(m 3 /hm 2)。为简便起见, 在估算单株立木材积时将树干形状假定为圆锥体(Levy *et al.*, 2004)。基于数据齐全(具有平均胸径、平均树高、林分密度和立木蓄积量)的研究, 利用式 1.4 来推算缺失的立木蓄积量, 即首先利用平均胸径和平均树高近似算出平均立木材积而后乘以林分密度得到推算的立木蓄积量(GSV_{est}), 而将文献