

## 千烟洲湿地松中幼林树冠生物量及生长量分析

涂洁<sup>1</sup>, 刘琪璟<sup>2</sup>, 简敏菲<sup>3</sup>

(1. 南昌工程学院 水利系, 江西 南昌 330029; 2. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101;  
3. 江西师范大学 生命科学学院, 江西 南昌 330022)

**摘要:** 运用枝条解析法对江西省千烟洲 19 年生湿地松 *Pinus elliottii* 枝条生物量及生长量进行估算, 建立了树冠生物量及生长量回归模型。结果如下: 枝生物量( $W_B$ )与枝径( $D_B$ )间呈  $W_B = 0.0178 D_B^{3.0061}$  的幂函数相关,  $r^2$  为 0.8408。分枝断面积合计( $A_{TB}$ )与胸径( $D_{BH}$ )间呈  $A_{TB} = 1.8502 D_{BH}^{1.5418}$  的幂函数相关,  $r^2$  为 0.7509。树冠生物量( $W_C$ )与胸径间呈  $W_C = 7.1059 D_{BH}^{2.5965}$  的幂函数相关,  $r^2$  为 0.9205。树冠生物量模型的参数估计及分组检验结果表明: 方程的总相对误差在允许范围内, 预估精度总体在 90% 左右。树冠生长量( $y$ )与胸径生长量( $x$ )间呈  $y = 29.3541x^{0.2554}$  的幂函数相关,  $r^2$  达 0.9566。图 3 表 1 参 23

**关键词:** 植物学; 湿地松; 树冠生物量; 生长量; 枝条解析

**中图分类号:** S718.4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-5692(2008)02-0206-05

### Crown biomass and increment in mid-young-aged *Pinus elliottii* plantation from Qianyanzhou

TU Jie<sup>1</sup>, LIU Qi-jing<sup>2</sup>, JIAN Min-fei<sup>3</sup>

(1. Department of Water Conservancy of Engineering, Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330029, Jiangxi, China; 2. Institute of Geographical Science and Natural Resources Research, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China; 3. College of Life Science, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, Jiangxi, China)

**Abstract:** To increase future forest research efficiency and management, a model of branch biomass and growth increment for mid-young-aged *Pinus elliottii* was determined. Estimates were made using the branch analysis method with regression models of crown biomass and increment-established. Results showed a significant power correlation existed between branch biomass ( $W_B$ ) and branch diameter ( $D_B$ ) ( $W_B = 0.0178 D_B^{3.0061}$ ) with  $r^2 = 0.8408$  ( $P < 0.01$ ). Correlation between area of the total branch section ( $A_{TB}$ ) and diameter at breast height ( $D_{BH}$ ) was well fitted by  $A_{TB} = 1.8502 D_{BH}^{1.5418}$  with  $r^2 = 0.7509$  ( $P < 0.01$ ). A significant power correlation also existed between crown biomass ( $W_C$ ) and  $D_{BH}$  ( $W_C = 7.1059 D_{BH}^{2.5965}$ ) with  $r^2 = 0.9205$  ( $P < 0.01$ ). Parameter evaluation and group test results showed that the crown biomass model could satisfy the practical requirements well with a prediction exactness of about 90% and with the total relative standard error within permitted limits. Correlation between crown increment ( $y$ ) and  $D_{BH}$  increment ( $x$ ) was also well fitted by  $y = 29.3541x^{0.2554}$  with  $r^2 = 0.9566$  ( $P < 0.01$ ). [Ch, 3 fig. 1 tab. 23 ref.]

**Key words:** botany; *Pinus elliottii*; crown biomass; increment; branch analysis

树冠是高大乔木进行光合作用和呼吸作用等一系列生理活动的主要部位, 其结构特征及其在林分

收稿日期: 2007-04-26; 修回日期: 2007-07-18

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2002CB4125); 中国科学院生态网络野外台站基金资助项目; 江西省科学技术重点项目(2006188)

作者简介: 涂洁, 博士, 从事区域生态生产力研究。E-mail: tujie8058@163.com。通信作者: 刘琪璟, 研究员, 博士, 从事森林生态及遥感应用研究。E-mail: liuqi@igsnr.ac.cn

中的分布形式不但直接决定了树木的个体形态、生产力和生长活力<sup>[1-4]</sup>，反映了树木生长发育过程中的竞争效果<sup>[5]</sup>，还影响到种群的分布格局<sup>[6]</sup>。因此，许多生长和收获模型都将它作为一个重要的输入参数<sup>[7,8]</sup>。由于树冠基部高度较难确定，树冠变异性较大，过去很少有人直接测定树冠，更谈不上构造模型。近十几年来，国际上对树冠的研究十分活跃，尤其重视树冠模型在生长模型中的应用。国内对树冠的研究起步较晚，刘志刚<sup>[9]</sup>、李凤日<sup>[10]</sup>研究了落叶松 *Larix gmelinii* 林树冠结构模型，并将它们用于林分的动态模拟；肖文发<sup>[11]</sup>研究并建立了杉木 *Cunninghamia lanceolata* 树冠光合模型；周元满等<sup>[12]</sup>用阶跃函数预测了短轮伐期桉树 *Eucalyptus* 林的树冠生长过程。由于树冠可看作不同生长阶段枝条沿树干方向的分布序列，枝条的生长、死亡现象描述了树冠从幼龄阶段向老龄阶段发展的历程<sup>[13]</sup>，而且大枝条的分布模式决定了树冠的冠形<sup>[14]</sup>，因此，许多学者提出通过测定单个枝条的分枝特性及生长动态来分析树冠结构特征及动态发育过程<sup>[5,15-17]</sup>。针对目前树冠生物量及生长规律研究的严重缺乏性，文章运用枝条解析法对江西省千烟洲 19 年生(2005 年)湿地松 *Pinus elliottii* 枝条生物量及生长量进行了探讨，建立了树冠生物量及生长量回归模型，以期在今后该区及其他湿地松引种区的管理和抚育工作提供理论依据。

## 1 研究地概况

研究地位于江西省泰和县中国科学院千烟洲试验区(26°44'48"N, 115°04'13"E)。试验地具体情况参照文献[18]。

## 2 材料与方法

在树木生长停滞期(2004年和 2005 年 11~12 月)选取 20 株湿地松调查生物量。枝条生物量及生长量测定方法参照文献[19]。为了更直观地阐明树冠生长量的解析过程，以一典型 3 年生枝条为例说明(图 1)。由图 1 可知，枝条各年份生长量可看作是若干层叠在一起的手套，由里向外枝龄逐渐减小，最里层为最早形成的木质部。以圆柱体计算枝条体积(梢头以圆锥体计算)，枝条各年度材积生长量为各级枝条该年度生长量之和。假设树木近几年叶年生长量为一常数，则叶年生长量由当年生新叶生物量与 2 年生叶生物量的一半计算得到。树冠某一年份生长量为该年份所有枝条与叶生长量的总和。

采用 Excel 和 SPSS 11.0 软件对所有数据进行统计分析处理。

## 3 结果与分析

### 3.1 单个枝条生物量的估算

以枝长( $L$ )或枝条基径(简称枝径,  $D_B$ )为自变量, 枝条生物量( $W_B$ , 包括枝轴上所有侧枝)为因变量, 采用线性函数、幂函数、指数函数和多项式函数对 20 株样木共 250 个枝条生物量与枝径、枝长的实测结果进行拟合。结果表明: 枝径对枝生物量的作用显著大于枝长。加之在树木上测量枝长较困难, 测量工作量大, 因此, 通常以容易测量的枝径来估算枝条生物量。在所选函数中, 以幂函数  $W_B = 0.0178 D_B^{3.0061}$  的拟合效果最优(图 2), 相关关系的判定系数  $r^2$  为 0.8408。经  $F$  检验 [ $F = 1294.2360 > F_{0.01}(1, 248) = 6.63$ ] 为极显著相关, 这与张文军等<sup>[20]</sup>、Tietema<sup>[21]</sup>对其他树木生长规律的研究结果一致。

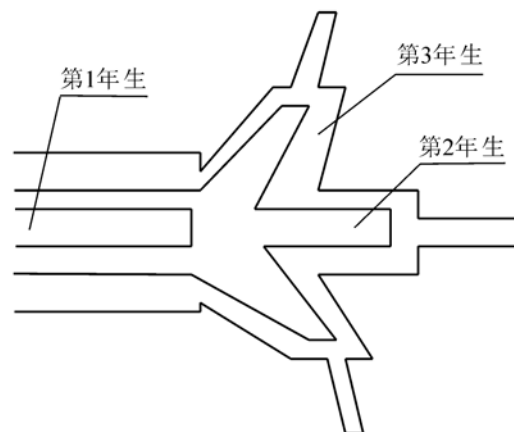


图 1 树冠生长量解析示意图

Figure 1 Illustration for crown growth analysis

### 3.2 分枝断面面积合计与胸径的关系

对15株湿地松分枝断面面积合计( $A_{TB}$ )与胸径( $D_{BH}$ )实测数据的拟合结果表明:湿地松分枝断面面积合计与胸径间的相关关系可用幂函数  $A_{TB} = 1.8502 D_{BH}^{1.5418}$  拟合,相关关系的判定系数  $r^2$  为0.7509,经  $F$  检验 [ $F = 21.9552 > F_{0.01}(1, 13) = 9.07$ ] 为极显著相关。这在一定程度上说明,随着树干的增粗,分枝断面面积合计将随之增大。结合前文得出的单个枝条生物量模型,可得出树冠生物量随树干加粗而增加的规律。

### 3.3 树冠生物量的估算

由单个枝条的生物量模型可得出估算树冠生物量( $W_C$ )的第1种方法,即枝条全测法:

$$W_C = \sum_{i=1}^N W_{Bi} = \sum_{i=1}^N 0.0178 D_{Bi}^{3.0061}。$$

其中: $i$ 为枝条的编号, $N$ 为整树的枝条数量。该法虽然准确度较高,但野外操作采样及室内分析的工作量大,因而在一般情况下不提倡使用。

目前,树冠生物量估算最常用的做法仍是建立树冠生物量与树木易测因子间的回归模型。对12株湿地松树冠生物量与胸径的实测结果进行拟合,得出两者呈  $W_C = 7.1059 D_{BH}^{2.5969}$  的幂函数关系,相关关系的判定系数  $r^2$  为0.9205,经  $F$  检验 [ $F = 25.6329 > F_{0.01}(1, 10) = 10.04$ ] 为极显著相关。

在模型的构建过程中,模型的选型及最优模型的确定,需要一套指标来衡量。本文参照唐守正等<sup>[22]</sup>的做法,选用参数变动系数、总相对误差、预估精度3个指标对该模型进行评价。

参数的变动系数  $C(\%) = |S_c/C|;$

总相对误差  $R_s = \sum_i (y_i - \hat{y}_i) / \sum_i \hat{y}_i \times 100\% ;$

预估精度  $P = \left( 1 - \frac{t_\alpha \sqrt{\sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2}}{\hat{y}_i \sqrt{n(n-T)}} \right) \times 100\% 。$

其中: $S_c$ 为参数标准差, $C$ 为参数估计值, $y_i$ 为实测值, $\hat{y}_i$ 为预估值, $n$ 为样本数, $t$ 为置信 $\alpha$ 水平时的分布值(这里 $\alpha$ 值取0.01), $T$ 为回归模型中参数个数, $\hat{y}_i$ 为平均预估值。

采用来自同一林分、同期调查但没有参与上述模型拟合的另外8株湿地松生长量的解析结果,对模型的估计效果进行检验,结果见表1 [ $C_0$ ,  $C_1$ 分别为树冠生物量模型的常数项和幂指数项, $C_0(\%)$ ,  $C_1(\%)$ 为相应参数的变动系数]。

表1 树冠生物量模型参数估计与分组检验结果

Table 1 Parameter evaluation and group test results of crown biomass model

样树	$R_s/\%$	$P/\%$	参数估计			
			$C_0$	$C_0/\%$	$C_1$	$C_1/\%$
s1116	9.8211	87.9624				
s1122	11.3310	86.2251				
s1123	7.9605	89.0141				
s1125	10.2120	86.6525	7.1059	0.0039373	2.5969	7.7059
s1126	6.9652	89.1531				
s1127	8.6633	89.0049				
s1128	9.0112	88.1421				
s1208	8.3625	89.2324				

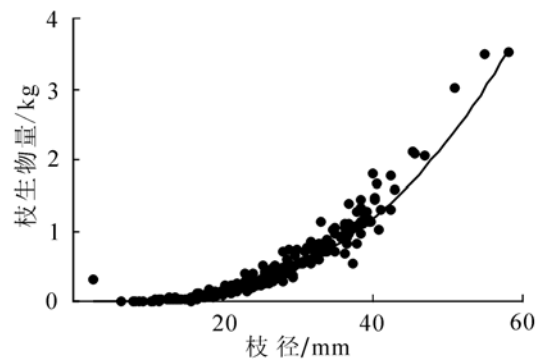


图2 枝径与枝生物量的关系

Figure 2 Correlation between branch diameter and biomass

参数估计结果表明：回归方程各参数的变异性不大，说明该模型比较稳定。分组检验结果表明：模型的总相对误差在一定允许范围内，不存在系统偏差，预估精度总体在 90% 左右，说明该模型对树冠生物量的预测效果较好。

### 3.4 树冠生长量的估算

与树干部分的生长过程不同，处于幼龄阶段的湿地松，其树冠生长量为枝条、新叶及上一年生针叶三者生物量增量的总和。随着树木的不断生长，树冠开始郁闭，而下部枝条由于光照不足逐渐枯死脱落，因此，树冠的生长经历着一个不断更新的过程，即老枝、老叶的不断脱落和新枝、新叶的不断萌生。因此，以树龄为自变量的树冠生长模型并不能客观反映树冠每年的实际生长情况，必须通过建立树冠生长量与某一测树指标生长量间的回归关系，从而间接地推算树冠实际生长量。值得一提的是，这个测树指标必须能够真实完整地记录下树木的生长轨迹，最常用的是胸径因子。

利用树冠历年生长量实测数据共 62 个，对树冠生长量与胸径生长量间的相关关系进行拟合（图 3）。由拟合结果可知：湿地松树树冠生长量（ $y$ ）与胸径生长量（ $x$ ）间呈显著的幂函数  $y = 29.354 1x^{0.2554}$  关系，相关关系的判定系数  $r^2$  达 0.956 6，经  $F$  检验 [ $F = 424.81 > F_{0.01}(1, 60) = 7.08$ ] 为极显著相关。这个生长量模型将为今后研究森林生产力提供简便可靠、操作性强的方法，从而大大提高了林业科学研究与管理的效率。

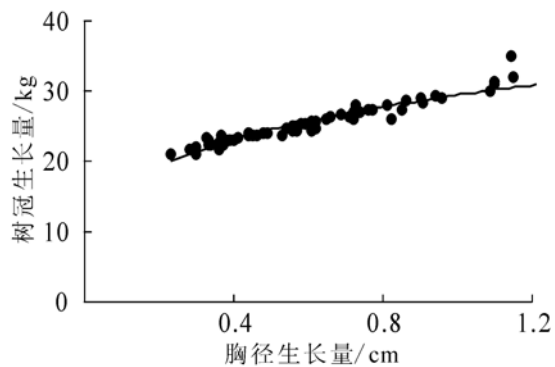


图 3 树冠生长量与胸径生长量的关系

Figure 3 Correlation between crown biomass

## 4 讨论

基于大量枝条的解析结果，建立了树冠生物量及生长量估算模型。基径作为描述枝条生长规律的一个重要因子，其功能相当于描述树干生长的胸径。许多研究表明：枝条基径随轮枝层的下降逐渐增大，而在靠近树冠底部位置出现略微减小的现象<sup>[14,19]</sup>。因此，为了尽可能地代表基径的分布模式，应在树冠各轮枝层中分别选取一定数量的枝条用于模型建立。

文章建立了树冠生长量与胸径生长量间的幂函数模型，从而把繁琐的树冠生长量研究工作转换为对胸径这一易测因子生长量的调查，大大提高了今后林业经营管理与科研工作的效率。通过对森林树冠结构特征及其动态发育规律的研究，可以更好地了解森林结构与生产力，理解森林生长的内在机制，以及各种经营措施对林木生长的影响，进而提高森林生态系统的经营管理水平，并为建立林木光合产量模型奠定基础。然而，无论采用模型估计法还是生长锥取样法，胸径生长量的估计值都存在一定的误差，从而在树冠生长量的估算过程中产生误差传递，因此，今后应加强对该类模型误差产生原因及大小的进一步分析。

林木的生长受林分密度影响很大，如姚东和等<sup>[22]</sup>对所选 3 种密度巨尾桉 *Eucalyptus grandis* × *urophylla* 林生物量和生产力的研究表明，单株树木各组分生物量除树干和果实生物量外，均随密度的增大而增加；林分各组分的生物量除果实生物量外，均随密度的增大而增加，果实生物量随密度的增大变化规律不明显。对于过密林分，除单株有效光合面积减少，光照条件不能满足需要外，营养空间不足也会导致合成产物少，因而单位林分蓄积量减少。基于以上考虑，文中得出的所有回归模型及规律仅适用文中林分密度为 1 736 株·hm<sup>-2</sup> 的条件。

### 参考文献：

[1] 刘兆刚, 郭承亮, 袁志强, 等. 落叶松人工林树冠形状的预估[J]. 东北林业大学学报, 1996, 24(6): 14-20.

- [2] 刘兆刚, 刘继明, 李凤日, 等. 樟子松人工林树冠结构的分形分析[J]. 2005, **25** (4): 465 - 470.
- [3] OKER-BLOM P, KELLOMAKI S. Theoretical computations on the role of crown shape in the absorption of light by forest trees [J]. *Math Biosci*, 1987, **59**: 291 - 311.
- [4] SPRINTZ P T, BURKHART H E. Relationships between tree crown, stem, and stand characteristics in unthinned loblolly pine plantations [J]. *Can J For Res*, 1987, **17**: 534 - 538.
- [5] ROEH R L, MAGUIRE D A. Crown profile models based on branch attributes in coastal Douglas-fir [J]. *For Ecol Manage*, 1997, **96**: 77 - 100.
- [6] 马克明, 祖元刚. 兴安落叶松分枝格局的分形特征[J]. 植物研究, 2000, **20** (2): 235 - 241.
- [7] 胥辉. 一种与材积相容的生物量模型[J]. 北京林业大学学报, 1999, **21** (5): 32 - 36.
- [8] 张会儒, 唐守正, 王奉瑜. 与材积相容的生物量模型的建立及其估计方法研究[J]. 林业科学研究, 1999, **12** (1): 53 - 59.
- [9] 刘志刚. 华北落叶松人工林林冠结构与光能利用的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 1993.
- [10] 李凤日. 落叶松人工林林分动态模拟系统的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 1994.
- [11] 肖文发. 杉木人工林冠层光合生理生态模拟研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 1994.
- [12] 周元满, 谢正生, 刘素青, 等. 短轮伐期桉树林分树冠生长的阶跃函数模型[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2006, **30** (2): 59 - 62.
- [13] ISHII H, CLEMENT J P, SHAW D C. Branch growth and crown form in old coastal Douglas-fir [J]. *For Ecol Manage*, 2000, **131**: 81 - 91.
- [14] GILMORE D W, SEYMOUR R S. Crown architecture of *Abies balsamea* from four canopy positions [J]. *Tree Physiol*, 1997, **17**: 71 - 80.
- [15] CLUZEAU C, LE GOFF N, OTTORINI J M. Development of primary branches and crown profile of *Fraxinus excelsior* [J]. *Can J For*, 1994, **24**: 2 315 - 2 323.
- [16] MÄKINEN H, MÄKELÄ A. Predicting basal area of Scots pine branches [J]. *For Ecol Manage*, 2003, **179**: 351 - 362.
- [17] MÄKINEN H, COLIN F. Predicting branch angle and branch diameter of Scots pine from usual tree measurements and stand structural information [J]. *Can J For Res*, 1998, **28**: 1 686 - 1 696.
- [18] 陈永瑞. 千烟洲湿地松人工林林分养分元素的特征[J]. 北京林业大学学报, 1999, **21** (6): 40 - 44.
- [19] 涂洁, 刘琪璟. 中亚热带红壤丘陵区湿地松枝条生长规律研究[J]. 浙江林学院学报, 2007, **24** (2): 162 - 167.
- [20] 张文军, 新村义昭. 旱柳个体生物量关系研究[J]. 内蒙古林业科技, 1998 (2): 22 - 25.
- [21] TIETEMA T. Biomass determination of fuel wood trees and bushes of Botswana [J]. *South Afr For Ecol Manage*, 1993, **60**: 257 - 269.
- [22] 唐守正, 张会儒, 胥辉. 相容性生物量模型的建立及其估计方法研究[J]. 林业科学, 2000, **36** (1): 19 - 27.
- [23] 姚东和, 杨民胜, 李志辉. 林分密度对巨尾桉生物产量及生产力的影响[J]. 中南林学院学报, 2000, **20** (3): 20 - 23.