

# 杨树无性系木材基本密度和纤维素含量株内变异

方升佐, 杨文忠

(南京林业大学森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037)

**摘要** 对 I-69 [*Populus deltoids* Bartr. cv. Lux]、I-72 杨 [*P. × euramericana* (Dode) Guinier cv. San Martino]、NL-80351 [I-69 × I-63 (*P. deltoids* Bartr. cv. Harvard)]、南林-95、南林-1388、南林-895、南林-447 等 7 个杨树无性系的木材基本密度和纤维素含量进行了系统研究。其中, 南林-95、南林-1388、南林-895、南林-447 是从 I-69 × I-45 [*P. × euramericana* (Dode) Guinier cv. I-45/51] 杂交 F<sub>1</sub> 代中选育出来的新无性系。研究结果表明, 同为 11 a 生时, 7 个无性系胸径处木材基本密度差异达显著水平, 从大至小依次为南林-895、I-72、I-69、南林-1388、南林-95、NL-80351、南林-447; 不同杨树无性系间胸径处纤维素含量也存在显著差异, 从高至低依次排序为南林-95、南林-447、南林-895、南林-1388、I-69、NL-80351、I-72。木材基本密度和纤维素含量在株内的径向变异规律均为从髓心向外以曲线形式缓慢增大, 其中后者的变异模式为以多项式方程来描述的效果最好。木材基本密度纵向变异规律为从树干基部向上有随树木高度的增加而逐渐增大的趋势, 木材基本密度最小值出现在基径处。本文的研究结果可为杨树人工林的定向培育提供理论依据。

**关键词:** 杨树; 无性系; 株内变异; 木材基本密度; 纤维素含量

**中图分类号:** S781.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0978(2004)01-0019-05

**Within tree variation in wood basic density and cellulose content of poplar clones** FANG Sheng-zuo, YANG Wen-zhong (College of Forestry Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2004, 13(1): 19-23

**Abstract:** The wood basic density and cellulose content of 7 poplar clones were measured and the variation in wood basic density and cellulose content among clones and within trees were also analyzed. The 7 poplar clones were clone I-69 (*Populus deltoids* Bartr. cv. Lux), clone I-72 [*P. × euramericana* (Dode) Guinier cv. San Martino], clone NL-80351, a hybrid of clone I-69 × clone I-63 (*P. deltoids* Bartr. cv. Harvard), and Nanlin-95, Nanlin-895, Nanlin-447 and Nanlin-1388, the four clones from new hybrids of clone I-69 × clone I-45 [*P. × euramericana* (Dode) Guinier cv. I-45/51]. The results indicated that there were significant differences both in wood basic density and cellulose content among 7 poplar clones. The order of mean wood basic density at breast height from high to low was Nanlin-895, I-72, I-69, Nanlin-1388, Nanlin-95, NL-80351, Nanlin-447 in 11 years old, while the order of mean cellulose content at breast height from high to low was Nanlin-95, Nanlin-447, Nanlin-895, Nanlin-1388, I-69, NL-80351, I-72. Wood basic density and cellulose content gradually increased from pith to bark. Regression analysis indicated that a polynomial function best described the relationship both between cellulose content and growth ring number (cambial age). Wood basic density was the least at the base of trees and gradually increased from base to peak. The results from this study would provide some bases for oriented culture of poplar plantations in the future.

**Key words:** *Populus* spp.; clones; within tree variation; wood basic density; cellulose content

木材是林业的主要产品之一, 尤其是随着现代社会对木材需求的大量增加, 作为以生产木材为目的的人工林已发展成为一个的产业体系。杨树 (*Populus* spp.) 是世界中纬度平原地区栽培面积最大、木材产量最高的速生用材树种之一。自 20 世纪 70 年代初我国引入美洲黑杨 (*Populus deltoides*)、欧美杨 (*P. × euramericana*) 等无性系以来, 20 世纪 80 年代在黄淮海地区、江汉平原及江浙等广大地区大

面积推广, 已成为我国主要的工业用材经营树种之一<sup>[1,2]</sup>。木材密度和纤维素含量变化规律是树木年轮材质分析的主要参数之一, 也是反映木材及其利用的重要指标<sup>[3]</sup>。木材性质主要与树木的遗传因素

收稿日期: 2003-07-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30070616)

作者简介: 方升佐(1963-), 男, 安徽歙县人, 博士, 教授, 主要从事人工林定向培育的教学与研究工作。

有关,但生境对其变化规律也有一定程度的影响,特别是树木生长发育的年龄阶段<sup>[4]</sup>。就造纸而言,纤维原料的木材密度、纤维形态及纤维素含量是纤维原料评价的重要依据,木材密度及纤维素含量直接影响到制浆得率。为此本文研究了不同杨树无性系的木材基本密度及纤维素含量的株内变异规律,旨在为今后杨树人工林的定向培育和大面积推广提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验地概况

实验林设在江苏省宝应县航运林场,地理位置为东经 119°09',北纬 33°08',属季风半湿润气候。年平均气温 14.3℃,1 月平均气温 0.4℃,7 月平均气温 27.6℃,极端最低气温 -22.9℃,极端最高气温 40.3℃,无霜期 229 d,年均降雨量 964.1 mm,年平均相对湿度 75%,年日照时数 2 390.3 h,≥10℃积温 4 569.6℃。地貌为古泻湖相堆积的浅洼平原,土壤上层为黑褐色的粘土,下层为浅黄色的沙土,均为湖水退后堆积而成。土壤 pH 值为 7.8,有机质、全 N、速效 K 及速效 P 的含量分别为 0.84%、0.064%、0.001 085% 和 0.000 43%,肥力中等偏下,地下水位 0.8 m。

### 1.2 实验材料

供试的 7 个杨树无性系是 I-69 (*P. deltoids* Bartr. cv. Lux)、I-72 杨 [*P. × euramericana* (Dode) Guinier cv. San Martino)、NL-80351、南林-95、南林-1388、南林-895 和南林-447。其中,NL-80351 为从 I-69 × I-63 (*P. deltoids* Bartr. cv. Harvard) 杂交 F<sub>1</sub> 代中选育出来的无性系;南林-95、南林-1388、南林-895 和南林-447 是从 I-69 × I-45 [*P. × euramericana* (Dode) Guinier cv. I-45/51] 杂交 F<sub>1</sub> 代中选育出来的无性系。造林时,均为 1 年根 1 年干苗,种植穴规格为 0.8m × 0.8m × 0.8m。I-69、I-72 和 NL-80351 杨树 1992 年春季造林,株行距为 4m × 5m;南林-95、南林-1388、南林-895 和南林-447 于 1993 年造林,株行距为 6m × 6m。

### 1.3 研究方法

1.3.1 取样方法 按国家标准 GB1927-1943-91《木材物理力学试材采集方法》进行。

在试验地中确定标准地,在标准地中实测 25 棵

树木胸径,以平均胸径作为标准进行林分标准木选择。标准木伐到后,详测各生长因子,并从树高 0、1.3、3.6、5.6 和 7.6 m 等处截取 5 cm 厚的圆盘各 1 个带回实验室。试材运回后,测定各年轮直径,分年轮分早晚材削制木材密度测定样片,并分年轮将胸径处剩余材料粉碎,过 40~60 目筛,用于测定纤维素含量。

1.3.2 木材基本密度测定 试样分不同高度圆盘、分年轮按早晚材切成木材小片 (20mm × 2mm × 2mm),并编号供测定密度用。样片在蒸馏水中浸泡至饱和后称重,作为样品湿重;然后在 (102 ± 3)℃ 下烘干至衡重作为样品绝对干重。按下式计算木材的基本密度<sup>[5]</sup>:

基本密度 = 1 / [(样品湿重 / 样品绝对干重) - 0.346]

1.3.3 纤维素含量测定 纤维素含量测定采用硝酸-乙醇法<sup>[6]</sup>,用 20% 硝酸及 80% 乙醇混合液处理木材样品,使其中所含木素变为硝化木素而溶于乙醇中,将剩余残渣过滤后,用水冲洗烘干,测定其含量即为纤维素含量。具体方法为:精确称取 1 g 左右样品置于 250 mL 洁净干燥的锥形瓶中,然后加入 25 mL 硝酸-乙醇混合液,在沸水浴中加热 60 min。用滤器倾掉已经蒸煮的硝酸-乙醇,重新加入 25 mL 硝酸-乙醇混合液继续蒸煮,重复 3 次。为了确保精度,需将锥形瓶再次用 10 mL 硝酸-乙醇混合液洗涤并用热水冲洗过滤,最后用乙醇洗涤 2 次 (每次 10 mL),将样品在 105℃ 下烘干至衡重,称量,即为纤维素含量。并用以下公式进行计算:

$$\text{木材原料纤维素含量} / \% = \frac{(G_1 - G)}{G_2 \times (100 - W)} \times 100\%$$

式中:G 为玻璃滤器烘干后的质量/g;G<sub>1</sub> 为经烘干后玻璃滤器连同残渣质量/g;G<sub>2</sub> 为风干试样质量/g;W 为试样含水量/%

## 2 结果与分析

### 2.1 杨树无性系木材基本密度和纤维素含量的差异

木材基本密度是判断木材物理力学性质及确定木材用途的有效参考指标,同为 11 a 生时,7 个无性系胸径处木材基本密度达差异显著水平 ( $\alpha = 0.01$ ),从高到低依次排序为南林-895、I-72、I-69、南林-1388、南林-95、NL-80351、南林-447 (见表 1)。

Duncan 多重比较分析表明( $\alpha = 0.05$ ),南林-895 和 I-72 杨与南林-447 和 NL-80351 无性系间木材密度差异达到显著水平,其他无性系间差异不显著。与 I-69 杨相比,南林-895 和 I-72 杨的木材基本密度分别高 3.4% 和 2.6%,而南林-1388、南林-95、NL-80351 和南林-447 的木材基本密度分别仅为 I-69 杨的 99.5%、98.4%、96.7% 和 96.6%。

表 1 杨树无性系胸径处平均木材基本密度和纤维素含量的变异  
Table 1 Variation in mean wood basic density and cellulose content at breast height in 7 poplar clones

无性系 <sup>1)</sup> Clone <sup>1)</sup>	木材基本密度/ $g \cdot cm^{-3}$ Wood basic density	纤维素含量/% Cellulose content
NL-80351	0.374	50.5
I-69	0.387	51.1
I-72	0.397	50.2
南林-95 Nanlin-95	0.381	54.9
南林-447 Nanlin-447	0.374	53.4
南林-1388 Nanlin-1388	0.385	51.5
南林-895 Nanlin-895	0.400	53.3

<sup>1)</sup> I-69: *Populus deltoids* Bartr. cv. Lux; I-72: *P. \times euramericana* (Dode) Guinier cv. San Martino; NL-80351: I-69 \times I-63 (*P. deltoids* Bartr. cv. Harvard); Nanlin-95, Nanlin-447, Nanlin-1388 and Nanlin-895: I-69 \times I-45 (*P. \times euramericana* (Dode) Guinier cv. I-45/51).

由表 1 还可以看出,不同杨树无性系间胸径处纤维素含量也存在差异。方差分析表明,7 个无性系间胸径处纤维素含量存在显著差异( $\alpha = 0.01$ ),其大小排序依次为南林-95、南林-447、南林-895、南林-1388、I-69、NL-80351、I-72。Duncan 多重比较分析

表明( $\alpha = 0.05$ ),南林-95 与其他 6 个杨树无性系间差异显著,南林-447 与南林-895 杨差异不显著,但南林-447 和南林-895 与其他 4 个无性系间异达到显著水平,其他无性系间差异不显著。与 I-69 杨相比,南林-95、南林-447、南林-895 和南林-1388 杨的木材纤维素含量分别高 7.5%、4.6%、4.4% 和 0.8%,而 NL-80351 和 I-72 的木材纤维素含量分别仅为 I-69 杨的 98.8% 和 98.2%。

2.2 杨树无性系木材基本密度和纤维素含量的径向变异

2.2.1 木材基本密度的径向变异 对木材密度的变异规律有过不少的研究<sup>[7~10]</sup>,尽管密度变异较大,但并不是无规律可循。Panshin 等人在总结大量变异规律的基础上将密度径向变异划分为 3 种类型:(1) 自髓心向外,最初递减,然后向外增加;(2) 髓心附近密度高于树皮附近密度,密度自髓心到树皮以直线或曲线形式降低;(3) 自髓心向外,密度以抛物线状增加<sup>[11]</sup>。

本文对 7 个杨树无性系胸径处的木材基本密度进行了研究(见图 1)。从 7 个杨树无性系平均木材基本密度径向变异来看,杨树南北向密度变异模式属于第 3 种类型,即从髓心向外以曲线形式缓慢增加。从图中明显可以看出,第 1 年轮处密度为最小,并从第 1 年轮起木材基本密度开始增大,与第 4 年轮的密度明显形成一个凸弧线形,随后密度以非常缓慢的形式又开始增大,也即径向变异都为自髓心

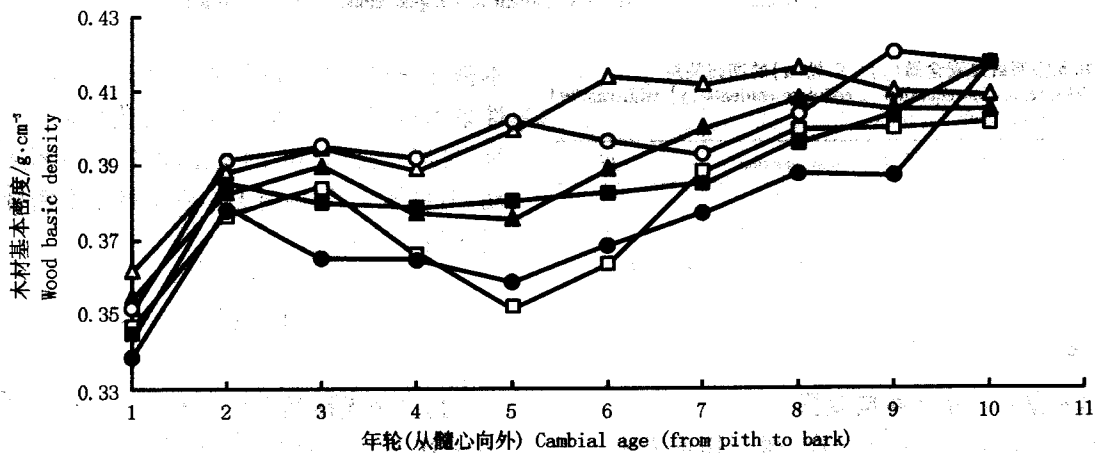


图 1 杨树胸径处南北向及早晚材木材基本密度变化  
Fig. 1 The variation of wood basic densities at breast height in north and south positions, and in earlywood and latewood in poplar clones

向外保持平稳波动上升,这与鲍甫成等对生长在长江滩地类型上的3个品系速生杨树人工林木材密度变异规律的研究一致<sup>[7]</sup>。

杨树属于环孔材,在环孔材中通常早材体积很固定<sup>[5]</sup>。所以,以早材密度作为木材密度径向变异规律研究的指标可能更为实用。从7个杨树无性系南北向早晚材木材基本密度平均值的变化可以看出,早材的变异具有典型的以曲线形式从髓心向外增加的趋势,与平均密度的变异规律相一致。晚材密度明显大于早材,早材密度变化波动程度也明显大于晚材,尤其是在南向变化中更能体现出密度变化的这种模式。首先,前3年轮内木材密度逐渐增大,之后又缓慢下降,到第4年轮达到最小值后又开

始增大,至第6年轮趋于稳定,以后各年轮中木材密度只有微小的波动。

2.2.2 纤维素含量的径向变异 7个杨树无性系纤维素含量与年轮的关系见图2。从图2可以看出,杨树无性系胸径处纤维素含量随着年轮的增加而增大,这也进一步说明随着树木生长年龄的增大其材性在逐渐改善,与曹福亮等人对杨树的研究结果一致<sup>[12]</sup>。对7个杨树无性系纤维素含量的平均值与树木年轮进行了回归分析,得到回归方程(见表2)。从表2可以看出,杨树无性系纤维素含量与年轮间存在极显著的对数式、多项式、乘幂式的回归关系,其中以多项式方程的相关系数最高。

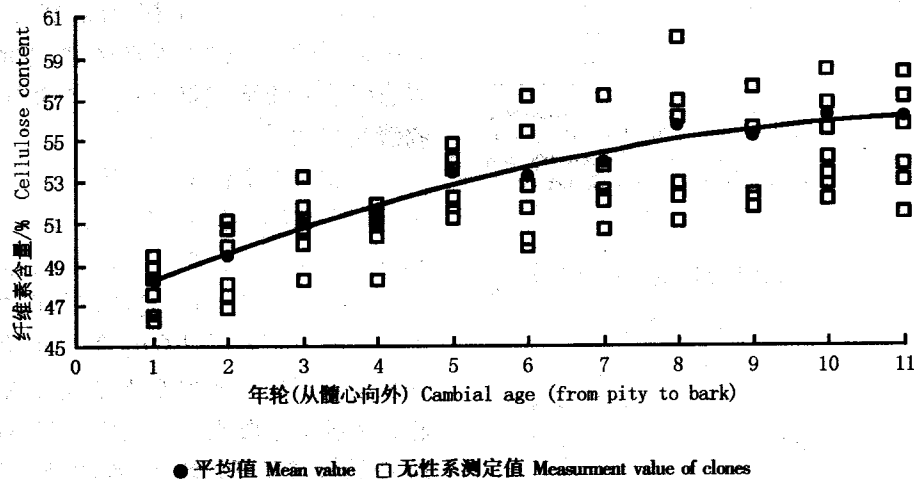


图2 7个杨树无性系纤维素含量的径向变化  
Fig. 2 Radial variation of cellulose content of 7 poplar clones with cambial age

表2 杨树无性系纤维素含量(y)与年轮(x)的回归关系  
Table 2 The regression equation of cellulose contents (y) with cambial age (x) of poplar clones

模型 Model	回归方程 Regression equation	$R^2$
直线型	$y = 0.6389x + 47.914$	0.7993
对数式	$y = 2.8749\ln(x) + 47.173$	0.8168
多项式	$y = 46.235 - 0.0646x^2 + 1.4139x$	0.8630
乘幂式	$y = 47.262x^{0.0564}$	0.8178
指数式	$y = 47.967e^{0.0125x}$	0.7946

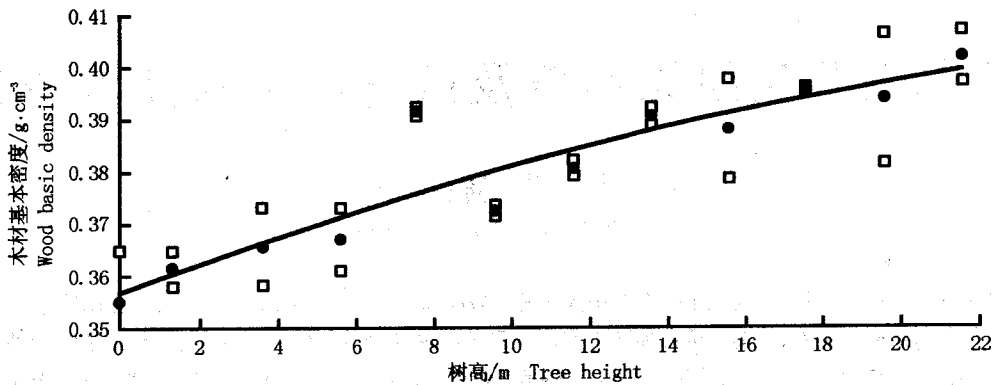
### 2.3 木材基本密度的纵向变异

有学者认为,沿树干方向,树干横截面木材平均密度的变化也可分为3类:(1)从树干基部向上密度逐渐变大;(2)从树干基部向上密度逐渐变小;(3)从树干基部向上密度逐渐变小,中间大致不变,而上部又逐渐变大<sup>[11]</sup>。从南林-95和南林-895的木材基

本密度随树高变化的趋势可以看出(见图3),杨树无性系木材基本密度随树高的变化规律显然属于第1种,虽然随树木高度的变化,木材基本密度变化有波动,但总体来看,杨树无性系木材基本密度随树高的增加而逐渐增大。

## 3 结 论

1) 7个无性系胸径处木材基本密度达显著差异( $\alpha = 0.01$ ),其大小依次排序为南林-895、I-72、I-69、南林-1388、南林-95、NL-80351、南林-447;不同杨树无性系间胸径处纤维素含量也存在差异,方差分析表明,7个无性系间胸径处纤维素含量存在显著差异( $\alpha = 0.01$ ),其高低依次排序为南林-95、南林-447、



● 平均值 Mean value □ 无性系测定值 Measurement value of clones

图3 2个杨树无性系(南林-95、南林-895)木材基本密度的纵向变异

Fig. 3 Vertical variation of wood basic density with tree height in 2 poplar clones (Nanlin-95 and Nanlin-895)

南林-895、南林-1388、I-69、NL-80351、I-72。

2) 杨树木材基本密度径向变异规律为:第1年轮处密度最小,从髓心向外以曲线形式缓慢增大;木材基本密度纵向变异规律为:从树干基部向上有随树木高度的增加而逐渐增大的趋势,木材基本密度最小值出现在地径处。

3) 杨树无性系胸径处纤维素含量随年轮的增加而增大,这也进一步说明随着树木生长年龄的增大,其材性在逐渐改善。对7个杨树无性系纤维素含量的平均值与树木年轮进行了回归分析,得出纤维素含量与年轮间存在极显著的对数式( $R^2 = 0.8168$ )、多项式( $R^2 = 0.8630$ )、乘幂式( $R^2 = 0.8178$ )的回归关系。

#### 参考文献:

- [1] 方升佐,徐锡增,单兴寿,等. 杨树超短轮伐期经营的生产力及材性的研究[J]. 林业科学,1996,32(4):334-341.
- [2] Fang Shengzuo, Xu Xizeng, Lu Shixing, et al. Growth dynamics and biomass production in short-rotation poplar plantations: 6-year results for three clones at four spacings[J]. Biomass and Bioenergy, 1999, 17: 415-425.
- [3] Cotterill P, Macrae S. Improving eucalyptus pulp and paper quality

- using genetic selection and good organization [J]. Tappi Journal, 1997, 80(6):82-89.
- [4] Cave I D, Walker J C F. Stiffness of wood in fast-grown plantation softwoods: the influence of microfibril angle [J]. Forest Products of Journal, 1994,44(5): 43-48.
- [5] 成俊卿. 木材学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1985.
- [6] 北京造纸研究所. 造纸工业化学分析[M]. 北京: 轻工业出版社, 1975.
- [7] 鲍甫成, 江泽慧, 刘盛全. 人工林杨树材性与生长轮年龄和生长速度关系的模型[J]. 林业科学, 1999, 35(1): 77-82.
- [8] 刘盛全. 刺楸木材基本密度的变异研究[J]. 林业科技通讯, 1996(10): 9-11.
- [9] 骆秀琴, 文小明, 管宁. 木材材性株内径向变异模式初探 IV. 17个欧美杨无性系木材密度径向变异模式的研究[J]. 林业科学, 1997, 33(1): 75-82.
- [10] 文小明, 骆秀琴, 管宁. 木材材性株内径向变异模式初探 III. 种植密度对湿地松、火炬松木材密度径向变异模式的影响[J]. 林业科学, 1996, 32(6): 536-542.
- [11] Johansson K. Influence of initial spacing and tree class on the basic density of *Picea abies* [J]. Scand J For Res, 1993, 8(1): 18-27.
- [12] 曹福亮, 吕士行, 徐锡增, 等. 杨树短轮伐期经营木材制浆性能的研究[A]. 吕士行. 杨树定向培育技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 1997. 64-72.