

意杨纸浆材材性变异的研究*

徐有明 方洪元

黄吉田

(华中农业大学林学系 武汉 430070)

(湖北省潜江市林科所)

摘要 本文报道了意杨三个无性系纸浆材材性变异规律。纤维长度、长宽比径向表现为递增, 8~10年后纤维长度趋于稳定, 8年后长宽比趋于稳定; 纤维长度在纵向上呈递减的模式。基本密度径向上呈递增的模式, 8年后趋于稳定; 纵向上表现出递增的趋势。纤维素含量径向呈递增模式, 10~12年后递增速度减慢; 木素、多缩戊糖含量在径向呈递减趋势, 10年后趋于稳定, 而多缩戊糖含量10~12年后趋于稳定。意杨木材幼龄期约为8年。从意杨纸浆材材性工艺指标, 确定意杨纸浆林8~9年时主伐利用较佳。

关键词 意杨; 纤维长度; 基本密度; 化学成分; 变异; 幼龄期; 主伐林龄

意杨是我国短周期纸浆材定向培育的主要树种之一, 其纤维形态、化学组成及纸浆特性国内已有报道^[1~3], 但对其材性指标的变异规律尚未见报道。本文就意杨纸浆材的纤维长度、长宽比, 木材密度及其化学组成的变异规律进行研究, 为用意杨木制浆造纸中长短纤维浆的合理搭配、产量质量评估和制浆工艺的改进提供基础性资料, 也为育种、造林与营林措施的确定提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试材 I-63杨 (*Populus deltoides* Bartr cv "Harvard")、I-69杨 (*P. deltoides* Bartr cv "Lus")、I-72杨 (*Populus × euramericana* (Dode) Guinier cv "San martino") 三个无性系采自湖北潜江市林科所试验林中。每个无性系各采2株, 共6株试材(表1)。每株样木从树基向上0.3、1.3、3.3、……、23.3m高处分别截取2、3、4、4cm厚四个圆盘作为试材。2cm厚圆盘用于纤维形态分析、3cm厚圆盘用于基本密度测定, 二个4cm厚圆盘用于化学成分分析。

表1 意杨样木基本情况

样木号	无性系	树龄(年)	树高(m)	胸径(cm)	材积(m ³)	备注
3-3	I-63	13	25.3	26.6	0.5677	林分密度: 每亩18~24株
3-4			23.8	31.7	0.7840	
3-1	I-69	13	25.1	30.0	0.7015	
3-5			24.2	26.6	0.4895	
3-2	I-72	13	24.3	32.9	0.8140	
3-6			22.6	28.6	0.6050	

1.2 试验方法 纤维形态试样从径向按年轮取样, 10%铬酸和10%硝酸等量混合液离析后冲洗干净, 制成临时切片, 于立体投影仪和生物投影显微镜上测量。纤维长度放大50或100倍, 纤维宽度放大400倍。每一试样测量不少于30根, 共计测量26620次。按GB10336-89计算平均纤维长度及纤维长宽比。

木材基本密度由髓心向外取样。为保证试样对年轮的代表性, 树干中心部位密度试样尺寸为20mm×20mm×25mm, 树皮附近试样尺寸为10mm×10mm×25mm。用排水法测定体积, 再烘干(103±2℃)称重计算基本密度。

木材化学成分分析由髓心向外隔轮取样, 沿着年轮方向削成木片、剪碎、适度烘干(60~80℃), 用植物粉碎机粉碎过筛,

收稿日期: 1992-08-16

* 湖北省自然科学基金资助项目

筛出合格的木粉（40~60目）。每一指标测试二次，取其均值，二次误差不得大于0.4%，否则重测。纤维素含量测定采用 硝酸 乙醇法，木素、多缩戊糖含量按GB2677.8—81、GB2677.9—81（二溴化法）规定测试。

2 结果与讨论

2.1 纤维形态变异

木材纤维形态中纤维长度、长宽比、壁腔比、柔性系数等材性特征直接影响到木浆质量和纸张的强度^[1,2,4]。由于意杨木材纤维胞壁厚度很薄（2.05~2.85μm），胞腔直径较大（18.1~26.7μm），其树干不同部位木材纤维壁腔比小（0.19~0.26）、柔性系数接近于1（0.79~0.83）^[2]，二者均符合造纸原料基本要求。因此在意杨纸浆林定向培育工艺技术指标中壁腔比、柔性系数的变异研究没有指导意义，本文仅研究意杨木材纤维长度、长宽比的变异。

2.1.1 纤维长度的径向变异

图 1、2 表明意杨木材纤维长度径向变异曲线属于Pashin等人描述的第2组^[4,5]。纤维长度由髓心向外开始直线式增加，5~7 年增加缓慢，8~9 年后趋于稳定。三个无性系和株内不同高度纤维长度径向变异表现出同一“递增、稳定”模式，说明其纤维长度变异模式受遗传控制。图 2 中意杨胸径连年生长量和数量纤维平均长度（L_N）对照曲线可直观地看出年轮宽度、纤维长度在第

3 轮前都明显地增加，第 3 轮后年轮宽度持续下降，8~10 年变化幅度减慢，10 年后趋于稳定；而纤维长度持续增长到 8 轮后趋于稳定，即L_N稳定时间比年轮宽度早，反映出年轮宽度对L_N影响较小，二者相关性微弱。三个无性系株内不同高度纤维长度（Y）与生长轮年龄（X）之间的关系均可用方程Y = A + B · X - C · X²（A、B、C>0）来表示，相关系数γ²分布在0.9140~0.9923 范围内，在α = 0.01 水平上检验均显著。这说明 意杨纤维长度主要由生长轮年龄决定。由于意杨速生、轮伐期短，纤维长度与生长轮年龄高

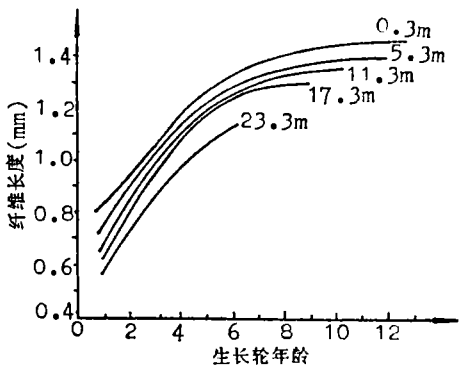


图1 1—63杨不同高度纤维长度径向变异

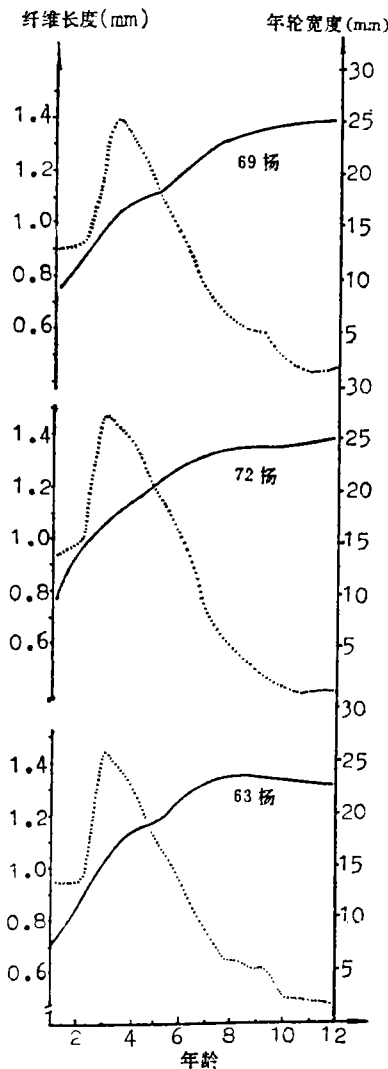


图2 意杨胸高处L_N、年轮宽度径向变异
——纤维长度 年轮宽度

度相关模型在大量测试基础上建立后可应用于意杨材育种早期 ($\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ 轮伐期) 鉴定上, 筛选出速生、纤维长的优良无性系繁殖推广。

2.1.2 纤维长宽比径向变异

意杨纤维长宽比径向变异如图 3 所示, 1~3 年直线式增加, 4~7 年递增速度减慢, 8 年后 (达 65~68) 趋于稳定。意杨三个无性系各年轮纤维长宽比数值都大于 43, 超过了纸浆材对纤维长宽比大于 35 的要求, 均适合造纸。

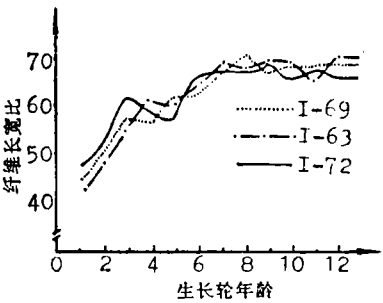


图3 意杨胸高处纤维长宽比的径向变异

2.1.3 纤维长度纵向变异

纤维长度纵向变异表现出“递减”的模式 (图 4), 树干下方纤维长度较长, 最长纤维长度位于树干基部外侧 (约 1.45mm), 最短纤维位于树干上方近髓心部位 (约 0.55mm), 见图 1、6。图 6 还表明 I-69 杨各个高度数量平均纤维长度明显大于 I-63、

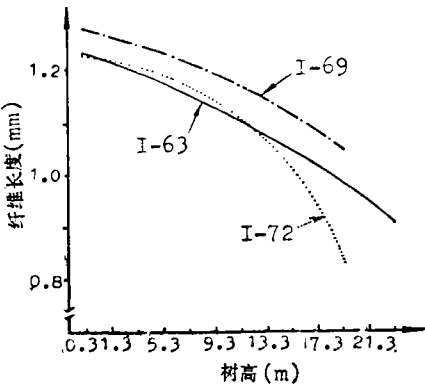


图4 意杨木材纤维长度的纵向变异

I-72 杨, 11.3m 树高上方 I-72 杨纤维长度小于 I-63 杨。由于意杨纤维长度纵向上存在着明显差异, 制浆时可搭配使用。

2.2 基本密度的变异

2.2.1 基本密度的径向变异 三个无性系株内 1.3m 胸高处木材基本密度径向表现出“先减后增”的变异模式 (图 5), 但在树高 5.3m 以上则表现出“连续递增而后稳定”的模式 (图 6), 同一树种表现出 Pashin 总结的 I、II 两种类型^[5]。图 5、6 中近髓心附近木材密度数值较低 (0.28~0.30g/cm³), 4~7 年缓慢增加, 第 8 年后趋于稳定, 69、63 杨数值分布在 0.38~0.42g/cm³ 之间, 72

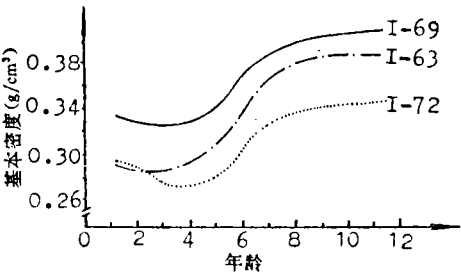


图5 意杨胸高位置基本密度的径向变异

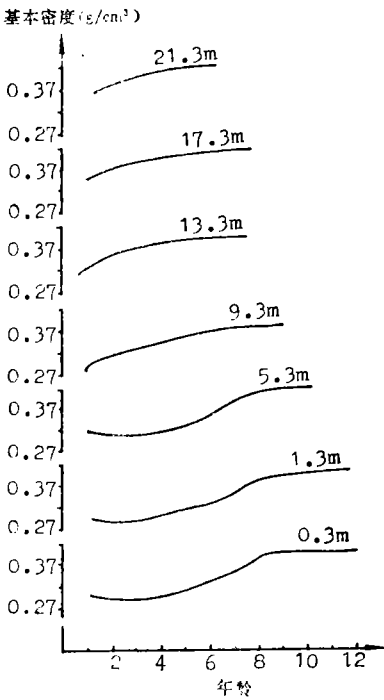


图6 63杨不同高度基本密度的径向变异

杨分布在 $0.32\sim0.35\text{g}/\text{cm}^3$ 之间。I-63、69、72杨三个无性系全树基本密度数值特别低(分别为 0.366 、 0.380 、 $0.322\text{g}/\text{cm}^3$)，势必影响到单位体积内木浆产量。Taylor认为木材密度变异第Ⅱ类型(即从髓心向外下降而后上升直到树皮)主要受遗传控制，是材性改良理想的育种目标^[6]，王明席等人在黑杨派无性系(意杨)材性遗传改良中证实了这点^[7]，因此意杨纸浆材材质改良中应着重提高其木材密度，增加单位体积内纸浆产量。

2.2.2 基本密度的纵向变异 意杨三个无性系由树干基部(0.3m)到树干上方(19.3~23.3m)各个高度木材基本密度均值表现出递增模式(图7)，这与水紫树^[5]、杨树^[8]、桉树^[9]等树种结果一致。图6、7表明三个无性系中I-69杨密度最大，I-63杨次之，I-72杨最小，但I-72杨生长特性较好(表1)，意杨纸浆林选择无性系造林时应兼顾生长速度和木材密度大小，仅从生长速度考虑是片面的。

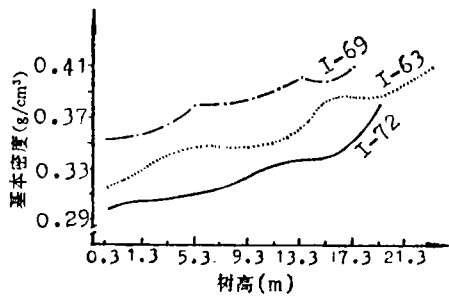


图7 意杨木材基本密度的纵向变异

2.3 木材主要化学成分的变异

图8~10表明意杨三个无性系木材纤维素含量径向呈递增的模式，10年后增加速度减慢；木素、多缩戊糖含量由髓心向外呈递减模式，木素含量8~10年递减缓慢，10年后趋于稳定，而多聚戊糖含量10~12年后趋于稳定。木浆造纸时主要利用纤维素和一部分半纤维素，纤维素含量高，纸浆得率高；而木素含量高意味着纸浆得率低。因此意杨纸浆林主伐林龄的确定应考虑到其化学成分含量的径向变异规律，在木素含量变化缓

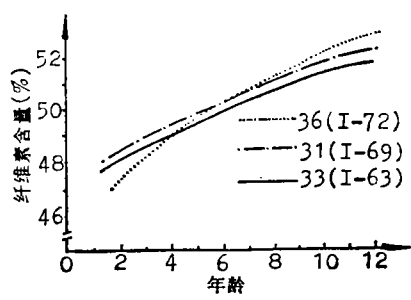


图8 意杨木材纤维素含量的径向变异

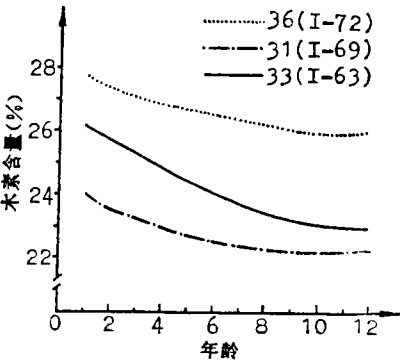


图9 意杨木材木素含量的径向变异

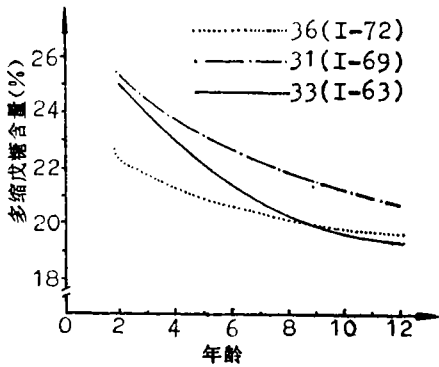


图10 意杨木材多缩含量的径向变异

慢、稳定阶段采伐较好。

2.4 意杨木材幼龄期的确定

木材幼龄期的确定通常以胸高处木材纤维长度、基本密度的径向变异曲线为依据^[10]，图1、2、7、8表明第8年后意杨纤维长度、木材密度趋于稳定，表明木材趋于成熟，因此确定其木材幼龄期8年左右。图8~10说明意杨木材化学成分含量中纤维素、多缩戊糖的材性成熟期滞后于纤维长度、木材密度，反映出同一树种各材性特征成熟期不尽一致，这与文献[11]结果一致。

图1~10表明意杨木材幼龄材年轮较宽,纤维长度短、基本密度小、纤维素含量低、木素及多缩戊糖含量较高,这与Zobel等人总结的幼龄材材性特性一致^{〔8〕}。

2.5 意杨纸浆林主伐林龄的确定

意杨短周期纸浆林主伐利用时应达到“速生丰产、优质”这一经营目标,“速生、丰产”意味着单位时间、面积上木材生物量最大,经济效益好,“优质”是提高经济效益的保证,也就是说速生丰产所培育出的纸浆原料必须达到纸浆材工艺技术指标要求

即纤维长度>0.9mm、长宽比≥35、壁腔比<1;基本密度适中;纤维素含量>40%,综纤维素含量>70%。前文所述意杨材性变异曲线中,由于各轮宽度、木材密度数值存在着差异、导致各轮材积、重量百分比不一样,因此各年轮数值不能代表其相对应树龄的材性指标。笔者基于平均加权法基本原理,引入各年轮材性、材积等因子,建立下面三个方程,给出了意杨各个树龄质量平均纤维长度(L_{wi})、基本密度和化学成分含量基本数据(表2)。

表2 三种意杨不同树龄材性特征及生长量的变化

样号	材性特征及生长量	树 龄 (年)									备注
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	
33 31 36	质量纤维平均长度 (mm)	0.7821 0.8856 0.8328	0.8437 0.9293 0.8814	0.9113 0.9845 0.9227	0.9727 1.044 0.9964	1.0328 1.1085 1.0748	1.1252 1.1958 1.1187	1.1499 1.2280 1.1534	1.1720 1.2594 1.1781	1.1866 1.2790 1.1989	33号为 I-63,
33 31 36	基本密度 (g/cm ³)	0.288 0.325 0.274	0.293 0.329 0.275	0.301 0.336 0.279	0.312 0.346 0.284	0.319 0.352 0.288	0.326 0.357 0.292	0.329 0.359 0.295	0.332 0.361 0.297	0.335 0.363 0.300	31号为 I-69, 36号为
33 31 36	纤维素含量 (%)	48.68 49.30 48.61	49.01 49.69 49.20	49.37 49.99 49.76	49.67 50.20 50.00	49.88 50.34 50.12	50.05 50.43 50.25	50.16 50.50 50.41	50.24 50.59 50.53	50.31 51.24 50.67	I-72
33 31 36	木素含量 (%)	25.29 23.23 27.16	24.97 23.04 27.03	24.63 22.83 26.91	24.40 22.72 26.83	24.25 22.67 26.78	24.10 22.63 26.70	23.99 22.60 26.59	23.92 22.59 26.54	23.88 22.58 26.44	
33 31 36	多缩戊糖含量 (%)	23.48 23.94 21.32	23.23 23.58 21.20	22.96 23.26 21.11	22.59 23.05 20.97	22.27 22.92 20.86	21.98 22.76 20.75	21.76 22.62 20.63	21.59 22.50 20.59	21.73 22.39 20.54	
33 31 36	材积连年生长量 (m ³)	0.0622 0.0576 0.0716	0.0766 0.1092 0.1024	0.0816 0.1060 0.1248	0.0814 0.1080 0.0738	0.0616 0.0761 0.0364	0.0514 0.0587 0.0366	0.0337 0.0408 0.0405	0.0265 0.340 0.0286	0.0234 0.0308 0.0290	

$$L_{wi} = \left(\sum_{i=1}^n \overline{L_{wi}} \cdot V_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n V_i \right) \cdots (1)$$
$$\rho_i = \left(\sum_{i=1}^n \overline{\rho_i} \cdot V_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n V_i \right) \cdots (2)$$
$$X_i = \left(\sum_{i=1}^n V_i \cdot \overline{\rho_i} \cdot X_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n V_i \overline{\rho_i} \right) \cdots \cdots (3)$$

V_i—第i年材积连年生长量;
L_{wi}—第i轮质量平均纤维长度;
L_{wi}—第i年全树质量平均纤维长度;
ρ_i—第i轮木材基本密度;
ρ_i—第i年全树木材基本密度值;
X_i—第i轮木材化学成分含量;
X_i—第i年全树化学成分含量。
意杨三个无性系第5(69杨)、6年(63、72杨)开始,其全树质量平均纤维长度大于

0.90mm, 达到纸浆材纤维长度数值基本要求。表2中任一树龄的木材纤维素含量都大于40%, 纤维素与多缩戊糖含量之和和任一树龄均大于70%, 即按照要求意杨木材作为造纸原料5~6年生可以采伐利用。但从表2看出, 此时木材密度较低, 木素含量较高, 其纸浆得率较低。且从表2来看, 第6年意杨材积生长正值高峰期, 单株材积年生长量达0.08~0.12m³, 并且纤维素含量、木材密度在6年后仍处于增大阶段, 木素含量也处于降低阶段, 显然此时采伐利用不合理、不经济。I-63、I-69、I-72杨材积的数量成熟龄分别为8.6年、8.4年、8.2年(材积连年生长量与材积平均生长量相交点, 图略), 取其上限定为9年, 此后材积连年、平均生长量均处于下降的趋势(0.04m³以下), 材性各指标趋于稳定, 因此意杨纸浆林8~9年主伐利用较好, 其纸浆得率较高, 药品消耗量稳定, 纤维长度大, 长宽比大。

3 结论

3.1 意杨木材纤维长度、长宽比在径向呈递增的模式, 纤维长度8~10年后趋于稳定; 纤维长宽比各年轮都大于43, 超过造纸原料长宽比35的基本要求; 纤维长度与生长轮年龄相关显著; 纤维长度纵向上呈递减模式。

3.2 意杨木材基本密度在纵向呈递增的模式; 在径向, 树高5.3m以上表现出递增的模式, 5.3m高度以下基本密度先递减, 再递增, 8年后趋于稳定。由于意杨木材基本密度数值较低, 尤其是I-72杨基本密度更低, 材性改良时应重点增加其基本密度。

3.3 意杨木材纤维素含量径向上属于递增模式, 10~12年后递增速度减慢; 木素、多缩戊糖含量在径向表现出递减的模式, 8~

10年后变化缓慢, 木素10年后趋于稳定。

3.4 根据意杨纤维长度和基本密度的径向变异模式, 确定其木材幼龄期为8年左右。

3.5 从意杨不同树龄纤维形态、基本密度和化学成分含量的变化考虑, 结合其生长特性, 意杨纸浆林主伐林龄在8~9年较佳。

致谢: 叶新山同志参加了试材采集和实验准备工作, 试材采集得到潜江市林科所杨仁义、丁所长的大力支持。

4 参考文献

- 1 廖品玉. 十六种速生树种材的化学组分、纤维形态及制浆性能. 南京林学院学报, 1981 4: 16~25
- 2 孙成志等. 四种速生杨全树木片解剖和化学成分. 第三届全国林业造纸学会学术讨论会论文集, 1988
- 3 李忠正. 意大利速生杨木制浆性能的研究. 中国造纸, 1985, 4 (6): 19~29
- 4 徐有明. 油松管胞形态特征的变异. 林业科学, 1990, 26 (4): 337~343
- 5 Pashin J. Textbook of wood technology. McGraw-Hill book Company, 4th edition, 1980, New York
- 6 Taylor F W., Differences in the wood of lodgepole pine in Alberta. Wood and Fiber Science, 1982, 14 (4): 296~309
- 7 王明麻等. 黑杨派无性系木材性状的遗传改良. 南京林业大学学报, 1989, 13 (3): 9~16
- 8 Zobel B J et al. Wood variation, its cause and control. first edition, 1989, Springer Berlin
- 9 Frederick D J et al. Wood basic density and moisture content of young *Eucalyptus regnans* grown in New Zealand. J. For. Sci, 1982, 12: 494~500
- 10 徐有明. 油松株内幼龄材的分布及其材性的研究. 中国林学会木材科学学会第三次学术研讨会论文, 1992
- 11 徐有明. 油松株内幼龄材与成熟材材性的比较研究. 木材工业, 1992, 6 (3): 44~48

Variation in wood characteristics of Italian poplars for pulpwood

Xu Youming Fang Hongyuan

(Department of Forestry, Huazhong Agricultural University Wuhan 430070)

Huang jitian

(Forestry Research Institute of Qianjiang City, Hubei Province)

Abstract The variations in fiber length, specific gravity and composition content of three Italian poplars clones for pulpwood were reported in this paper. In radial direction, fiber length, specific gravity and cellulose content of wood increased from pith outward, and level off after 8 to 10 years old; lignin and pentosan content decreased from pith to bark, and level off after 10 years old. The radial variation of fiber length-width ratio was similar to the pattern of fiber length. Along the stem height, fiber length decreased gradually and specific gravity increased from base upward. Based on radial variation of fiber length and specific gravity at 1.3 m height within trees, the duration of juvenile period was determined about 8 years old. Its lower specific gravity is improved by tree breeding.

Based on variations in the whole tree's fiber length, specific gravity, chemical composition and growth property, harvesting of Italian poplars for pulpwood at 8 to 9 years old was good.

Keywords Italian poplars; Fiber length; Specific gravity; Chemical component; Variation; Duration of juvenile period; Harvesting age

(上接第25页)

Effect of thickness variation of particleboard on accuracy of panel furniture

Qian Dawei

(The Research Institute of Wood Industry, CAF, Beijing 100091)

Abstract Thickness variation of particleboard plays an important role in the factors of affecting the accuracy of panel furniture. The results indicated that the accuracy of panel furniture was influenced by the thickness variation of particleboard obviously.

Keywords Particleboard; Panel furniture; Thickness variation; Accuracy