

栽植密度对小黑杨人工林木材解剖特性的影响^{*}

任海青¹, 刘杏娥^{1* *}, 江泽慧¹, 汪佑宏², 虞华强¹

(1 中国林业科学研究院木材工业研究所, 北京 100091; 2 安徽农业大学林学与园林学院, 安徽 合肥 230036)

摘要: 以山西朔州地区的小黑杨人工林为研究材料, 研究不同栽植密度(1 000、500、250株·hm⁻²)对小黑杨木材解剖特性的影响。结果表明: 栽植密度对纤维宽度、双壁厚、导管比量、胞壁率、导管个数、导管弦向直径的影响达极显著水平; 对壁腔比的影响达显著水平; 对纤维长度、长宽比、纤维比量、射线比量虽有一定的影响, 但不显著。栽植密度与纤维宽度、导管直径呈负相关关系, 与导管个数和比量呈正的相关关系。栽植密度对纤维形态的径向变异有不同程度的影响, 但不改变纤维形态变异的一般规律。纤维长度的径向变异为从髓心至树皮向外逐渐增加, 到第12轮达到最大值后略有下降, 纤维宽度、长宽比、双壁厚、腔径的径向变异类似于纤维长度; 壁腔比的总体径向变异为沿髓心向外, 呈先升后降的波动性变异趋势。

关键词: 小黑杨人工林; 栽植密度; 木材性质; 解剖特性

中图分类号: S718.4 文献标识码: A

Effects of Planting Density on Wood Anatomical Properties of *Populus × xiaohei*

REN Hai-qing¹, LIU Xing-e¹, JIANG Ze-hui¹, WANG You-hong², YU Hua-qiang¹

(1. Research Institute of Wood Industry CAF, Beijing 100091, China

2 College of Forestry & Gardens Anhui Agricultural University, Hefei 230036 Anhui China)

Abstract The effects of different planting densities(1 000, 500, 250 trees·hm⁻²) on anatomical properties of *Populus × xiaohei* were studied in Shuozhou County, Shanxi Province. The results indicated that the effects of planting densities on fiber width, double wall thickness, vessel ratio, fiber wall ratio, vessel number, vessel tangential diameter were highly significant, and that on ratio of wall to lumen was significant, but for the fiber length, ratio of length to width, tissue ratio of fibers and rays were not significant. The planting densities had certain effects on the radial variation of fiber properties. The results showed an initially rapid and then gentle increase of fiber length and width, fiber wall thickness and ratio of length to width from pith to outward, while ratio of fiber wall to lumen gradually decreased and then tended to stable.

Key words *Populus × xiaohei* plantation, planting density, wood properties, anatomical properties

栽植密度是营林措施中一项重要的措施,也是人工林培育中一个十分重要的技术环节,是形成一定的林分水平结构的数量基础,对各生长期林分的保留密度有决定性的影响,因而也显著地影响到林

分的生长发育、林地的生产力水平、定向培育的目的材种和经营者的经济效益。树木是固着生物,其生长受到相邻树木和其它树种的影响^[1]。一般而言,林分密度愈大,干形愈丰满,整个林分愈不稳定;而

收稿日期: 2005-08-16

基金项目: 国家自然科学基金重点项目“利用遥感技术预测人工林木材性质和利用价值的研究”(30230420)资助。

作者简介: 任海青(1969—),女,江苏扬州人,副研究员,博士。

* 中国林科院木材工业研究所的吴荷英、许明坤参加试验工作,在此一并致谢。

** 通讯作者。

林分密度愈稀, 树木的尖削度愈大, 易形成较大的树节、较宽的年轮宽度和更多的幼龄材, 因而材质较差, 所以选择合理的栽植密度是极其重要的^[2]。我国一些学者曾对造林密度与木材性质的关系进行了研究, 但仅限于部分树种, 如: 杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)^[3]、落叶松 (*Larix gm elinü* (Rupr.) Rupr.)^[4]、马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.)^[5]、尾叶桉 (*Eucalyptus urphylla* S. T. Blake)^[6]和昭林 6 号杨 (*P. xiao zhuanica* W. Y. Hsu cv. 'Zhaolin-6')^[2]等。对广泛栽培于中国“三北”地区耐旱、抗寒的小黑杨 (*Populus xiaohei* T. S. Hwang et Liang) 的材性研究未见报道。本文以山西朔州地区小黑杨人工林为试验材料, 系统地研究栽植密度对小黑杨人工林木材解剖特性的影响, 旨在为“三北”地区小黑杨速生、丰产、优质、高效人工林的培育与利用提供最佳培育方案和合理利用杨木提供理论依据。

1 试验材料和方法

1.1 材料

试验地点位于山西省朔州市薛家庄国有林场, 小黑杨于 1977 年用 2 年生苗造林, 主栽小黑杨, 间混群众杨 (*P. xiao zhuanica* W. Y. Hsu et Liang cv. 'Popularis'), 造林面积 21.6 hm²。试验林采用随机区组试验设计, 在经营水平相同的前提下, 依照生产需要, 从 1.5 m × 5 m (1 333 株 · hm⁻²)、2 m × 5 m (1 000 株 · hm⁻²)、2 m × 6 m (833 株 · hm⁻²)、2 m

× 8 m (625 株 · hm⁻²)、3 m × 6 m (556 株 · hm⁻²)、3 m × 8 m (417 株 · hm⁻²)、4 m × 5 m (500 株 · hm⁻²)、4 m × 6 m (417 株 · hm⁻²)、4 m × 8 m (312 株 · hm⁻²) 到 4 m × 10 m (250 株 · hm⁻²) 共设置了 9 个不同密度, 各 3 次重复, 共 27 个小区。根据各种密度的生长状况, 在林分中选取 (2 m × 5 m (A)、4 m × 5 m (B)、4 m × 10 m (C)) 3 种栽植密度。每种密度设置标准地 3 块, 标准地面积为 900 m² (30 m × 30 m)。

1.2 试材采集、试样制作和测试

1.2.1 试材采集及试样制作 试材采集按照国家标准^[7]进行。2004 年 5 月在 3 种栽植密度的标准地中, 根据每木检尺的结果, 按径阶大小及频率分布选取样木株数。在样木胸高北向用砍伐样木和生长锥钻取木芯的方法取样。分别于伐倒木 (株数为 14 13 9 株) 胸高处截取 10 cm 厚圆盘, 标出南北向及编号。另于活立木上钻取 5 mm 的木芯。野外记录情况见表 1。将圆盘沿直径最小的中心线锯解成 2 cm 宽的木条, 每根均在北向取材, 用于纤维形态和组织比量的测定。在每种密度中各选取 3 株平均木胸径所在径阶的胸高处木条, 从髓心向外, 每隔两年截取离析和切片材料; 其余木条和木芯分别于心材内部、幼龄材外部和边材外部截取。

1.2.2 试样测试与数据处理 木材解剖特性的测试采用常规方法切片、离析与测定^[8]。利用 Excel SAS 统计软件中相关程序进行数据处理和分析。

表 1 试材采集野外记录

试验处理	样木年龄 / a	株行距	郁闭度	胸径范围 / cm	株数 / 株	平均树高 / m	平均胸径 / cm	土壤类型
A	29	2 m × 5 m	0.7	14.1~24.2	31	16.2	18.3	草甸土
B	29	4 m × 5 m	0.7	16.5~25.2	29	16.7	22.8	草甸土
C	29	4 m × 10 m	0.7	24.8~31.7	26	18.5	27.2	草甸土

2 结果与分析

2.1 不同栽植密度对小黑杨木材纤维形态的影响

2.1.1 不同栽植密度对小黑杨纤维形态均值的影响 纤维形态影响着木材的利用, 特别关系到制浆造纸质量高低^[9]。一般纤维壁厚、壁腔比大、腔径比小, 则木材密度高, 物理力学强度大; 而纤维长、腔径比和长宽比大、壁腔比小, 则制浆造纸时纤维易压溃、纤维交织性能好, 纸浆性能好^[10]。

不同栽植密度间小黑杨纤维形态特征均值及方

差分析见表 2。由表 2 可知, 3 种栽植密度的林分其纤维长度分别为 980.9、1 016.8、1 005.2 μm, 均达到国际木材解剖学会规定的中级标准。纤维长度平均值间有差异, 趋势为: 密度较小的林分中产生较短的纤维长度, 密度较大的林分则形成较长的纤维, 具体表现为 B 纤维长度最长, 分别比 A、C 长 3.6%、1.2%; 这与前人研究结果一致^[2, 11]。经 SNK 方差检验表明, 3 种密度间纤维长度在 0.05 水平上差异不显著。

纤维宽度均值分别为 24.52、25.17、25.36

μm , 反映出纤维宽度有随造林间距增加而增大的趋势。方差分析发现: 不同栽植密度间纤维宽度在 0.01 水平上差异显著。这是因为随着栽植密度的减小, 林分中树冠的生长空间得到改善, 根系对土壤水分和养分竞争得以缓和, 并使树干能得到充分的侧方光照, 树木光合作用产生的碳水化合物相对较多, 有利于形成层细胞的分化和生长^[9]。而小黑杨为强阳性树种, 其生长发育需要较强的光照, 当密度增大时, 增加了侧方庇荫, 使植株体内的细胞组织发育受到抑制, 即细胞体积减小。所以栽植密度越大, 纤维宽度越小。这与昭林 6 号杨^[2]的结果相一致。

不同栽植密度小黑杨的纤维长宽比均 > 35 密

度最大的林分纤维长度最短, 但纤维宽度也最小, 因而长宽比值并未最小; 密度最小的林分, 纤维长度呈中等长度, 纤维宽度最大, 其长宽比最小; 长宽比最大的是 B 林分。经方差分析表明: 3 种栽植密度间的差异没有达到统计学上的显著水平。各种栽植密度小黑杨的壁腔比皆 < 1, 是很好的造纸原料^[12]。其中, 双壁厚、壁腔比皆属 B 最大, 最大、最小密度的林分值皆小, 且与 A、C 差异明显, 达到 0.01 水平上显著。

从以上的分析可以得知, 栽植密度对小黑杨的纤维形态特征有一定的影响, 特别是对纤维宽度、双壁厚和壁腔比的影响显著, 这几个因子都与树木的生长密切相关。

表 2 不同栽植密度小黑杨木材解剖特性均值及方差比较

栽植密度	纤维形态特征						导管特征		组织比量 %			
	长度 / μm	宽度 / μm	双壁厚 / μm	腔径 / μm	长宽比	壁腔比	个数 / ($\text{个} \cdot \text{mm}^{-2}$)	弦向直径 / μm	纤维比量	导管比量	射线比量	胞壁率
2 m × 5 m	980 9A	24 52B	5 86A	13.30A	40 04A	0 44A	105 47A	49.85A	46 96A	27 65A	11.05A	61 29A
4 m × 5 m	1 016 8A	25 17A	6 37B	13.29A	40 45A	0 48B	96 10B	52.49B	45 97A	28 18A	11.08A	60 81A
4 m × 10 m	1 005 2A	25 36A	5 83A	12.98A	39 68A	0 45A	84 71C	53.57B	46 08A	25 46B	11.38A	63 08B
<i>p</i>	0 052	0 001	0 002	0 261	0 573 2	0 021 2	0 000 1	0 000 1	0 38	0 000 1	0 39	0 000 4

注: 大写字母相同表示用 SNK 法检验在 0.05 水平上差异不显著。

2.1.2 不同栽植密度对小黑杨纤维形态特征径向变异的影响 图 1~6 分别为胸高处纤维长度、宽度、纤维双壁厚、纤维腔径、长宽比和壁腔比随年龄和栽植密度的变化曲线。由图 1 可以看出: 小黑杨纤维长度从髓心向外逐渐增加, 变化曲线从第 12 轮处发生转折, 趋于平缓, 表明纤维长度进入成熟期, 达到最大值后略有下降, 3 种栽植密度的变化趋势相同, 符合纤维长度径向变异的一般规律^[13]。纤维

长度径向变化程度受造林密度的影响。在较低的造林密度条件下径向变化规律不显著, 较高的造林密度下纤维长度径向变异程度显著增大。3 种密度下小黑杨纤维长度的径向变异趋势与滩地 F69 杨 (*P. deltoides* Bartr. cv. 'Lux'), F63 杨 (*P. deltoides* Bartr. cv. 'Harvard') 和 I-72 杨 (*P. × euram ericana* (Dode) Guinier cv. 'San Martino')^[14] 的径向变异趋势一致。

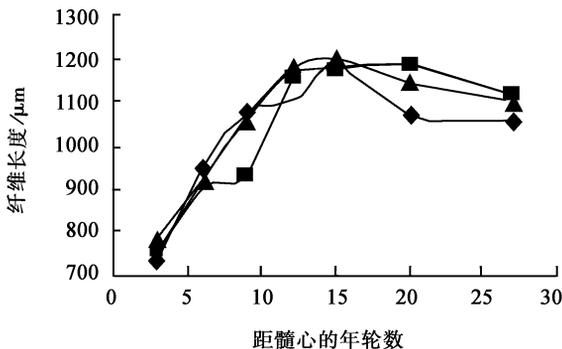


图 1 不同栽植密度小黑杨木材纤维长度径向变异

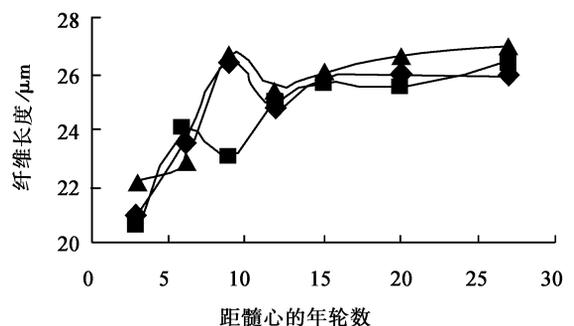


图 2 不同栽植密度小黑杨木材纤维宽度径向变异

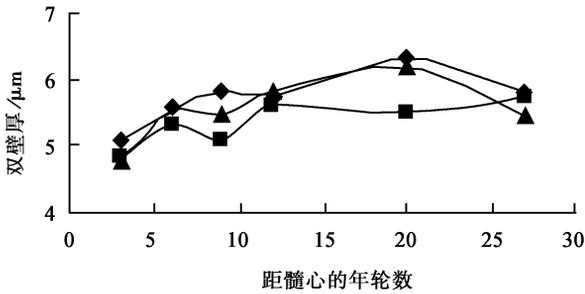


图 3 不同栽植密度小黑杨纤维双壁厚的径向变异

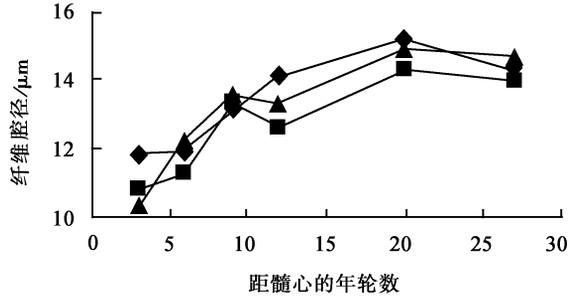


图 4 不同栽植密度小黑杨纤维腔径的径向变异

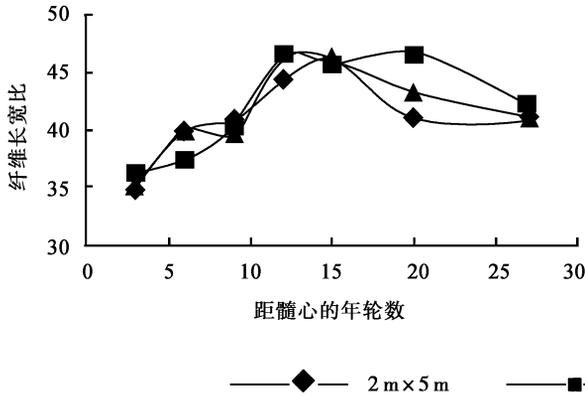


图 5 不同栽植密度小黑杨纤维长宽比径向变异

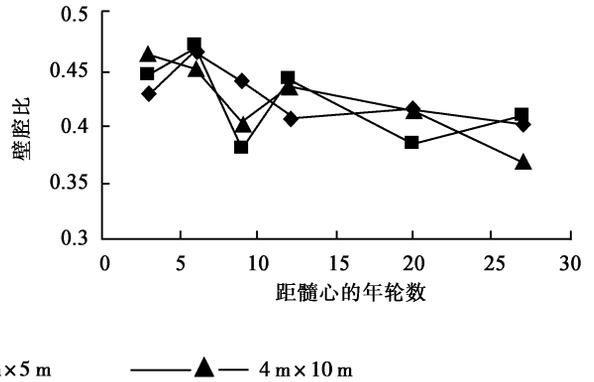


图 6 不同栽植密度小黑杨纤维壁腔比径向变异

纤维宽度的径向变化趋势类似于纤维长度的变化,但变化幅度没有纤维长度大。且 B 密度的径向变化曲线相较于 A、C 而言变异幅度较大,与两者的距离也大。纤维长宽比的径向变化特点类似于纤维长度的变化,因为长宽比受纤维长度和宽度的综合影响,纤维长度和宽度皆沿髓心向外逐渐增加后稳定或略有波动,因纤维宽度要抵消一部分的变异,所以长宽比的变化幅度要小于纤维长度。纤维双壁厚和腔径随着生长轮龄的增加,呈现缓慢增加的趋势,到一定年轮后也轻微的下降。纤维壁腔比的变化趋势不同于上述的变化,而是从髓心向外,先轻微的上升,3 a 后又持续下降,10~12 a 达到最小,然后上下波动。3 种栽植密度的变化趋势相似, A、C 变化幅度很接近,而 B 的变化幅度比较大,而且明显偏离 A、C 较多。

2.2 不同栽植密度对小黑杨细胞组织比量、胞壁率和导管特性的影响

2.2.1 不同栽植密度对小黑杨细胞组织比量的影响

木材组织比量系构成木材的各种细胞所占横断面积的百分比。主要研究木材显微构造的数量特征,把木材构造分子的数量特征与木材材性联系起来,找出解剖特征与木材性质间的规律,是研究树木

生长的变异规律及材性预测的重要手段^[15]。阔叶树材组成较复杂,除木纤维外,还有导管、木射线和轴向薄壁组织,它们对木材密度和强度指标都有一定的影响^[9,16]。

不同栽植密度小黑杨细胞组织比量、胞壁率及单位面积导管个数的平均值及方差分析见表 2。由表 2 可以看出:小黑杨纤维比量为 45%~47%,比中林三北 1 号杨^[2](*P. nigra* L. × *P. simonii* Carr cv. ‘Zhonglin Sanbei 1’) (58.89%) 要小,产生这种差异的原因可能是树种不同以及地理位置的差异。随着栽植密度的减小,纤维比量呈现增大的趋势,即栽植密度越大,纤维比量越大,但 C > B。方差分析显示纤维比量没有达到统计上显著水平。导管比量分布范围为 25.48%~28.18%,比其母本小叶杨(*Populus simonii* Carr)高^[17]。导管比量大有益于制浆时蒸煮药液的渗透,缩短蒸煮时间。随着栽植密度的增加,导管比量呈增大的趋势,但栽植密度为 B 的导管比量最大,与纤维比量相反。经 SNK 检验表明:3 种栽植密度间导管比量差异显著($p = 0.0001$),且 C 与 A 间差异显著,而 A、B 间没有达到统计上显著水平。这与刘盛全^[14]对滩地杨树的结论不同:他认为栽植密度对滩地 F63 杨、F69 杨和 F72 杨的导管

面积比量没有影响。产生这种差异的主要原因可能是立地条件的不同。小黑杨生长在水分严重缺乏而光照充足的西北地区, 年降水量 400 mm 左右, 树木为了生存, 尽可能地扎根土壤深层获取必要的水分而满足树冠强烈的蒸腾作用, 作为树木的输导组织导管充分发育, 栽植密度的不同引起有效水分供给的差异必然导致导管面积比量的差异; 而长江滩地年降水量为 1 182 mm, 江滩上的杨树每年 6 至 8 月季节性淹水(平均淹水 2.5 月), 大量的水分使得因栽植密度而引起的对土壤水分的竞争较弱, 所以栽植密度引起的差异较小。木射线比量的变化趋势是: 随着栽植密度的增加而减小, 即密度小, 射线比量大。方差分析表明差异不显著。

2.2.2 栽植密度对胞壁率、导管分子形态的影响
胞壁率作为单位面积内木材物质相对数量的标志, 其大小对木材密度、物理力学性质及制浆造纸的性能有影响^[9]。3 种栽植密度的小黑杨木材胞壁率为 $C > A > B$, C 与 A 、 B 差异显著, 而 A 、 B 间差异不显著。

导管数量的差异决定了树木的水分供应状况以及生长状况, 其数目的多少与树木种类有一定的关系。在 3 种栽植密度下, 单位面积的导管个数变化较大(变异系数为 12% 左右)。随着密度的减小, 导管个数也减小, 表现为 A 最大, 均值为 $105.47 \text{ 个} \cdot \text{mm}^{-2}$, C 最小, 为 $84.71 \text{ 个} \cdot \text{mm}^{-2}$, B 介于两者之间。方差分析表明, 3 种栽植密度间导管个数达到 0.01 水平上差异显著。

导管的大小及分布对制浆过程中药液的扩散, 木材加工、单板的制作等有重大意义; 甚至对纸页的表面性质也有影响^[12]。杨树是散孔材, 导管弦向直径记录的是整个生长轮的直径。小黑杨导管分子的弦向直径均值在 $49.85 \sim 53.57 \mu\text{m}$ 之间, 属于甚小和稍小级别^[18], 小于其母本小叶杨^[17]。导管弦向直径随栽植密度的变化与导管个数的变化相反, 呈现为随着栽植密度的减小, 直径增加, 即较大的导管弦向直径对应着较小的单位面积导管个数。Helńska-Raczkowska^[19, 20] 在研究欧洲白蜡树 (*Fraxinus excelsior* L.) 和无梗花栎 (*Quercus petraea* Liebl) 时也得出早材导管腔径与导管个数呈负的相关性。导管弦向直径与导管个数的关系符合导管的功能^[21, 22]。栽植密度对导管分子弦向直径的影响达到了极显著水平。

通过对栽植密度与解剖特性的回归分析进一步

表明, 不同栽植密度与纤维长度、双壁厚、纤维腔径、长宽比、壁腔比、射线比量、纤维比量、胞壁率无明显的相关关系 ($r \leq 0.2$); 而与纤维宽度、导管弦向直径呈显著的负相关关系, 与导管个数和比量呈显著的正相关关系, 结果见表 3。

表 3 栽植密度与小黑杨木材解剖特性的回归关系

解剖特性	样本数	回归方程	相关系数
纤维宽度 (y_1)	86	$y_1 = 25.6934 - 0.00115N$	-0.38
导管个数 (y_2)	86	$y_2 = 80.27281 + 0.02607N$	0.60
导管直径 (y_3)	86	$y_3 = 54.89296 - 0.00501N$	-0.46
导管比量 (y_4)	86	$y_4 = 25.84465 + 0.0022N$	0.52

注: $r_{0.001} = 0.3568$, N 为栽植密度 ($\text{株} \cdot \text{1m}^{-2}$)。

3 小结

通过对小黑杨 3 种栽植密度林分的解剖特性研究分析得知, 栽植密度对纤维宽度、双壁厚、导管比量、胞壁率、导管个数、导管弦向直径的影响达到极显著水平; 对壁腔比的影响达到显著水平; 对纤维长度、腔径、长宽比、纤维比量、射线比量有一定程度的影响, 但不显著。其中, 栽植密度与纤维宽度、导管弦向直径呈负相关关系, 与导管比量、个数呈正相关关系。

栽植密度对纤维形态特征的径向变异有不同程度的影响, 但不改变纤维形态变异的一般模式, 即纤维长度的径向变异为从髓心至树皮向外逐渐增加, 到第 12 轮时达到最大值后基本保持不变或略有下降。纤维宽度、双壁厚、腔径、长宽比的径向变异类似于纤维长度, 但变动幅度没有纤维长度大; 纤维壁腔比的总体径向变化趋势是沿髓心向外呈先升后降的波动性变化。

本研究表明, 不同栽植密度对小黑杨木材解剖特征的影响程度不同, 单从解剖特性来说, 栽植密度为 $4 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 的林分较好, 其纤维长度、长宽比、双壁厚、纤维比量、导管比量、胞壁率都最大。

参考文献:

- [1] Wimberly M C, Bare B B. Distance dependent and distance independent models of Douglas fir and western hemlock basal area growth following silvicultural treatment [J]. For Ecol Manage 1996, 89: 1
- [2] 鲍甫成, 江泽慧. 中国主要人工林树种木材性质 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1998: 69, 396~400
- [3] 熊平波. 初植密度和间伐强度对杉木木材性质的影响 [J]. 林业科学, 1987, 23(1): 39~42

- [4] 陈广胜, 郭明辉, 黄治. 不同初植密度兴安落叶松人工林木材解剖特征的径向变异 [J]. 东北林业大学学报, 2001, 29(2): 7~12
- [5] 夏玉芳. 不同造林密度对马尾松管胞形态及其径向变异的影响 [J]. 山地农业生物学报, 2001, 20(6): 412~416
- [6] 黄宝灵, 吕成群, 蒙钰钗, 等. 不同造林密度对尾叶桉生长、产量及材性影响的研究 [J]. 林业科学, 2000, 36(1): 81~90
- [7] 国家技术监督局. 中华人民共和国国家标准 GB1927-43-91, 木材物理力学性质试验方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1991
- [8] 姜笑梅. 人工林与天然林杉木幼龄材和成熟材解剖性质差异及其在径向上变异的比较研究 [J]. 世界林业研究, 1994, 7(专集): 1~13
- [9] 成俊卿. 木材学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1985
- [10] 徐有明. 意杨纸浆材材性的研究 [J]. 木材工业, 1994, 8(1): 38~44
- [11] 方升佐, 吕士行, 徐锡增, 等. 南方地区杨树胶合板材定向培育技术的研究 [J]. 林业科学, 1999, 35(6): 120~124
- [12] 杨淑蕙. 植物纤维化学 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001: 44
- [13] Panshin A J, Zeeuw C de. Textbook of Wood Technology [M]. New York: McGraw-Hill, 1980: 291~292
- [14] 刘盛全. 长江滩地杨树人工林木材性质与培育及利用的关系研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 1997
- [15] 张述银. 辽东栎木材解剖与材性关系 [D]. 合肥: 安徽农学院, 1986
- [16] Leceq A. Relationship between beechwood anatomy and its physical mechanical properties [J]. IAWA, 1980 (1): 65~71
- [17] 杨家驹, 卢鸿俊, 刘鹏, 等. 木纤维 [M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2001: 244
- [18] 李坚. 木材科学 [M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1994
- [19] Hełńska-Rączkowska L, Fabisiak E. Radial variation of earlywood vessel lumen diameter as an indicator of the juvenile growth period in ash (*Fraxinus excelsior* L.) [J]. Holz als Roh- und Werkstoff, 1999, 57: 283~286
- [20] Hełńska-Rączkowska L. Variation of vessel lumen diameter in radial direction as an indication of juvenile wood growth in oak (*Quercus petraea* Liebl.) [J]. Ann Sci For, 1994, 51(3): 283~290
- [21] Bamber R K, Curtin R A. Some properties of wood black butt trees of two ages [J]. Aus For, 1974, 36: 226~234
- [22] Carlquist S. Comparative Wood Anatomy. Springer Series in Wood Science [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1988: 44~46, 54