

植物生物量研究综述

张建设,王刚,王刚*

(四川农业大学成都校区,四川温江 611130)

摘要: 在查阅和分析相关国内外有关文献的基础上,综述了现今植物生物量研究中主要的方法:传统方法、模型模拟法、平均生物量法、材积转换法、遥感法。分析了各种方法的优缺点,并对生物量研究发展趋势进行了简要探讨。

关键词: 生物量;研究方法;测定

中图分类号: S718.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-5508(2014)01-0044-05

A Review of Researches on Plant Biomass

ZHANG Jian-she WANG Gang WANG Gang*

(Chengdu Campus, Sichuan Agricultural University, Wenjiang 611130, China)

Abstract: In this paper based on large domestic and foreign literatures, a summary description is given of main determination methods of plant biomass, including traditional method, model simulation, mean biomass method, volume derived biomass and remote sensing. In addition, the advantages and disadvantages of various biomass methods are compared and a discussion is made on the development tendency of biomass determination in the future.

Key words: Biomass, Research method, Determination

在植被生态学研究,生物量既是表征植物群落数量特征的重要参数,又是反映植物群落初级生产力重要指标,也是生态系统获取能量能力的主要体现,对生态系统结构的形成以及生态系统的功能具有十分重要的影响^[1]。同时,通过生物量的研究,可以为进一步研究碳储量做好铺垫,甚至可以直接通过生物量近似估计碳储量的大小,尤其是大尺度的碳储量的估计基本上是采用的生物量数据去估算^[2]。因此,生物量的研究向来受到众多学者的广泛重视。本文综述有关生物量的研究现状,总结现今生物量测定常用方法并进行探讨,为生物量的准确估算提供方法和依据,以期对不同空间尺度植物生物量测定方法和技术研究、应用有所帮助。

1 生物量的研究历史

1876年 Ebermeyer^[3] 在德国进行的几种森林的树枝落叶量和木材重量的测定是最早有关生物量的研究。20世纪50年代,世界各国才开始重视对森林生物量的研究,日本、美国相继开展了森林生产力的研究,开始对各自国家内的主要森林生态系统生物量和生产力进行实际调查和资料收集。20世纪70年代初期,随着国际生物学计划(IBP) 和人与生物圈(MAB) 计划在许多发达国家的实施,植被生物量的研究引入了生态系统的观点,从整体高度上把握生态系统物质生产的过程,并与环境因子结合起来,使生物量的研究工作得到很大的发展,并取得

收稿日期: 2013-12-11

基金项目: 大熊猫等保护动物栖息地恢复模式及效益评价研究(北川采招 <2011 >099)。

作者简介: 张建设(1987-) 男,河南商城县人,硕士研究生,主要从事数学生态学方面研究。

* 通讯作者: 王刚,教授,硕士生导师,主要从事数学生态学研究。

了较大的成果。到了 20 世纪 80 年代,随着全球环境问题日益突出,国际科教理事会再次提出了规模空前的全球变化研究即国际地圈与生物圈计划(IGBP),又大大推动了对生物量的研究,至今生态系统生物量的研究一直是生态学研究的一个重要方向^[4]。

2 生物量的研究方法

2.1 传统的方法

虽然植被生物量的研究已经有多年历史,但传统的方法仍然占据着主导地位。生物量的传统研究方法有二氧化碳平衡法、微气象场法和收获法。

二氧化碳平衡法是将森林生态系统的叶、枝、干和土壤等组分封闭在不同的气室内,根据气室 CO₂ 浓度变化计算各个组分的光合速率与呼吸速率,进而推算出整个生态系统 CO₂ 的流动和平衡^[4]。

微气象场法则与风向、风速和温度等因子测定相结合,通过测定从地表到林冠上层 CO₂ 浓度的垂直梯度变化来估算生态系统 CO₂ 的输入和输出量^[5]。

直接收获法是全球普遍采用的研究方法,也是对陆地群落和森林最切实可行的方法。可以大致分为 3 类:皆伐法、平均木法和相对生长法^[6]。

皆伐法是将一定单位面积内的林木,逐个地伐倒后测定其各部分(树根、树干、枝、叶)的鲜重,再换算成干重,将各部分的重量合计,即为单株树木的生物量。皆伐法的精度高,但花费时间和人工多,一般很少采用,可结合伐区作业进行。

平均木法是根据样地每木调查的资料计算出所有立木的平均胸高断面积和平均树高,选出代表该样地最接近这个平均值的数株标准木,伐倒后求出平均木的生物量,再乘以该林分单位面积上的株数,得单位面积上林分乔木层的生物量^[7]。平均木法是相对粗略的计算方法,因为根据不同的测树因子(树高、胸径、断面积和干材积)所选取的平均木是不一样的,由此可以得出许多不同的林分生物量^[8]。

相对生长法指的是在样地每木调查基础上,根据林木的径级分配,按径级选取大小不同的标准木,一般是在株数较多的中央径级选取 2-3 株,其他径级各选取 1-2 株,对两端的径级特别是最大的径级

至少要选一株标准木,测定林木的各种生物量,再根据林木的各种生物量与某一测树学指标之间存在的相关关系,利用数理统计配置回归方程^[9]。

传统方法的生物量测量需要进行大量的实地调查,工作量大、周期长,并对实物造成一定的破坏,又由于生态系统的空间异质性,很难向大尺度推广,只适合小尺度的生物量研究。但该法以实测数据为基础,精度比较高,为大尺度的森林生物量模型构建提供了样本数据,是大尺度森林生物量研究的基础。

2.2 模型模拟法

林木生物量模型概括起来有 3 种基本类型:线性模型、非线性模型、多项式模型。非线性模型的应用最为广泛,其中相对生长模型则最具代表性,是应用最为普遍的一类模型^[10]。该方法已成为植物生物量研究中广泛使用的方法,中常见的关系式有:

$$W = a(D^2H)^b$$

$$W = aD^b$$

$$W = ae^{b-D}$$

$$W = a + bD$$

式中: W ——生物量;

D ——胸径;

H ——树高;

a, b ——方程参数。

目前有很多现成的生长方程,但由于生长和生物量分配关系在很大程度上决定于当地环境条件。这些方程应用到不同地方都会带来不确定性。因此需要重新进行外业测定,以建立和验证已有的关系式,才能测定出较精确的生物量^[11]。

植物生物量研究已经取得了很大的成就,研究尺度也逐渐由个体、种群、群落上升到生态系统、生物圈等大尺度,大尺度森林生物量的估算方法一直以来都是人们关注的焦点,自 20 世纪 70 年代开始许多学者就开始对全球范围内的生物量进行估测^[12,13]。目前,推算区域,乃至国家尺度的森林生物量方法主要有 3 种,即平均生物量法、材积转换法和遥感方法。

2.3 平均生物量法

平均生物量法是指基于野外实测各类型森林样地的单位面积生物量,再乘以该类型森林面积,从而推算出区域森林生物量。该法在早期区域、国家及全球尺度上的森林生态系统生物量估算都曾得到过广泛的应用^[14],可用下式表示:

$$W = \sum_{i=1}^n \overline{W_i} S_i$$

式中 $\overline{W_i}$ 为区域内第 i 类森林的平均单位面积生物量; S_i 为第 i 类森林面积。

除了实测样地生物量得到各类型森林单位面积生物量以外,还可以利用资源清查的样地数据,基于该森林类型的生物量相对方程来计算样地生物量^[15,16]。

2.4 材积转换法

材积转换法主要包括生物量转换因子法和生物量转换因子连续函数法。

2.4.1 生物量转换因子法

生物量转换因子法,是利用林分生物量与木材材积比值的平均值,再乘以该森林类型的总蓄量,得到该类型森林的总生物量的方法,或利用木材密度乘以总蓄积量和总生物量与地上生物量的转换系数。树干与总生物量和其他器官之间存在相关关系,所以由树干材积推算林分总生物量是可行的^[17]。但生物量和蓄积量与森林类型、年龄、立地条件和林分密度等诸多因素有关,因此采用常数的生物量转换因子不能准确估算森林生物量。

2.4.2 生物量转换因子连续函数法

生物量转换因子连续函数法是为克服生物量转换因子法将生物量与蓄积量比值作为常数的不足而提出的。该方法是将单一不变的生物量平均转换因子改为分龄级的转换因子,更加确切地估算区域或国家的森林生物量^[18]。方精云等^[19]利用倒数方程简单地实现了由样地调查向区域推算的尺度转换,并据此推算了区域尺度的森林生物量。Zhou^[20]等建立了生物量和蓄积量的双曲线关系模型,克服了将生物量与蓄积量之比作为常数的不足,又避免将林分在任一个生长阶段的生物量随蓄积量的变化简单地处理为线性关系。

2.5 遥感法

遥感方法是从光合作用即植被生产力形成的生理过程出发,根据植物对太阳辐射的吸收、反射、透射及其辐射在植被冠层内及大气中的传输,结合植被生产力的生态影响因子,在卫星接受到的信息之间建立科学完整的数学模型及其解析式进行遥感信息与环境因子的反演从而估计生物量^[21~23]。遥感技术应用于生物量的估算,大大提高了估算的准确性和快速性,且不会对实地生物产生破坏,可以长

期、动态、连续估算生物量,在大尺度生物量估算中具有不可替代的优势。

2.5.1 基于光学遥感数据的生物量研究

光学遥感数据是生物量遥感研究中最初采用的遥感数据,国外用该遥感数据对生物量进行了大量的研究^[24]。Curran^[25]发现 TM 数据的红光和近红光区与叶生物量间具有较强的相关性。将红光与近红外的反射值组合成植被指数(NDVI)可以较精确地估计群落特征;NDVI 指数与植被生物量的关系密切,可以用对数/指数转换来处理它们的非线性关系^[26]。李健等^[27]基于 Landsat—TM 数据对鄱阳湖湿地植被生物量进行建模,利用多种植被指数对生物量数据进行线性和非线性回归分析;邢素丽、张广录和刘慧涛等^[28~30]用 ETM 数据探讨了落叶松林生物量的估算方法。

光学遥感影像在获取水平结构参数方面有一定的优势,但是由于其穿透性较差,应用于垂直结构参数反演还有一定距离,并且在获取生物量信息时易饱和、敏感性差。

2.5.2 基于合成孔径(SAR)雷达的生物量研究

在 20 世纪 70 年代初,人们就开始利用机载单波段的真实孔径雷达(SLAR)进行森林资源调查和森林制图研究。20 世纪 70 年代末至 80 年代初,美国宇航局喷气推进实验室(NASA/JPL)的 CV-990/980AIRSAR 多波段、多极化系统在北美和欧洲进行了多次试验飞行,其数据被许多学者用于森林生物量的研究^[31]。黎夏等^[32]为了改善单独使用光学遥感的不足,利用多时相的遥感图像和专家系统方法对珠江口红树林湿地的时空变化进行了分析,同时结合雷达遥感图像对红树林群落分类及生物量进行估算。

合成孔径雷达(SAR)在区域或局部尺度的生物量监测、生物量分布等领域能获得生物量计算所需的主要参数(密度、胸径、高度和年龄等)^[33]。但是林木结构、植被含水量和林下状况、地形对雷达后向散射都可产生显著影响,这使森林地上生物量的雷达提取更为复杂。利用 SAR 数据估测森林生物量时,需先对辐射干扰面积进行精确校正^[34,35]。

2.5.3 基于激光雷达数据(LiDAR)的生物量研究

激光雷达(LiDAR)即激光探测与测距,是一种类似于雷达的主动式遥感技术,具有高效的测量三维结构信息的能力。20 世纪 90 年代以来,随着

GPS 和 IMU 技术的发展并成功用于机载遥感平台的姿态控制和定位, 激光雷达技术发展十分迅速已经被成功的应用到森林参数反演中, 尤其在估测林木高度及林木空间结构方面具有独特的优势。Thomas^[36] 等使用不同采样密度 LIDAR 点云数据估测了加拿大安大略省北方混交林生物量。

当前, 应用激光雷达系统进行森林结构参数及生物量反演研究取得了很大进展, 但仍存一些问题亟待解决。(1) 激光雷达和其他光学遥感技术都受到大气、云、薄雾的限制, 信号在到达地面之前会被削弱;(2) 相对于其他遥感手段而言, 激光雷达的成本太高。

2.5.4 多源遥感数据协同反演森林生物量

随着遥感技术的发展, 光学遥感影像、微波雷达与激光雷达等多源遥感数据已应用于森林类型、分布与结构特征的监测与信息提取(何红艳等, 2007)。人们对如何有效利用多源遥感数据进行生态学研究寄予厚望。大区域生态系统的复杂性确定了必须采用森林资源清查数据、遥感数据等多源数据融合的方法来获取生物量信息, 这是同时达到大面积全覆盖和较高估测精度的最佳方法。

3 生物量研究发展趋势

植物生物量研究已经取得了很大的成就, 研究方法呈现出多样性, 区域扩大化。传统的方法在点的测算上精度较高, 主要用于定位研究, 但对大面积植物生物量的模拟中难以保证结果的准确性, 常用于其他方法模拟结果精度验证。

材积推算法, 为森林生物量及净生长量的研究从样地实测向区域尺度估算提供了丰富的数据基础, 也使得从时间尺度上对森林生物量动态变化的研究成为可能, 适于在区域和全国范围内进行森林生物量及其动态变化研究, 但目前各种森林类型所建立的模型并适用于不同区域, 针对某类森林的估算模型还有待于更为深入地验证和探讨。

基于遥感技术的大区域生物量估算方法在区域及全球尺度森林生物量及净生长量估算中具有其他方法不可替代的优势, 如何进一步提高大尺度生物量的估算精度, 是当前生态学研究的热点和难点之一。

研究手段上逐步采用跨学科技术, 增强研究的

精度和准确度, 在微观上从生理生态学方面, 采用的先进光合测定仪器, 宏观方面利用卫星遥感技术和 GIS 来估算 NPP 空间分布的方向及发展^[38]。通过实地调查, 结合相关影响因子, 建立适应不同类型的生物量模型, 同时, 通过采用遥感技术, 结合实地调查数据, 将微观尺度上的生物量研究与宏观尺度上的区域生物量估测相结合, 将会是今后研究生生物量的重点。

参考文献:

- [1] 宇万太, 于永强. 植物地下生物量研究进展[J]. 应用生态学报, 2001, 12(6): 927~932.
- [2] Ares A, Boniche J, Molina E, et al. Bactric gasipaes agroecosystems for heart-of-palm production in Costa Rica: changes in biomass, nutrient and carbon pools with stand age and plant density. Field Crops Research 74(2002) 13~22.
- [3] Ebermeyr E. Die gesamte Lehre der Waldstreu mit Rücksicht auf die chemische statik des Waldbaues[M]. Berlin: J Springer, 1876: 116.
- [4] Botkin D B, Woodwell G M, Tempel. NIForest productivity estimated from dioxide uptake. Ecology, 1970, 51: 1057~1060.
- [5] 薛立, 杨鹏. 森林生物量研究综述. 福建林学院学报, 2004, 24(3): 283~288.
- [6] 佐藤大七郎. 陆地植物群落的物质生产[M]. 聂绍荃, 译. 北京: 科学出版社, 1986.
- [7] Ovinghton J D. The form, weights and productivity of trees species grown in close stands New Phytol, 1956, 55: 289~304.
- [8] Baskerville G L. Estimation of dry weight of tree components and total standing crop in conifer stands[J]. Ecology, 1965, 46: 867~869.
- [9] 杨忠, 张建平, 王道杰, 等. 元谋干热河谷按树人工林生物量初步研究[J]. 山地学报, 2001, 19(2): 503~510.
- [10] 孟宪宇. 测树学(第3版)[M]. 北京: 国林业出版社, 2006.
- [11] 张峰. 基于遥感信息估测森林生物量的研究[J]. 东北林业大学学报, 2003.
- [12] Woodwell G M, Whittaker R H, Reiners W A, et al. The biota and the world carbon budget[J]. Science, 1978, 199: 141~146.
- [13] Whittaker R H and Likens G E. The biosphere and man. In: Lieth H and Whittaker R H (ed.) Primary Production of the biosphere [J]. Springer Verlag, 1975. 305~328.
- [14] Dixon R K, Brown S, Houghton R A, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystem Science, 1994, 263: 185~190.
- [15] 李文华, 罗天祥. 中国云冷杉林生物量生产力格局及数学模型[J]. 生态学报, 1997, 17(5): 511~518.
- [16] 罗天祥, 赵仕洞. 中国杉木林生物生产力格局及其数学模型[J]. 植物生态学报, 1997, 21(5): 403~415.
- [17] Brown S, Lugo A E. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes[J]. Science, 1984, 223: 1290~1293.
- [18] Brown S, Lugo A E, Iverson L R. Process and land for Sequester-

- ring carbon in the tropical forest landscape. *Water, Air and Soil Pollution*, 1992, 64: 139 ~ 155.
- [19] 方精云. 中国森林生产力及其对全球气候变化的响应[J]. *植物生态学报* 2000, 24(5): 513 ~ 517.
- [20] Zhang X Q, Hou Z H. Definitions of forest degradation, forest management, deforestation and revegetation in relations to carbon accounting[J]. *Scientia Silvae Sinicae* 2003, 39(4): 141 ~ 144.
- [21] Spencer R D, Green M A, Bliggs P H. Integrating Eucalypt Forest Inventory and GIS In Western Australia. *Photogrammetric Engineering Remote Sensing*, 1997, 63(12): 1345 ~ 1351.
- [22] Friedl M A, Davis F W, Michaelsen J, et al. Scaling and Uncertainty in the Relationship between the NDVI and Land Surface Biophysical Variables: An Analysis Using a Scene Simulation Model and Data from FIFE. *Remote Sensing*, 1995, 54: 233 ~ 246.
- [23] 张佳华, 符涂斌. 生物量估测模型中遥感信息与植被光合参数的关系研究[J]. *测绘学*.
- [24] Melon P, Martinez J M, Toan T L, et al. On the retrieving of forest stem volume from VHF SAR data: observation and modeling[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 2001, 39(11): 2364 ~ 2372.
- [25] Dobson M C, Pierce L E, Ulaby FT. Knowledge based Land cover Classification on ERS - 1/JERS-1 SAR Composites [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1996, 34: 83 ~ 99.
- [26] 黎夏, 刘凯, 土树功. 珠江日红树林湿地演变的遥感分析[J]. *地理学报* 2006, 15(1): 61: 69 ~ 71.
- [27] 李健, 舒晓波, 等. 基于 Landsat - TM 数据鄱阳湖湿地植被生物量遥感监测模型的建立[J]. *广州大学学报(自然科学版)*, 2005, (4): 32 ~ 38.
- [28] 邢素丽, 张广录, 刘慧涛, 等. 基于 Landsat ETM 数据的落叶松林生物量估算模式[J]. *福建林学院学报* 2004, 24(2): 153 ~ 156.
- [29] Muukkonen P, Heiskanen J. Estimating biomass for boreal forests using ASTER satellite data combined with standwise forest inventory data [J]. *Remote Sensing of Environment* 2005, 99(4): 434 ~ 447.
- [30] 侯英雨, 土石立. 基于作物植被指数和温度的产量估算模型研究[J]. *地理学与国土研究* 2002, 18(3): 105 ~ 107.
- [31] 罗怀良. 川中丘陵区土地利用/覆被变化及其碳汇效应研究——以四川省盐亭县为例[M]. 中科院成都山地灾害与环境研究所 博士学位论文 2003, 11.
- [32] 贺庆棠. 森林对地气系统碳素循环的影响[J]. *北京林业大学学报*, 1993, 15(3): 132 ~ 136.
- [33] 马钦彦, 陈遐林, 等. 华北主要森林类型建群种的含碳率分析[J]. *北京林业大学学报* 2002, 24(5~6): 96 ~ 100.
- [34] 张宏芝, 陆贵巧, 原占国, 等. 太行山区天然次生林碳储量的研究[J]. *河北林果研究* 2005, 20(1): 11 ~ 13.
- [35] Brown S, Lugo AE. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes[J]. *Science*, 1984, 223: 1290 ~ 1293.
- [36] THOMAS V, TREITZ P, MCCAUGHEY J H, et al. Mapping stand-level forest biophysical variables for a mixedwood boreal forest using lidar: An examination of scanning density [J]. *Can J For Res* 2006, 36(1): 34 ~ 47.
- [37] 郭志华, 彭少麟, 王伯荪. 利用 TM 数据提取粤西地区的森林生物量[J]. *生态学报* 2002, 22(11): 1832 ~ 1840.

(上接第 39 页)

鲁桉, 这种桉树与国内目前引种的细叶桉和赤桉相似。十几年前, 在西藏日喀则地区和井冈山斯山还发现有狭叶桉化石。从植物地理学方面看, 可以设想在距今四五亿年前的晚始新世, 四川西部和西藏分布着大片的桉树植物的常绿阔叶林, 那时, 上述地区气候温暖干热, 十分适宜桉树生长。后来, 约在数百万年前, 强烈的喜马拉雅山造山运动, 使四川西部和西藏地区地壳隆起, 桉树植物不适应高寒的气候而消失, 桉树适生的逐步南移, 经马来西亚到达大洋洲, 以至现今澳大利亚成了桉树植物的主要分布中心。这批于我国始新世纪晚期地层发现的化石, 比有记载的在澳大利亚渐新世纪地层中发现的最早的同样桉树类化石要早 1 000 万年左右。这对一向认为桉树植物起源于澳大利亚的说法, 提出了疑问。在学术研究上有重要价值, 为确立地质年代和研究古地理、古植被、古气候提供了依据。

4.3 本研究对进一步研究广元桉树发展有一定基

础意义, 由于时间原因待进一步深入研究桉树不耐寒机理。广元大面积发展桉树, 宜慎重。在广元适宜的小气候环境和土壤条件种植适宜的桉树品种。研究和推广受冻害桉树的科学营林技术措施。

参考文献:

- [1] 广元市林业局. 广元市木本植物名录[J]. *广元市林业志* 2000.
- [2] 陈有民. *园林树木学*[M]. 中国林业出版社, 1990: 603 ~ 607.
- [3] 广元市林业和园林管理局. *广元市森林资源年鉴(2008 年度)* 43 ~ 44.
- [4] 吴志文. 广元市行道树树种的选择与配置模式[J]. *四川林业科技* 2008(4).
- [5] 陈小红, 胡庭兴, 李贤伟, 等. 四川省巨桉生长状况调查与发展前景分析[J]. *四川林业科技* 2000(4).
- [6] 杨钦周. *四川树木分布*[M]. 贵州科技出版社, 1997: 341 ~ 344.
- [7] 李晓清, 胡天宇. 四川桉树基因收集及培育技术[J]. *四川林业科技* 2004(1).
- [8] 吴建平, 傅声雷, 樊后保. 桉树人工林生态系统过程与功能——基于野外控制实验的结果[J]. *南昌工程学院学报* 2013(5): 25.