

# 火炬松木材基本密度的株内变异\*

姜景民 孙海菁 吕本树

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 311400, 浙江富阳; 第一作者 35 岁, 男, 副研究员)

**摘要** 利用 6 株 27 年生火炬松伐倒木解析材料, 分析木材基本密度的株内变异规律。结果表明, 各年轮基本密度及相应的自髓心的断面基本密度的径向变异表现为, 在各断面高度随距髓心年轮数的增加而增大, 到一定年轮数后增加趋缓; 纵向变异则为自干基向上迅速下降, 3 ~ 5 m 高度以上保持相对稳定。相关分析表明各部位及相应的断面木材基本密度值  $BD$  与距髓心的年轮数  $R$  和其高度  $H$  位置有关, 可用  $BD = a + b/R + c/H$  来拟合两者的株内变化趋势。本研究样木的幼龄材与成熟材的过渡区为第 12 年轮左右, 幼年材与成熟材的基本密度相关随年轮数增加而趋显著及稳定, 对火炬松木材基本密度的早期选择宜在幼龄材至成熟材过渡年龄之后进行。

**关键词** 火炬松; 木材基本密度; 株内变异

**分类号** S718.46

木材是林业生产的主要产品, 木材的质量决定着木材的应用价值。但木材性质存在着多层次的变异, 包括种源间、林分间、个体间、个体内等<sup>[1]</sup>, 了解材性在各层次上的变异规律, 对于控制变异、合理生产和有效利用木材非常重要。火炬松(*Pinus taeda* L.) 是我国中北亚热带地区广泛引种栽培的速生用材树种, 在原产地对其材性有许多研究, 国内近年来对此也开展了较全面的工作<sup>[2]</sup>。本文利用国产成年样木材料, 对引种火炬松的木材基本密度的株内变异规律进行了探讨。

## 1 材料与方法

试材来自于浙江省富阳市早期引种的 27 年生火炬松林分, 6 株优势木胸径 25 ~ 30 cm, 树高 19.5 ~ 22.5 m, 伐倒后作生长解析, 并取 0、0.5、1.3、3.6 m 及以上各 1 m 段处圆盘至顶部。各圆盘自髓心向外取 30 楔形木块, 胸高盘包括东西南北 4 个方位, 其余盘为南北向 2 个方位。自内而外按 3 个年轮为 1 组分割楔形木块, 最外 1 组可能为 2、3、4 个年轮。用排水法测定各年轮组试材的基本密度。

各高度、年轮组部位的木材基本密度为该部位南北两向试材的加权值, 即  $BD = 1 / [(m_{1湿} + m_{2湿}) / (m_{1干} + m_{2干}) - 0.348]$ 。各圆盘自髓心的含不同年轮数断面的基本密度为自髓心向外各年轮组的加权密度值。几株样木相应的均值为该相应部位或断面的基本密度值。

统计方法包括方差分析、回归与相关分析。按 Loo 等<sup>[3]</sup>的方法将试材分为内外 2 组, 分别建立年轮与密度的回归方程, 用所建立幼龄材和成熟材的最小时的误差项直线方程的叉点来确定幼龄材向成熟材的过渡年轮。将各部位年轮及断面的测定值拟合相应的线性方程, 以模拟木材基本密度的变异趋势。

\* 本文为 1997 ~ 1999 年国家自然科学基金资助项目研究内容之一。刘昭息、何玉友、李霞同志参加树干解析工作。  
1997-12-30 收稿。

## 2 结果与分析

### 2.1 株内基本密度的各种变异

对6株样木的胸高盘径向4个方位、8个年轮组的测定值间,不同高度圆盘2个方位的全断面值间,不同高度盘的距髓心相同年轮组的测定值间等的差异作方差分析,结果如表1。表明各种测定值都存在着个体间的显著差异,各高度盘的不同年轮组间、同一年轮组的不同高度间及各高度的断面值间的差异亦均显著。其中以年轮组间的变异量最大。而方位间的差异未达到显著水平。为减少数据测定误差,以下分析中均以南北2个方位的加权值作为各高度、年轮组部位的值。

表1 木材基本密度的株内变异方差分析

材料	变因(df)	均方	材料	变因(df)	均方	材料	变因(df)	均方
胸高盘	个体(5)	0.012 8 <sup>*</sup>	各高度盘	个体(15)	0.003 0 <sup>*</sup>	各高度盘	个体(4)	0.076 7 <sup>**</sup>
	方位(3)	0.001 8 <sup>ns</sup>	全断面	高度(10)	0.003 6 <sup>*</sup>	年轮组	高度(10)	0.049 9 <sup>*</sup>
	年轮组(7)	0.042 7 <sup>**</sup>		方位(1)	0.001 <sup>ns</sup>		年轮(5)	0.099 6 <sup>**</sup>
	机误(176)	0.0080		机误(114)	0.003		机误(310)	0.009 4

注: \*\* 示1%差异水平, \* 示5%差异水平, ns 示差异不显著。下表同。

### 2.2 木材基本密度的径向变异

对各类树种木材基本密度个体内的径向变异有过大量的研究,对于松类,基本密度从近髓心向外增加的趋势是一致的<sup>[1]</sup>。Lo o 等<sup>[3]</sup>将火炬松的木材基本密度从内向外的变化分为4种式样,作者认为总的规律仍是随距髓心年轮数的增加而增大,一定年轮后增加趋缓,只不过趋缓的速度和时间在株间和高度间有所不同(图1)。图中所示5株样木胸高盘木材基本密度自内向外增加趋缓的年轮数是第9~15轮间。

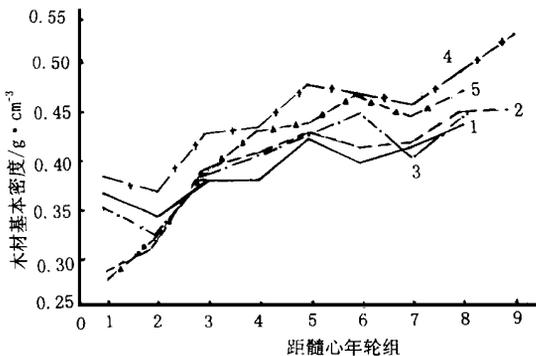


图1 各样木胸高盘木材基本密度的径向变异趋势

对5株样木各组部位测定值的合并均值分析表明,各高度盘从髓心向外均呈现木材基本密度相应增加的趋势,当然由于各高度圆盘所含年轮数不一样,基本密度的内外梯度亦不同。

但木材基本密度自内而外的径向增加趋势并非是平滑的线型,而是有着年轮部位间的波动。有些部位的测值低于其内层年轮组或增加趋势变缓。图1中7.6 m高度以下盘样的第4~6轮,5.6 m以下的第13~15轮,

2.6 m以下的第19~21轮均有这种现象。下部第1~3轮样值高于第4~6轮值,不排除内层未抽提样品有较多的松脂积聚之故,但结合解析木数据发现,第4~6轮的平均年轮宽度最大,而5.6 m以下第13~15年轮组和2.6 m以下第19~21年轮组的平均年轮宽度均小于其外侧的第16~18和22~24年轮组,从而前者的宽年轮和后者的窄年轮都产生了相似的低密度年轮区,即年轮的木材基本密度与生长速度无关。至于相同年份形成的上部年轮未表现出相应的

下降或趋缓现象, 应是代谢产物沿树干的分配和竞争, 林分中树干形成层细胞沿树干的分裂速率和分化时间的规律使然<sup>[4]</sup>。

同样, 圆盘断面加权基本密度也随年轮数增加呈上升趋势, 9~12 轮之前增加的梯度比较陡峭, 之后上升趋势缓(图 2)。

### 2.3 基本密度沿树干方向的株内变异

距髓心年轮数相同(非同一年龄阶段)部位的木材基本密度沿树干方向的纵向变化如图 3 所示。总的趋势是干基至胸高处基本密度最高, 向上至 3.6 m 段急剧下降, 变化较大, 以上各高度部位的测定值基本保持稳定。由于试材未经抽提, 干基段含有较多的抽提物, 不可避免会影响这种变化趋势的陡缓。

同一年份所形成的木材基本密度明显表现出沿树干高度自下而上减小的变化趋势(图 4)。Larson 认为<sup>[4]</sup>, 在生长季中, 晚材管胞的产生始于茎基, 沿树干向上开始逐渐延迟, 从而同一年生长轮下部具有较高的晚材率和较高的密度。

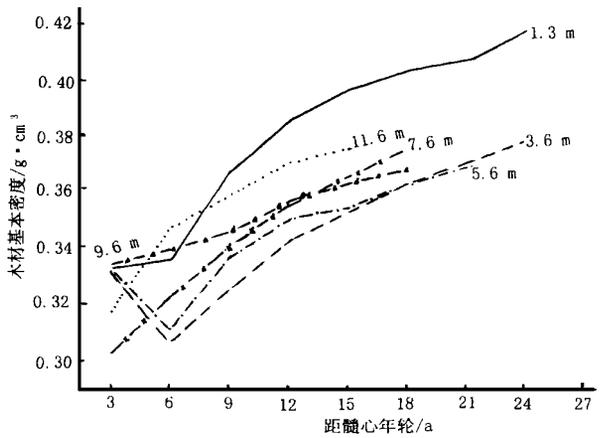


图 2 各高度盘断面随年轮数增加的基本密度变化

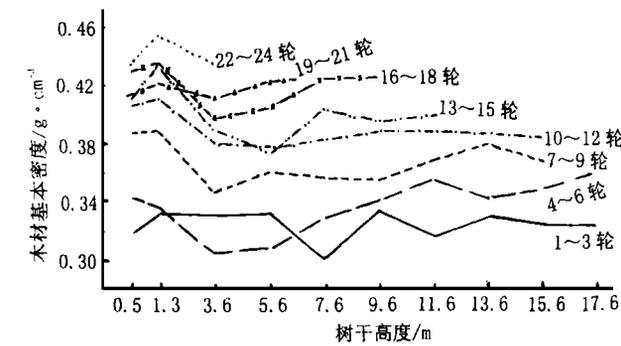


图 3 距髓心年轮数相同部位的基本密度纵向变化

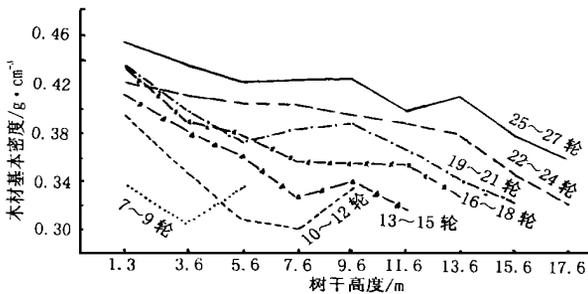


图 4 同一生长龄组木材基本密度的变化趋势

Farrar<sup>[4]</sup>发现人工林优势木的年轮宽度在叶量最大的干高处最宽, 树冠以下变窄, 干基部再次加宽。本研究样木的生长解析亦发现呈现此规律, 与基本密度的变化联系起来, 再次印证了木材基本密度与年轮宽度无相关而与形成位置有关的观点。

各高度盘距髓心年轮数相同的断面基本密度亦呈现相似的式样(图 3), 干基段密度最大, 向上至 3.6 m 盘处迅速下降, 之后即保持相对稳定, 差别不大。上部有些盘位的值高于其下盘位值, 原因可能是树干上端应力木含量较高, 枝节多而测定时难免影响。基本密度的这种纵向变异结果与 Megraw 的结论是一致的<sup>[5]</sup>。

圆盘全断面基本密度随高度的变化, 同样, 在 5.6 m 以下部位, 自下而上木材基本密度急剧降低, 木段两端值相

差约 15% ( $0.061 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ), 而其上直至 17.6 m 处, 两端值相差仅  $0.012 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 约 3.3%, 干基段材两端的密度梯度较上部木段大得多。

#### 2.4 木材基本密度株内变异趋势模型的拟合

基于木材基本密度在株内自内而外增加的径向变化和自下而上减小的纵向变化趋势, 以距髓心年轮数  $R$  和部位高度  $H$  作为变量来模拟树干内部木材基本密度的变化规律, 经比较分析, 适宜的拟合方程为  $BD = a + b/R + c/H$ 。经计算, 木材基本密度的株内部位间的拟合方程为:

$$BD = 0.4515 - 0.7435/R + 0.0094/H, \quad r = 0.8508 \quad (R \geq 3, H \geq 0.5 \text{ m})$$

木材基本密度的各部位断面值的拟合方程为:

$$BD = 0.3952 - 0.4269/R + 0.0161/H, \quad r = 0.7591 \quad (R \geq 3, H \geq 0.5 \text{ m})$$

#### 2.5 株内幼龄材向成熟材的过渡区

树干中央部分的木材基本密度低且变化急剧, 构成所谓的幼龄材, 此外区域基本密度高且相对均一, 是为成熟材。如前所述, 除干基段外, 3.6 m 以上部位幼龄材区由距髓心相对固定数目的年轮构成, 基本上与高度无关, 按拟合回归方法计算的样木几个高度水平的过渡区如表 2, 过渡区为距髓心第 10~14 个年轮, 大致上平均为第 12 轮, 上部稍大于干基。经计算样木不同高度水平幼龄材含量的理论值, 从干基到干顶其含量是逐渐增加的, 上部干材基本上为幼龄材。表中亦可发现, 幼—成过渡区存在株间差异。

表 2 样木幼龄材—成熟材过渡年轮

株号	高度/m			回 归 方 程	$M_{se}$
	1.3	3.6	4.6		
1	10.01	10.07	10.18	幼: $Y = 0.3291 + 0.0046X$	0.00023
				成: $Y = 0.3337 + 0.0048X$	0.00049
2	12.63	13.12	13.41	幼: $Y = 0.3574 + 0.0027X$	0.00037
				成: $Y = 0.3849 + 0.0044X$	0.00035
3	10.72	11.06	12.00	幼: $Y = 0.2166 + 0.0146X$	0.00019
				成: $Y = 0.3892 + 0.0027X$	0.00037
4	12.46	13.10	13.40	幼: $Y = 0.3211 + 0.0074X$	0.00018
				成: $Y = 0.2704 + 0.0036X$	0.00036
5	11.69	12.00	12.37	幼: $Y = 0.2797 + 0.0095X$	0.00019
				成: $Y = 0.3633 + 0.0025X$	0.00015
平 均	11.50	11.87	12.27	(式中, $Y$ ——基本密度, $X$ ——年轮数)	

#### 2.6 木材基本密度的幼—成年相关

计算胸高部位圆盘自髓心向外含不同年轮数的断面基本密度值之间的相关系数, 来衡量木材基本密度的幼—成年相关如表 3。结果显示, 距髓心 6 个年轮以内的幼年材基本密度与含较多年轮的断面值呈弱度相关。随年轮数增加, 相关系数有较大提高, 1~9 轮的值与 1~12 轮以上值的相关即达极显著, 随幼龄材年轮增加, 这种相关趋于稳定。因而可用 9~12 轮时的断面值来预测较大年轮时的木材基本密度, 也即对木材基本密度性状的早期选择应在树木达到幼龄材向成熟材转变的过渡期年龄之后进行较为可靠。

表 3 木材基本密度幼—成年相关关系

年轮数	1~3	1~6	1~9	1~12	1~15	1~18	1~21
1~6	0.951 3 <sup>**</sup>						
1~9	0.694 9 <sup>*</sup>	0.868 3 <sup>**</sup>					
1~12	0.252 9	0.484 8 <sup>*</sup>	0.850 0 <sup>**</sup>				
1~15	0.333 0	0.577 7 <sup>*</sup>	0.900 4 <sup>**</sup>	0.973 8 <sup>**</sup>			
1~18	0.288 8	0.514 9 <sup>*</sup>	0.857 2 <sup>**</sup>	0.980 5 <sup>**</sup>	0.986 9 <sup>**</sup>		
1~21	0.302 1	0.532 8 <sup>*</sup>	0.868 3 <sup>**</sup>	0.977 0 <sup>**</sup>	0.992 0 <sup>**</sup>	0.999 1 <sup>**</sup>	
1~25	0.277 5	0.520 2 <sup>*</sup>	0.849 5 <sup>**</sup>	0.944 4 <sup>**</sup>	0.986 6 <sup>**</sup>	0.985 2 <sup>**</sup>	0.990 4 <sup>**</sup>

### 3 结 论

(1) 火炬松木材基本密度存在着极显著的部位间差异, 木材基本密度的变异是双向的, 即自髓心到树皮的径向变异和自树基到干顶的纵向变异。各高度的径向变异总的规律是各部位木材基本密度随距髓心年轮数的增加而增大, 到一定年轮数后增加趋缓, 相应的断面加权基本密度亦呈相同的趋势。距髓心年轮数相同的年轮基本密度自下而上的变化表现为干基段值高, 至 3.6 m 间迅速下降, 之后即保持相对稳定。年轮数相同的断面密度自下而上呈相同趋势。干基段两端全断面基本密度变化梯度最大, 5.6 m 以上各木段两端梯度较小。

(2) 用距髓心处的年轮数  $R$  和其高度位置  $H$ , 拟合木材基本密度在株内部位间及其相应的断面值的变化公式, 分别为:

$$BD_{\text{部位}} = 0.4515 - 0.7435/R + 0.0094/H$$

$$BD_{\text{断面}} = 0.3952 - 0.4269/R + 0.0161/H$$

(3) 各部位的木材基本密度与其距髓心的距离(年轮数)及其高度位置有关, 与生长轮的宽窄即生长量并无肯定的正或负相关关系, 其内因是基本密度主要与晚材率密切相关, 树干外层和干基段的晚材率高, 基本密度大。气候因子和栽培措施造成的较低晚材产量使基本密度的径向变化出现年轮间波动。同一生长轮内上部因接近于树冠区和髓心, 晚材发生较迟, 密度低, 干基段较早出现晚材, 从而密度高。

(4) 树干中央部分的低密度幼龄材是正常的生理生长过程的结果, 由距髓心相对固定数量的年轮构成, 确定幼龄材向成熟材的过渡区对木材培育十分重要。本研究样木的过渡区为距髓心第 10~14 个年轮, 平均约第 12 轮。幼龄材的含量从干基到干顶逐渐增加。幼年材与成熟材的基本密度相关随年轮数增加而趋显著及稳定, 用 9~12 轮时的断面值来预测较大年龄时的断面值较为可靠, 即对木材基本密度的早期选择应在树木达到幼龄材至成熟材的过渡年龄之后进行。

(5) 木材基本密度的变化趋势有一定的株间差异, 从幼龄材向成熟材的过渡年龄亦有差异, 进行个体选择以降低幼龄材的含量是有可能的。

### 参 考 文 献

- 1 Zobel B J, van Buijtenen J P. Wood variation: its causes and control. Berlin: Springer, 1989.
- 2 鲍甫成, 江泽慧主编. 国家“八五”科技攻关短周期工业用材林木材性质研究(第一、二集). 世界林业研究, 1994, 7(专集), 1995, 8(专集).

- 3 Loo J A, Tauer C G, McNew R W. Genetic variation of the time of transition from juvenile to mature wood in loblolly pine. *Silvae Genetica*, 1985, 34(1): 14 ~ 19.
- 4 克累默尔 P J, 考兹洛夫斯基 T T. 木本植物生理学. 汪振儒等译. 北京: 中国林业出版社, 1985.
- 5 Megraw R A. Wood quality factors in loblolly pine. TAPPL Press, 1985.

## The Within-tree Variation of Wood Basic Density of Loblolly Pine

Jiang Jingmin   Sun Haiqing   Lu Benshu

(The Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, 311400, Fuyang, Zhejiang, China)

**Abstract** Six loblolly pine trees of 27 a were cut down as analysis trees and sliced into 3-ring group wood samples for the determination of wood basic density, the within-tree variations of basic density were studied in details. The results showed there existed radial variation and vertical variation of the ring wood basic density and the cross-section wood basic density of certain number of rings from pith. The radial variation from pith to bark at any given height is that the basic density increases from pith outward for about the first 15 rings and then levels out, the vertical variation from trunk base to top is that the basic density is the highest near the base and decreases fast upward within 3 ~ 5 m butt and then stays essentially constant with increasing height. The regression analyses show the certain ring wood basic density and cross-section wood basic density is the function of ring position from pith and sample height,  $BD = a + b/R + c/H$ . The age of transition from juvenile to mature wood is about 12 a, the wood basic density correlation of young timber stage and mature timber stage become notable and steady with the increase of age of young timber, the early selection for wood basic density would be done after the transition age of juvenile to mature wood.

**Key words** *Pinus taeda*; wood basic density; within-tree variation