

山杨木材性状及个体内变异的研究*

顾万春 李斌 郭文英 张立菲 骆秀琴

摘要 在山杨主要分布区6省内,各抽样1个天然林分,每个林分随机抽样20株。其中5株伐倒木作标准材性试验;另15株钻取木芯条测试。试验结果:(1)胸径处木芯条的木材密度与纤维长度等与伐倒木测定结果具有一致性;(2)株内髓心向外水平方向年轮组之间,木材密度及纤维长度的差异都极显著($\alpha=0.01$),两性状随年龄增大而增长,符合“S曲线”与“Sanio规律”,木材密度与纤维长度的相对增长率的最高值分别在11~20 a与6~15 a;(3)材性幼—成龄相关,在木材密度与纤维长度性状方面表现不同,主要性状在10~15 a进行早期选择具有合理性。

关键词 山杨、木材密度、纤维长度、个体内变异

木材是森林经营中最为重要的产品,提高木材的产量和质量,实现人工林的“优质、高产、高效”是林木育种研究者的共同目标。国内外研究表明:(1)木材密度与纤维长度等是胶合板材、纤维材、装饰材的主要材性指标;(2)木材主要性状的种间、种源间、个体间及株内不同部位等方面存在较大变异,同时又处于较强的遗传控制之下;(3)树种分布区内气象因子、立地质量及遗传因素共同影响木材性状;但山杨等散孔阔叶树材性受环境影响较小,尤其是木材密度与纤维性状具有较强的遗传性,基因型×环境互作效应低;(4)通过对种源、家系、个体的选择,可以实现对木材密度和纤维等材性性状的改良,一个选种周期可望获得提高平均值2%~10%的增益^[1~3],而且这种改良效果可以持续若干选种周期。

山杨(*Populus davidiana* Dode),又称中国山杨,分布范围广,适应性强,是山区栽培前途广阔的优良树种。80年代中期,山杨列入林木良种研究计划,仅在黑龙江省部分地区开展试验研究,而山杨材性育种研究尚未开始。借鉴美洲山杨和欧洲山杨材性育种研究“环境对木材密度与纤维影响较小或影响不显著”的结论^[1,2],针对中国山杨的分布特点和生长状况,在主要分布区6个省采集天然林试材,对株内变异、群体内个体变异及群体(种源)间变异趋势进行研究。为材性遗传改良提供依据。

1 材料和方法

1.1 试材来源和取样方法

在山杨主要分布区黑龙江、吉林、辽宁、河北、山西、河南6省,各抽样1块林相完整的近20 a未经破坏的天然林(表1),分别设置样地1 hm²以上。在每块样地中,随机抽取个体20株(表2),其中5株伐倒木,按材性试验要求取圆盘和木段^[4,5](也称破坏性取样);另15株用7 mm内径的生长锥在胸径处,南北方向钻取木芯(称作非破坏性取样)。

1994-02-24 收稿。

顾万春研究员,李斌,郭文英(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091);张立菲,骆秀琴(中国林业科学研究院木材工业研究所)。

* 1990年国家自然科学基金资助课题:“杨树材质遗传与参数预测研究”的部分内容。

表1 山杨6个天然群体地理生态因子与林分概况

地点	纬度 (° ')N	经度 (° ')E	海拔高 (m)	土壤 名称	林分 起源	林分 组成	林分郁 闭度	立地指数 (m)	年均温 (°C)	年降水量 (mm)	≥5°C 积温 (°C)
黑龙江省迎春	46 06	132 50	280	暗棕壤	实+萌	10杨	0.9	22	2.8	536.3	2 806
吉林省八家子	42 31	128 58	350	暗棕壤	实+萌	9杨+1杂	0.9	22	4.9	525.9	3 026
辽宁省宽甸	40 43	124 47	300	草甸黑土	实+萌	10杨	0.8	18	6.4	1 158.0	3 320
河北省青龙	40 24	118 57	800	灰黑土	实+萌	7杨+3杂	0.7	16	5.0	566.5	3 813
山西省关帝山 ^①	37 47	114 48	1 300	棕壤土	实+萌	10杨	0.8	14	4.7	490.6	3 687
河南省栾川	33 47	111 38	830	黑褐土	萌	5杨+5杂	0.6	16	10.7	642.3	4 315

①借用邻近气象站的资料,由于气象站的海拔与群体林海拔有一定差距,在温度一栏内每100 m按±0.6°C进行了换算。

表2 山杨6个天然群体各20株试材的树龄与生长量

株号	迎春			八家子			宽甸			青龙			关帝山			栾川		
	树龄 (a)	胸径 (cm)	树高 (m)	树龄 (a)	胸径 (cm)	树高 (m)	树龄 (a)	胸径 (cm)	树高 (m)	树龄 (a)	胸径 (cm)	树高 (m)	树龄 (a)	胸径 (cm)	树高 (m)	树龄 (a)	胸径 (cm)	树高 (m)
1	57	31.8	23.7	56	22.5	26	27	16.6	18.2	39	23.2	17.3	40	19.2	18.4	23	13.8	12.9
2	62	29.2	20.5	52	24.0	26.4	26	17.6	17.6	42	19.4	15.9	43	18.6	17.6	42	23.3	11.7
3	52	28.0	22.3	59	26.4	24.5	25	14.9	17.6	44	21.2	16.3	35	19.8	16.5	18	18.4	13.5
4	48	27.1	22.0	49	20.0	18.6	25	17.8	15.5	36	21.9	16.0	41	16.3	17.4	18	17.3	14.4
5	46	24.4	21.5	56	19.2	23.6	27	17.8	17.8	36	20.6	16.2	57	18.1	17.4	20	17.2	15.5
6	44	24.0	20.8	52	28.5	26.5	26	18.4	18.5	28	20.9	16.0	36	19.6	16.5	39	18.0	14.0
7	47	26.0	21.3	52	22.3	24.0	26	16.3	16.5	30	19.5	16.5	38	15.5	16.0	36	15.3	12.5
8	45	30.0	25.5	52	29.1	25.5	25	16.7	16.0	28	22.5	17.0	42	19.1	16.5	24	17.0	14.5
9	41	23.8	22.3	42	18.3	20.2	24	16.2	16.0	30	21.7	16.0	38	17.9	15.5	31	15.5	13.0
10	50	26.0	21.2	42	22.1	21.5	27	15.4	15.5	35	19.9	15.5	37	17.9	16.0	36	15.0	12.5
11	38	30.0	20.9	49	18.0	18.5	26	14.7	14.5	29	20.7	16.0	32	17.1	16.0	24	14.0	11.5
12	56	27.5	19.9	41	22.0	22.5	24	16.9	17.0	33	16.0	15.0	34	16.8	15.5	28	17.5	13.0
13	57	27.0	20.5	37	21.0	20.5	24	15.1	15.0	33	22.5	17.5	42	16.1	16.5	40	14.0	12.5
14	48	28.0	19.5	39	22.1	21.5	25	16.2	16.5	32	16.5	16.5	41	17.8	17.5	37	16.0	14.0
15	52	28.0	22.0	48	21.2	21.5	25	16.5	16.5	31	24.9	17.5	41	22.8	18.5	40	20.8	16.5
16	62	34.0	24.5	42	26.0	24.0	22	17.3	17.5	25	19.7	14.5	39	16.3	16.0	33	17.0	12.5
17	60	25.5	21.5	52	31.1	26.5	25	15.6	17.0	32	16.2	14.5	37	19.8	15.5	32	17.5	13.5
18	54	21.5	20.6	44	18.0	20.1	22	16.5	16.0	38	21.6	15.5	37	21.0	17.0	31	18.0	13.5
19	56	28.1	21.4	47	21.0	20.5	25	15.2	16.0	42	19.4	16.0	39	21.0	17.0	41	20.0	15.0
20	56	26.0	22.5	38	23.0	22.0	23	16.0	17.0	20	22.7	17.0	37	17.4	16.5	32	14.3	12.0

1.2 室内测试方法

伐倒木的木材基本密度和纤维性状研究,按国家标准 GB 2677.2-81-10-81《造纸工业测试方法》要求进行。测定解剖数据采用英国剑桥公司生产的新型图像分析仪 Q₅₇₀^[6]。

木芯测定,自髓心向外每5年轮为1组,最外不足5年的归并为一组。根据 Smith 的饱和含水量法^[6]测定木材基本密度;用常规方法在显微镜(×40)下测定纤维长与宽,每年轮组内抽5个样,每个样观测10根,共50根完整纤维。

1.3 数据整理与分析

对每份样品测试数据按 Grubbs 准则作粗值剔除^[7],被剔除值用该样品的均值代替。为了消除髓心至树皮木材体积平方渐增的差异,计算性状值时按不同年轮组木材体积加权。试验数

据的频率分布检验、方差分析、回归相关分析等,采用常规统计方法^[8]。

2 结果与讨论

2.1 木芯条与伐倒木法测定山杨材性性状,结果具有一致性

6 个山杨群体树龄变幅 25~30 年生左右,属于成熟林至中龄林。考虑到年龄的可比性,对木芯试样和伐倒木试样统一比较 1~30 年生平均的木材密度、纤维长、纤维宽和纤维长宽比。对于伐倒木中关帝山与栾川 2 个群体不足 30 a 的数值,采用趋势外推方法插值^[8]。表 3 可知,木材密度、纤维长、宽及长宽比,木芯条测定均值与伐倒木全树测定均值都具有有一致性。另外,木芯与伐倒木两种取材测定值,分别与年轮组回归结果的回归系数(β)之间的 u 检验表明,纤维性状两种取材测定结果具有一致性,木材密度因伐倒木未分组观测未能比较,但依据以上分析可以认为,根据胸高处取木芯条测定样品值,可以合理地估算出树干材性性状的平均值^[3],采用非破坏性木芯条取样,具有足够的实验依据。同时,由于这种相关性高度显著,木芯条测定的木材密度和纤维长等样品值,可以直接用于株间、家系间和群体间的变异性和遗传性研究。

表 3 1~30 年生山杨木材基本密度、纤维等两种试验方法结果^①

性 状	方 法 间 比 较			两种测定方法与年龄的回归系数间 u 检验 ^②			
	平均值	SE	T	r	b	u	
纤维长 (mm)	木芯值	1.020 5	0.073 4	NS	0.947 1	0.020 18	NS
	伐倒木值	1.070 3	0.100 9	0.588 0	0.923 5	0.016 37	1.072 4
纤维宽 (mm)	木芯值	2.117	0.011 4	NS	0.870 2	0.000 109	NS
	木芯值	2.069	0.008 2	0.460 0	0.864 4	0.000 156	0.336 5
纤维长 宽比	伐倒木值	47.97	1.373 8	NS	0.792 7	0.006 47	NS
		51.28	3.312 2	0.925 4	0.778 6	0.007 25	1.545 9
密 度 (g/cm ³)	木芯值	0.443 6	0.031 8	NS	0.972 3		
	伐倒木值	0.472 1	0.034 8	0.605 0		0.001 73	

①木芯观测值每群体 15 样株,6 群体共 90 个样本量;伐倒木观测值每群体 5 样株,共 30 样株;木芯条 5 年 1 个测试单元,采用两个回归系数比较;伐倒木木材密度测定值未分组。②加权回归的对比双方都是大样本,故对回归系数采用 u 检验: $u = (b_1 - b_2) / \sigma(b_1 - b_2)$; $\sigma(b_1 - b_2) = [\sigma_1^2/l_{11} + \sigma_2^2/l_{22}]^{1/2}$, $u_{0.05} = 1.96$, $u_{0.01} = 2.58$ 。

2.2 株内水平方向木材密度与纤维长度的变异模式

山杨木材密度和纤维长度有着相似的变异模式。自第 1 年至第 30 年生,即由髓心向外的年轮区域内,两性状都是随年龄递增而增大,年轮组间差异显著($F = 11.247$, $\alpha = 0.01$)。经年代与密度、年代与纤维长的回归分析的拟合,密度与纤维生长均符合“R. pearl 曲线”,即“S 曲线”(图 1)。回归公式相关系数(r)和预测相对误差(E ,%)如下:

$$y_{SG} = 0.6 / (1 + 0.143 9e^{-0.088t}) \quad r = 0.982 1 \quad E(\%) = 14.59(\%)$$

$$y_{TL} = 1.3 / (1 + 0.46 3e^{-0.118t}) \quad r = 0.979 1 \quad E(\%) = 13.36(\%)$$

研究结果反映了,上述两性状的生长曲线基本上代表了中国山杨的径向变异模式。研究还表明,山杨木材密度相对增长率比纤维长向后延迟 5 a 左右(表 4)。木材密度径向变异自髓心至树皮呈曲线增加,在 11~20 年生的 2 个年轮组是密度增长最快阶段,相对生长率占 63.3%,成熟材区域约 20~25 a 时趋向平缓,21~30 a 生的相对增长率仅为 18.8%;山杨纤维长度的径向变异与“Sanio 规律”基本吻合,即自髓心向外的 5 a 至 25 a 左右时,纤维长度逐渐增加,6

~15年生2个年轮组相对增长率达67.2%，尔后趋向相对稳定。

木材学研究提出^[2]，成熟龄树干的木材分成两部分，即近髓心的幼龄材和近树皮的成熟材，同龄树木内幼龄材的结构特性和材性都劣于成熟材。幼龄材与成熟材相比，密度较小，纤维较短，纤维素少，半纤维素多，木材力学性质差等。根据山杨木材密度和纤维长两性状径向变异曲线，在距髓心6~20年轮区域，15~20年生左右出现明显转折。因此，研究提议，如果仅根据这两个性状的径向变异来大致划分山杨的幼龄材和成熟材的话，那么15~20年轮区域可以认为是山杨幼龄材与成熟材的过渡阶段。依此估算，30~50年生山杨幼龄材的材积约占8%~19%。

应该提出，同一树种内不同群体、不同个体因其生长(速率)型的差异，材性变化及径向变异模式也存在较大变化。有关山杨个体间径向变异的内容，留待另文报道。

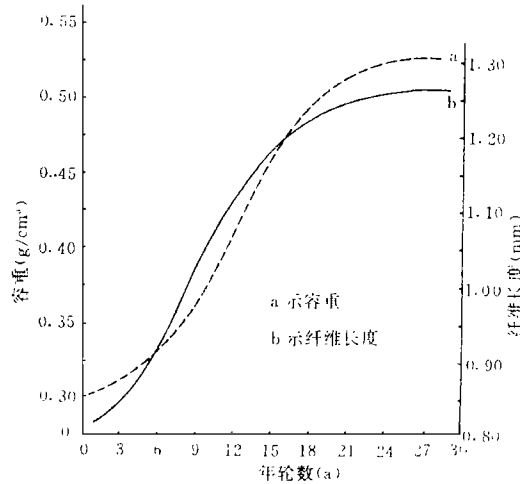


图1 山杨6群体90样株年平均木材容重、纤维长度逐年龄生长曲线

表4 山杨6群体90样株6个年轮组木材密度与纤维长比较

年轮组(a)	年轮组均木材密度(g/cm ³)	组间差值(g/cm ³)	组间相对增长率 ^① (%)	年轮组均纤维长(mm)	组间差值(mm)	组间相对增长率 ^① (%)
1~5	0.3706			0.808		
6~10	0.3822	0.0116	14.9	0.940	0.132	42.6
11~15	0.4128	0.0306	39.3	1.016	0.076	24.6
16~20	0.4339	0.0211	27.0	1.067	0.051	16.4
21~25	0.4434	0.0095	12.1	1.103	0.036	11.5
26~30	0.4486	0.0052	6.7	1.118	0.015	4.9

①组间相对增长率(%)是指组间差值占6个年轮组总生长量的比值。

2.3 山杨木材密度、纤维长度的幼—成龄相关及早期预测

以上分析表明，山杨成熟材树龄约在15~20年生以后，从时间上制约了山杨育种的材性早期选择工作。那么，如何提早山杨材性测定年限和提高选择效率呢？从现有资料来看，材性预测主要从两个方面着手：(1)根据幼—成龄相关来估计；(2)依据亲—子回归，即遗传力大小来估测。根据6个群体90株木芯测试资料，采用幼—成龄相关方法可进行山杨木材密度与纤维长度的早期预测和年限选择。

表5所示，木材密度不同年轮组相关程度变动较大，5年轮组(即1~5a均值，以下类推)与10年轮组、15年轮组相关值分别为0.9912与0.7292，决定系数(r^2)达0.53以上，估测相

表5 山杨材性不同年轮组回归与相关比较

性状	年轮组 (a)	\bar{y}/\bar{x}	回 归 方 程	相关系数 (r)	决定系数 (r ²)	估测相对 误差(%)
木材密度 (g/cm ³)	5与10	0.378 6/0.328 6	$\hat{y} = -0.026 7 + 1.092 0x$	0.991 2	0.982 5	2.53
	5与15	0.390 4/0.368 2	$\hat{y} = 0.126 7 + 0.716 2x$	0.729 2	0.531 7	11.19
	5与20	0.398 1/0.368 2	$\hat{y} = 0.196 7 + 0.546 9x$	0.521 3	0.271 8	14.16
	5与25	0.405 2/0.368 2	$\hat{y} = 0.207 6 + 0.536 7x$	0.503 1	0.253 1	14.79
	5与30	0.412 6/0.368 2	$\hat{y} = 0.249 0 + 0.449 2x$	0.345 8	0.119 6	19.00
	10与15	0.390 4/0.378 6	$\hat{y} = 0.050 3 + 0.898 1x$	0.890 6	0.793 2	7.44
	10与20	0.398 1/0.378 6	$\hat{y} = 0.093 9 + 0.800 7x$	0.743 3	0.552 5	11.45
	10与25	0.405 2/0.378 6	$\hat{y} = 0.104 4 + 0.804 7x$	0.732 3	0.536 3	11.89
	10与30	0.412 6/0.378 6	$\hat{y} = 0.115 6 + 0.784 4x$	0.594 8	0.353 8	16.28
	15与20	0.398 1/0.390 4	$\hat{y} = -0.001 3 + 1.023 1x$	0.958 7	0.919 1	4.90
纤维长度 (mm)	15与25	0.450 2/0.390 4	$\hat{y} = 0.000 1 + 1.037 3x$	0.947 0	0.896 8	5.52
	15与30	0.412 6/0.390 4	$\hat{y} = -0.038 5 + 1.155 5x$	0.883 6	0.780 7	7.80
	5与10	0.938 2/0.808 1	$\hat{y} = 0.226 6 + 0.880 5x$	0.994 3	0.988 6	5.57
	5与15	1.061 6/0.808 1	$\hat{y} = 0.277 6 + 0.908 1x$	0.957 4	0.916 6	6.16
	5与20	1.061 6/0.808 1	$\hat{y} = 0.248 1 + 1.006 4x$	0.933 6	0.871 6	8.34
	5与25	1.098 3/0.808 1	$\hat{y} = 0.388 2 + 0.878 6x$	0.876 9	0.769 0	9.99
	5与30	1.111 7/0.808 0	$\hat{y} = 0.263 9 + 1.048 8x$	0.930 7	0.866 2	8.97

对误差较小;5年轮组与20年轮组以后相关较低,决定系数在0.27以下,估测相对误差也偏大。10年轮组与20、25两个年轮组相关密切,与30年轮组相关程度下降,决定系数0.3538。15年轮组与以后年轮组高度相关,因此,山杨木材密度的早期预测年限应定在10~15a,若在20~30a为成熟材龄级的话,15年轮组时(即11~15a)进行早期选择把握很大。木材纤维长度的早期预测,可在5年轮组至10年轮组进行,它们与10~30a的相关都很密切,或者说5年轮组时的纤维长度与20~30年生时的相似程度达76.9%以上。若将山杨木材密度与纤维长度当作工业材主要指标也可早期选择,其综合早期选择年限定在10~15年生是适宜的。

参 考 文 献

- 1 Zobel B J. Wood variation—its causes and control. Berlin Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo: Springer-Verlag, 1989.
- 2 Zobel B J, Talber T. Applied Forest Tree Improvement. New York: John Wiley & Sons, 1984.
- 3 施季森. 杉木木材材性的遗传变异研究 I. 杉木种子园自由授粉子代间木材密度的遗传变异和性状之间的相关性. 南京林业大学学报, 1987, 2(4): 15~25.
- 4 中华人民共和国国家标准 GB 1927~1943-80. 木材物理力学试验方法. 北京: 国家监督局, 1980.
- 5 张立菲, 骆秀琴, 顾万春. 山杨木材材性的研究. 木材工业, 7(4): 26~32, 1993.
- 6 Browning, Bertie Lee. Methods of wood chemistry. New York: Interscience, 1967, Vol. 1, Chapter 12.
- 7 斯蒂尔(杨纪珂译). 数理统计的原理和方法. 北京: 科学出版社, 1979, 60~107.

Study on Wood Quality Characteristics of *Populus davidiana* and Its Variation of Intra-tree

Gu Wanchun Li Bin Guo Wenying Zhang Lifei Luo Xiuqin

Abstract 6 natural stands were selected respectively from 6 provinces in the main distributing regions of *P. davidiana* Dode and 20 trees were sampled randomly from each plot. 5 among the 20 trees were cut for standard test of wood quality characteristics and the other 15 trees with the increment cores drilled out increment cores at DBH, which are used for contrast and supplemental test. The results of the analysis are as follows: (1) Both wood specific gravity and fiber length of cores agree with those dataum attained by the test of the felled trees. (2) Wood specific gravity and fiber length among annual ring groups of intra-tree are increasing with the increase of tree age, and conform to S curving line and Sanio regularity, whose variations are significant at 0.01 level. The maximum point of relative increasing rate of wood specific gravity and fiber length appear between 11 a and 20 a, 6 a and 15 a, respectively. (3) Correlation of wood specific gravity of juvenil-eadult is slightly different from that of fiber length. It is suggested that early selection of main wood quality characteristics should be carried out during 10~15 a.

Key words *Populus davidiana*, wood specific gravity, fiber length, variation of intra-tree

Gu Wanchun, Professor, Li Bin, Guo Wenying (The Research Institute of Forestry, CAF Beijing 100091); Zhang Lifei, Luo Xiuqin (The Research Institute of Wood Industry, CAF).

欢迎订阅 1995 年《陕西农业科学》

《陕西农业科学》是陕西省农业科学院主办的综合性农业科技期刊, 办刊宗旨是: 立足本省, 面向全国, 贯彻“双百”方针, 突出旱地农业, 提高与普及兼顾, 追踪农业科学研究热点, 报道最新农业研究成果, 提供创新性的实用技术, 竭诚为农业科研人员、大专院校师生、各级管理干部、农技推广人员及农村专业户服务。

《陕西农业科学》为双月刊, 逢单月 25 日出版。16 开本, 48 页, 公开发行, 每册定价 1.00 元, 邮发代号 52-50, 全国各地邮局(所)均可订阅。

编辑部邮编及地址: 712100 陕西省杨陵镇省农业科学院内