

文章编号: 1000-5692(2004)02-0119-06

# 不同坡位人工林赤松木材材性的径向变异

金春德<sup>1</sup>, 张美淑<sup>2</sup>, 文桂峰<sup>1</sup>, 刘继生<sup>2</sup>, 张鹏<sup>2</sup>

(1. 浙江林学院 工程学院, 浙江 临安 311300; 2. 延边大学 农学院, 吉林 龙井 133400)

**摘要:** 以吉林省延吉市林业局帽儿山林场赤松 *Pinus densiflora* 人工林为例, 对坡下、坡中和坡上等3种坡位人工林赤松木材的管胞形态特征和物理力学性征的径向变异模式及差异进行研究。结果表明: 不同坡位条件下微纤丝角和基本密度及壁腔比等指标表现为在0.01水平上有显著性差异, 其中, 坡中人工林赤松木材管胞壁腔比平均值比坡下和坡上分别大11.62%和16.45%, 微纤丝角的平均值分别比坡上和坡下小54.31%和38.77%, 生长轮基本密度平均值分别比坡上和坡下大10.5%和7.02%。从各种指标差异的分析结果来看, 坡中的人工林赤松木材更适合于做结构材料。图9表3参6

**关键词:** 木材学; 赤松; 坡位; 管胞形态; 物理力学特性; 变异规律

**中图分类号:** S781 **文献标识码:** A

赤松 *Pinus densiflora* 是吉林延边的重要用材林树种, 也是延边地区植被的重要组成树种。赤松以适应性强, 生长速度快, 成林成材期早, 经济效益显著等特点, 成为延边人工造林的重要树种。本研究在已研究不同坡位等条件下人工林赤松木材材质变异规律<sup>[1-3]</sup>的基础上, 利用生长轮材质测定方法, 对不同坡位人工林赤松的木材材质进行比较, 分析总结变异规律, 为人工林赤松的定向培育和加工利用提供理论依据。

## 1 试验材料与研究方法

15株赤松试材于2001年2月底采自吉林省延吉市林业局帽儿山林场20林班39小班赤松人工纯林。采样地如图1所示。采样地位于帽儿山山顶陡坡的天然蒙古栎 *Quercus mongolica* 次生林的下部的缓坡上, 坡上与坡下土壤条件相似, 距离约为1 km。取样方法按GB1927-91《木材物理力学试件采集方法》的规定进行。表1和表2给出了标准地和样木的基本情况。

试样的制备方法和基本密度、管胞长度、管胞宽度及管胞长度比的测试方法见参考文献[1]; 纤丝角用偏光显微镜(XPT-7)测定方法测定; 制作赤松横切面切片(番红染色, 厚度15 μm左右), 并用显微投影仪(X-1000-1型, 美国产)测量生长轮宽度和晚材宽度, 采用



图1 人工林赤松采样地示意图

Figure 1 Sketch drawing of sample plots

收稿日期: 2003-12-03; 修回日期: 2004-02-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30060070)

作者简介: 金春德(1963-), 男, 吉林汪清人, 教授, 博士, 从事木材科学与技术研究。E-mail: jined@zjfc.edu.cn

数码实体显微镜 (OLYMPUS BX51TF 型) 测量管胞腔直径和壁厚。

采用单因素方差分析方法分析不同坡位之间各材性指标的显著性。利用回归方程找出管胞形态特征及物理力学特征量的径向变异模式。

表1 标准地基本情况

Table 1 The basic situation of sample plots

坡位	坡度/ (°)	坡向	林分密度/ (株·hm <sup>-2</sup> )	土壤类型
坡下	31	北向	966.7	暗棕壤
坡中	11	北向	1 133.0	暗棕壤
坡上	11	北向	1 150.0	暗棕壤

表2 样木基本情况

Table 2 The basic situation of sample trees

坡位	样本代号	树龄/a	胸径/cm	树高/m	第1枝下高/m	含水率/%
坡下	F <sub>1</sub>	35	16.00	12.85	8.00	187.50
	F <sub>2</sub>	34	15.50	13.93	9.40	169.44
	F <sub>3</sub>	34	16.40	14.52	7.62	200.00
	F <sub>4</sub>	35	15.40	13.65	8.75	150.00
	F <sub>5</sub>	34	15.85	14.55	8.62	151.22
坡中	B <sub>1</sub>	32	15.50	14.10	7.90	162.79
	B <sub>2</sub>	35	15.90	13.42	8.85	163.89
	B <sub>3</sub>	35	16.30	14.60	7.10	152.46
	B <sub>4</sub>	35	15.90	13.55	7.53	157.46
	B <sub>5</sub>	35	15.90	13.26	5.95	164.29
坡上	C <sub>1</sub>	35	13.30	15.00	7.82	226.32
	C <sub>2</sub>	35	13.60	14.50	9.50	169.23
	C <sub>3</sub>	35	14.40	15.80	10.10	164.71
	C <sub>4</sub>	35	14.40	13.50	7.20	186.21
	C <sub>5</sub>	35	14.35	15.40	10.75	200.00

## 2 结果分析

### 2.1 管胞形态特征的变异

图2为不同坡位人工林赤松木材胸高处管胞长度的径向变异模式。由图2可见,3种坡位的赤松木材管胞长度的径向变异规律符合Panshin总结的管胞长度径向变异的第1种趋势<sup>[2]</sup>,即管胞长度由髓心开始向外几年长度增加迅速,达到一定生长轮年龄之后,管胞长度相对趋于稳定。

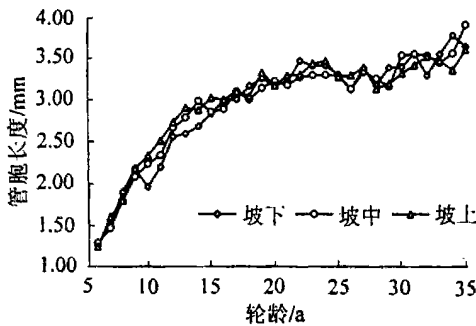


图2 不同坡位赤松胸高处木材管胞长度的径向变异

Figure 2 Radial variations of tracheid length at the breast height of *P. densiflora* on the different slope places

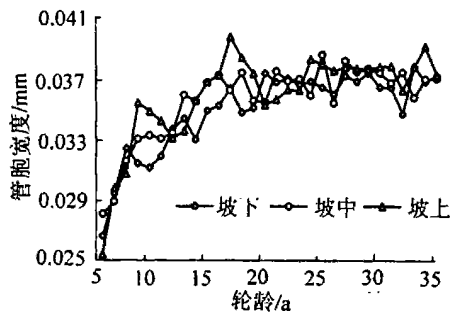


图3 不同坡位赤松胸高处木材管胞宽度的径向变异

Figure 3 Radial variations of tracheid width at the breast height of *P. densiflora* on different slope places

为了能对管胞长度变异进行定量分析,将管胞长度与生长轮年龄进行了回归,回归方程为对数曲

线, 其回归方程见表 3。单因素方差分析表明, 不同坡位赤松木材管胞长度在 0.05 水平上不存在显著性的差异。

图 3 为不同坡位人工林赤松木材胸高处管胞宽度的径向变异情况。由图 3 可见, 坡下、坡中和坡上赤松的管胞宽度的径向变异相似, 且都是从髓心向外呈递增趋势, 起伏式增大, 到一定年龄后趋于稳定。经方差分析, 不同坡位赤松木材管胞宽度在 0.05 水平上不存在显著性的差异。管胞宽度与生长轮年龄之间的回归方程见表 3。

图 4 为不同坡位人工林赤松胸高处管胞长宽比的径向变异情况。从图 4 可见, 不同坡位赤松管胞长宽比, 其大小和变化规律都相似, 由于管胞直径的变化相对长度的变化稳定, 所以管胞长宽比的变异与管胞长度有相似的规律, 髓心附近增长快, 到一定年龄后增长缓慢, 并趋于稳定。不同坡位赤松木材管胞长宽比与生长轮年龄之间采用对数曲线回归, 回归方程见表 3。单因素方差分析结果表明, 不同坡位人工林赤松木材管胞长宽比在 0.05 水平上差异不显著。

本研究采用的是弦向壁腔比, 也即弦向双壁厚与弦向管径之比。图 5 为不同坡位人工林赤松胸高处木材管胞壁腔比的径向变异情况。由图 5 可见, 3 种坡位的赤松管胞壁腔比的变异具有相似的规律, 即壁腔比自髓心向外逐渐递增, 到一定生长轮年龄之后上下波动并趋于相对稳定。由于髓心附近的胞壁厚度增加速度大于管胞直径, 因而管胞壁腔比在髓心附近向外呈现递增趋势。而到一定生长轮年龄后胞壁厚度和管胞直径变化趋于相对稳定, 所以壁腔比也趋于相对稳定。又从图 5 可知, 坡中的赤松管胞壁腔比明显比坡下和坡上的赤松管胞壁腔比大。单因素方差分析结果表明, 坡中的赤松管胞壁腔比分别与坡下和坡上的赤松管胞壁腔比在 0.01 水平上存在显著性的差异, 且坡中的赤松管胞壁腔比平均值比坡下和坡上赤松管胞壁腔比平均值分别大 11.62% 和 16.45%。这种管胞壁腔比的差异对木材密度和力学强度有很大影响。

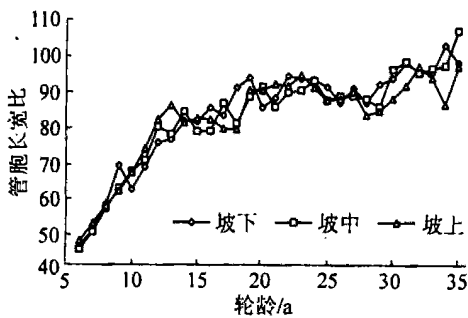


图 4 不同坡位赤松胸高处木材管胞长宽比的径向变异

Figure 4 Radial variations of ratio of length to width of tracheid at breast height of *P. densiflora* on different slope places

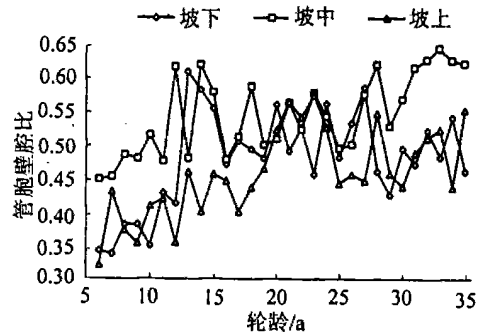


图 5 不同坡位赤松胸高处木材管胞壁腔比的径向变异

Figure 5 Radial variations of ratio of wall to indiameter of tracheid at breast height of *P. densiflora* on different slope places

## 2.2 木材物理力学特征的变异

微纤丝角对木材尺寸稳定性和木材物理力学性质的影响最大。图 6 为不同坡位人工林赤松木材胸高处微纤丝角的径向变异情况。从图 6 可见, 坡中赤松木材微纤丝角明显比坡上和坡下赤松木材微纤丝角小; 坡下赤松木材微纤丝角也比坡上赤松木材的微纤丝角小, 但相对接近。这可能是由于坡上和坡下的土壤条件相似, 而坡中的土壤条件与坡上和坡下的土壤条件差异较大所致。单因素方差分析表明, 3 种坡位赤松微纤丝角互相之间在 0.01 水平上存在显著差异, 且坡中赤松微纤丝角的平均值 ( $12.87^\circ$ ), 分别比坡上和坡下的赤松微纤丝角的平均值 ( $19.86^\circ$  和  $17.86^\circ$ ) 小 54.31% 和 38.77%, 坡下赤松微纤丝角的平均值比坡上赤松微纤丝角的平均值小 11.20%。这种微纤丝角的显著差异将会影响木材的尺寸稳定性和物理力学性能。从微纤丝角的变异规律上看, 3 种不同坡位赤松的微纤丝角均从髓心向外逐渐变小, 到一定年龄后趋于相对稳定。通过微纤丝角与生长轮年龄的回归分析, 得到对数方程 (表 3)。

图7为不同坡位人工林赤松胸高处生长轮基本密度的径向变异模式。从图7可见,不同坡位赤松生长轮基本密度从髓心向外,最初递减,然后向外呈递增,且树皮附近的基本密度高于髓心附近,到一定生长轮年龄之后趋势于相对稳定,因此,赤松基本密度的径向变异规律属于 *Pashin* 和 *Zeeuw* 等对木材密度径向变异所分的3种类型中的第2种类型<sup>[9]</sup>。壁腔比是影响木材密度的重要因素,因此,生长轮基本密度的变异如同管胞壁腔比的变异,与管胞壁和管胞直径增长速度有关。单因素方差分析结果表明,坡中赤松生长轮基本密度分别与坡上和坡下赤松的生长轮基本密度在0.01水平上差异显著,且其平均值分别比坡上和坡下的基本密度大10.50%和7.02%。

表3 不同坡位人工林赤松木材的材性指标与生长轮年龄(t)的回归方程

Table 3 Wood properties index and regression equation of growth increment age (t) of *P. densiflora* plantation on different slope places

指标	坡位	回归方程	相关系数
管胞长度	坡下	$L_1 = 1.244 \ln t + 0.6866$	0.959
	坡中	$L_2 = 1.2059 \ln t + 0.5684$	0.957
	坡上	$L_3 = 1.1046 \ln t + 0.2494$	0.931
管胞直径	坡下	$d_1 = 0.0048 \ln t + 0.0211$	0.899
	坡中	$d_2 = 0.0043 \ln t + 0.0230$	0.850
	坡上	$d_3 = 0.0048 \ln t + 0.0219$	0.806
管胞长宽比	坡下	$L_{b1} = 26.878 \ln t + 5.6884$	0.946
	坡中	$L_{b2} = 26.887 \ln t + 4.9203$	0.945
	坡上	$L_{b3} = 22.553 \ln t + 16.7899$	0.889
管胞壁腔比	坡下	$b_{d1} = 0.0807 \ln t + 0.2477$	0.562
	坡中	$b_{d2} = 0.0777 \ln t + 0.3214$	0.657
	坡上	$b_{d3} = 0.0897 \ln t + 0.2009$	0.694
微纤丝角	坡下	$\theta_1 = -3.2782 \ln t + 25.9790$	0.942
	坡中	$\theta_2 = -4.4074 \ln t + 23.8390$	0.898
	坡上	$\theta_3 = -3.1905 \ln t + 27.7690$	0.984
基本密度	坡下	$\rho_1 = -0.0003t^2 + 0.0122t + 0.2991$	0.698
	坡中	$\rho_2 = 2E - 05t^2 + 0.0009t + 0.4141$	0.627
	坡上	$\rho_3 = -0.0002t^2 + 0.0085t + 0.3044$	0.635
晚材率	坡下	$y_1 = -0.0451t^2 + 2.3714t - 3.7761$	0.809
	坡中	$y_2 = -0.0317t^2 + 1.1581t + 4.5544$	0.718
	坡上	$y_3 = -0.0310t^2 + 1.8663t - 2.5386$	0.793
生长轮宽度	坡下	$\rho_{s1} = -1.6315 \ln t + 7.1340$	0.781
	坡中	$\rho_{s2} = -1.6102 \ln t + 7.1021$	0.839
	坡上	$\rho_{s3} = -2.0213 \ln t + 8.0421$	0.778

图8表示不同坡位人工林赤松胸高处木材晚材率的径向

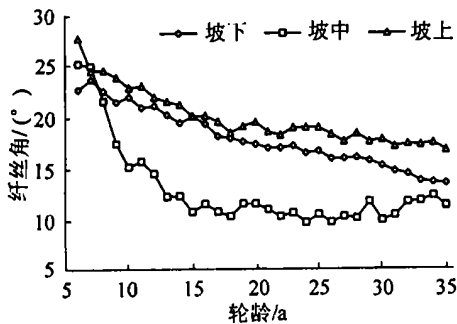


图6 不同坡位赤松胸高处木材微纤丝角的径向变异

Figure 6 Radial variations of microfibril angle at breast height of *P. densiflora* on different slope places

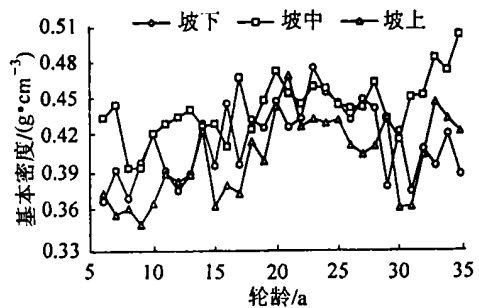


图7 不同坡位赤松胸高处木材基本密度的径向变异

Figure 7 Radial variations of basic density at breast height of *P. densiflora* on different slope places

变异情况。这种晚材率变异情况与管胞长度、管胞长宽比指标相似。自髓心向外递增,到一定生长轮年龄后晚材率变化趋于稳定。晚材率与生长轮年龄之间采用抛物线曲线回归,其回归方程和相关系数见表3。单因素方差分析表明,3种不同坡位赤松晚材率在0.05水平上无显著性差异。

不同坡位人工林赤松胸高处木材生长轮宽度径向变异模式如图9所示,其变异模式(除靠髓心的第1个年轮外)与微纤丝角的情况相近。近髓心处的生长轮宽度比较大,随着年龄的增加,生长轮宽度迅速下降,达到一定年龄之后逐步趋于稳定。生长轮宽度与生长轮年龄之间的回归方程见表3。单

因素方差分析结果表明, 上述不同坡位赤松生长轮宽度之间, 在 0.05 水平上无显著性差异。

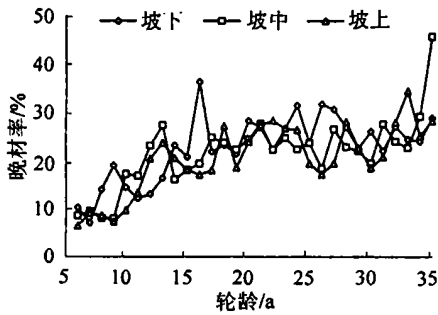


图 8 不同坡位赤松胸高处  
晚材率的径向变异

Figure 8 Radial variations of latewood percentage at breast height of *P. densiflora* on different slope places

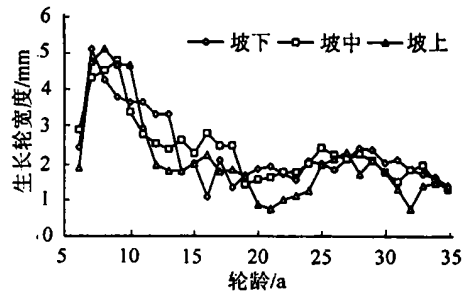


图 9 不同坡位赤松胸高处  
生长轮宽度的径向变异

Figure 9 Radial variations of growth increment's width at breast height of *P. densiflora* on different slope places

### 3 结论

不同坡位人工林赤松木材管胞形态特征和木材物理学特征的径向变异及其单因素方差分析结果表明, 在管胞长度、管胞宽度、管胞长宽比、管胞壁腔比、微纤丝角、基本密度、晚材率、生长轮宽度等指标中, 管胞壁腔比、微纤丝角和基本密度等 3 个指标表现出差异显著。其中, 管胞壁腔比, 坡中人工林赤松分别与坡下和坡上的人工林赤松在 0.01 水平上存在显著性差异, 且坡中人工林赤松壁腔比平均值比坡下和坡上人工林赤松管胞壁腔比平均值分别大 11.62% 和 16.45%; 坡下、坡中和坡上等 3 种坡位人工林赤松微纤丝角之间, 在 0.01 水平上有显著性差异, 且坡中人工林赤松微纤丝角的平均值分别比坡上和坡下人工林赤松微纤丝角的平均值小 54.31% 和 38.77%; 坡中人工林赤松生长轮基本密度分别与坡上和坡下人工林赤松生长轮基本密度在 0.01 水平上差异显著, 且坡中人工林赤松生长轮基本密度平均值分别比坡上和坡下人工林赤松基本密度大 10.5% 和 7.02%。

不同坡位人工林赤松木材管胞形态特征和木材物理学特征指标的径向变异规律模型的拟合效果较好。

从微纤丝角、基本密度和壁腔比等指标的比较来看, 在 3 种不同坡位人工林赤松中, 坡中人工林赤松木材的微纤丝角小, 基本密度大, 壁腔比大。因此, 坡中人工林赤松木材更适合用于结构材等受力材料。

**致谢:** 本项目从标准地的设置到采样运输及制材加工等, 受到吉林省延吉市林业局生产科及帽儿山林场等单位的大力支持。特别是延吉市林业局的崔亲日、金万烈、金永洙和柳强等同志在百忙之中从物资、人力等方面给予了不懈的帮助, 在此向以上同志表示衷心感谢! 同时, 中南林学院的吴义强、刘元、朱林峰等老师为本项目管胞特征的测试提供了大力帮助, 在此也表示诚挚的谢意!

### 参考文献:

- [1] 金春德, 刘继生, 张鹏, 等. 赤松木材管胞形态特征及密度的变异规律[J]. 东北林业大学学报, 2001, 29(6): 96-98.
- [2] 金春德, 吴义强, 金顺泽, 等. 不同生长环境赤松木材构造的变异[J]. 东北林业大学学报, 2001, 29(3): 21-24.
- [3] 金春德, 吴义强, 刘继生, 等. 不同林分赤松木材密度及管胞形态特征的变异[J]. 东北林业大学学报, 2001, 29(6): 99-101.
- [4] 金春德, 吴义强, 王成, 等. 人工林与天然林赤松木材管胞形态特征及密度的变异[J]. 东北林业大学学报, 2001, 29(6): 102-104.
- [5] 张鹏, 张美淑, 吴玉德, 等. 不同坡向人工林赤松材性变异[J]. 东北林业大学学报, 2003, 31(6): 13-15.
- [6] Pashin A J, Zeaw C. Text book of Wood Technology: Structure Identification, Properties, and Use of the Commercial Woods of the United State and Canada [M]. 4th Edition. New York: McGraw Hill College Div, 1980.

## *Radial variations of the timber properties of Pinus densiflora planted in different slope places*

JIN Chun-de<sup>1</sup>, ZHANG Mei-shu<sup>2</sup>, WEN Gui-feng<sup>1</sup>, LIU Ji-sheng<sup>2</sup>, ZHANG Peng<sup>2</sup>

(1. School of Engineering, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. College of Agriculture, Yanbian University, Longjing 133400, Jilin, China)

*Abstract:* The radial variation models and differences of the tracheid morphological and physico-mechanical characteristics of *Pinus densiflora* plantations in the below, middle and upper slopes in the Mao'er Mountain Forestry Center in Yanji City were studied. The results showed that micro-fibril angle, basic density and the ratio of wall to diameter of *P. densiflora* plantations in the different slopes were magnificently different at the 0.01 level. The average values of ratio of wall to diameter of *P. densiflora* in the middle slope were 11.62% and 16.45% higher than those in the below slope and upper slope. And the average value of micro-fibril angle of the former was 54.31% and 38.77% less than the latter, and the average value of basic density was 10.5% and 7.02% higher. The variations results showed that *P. densiflora* plantation timber in the middle slope was the best structure material, and others was more suitable for the pulp materials. [Ch, 9 fig. 3 tab. 6 ref.]

*Key words:* wood science; *Pinus densiflora*; slope places; tracheid morphology; physical and mechanical characteristics; variation rule

---

## 《浙江林学院学报》再次被确定为中国自然科学核心期刊

2004年3月,学报编辑部收到中国科技信息研究所颁发的收录证书:经过多项学术指标综合评定及同行多位专家评议推荐,《浙江林学院学报》被收录为国家科技部“中国科技论文统计源期刊”(中国自然科学核心期刊)。科技论文有国际论文和国内论文之分,只有在“中国科技论文统计源期刊”上发表的科技论文才作为国内论文统计。