

# 南方型无性系杨树木材密度变异及其与造林密度的关系

李大纲

(南京林业大学木材工业学院, 南京 210037)

**摘要：** 研究表明，沿纵向木材密度随树高的增加而增加；沿径向从内向外，木材密度满足 $Y=a+bX+cX^2+dX^3$ 的三次抛物线方程。6~7年时木材密度最大，并且满足幼龄材向成熟材过渡的转折点，各无性系在不同株行距下木材密度差异不明著。

**关键词：** 木材密度；造林密度；变异；南方型无性系杨树

## Relationship Between Wood Density Variation and Planting Density of the Southern Type Clones Popular

LI Da-gang

(College of Wood Science & Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037)

**Abstract :** The paper has been reported the results of the variation of wood density with the planting density. The results as follows: The wood density increases progressively from the base to the top. The variation of wood density from pith to the bark shows S-curve, the regression equation is  $Y=a+bX+cX^2+dX^3$ . The maximum wood density is at the 6~7 years old, which is the transition zone from juvenile wood to mature wood. Statistical analysis indicates that there are significant differences wood density exist at the different spacing among the four southern type clones.

**Keywords:** Wood Density; Planting Density; Variation ; Southern Type Clones Popular

木材密度是木材性质的一项重要指标，可以根据它来估计木材的重量，研究木材材性的变异，判断木材的工艺和物理力学性质。国内外许多学者都把木材密度作为研究木材材性的重点和基本出发点。由于木材密度直接影响木纤维制品和木材制品的质量和产量，因此它是制约林产品好坏的一把钥匙。造林密度是林木栽培理论中的基本理论之一，选择适宜的造林密度是提高木材产量和质量的重要林业措施之一<sup>[1]</sup>。通过对木材密度的研究将为合理利用杨树这一速生树种提供材质指标。作者对黑杨派南方型无性系(简称"意杨")的四个无性系杨树在四种造林密度下的木材密度变异，年轮宽度的变异性状进行了研究。

### 1 试验材料和方法

试材是黑杨派南方型无性系的 *Populus deltoides* Bartr.cv"Harvard"(I-63杨), *P.deltoides* Barr.cv"Lux"(I-69 杨), *P.xeuramericana* (Dode)Guinier cv.Sam Martino(I-72 杨) 和 *P.xeuramericana* (Dode) Guinier cv. I-214(I-214杨)。造林密度为525株/公顷、400株/公顷、278株/公顷和204株/公顷，相应的株行距分别为4×4m、5×5m、6×6m和7×7m。共计16株树。密度试验林设在江苏睢宁县林科所，林地为黄河故道，冲击沙土，土壤贫瘠，有机养分少。木材密度试样是从每株树干的0.3m、1.3m、3.3m、5.3m、7.3m处截取5cm厚园盘，每个园盘沿东、南、西、北四个方向截取宽为1cm的中心试条，沿径向从外向内按年轮宽度逐年制取木材试片，先测量年轮宽度再用最大含水率法测定木材基本密度。

基金项目：国家自然科学基金资助项目（项目编号：30271050）

作者简介：李大纲，1959年生，男，博士后，教授，博士生导师。南京林业大学木材工业学院包装工程系系主任，主要从事木材科学与技术，新型包装材料的教学与科研。电话：025-5427628；电子邮件：[Lidagang@njfu.edu.cn](mailto:Lidagang@njfu.edu.cn)

## 2 结果与分析

### 2.1 纵向变异

从表1中可见木材密度四个方位间差异不显著。四种株行距间和离地不同高度差异都是极显著。方位与株行距和树高部位的交互以及株行距与树高部位的交互均不显著。分析结果说明不同造林密度对木材密度有影响,而在相同造林密度条件下离地不同高度木材密度不同。叶志宏<sup>[4]</sup>,周志春<sup>[5]</sup>对杉木和马尾松研究后指出"无论是木材密度,还是管胞长度,胸高处东南西北四个方向之间的差异都没有达到统计上的显著水平,并认为,在胸高处某一半径方向上所取样品的性状测定值,基本上可以代替给该截面的性状值"。

表1 不同株行距、不同树干高度和不同方位的木材基本密度方差分析

变异来源	自由度	离差平方和	均方	F值	F <sub>0.01</sub>
方位(A)	3	0.000409	0.000136	0.45711	4.38
株行距(B)	3	0.012696	0.004232	14.1854**	4.38
树高部位(C)	4	0.008367	0.002092	7.0109**	3.89
A×B	9	0.005010	0.000557	1.8657	2.95
A×C	2	0.003039	0.000253	0.8489	2.72
B×C	2	0.016985	0.001415	4.7443**	2.72
A×B×C	36	0.010740	0.000298		
总变异	79	0.057246			

表2的结果表明无性系间、株行距间、离地不同高度、无性系与株行距的交互间木材密度差异极显著,而离地不同高度与株行距和离地不同高度与无性系交互之间的木材密度差异均不显著。Einspahr(1972)<sup>[3]</sup>对健杨(*Populus tremuloides*)的研究后指出"树干基部的木材密度高,随之减少然后又增加"。Yanchuk(1983)<sup>[3]</sup>对健杨的研究指出"在树干基部木材密度较大,二分之一树高时减少到最小,靠近树干顶部又增加"。

沿树高方向木材密度呈直线增加,满足 $Y=a+bX$ 的直线方程。回归方程为: $Y=0.3306+0.0043X$ ,相关系数为:0.878, F值:21.6\*\*。

表2 各无性系在不同株行距下离地不同高度木材密度的方差分析

变异来源	自由度	离差平方和	均方	F值	F <sub>0.01</sub>
离地高(A)	4	0.00602	0.00151	4.907**	3.89
无性系(B)	3	0.04640	0.01547	50.440**	4.38
株行距(C)	3	0.00574	0.01913	6.238**	4.38
A×B	12	0.00194	0.00016	0.528	2.72
A×C	12	0.00197	0.00016	0.535	2.72
B×C	9	0.01029	0.00114	3.728**	2.95
A×B×C	36	0.01104	0.00031		
总变异	79	0.08339			

表3 各无性系木材密度随树高的变化(以四个株行距的数据为基准)

树高(m)	0.3	1.3	3.3	5.3	7.3
63杨	0.321	0.337	0.342	0.339	0.347
69杨	0.375	0.382	0.376	0.385	0.404
72杨	0.315	0.314	0.315	0.325	0.336
214杨	0.323	0.317	0.340	0.340	0.350

表4 各株行距下木材密度随树高的变化(以四个无性系的数据为基准)

树高(m)	0.3	1.3	3.3	5.3	7.3
4×4m	0.337	0.337	0.345	0.344	0.349
5×5m	0.336	0.336	0.336	0.342	0.359

6×6m	0.314	0.335	0.335	0.331	0.353
7×7m	0.346	0.342	0.357	0.366	0.375

从表3和表4可见, 四个无性系中离地不同高度均是I-69杨的木材密度最大, I-63杨和I-214杨次之, I-72杨最小。四个株行距中7×7m的木材密度最大, 4×4m和5×5m次之, 6×6m最小。这说明若要培育速生丰产优质的在径级木材可选7×7m的株行距, 因为不仅树木生长迅速, 而且木材密度反而增加。

## 2.2 径向变异

表5 胸高处不同株行距、不同树龄、不同方位的木材基本密度的方差分析

变异来源	自由度	离差平方和	均方	F值	F <sub>0.01</sub>
树龄(A)	9	0.07133	0.00793	10.1146**	2.64
株行距(B)	3	0.04446	0.01480	18.9136**	4.04
方位(C)	3	0.00430	0.00143	1.8281	4.04
A×B	27	0.02186	0.00081	1.0333	1.97
A×C	27	0.01201	0.00045	0.5674	1.97
B×C	9	0.01225	0.00136	1.7367	2.64
A×B×C	81	0.06347	0.00078		
总变异	159	0.22967			

表5的方差分析表明胸高处从内向外不同树龄间和株行距间木材密度差异极显著, 方位间差异不显著。

表6的方差分析表明木材密度和无性系间差异极显著, 树龄、无性系、株行距与株行距间交互略显著, 树龄与株行距间交互、树龄与无性系间交互的差异不显著。Einspahr(1972)<sup>[3]</sup>对健杨研究后指出"髓心周围的木材密度高, 在3-5年处木材密度降低, 随后又增加"。Yanchuk(1983)<sup>[3]</sup>对健杨的研究后指出"髓心附近的木材密度高, 随后减少, 大约在15轮后的成熟材区域又增加"。曹福亮等(1989)<sup>[2]</sup>对10年生黑杨派南方型无性系用有序聚类分析杨树生长量后认为四个无性系的生长均可划分出四个生长期即生长初期(1~2年)、速生期 I (3~5年)、速生期 II (6~7年)和生长后期(8~10年)。

表6 胸高处各无性系在不同株行距下不同年龄木材密度的方差分析

变异来源	自由度	离差平方和	均方	F值	F <sub>0.01</sub>
年龄(A)	9	0.03153	0.00350	12.128**	2.64
无性系(B)	3	0.12137	0.04060	140.056**	4.04
株行距(C)	3	0.00820	0.00273	9.458**	4.04
A×B	27	0.00745	0.00028	0.955	1.97
A×C	27	0.01292	0.00048	1.656*	1.97
B×C	9	0.02142	0.00238	8.240**	2.64
A×B×C	81	0.02340	0.00029		
总变异	159	0.22627			

潘欣<sup>[3]</sup>指出从髓到树皮密度的变化有三种:①密度平均值从髓到树皮增加; ②密度平均值从髓向外逐渐降低, 而后又升高, 直到树皮为止; ③靠髓心的木材密度平均值高 近树皮的木材密度平均值, 向外呈下降趋势。

研究表明, 杨树木材密度从内向外呈S型变化, 属于第二种类型。在1~2年木材密度较大, 3~5年最小, 6~9年增加并出现峰值, 9~10年减少或增加。这一变化规律正好与曹福亮等提出树木生长的四个时期相对应。进一步的研究发现在髓心周围宽年轮处木材密度较大是与该区域具有胶质木纤维这一异常特征有关, 因为厚壁的胶质木纤维较多, 导管减少, 木材密度增加。在3~4轮处木材密度最低表明宽年轮处细胞壁较薄。在7-8轮处木材密度变大并出现峰值则表明树木进入数量成熟龄。

表7表明, 南方型无性系杨树在不同株行距下其木材密度沿径向的变化均满足

$Y=a+bX+cX^2+dX^3$  的三次抛物线方程。16株树木材密度的平均值的三次抛物线方程为：  
 $Y=0.3498-2.15 \times 10^{-2}X+4.696 \times 10^{-3}X^2-2.506 \times 10^{-4}X^3$ ，复相关系数平方=0.8778，F值=16.75\*\*。

表7 胸高处木材密度与生长轮年龄的三次抛物线

无性系	株行距 (m)	回归方程( $Y=a+bX+cX^2+dX^3$ )				
		a	b( $\times 10^{-2}$ )	c( $\times 10^{-3}$ )	d( $\times 10^{-4}$ )	r <sup>2</sup>
63杨	4×4	0.391	-5.35	9.93	-4.86	0.612
	5×5	0.437	-4.38	7.06	-3.34	0.665
	6×6	0.265	1.94	-1.63	6.02	0.679
	7×7	0.283	-3.32	2.85	-1.87	0.802
69杨	4×4	0.445	-6.35	1.38	-7.73	0.826
	5×5	0.367	-1.92	4.92	-2.62	0.726
	6×6	0.313	3.11	-5.40	2.93	0.790
	7×7	0.430	-3.18	5.69	-2.66	0.851
214杨	4×4	0.358	-3.85	7.80	-4.16	0.602
	5×5	0.338	-2.04	-4.80	-2.76	0.876
	6×6	0.350	-3.93	7.58	-3.89	0.661
	7×7	0.363	-3.94	7.79	-4.08	0.840
72杨	4×4	0.337	-3.88	7.30	-3.52	0.536
	5×5	0.357	-4.67	9.91	-5.58	0.642
	6×6	0.290	-1.22	4.58	-3.17	0.480
	7×7	0.369	-1.97	2.52	-9.52	0.439

表8和表9是以胸高处木材密度的平均值来计算。表中数字表明，四个无性系中木材密度的大小次序是I-69杨>I-63杨>I-214杨>I-72杨。从内向外，第3~4年的木材密度最小，第6~7年的木材密度最大。株行距为4×4m和5×5m时在第7年木材密度出现转折，6×6m和7×7m时在第6年出现转折，这表明加大株行距不仅能提高木材产量，增加木材密度，而且还可以使树木的成熟期提前，这就为我们培育速生丰产的大径级优质良材提供了理论依据。四个株行距中以6×6m的木材密度为最小，在幼龄期5×5m和7×7m的木材密度最大，进入成熟期后4×4m和6×6m的木材密度变得较大。

表8 各无性系木材密度沿径向的变化(以各株行距的数据为基准)

年轮	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
63杨	0.332	0.320	0.319	0.314	0.322	0.344	0.358	0.346	0.348	0.348	0.367
69杨	0.372	0.375	0.355	0.361	0.374	0.390	0.394	0.395	0.399	0.406	0.404
72杨	0.315	0.309	0.288	0.292	0.289	0.326	0.325	0.321	0.317	0.319	0.320
214杨	0.317	0.315	0.311	0.303	0.299	0.304	0.335	0.356	0.329	0.329	0.326

表9 各株行距下木材密度沿径向的变化(各无性系的数据为基准)

年轮	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4×4m	0.333	0.339	0.318	0.301	0.305	0.326	0.366	0.361	0.358	0.353	0.352
5×5m	0.345	0.345	0.327	0.326	0.329	0.334	0.360	0.365	0.359	0.348	0.353
6×6m	0.312	0.307	0.301	0.313	0.320	0.353	0.337	0.340	0.325	0.347	0.323
7×7m	0.347	0.327	0.326	0.327	0.330	0.351	0.348	0.352	0.350	0.363	0.421

### 2.3 株间差异

表10 各无性系在不同株行距下全树木材密度的比较

株行距	I-63杨	I-69杨	I-72杨	I-214杨
4×4	0.334	0.385	0.311	0.337
5×5	0.353	0.365	0.307	0.341

6×6	0.319	0.370	0.321	0.325
7×7	0.335	0.415	0.345	0.333

表10表明在不同株行距下四个无性系以I-69杨木材密度最大。在相同株行距下是I-69杨和I-72杨在7×7m时最大, 在5×5m时最小;I-63杨和I-214杨在5×5m时最大, 在6×6m时最小。在株行距为4×4m、5×5m和6×6m时木材密度大小次序是I-69杨>I-63杨>I-214杨>I-72杨;在株行距为7×7m时木材密度的次序是I-69杨>I-72杨>I-214杨>I-63杨。为此可首选I-69杨和I-72杨在株行距为7×7m造林密度下定向培育出大径级的优质良材。

### 3 结论

- (1) 无论纵向还是径向各无性系、各株行距间木材密度差异极显著。
- (2) 木材密度沿纵向呈增加趋势;沿径向与树木的生长四个时期相吻合。
- (3) 髓心周围的宽年轮处木材密度偏高与该区域存在胶质木纤维有关系。
- (4) 四个无性系以I-69杨木材密度最高。
- (5) I-69杨, I-72杨在株行距为7×7m能培育出大径级的优质良材。
- (6) 相同造林密度条件下株内从下向上, 从内向外木材密变化的差异显著。
- (7) 不同方位间木材密度差异不显著。

### 参考文献

- 1 南京林业大学杨树课题组.黑杨派南方型无性系速生丰产技术论文集, 学术书刊出版社, 1991
- 2 曹福亮, 黑杨派南方型树造林密度的研究, 硕士研究生学位论文, 南京林业大学, 南京, 1988
- 3 Rruce J. Zebal. Wood Variation Its Causes and Control , Springer-Verlag 1990
- 4 叶志宏. 杉木木材材性的遗传变异研究. 南京林业大学学报, 南京, 1987, (3):23~26
- 5 周志春. 马尾松木材性状遗传变异的研究. 硕士研究生学位论文, 南京, 1987