

不同杨树无性系幼龄材和成熟材化学成分的比较

武 恒¹, 刘盛全¹, 查朝生², 于一苏³

(1 安徽农业大学 林学与园林学院, 安徽 合肥 230036; 2 安徽省林业厅林业外资项目办公室, 安徽 合肥 230001;

3 安徽省林业科学研究院, 安徽 合肥 230031)

【摘 要】【目的】研究 5 个杨树无性系幼龄材和成熟材的化学成分, 为杨树优良无性系的选择和杨树制浆造纸利用提供依据。【方法】选择欧美杨 107 杨(*Populus × euramericana* ‘Neva’), 中汉 22 杨(*P. × deltoides* cv. ‘Zhonghan-22’), 皖林 1 号杨(*P. × deltoides* cv. ‘Wanlin-1’), Z9(*P. × deltoides* cv. ‘Z9’) 和 B3(*P. × deltoides* cv. ‘B3’) 5 个杨树无性系为研究材料, 参照有关国家标准, 分别测定其幼龄材和成熟材的化学成分, 通过单因素方差分析, 比较不同无性系及不同材龄之间的差异性。【结果】综纤维素、纤维素、木质素、苯醇抽提物、10 g/L NaOH 抽提物的含量, 在所测的 5 个杨树无性系试样中分别为 749.7~830.7, 398.1~434.1, 177.1~198.0, 8.8~14.8 和 190.2~237.2 g/kg。5 个杨树无性系成熟材中的综纤维素和纤维素含量均高于幼龄材, 木质素含量均低于幼龄材; 苯醇抽提物含量除皖林 1 号杨外, 其余无性系均表现为成熟材大于幼龄材; 10 g/L NaOH 抽提物含量在不同无性系之间差异较大。幼龄材与成熟材之间, 综纤维素含量差异极显著($P < 0.01$), 苯醇抽提物含量差异显著($P < 0.05$), 其余化学成分差异均不显著; 不同无性系之间, 综纤维素含量和 10 g/L NaOH 抽提物含量在 $P = 0.001$ 水平上差异显著, 木质素含量在 $P = 0.01$ 水平上差异显著, 其余化学成分差异均不显著。【结论】从化学成分来看, 5 个杨树无性系均是制浆造纸的优良原料。由于无性系之间化学成分差异显著, 幼龄材与成熟材之间化学成分也存在差异, 因此建议在选择制浆造纸原料时, 应优先考虑无性系的影响。

【关键词】 杨树无性系; 幼龄材; 成熟材; 化学成分

【中图分类号】 S781.42; S792.11

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2011)07-0071-06

Comparative study on the chemical composition between juvenile and mature wood of different poplar clones

WU Heng¹, LIU Sheng-quan¹, ZHA Chao-sheng², YU Yi-su³

(1 College of Forestry and Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China;

2 Forestry Foreign Funded Project Office, Forestry Department of Anhui Province, Hefei, Anhui 230001, China;

3 Anhui Academy of Forestry, Hefei, Anhui 230031, China)

Abstract: 【Objective】 This paper is aimed at analyzing the chemical composition of juvenile and mature wood of five different poplar clones so as to work out some helpful and necessary data to select quality poplar clones and to lay basis for the technology of employing poplar pulp as raw materials in paper industry. 【Method】 With poplar clone 107 (*Populus × euramericana* ‘Neva’), poplar clone Zhonghan-22 (*P. × deltoides* cv. ‘Zhonghan-22’), poplar clone Wanlin-1 (*P. × deltoides* cv. ‘Wanlin-1’), poplar clone Z9 (*P. × deltoides* cv. ‘Z9’) and poplar clone B3 (*P. × deltoides* cv. ‘B3’) as samples and national standards as reference, the research determines the chemical composition of the five sample poplars and, with one way ANOVA, analyzes the differences among the selected poplar clones and among poplar ages. 【Result】 The research concludes that, in all tested samples, the content of holo-cellulose, cellulose content, lignin content,

* [收稿日期] 2011-03-11

[基金项目] 国家自然科学基金青年基金项目(30901132); 安徽省自然科学基金项目(11040606M60)

[作者简介] 武 恒(1970—), 男, 安徽合肥人, 讲师, 硕士, 主要从事木材改性研究。E-mail: wulang909@163.com

[通信作者] 刘盛全(1967—), 男, 安徽岳西人, 教授, 主要从事木材学研究。E-mail: liusq@ahau.edu.cn

benzene-ethanol extracts and 10 g/L NaOH extracts vary respectively from 749.7—830.7, 398.1—434.1, 177.1—198.0, 8.8—14.8 and 190.2—237.2 g/kg. The contents of holo-cellulose and cellulose in mature wood of all five poplar clones are higher than those in juvenile wood, and as for lignin, the result is just the opposite. The content of benzene-ethanol extracts in the selected poplar clones excluding Wanlin-1 is higher in mature wood than that in juvenile wood. There is inconsistent result for comparison of 10 g/L NaOH extractive content between juvenile and mature wood among five poplar clones. Comparison of the content of holo-cellulose between juvenile and mature wood reveals some significant differences at the level of 0.01, and benzene-ethanol extracts at 0.05. No significant difference is found for other chemical composition. The contents of holo-cellulose and 10 g/L NaOH extract vary among all poplar clones selected at the level of $P=0.001$, and lignin at $P=0.01$. No difference is found in other chemical composition among poplar clones. 【Conclusion】 In the light of chemical composition, all five poplar clones selected are excellent raw materials for pulping and paper-making. But for the remarkable differences in chemical composition between juvenile and mature wood, and among different clones, it is highly suggested that clone factors in particular should be considered in the selection of raw materials for pulping and paper-making.

Key words: poplar clone; juvenile wood; mature wood; chemical composition

由于树木在不同生长阶段木材形成过程不同,导致木材结构和基本化学成分随着生长时间的推移而发生相应变化,这种变化形成了木材性质的径向变异^[1]。通过对木材径向变异的研究发现,木材各项材质指标在生长初期变化幅度较大,到达一定年龄阶段后处于一种较为稳定的状态;前者所形成的木材称为幼龄材(Juvenile wood),后者为成熟材(Mature wood)^[2]。幼龄材和成熟材是木材科学研究及木材加工利用中非常重要的概念^[3],也是木材材质预测研究的重要内容之一,幼龄材和成熟材的划分也因此成为研究热点。杨树人工林是我国木材加工利用的主要原材料,其木材的化学成分与木制品生产和制浆造纸关系紧密,是木材材质指标研究的重点^[4]。在此基础上,众多学者还开展了杨树木材化学成分的径向变异研究。鲍甫成等^[5]研究了包括中林三北 1 号杨在内的 10 个人工林树种和 4 个天然林树种幼龄材与成熟材之间化学成分的差异,结果表明,中林三北 1 号杨幼龄材与成熟材之间有半数以上的化学成分表现出显著差异。徐有明等^[6]研究了 3 个杨树无性系木材化学成分的径向变异认为,纤维素含量径向递增至 10~12 年生,随后速度减慢,而木质素含量径向递减;得出类似结果的还有蒲俊文等^[7]、庞志强等^[8]、徐艾清等^[9]对三倍体毛白杨的研究。随着林木遗传育种工作的进展,国内对杨树无性系的选育和推广研究也得以加强,随之而来的杨树木材性质的种源变异研究也引起了众多学者的关注^[10]。邢善湘等^[11]比较了 7 个毛白杨无性系木材的化学成分;姜岳忠等^[12]测定了 14 个杨树无

性系木材的化学成分;方升佐等^[13]对 7 个杨树无性系木材的化学成分进行了测定。基于以上研究现状,本试验选取安徽省林业科学研究院针对江淮丘陵地貌新近选育或推广的 5 个杨树无性系,分别研究其幼龄材和成熟材的化学成分,以期对杨树优良无性系的选择和杨树制浆造纸利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试材采集

试材采集地位于安徽省天长市。该市地处安徽省江淮丘陵的东部,年平均气温 14.8℃,降水量 1 041 mm,年日照时间 2 197.6 h,无霜期 220 d。试验地设置在该市城西林场红草湖内,面积 3.33 hm²,属于围湖滩地,系河湖沉积土,土层深厚,质地轻壤,地下水位不足 1 m,肥力中等,样地内杨树种植密度为 5 m×6 m。在立地条件相同的种源林中选择欧美杨 107 杨(以下简称 107 杨)(*P. × euramericana* ‘Neva’)、中汉 22 杨(*P. × deltoides* cv. ‘Zhonghan-22’)、皖林 1 号杨(*P. × deltoids* cv. ‘Wanlin-1’)、Z9 (*P. × deltoids* cv. ‘Z9’)和 B3 (*P. × deltoids* cv. ‘B3’)5 个杨树无性系,前 3 个是目前应用较为广泛的优良杨树无性系,后 2 个是安徽省林业科学研究院选育的杨树无性系。林地于 1991 年开始造林,2004 年采伐。采伐时样木采集按照国家标准《木材物理力学试材采集方法》(GB 1927—1991)^[14]进行。每个无性系采集生长发育良好、干形通直圆满的样木 1 株。样地自然条件及林分生长情况见表 1。

表 1 5 个杨树无性系样木的生长情况
Table 1 Growth conditions of 5 poplar clone sampling trees

无性系 Clone	树龄/年 Age	胸径/cm DBH	树高/m Height	枝下高/m Clear length
107	12	27.4	22	4.0
B3	12	26.1	21	6.5
中汉 22 Zhonghan 22	12	33.0	22	5.8
皖林 1 号 Wanlin 1	12	30.5	23	8.5
Z9	12	29.3	21	6.9

1.2 试材划分

在树高 1.3 m 下载取 20 cm 圆盘 1 个,按照纤维长度和基本密度径向变异研究结果,将纤维长度和基本密度径向变异较大的 1~7 年生木材归为幼龄材,而将纤维长度和基本密度径向变异趋于平缓的 8~14 年生木材归为成熟材。分别将幼龄材和成熟材劈解成小木棒,气干后用粉碎机粉碎,筛取粒径 0.175~0.246 mm 的木粉进行化学成分测定。

1.3 试材化学成分的测定方法

试材中各项化学成分的测定,均严格按照国家标准进行^[15]。其中 10 g/L NaOH 抽提物含量测定参照 GB 2677.5—1993 中方法,苯醇抽提物含量测定采用 GB 2677.6—94 中方法,纤维素含量测定采用硝酸乙醇法,木质素含量测定采用体积分数 72% 硫酸法(GB 2677.8—1994),综纤维素含量测定选用亚氯酸钠法(GB 2677.10—1995)。对所有木粉试样按照四分法获得 3 组平行样,按照上述方法进行化学成分的测定。

表 2 不同杨树无性系幼龄材和成熟材化学成分的比较

Table 2 Comparison of chemical composition of both juvenile and mature wood of each poplar clone g/kg

无性系 Clone	部位 Part	综纤维素含量 Holo-cellulose content	纤维素含量 Cellulose content	木质素含量 Lignin content	苯醇抽提物含量 Benzene-elcohol extractives content	10 g/L NaOH 抽提物含量 10 g/L NaOH extractives content
中汉 22 Zhonghan 22	幼龄材 Juvenile wood	795.5	411.2	194.7	10.0	213.8
	成熟材 Mature wood	806.3	422.7	189.4	11.2	203.7
皖林 1 号 Wanlin 1	幼龄材 Juvenile wood	755.5	398.1	198.0	11.7	237.2
	成熟材 Mature wood	794.7	421.0	183.1	8.8	219.1
B3	幼龄材 Juvenile wood	749.7	403.2	195.1	10.3	235.7
	成熟材 Mature wood	760.9	412.2	185.7	11.5	235.7
107	幼龄材 Juvenile wood	771.5	410.8	184.6	10.3	226.6
	成熟材 Mature wood	783.3	430.8	179.7	14.8	211.9
Z9	幼龄材 Juvenile wood	794.4	428.1	180.0	9.9	190.2
	成熟材 Mature wood	830.7	434.1	177.1	13.8	192.3

对 5 个杨树无性系成熟材和幼龄材的化学成分进行比较后发现,其综纤维素和纤维素含量均表现为成熟材高于幼龄材,而木质素含量均表现为幼龄材高于成熟材。苯醇抽提物含量除皖林 1 号杨外,其余无性系均表现为成熟材大于幼龄材。对 10 g/L NaOH 抽提物含量进行比较发现,中汉 22 杨、

1.4 数据处理

采用 SPSS 14.0 软件对试验数据进行方差分析^[16]。

2 结果与分析

2.1 不同杨树无性系幼龄材和成熟材化学成分的比较

由表 2 可以看出,所测试材的综纤维素含量为 749.7~830.7 g/kg,以无性系 Z9 成熟材中综纤维素含量最高,而无性系 B3 幼龄材最低;纤维素含量为 398.1~434.1 g/kg,依然是无性系 Z9 成熟材中含量最高,但含量最低的是皖林 1 号杨的幼龄材;木质素含量为 177.1~198.0 g/kg,含量最高的是皖林 1 号杨幼龄材,最低的是 Z9 成熟材;苯醇抽提物含量为 8.8~14.8 g/kg,以 107 杨成熟材最高,最低的是皖林 1 号杨成熟材;10 g/L NaOH 抽提物含量为 190.2~237.2 g/kg,含量最高的是皖林 1 号杨幼龄材,最低的是 Z9 幼龄材。

皖林 1 号杨、107 杨均表现为幼龄材高于成熟材,而 Z9 是成熟材高于幼龄材,B3 则表现为成熟材与幼龄材恰好相等。

2.2 木材年龄和无性系对杨树木材化学成分影响的单因素方差分析

以成熟材和幼龄材为自变量,对木材各化学成

分进行单因素方差分析,结果如表 3 所示。由表 3 可知,成熟材与幼龄材之间,综纤维素含量差异极显著($P<0.01$),苯醇抽提物含量差异显著($P<0.05$),其余化学成分差异均不显著($P>0.05$)。鲍

甫成等^[5]研究中林三北 1 号杨得出,除热水抽提物以外,其余化学成分在成熟材与幼龄材之间差异均显著。

表 3 木材年龄对杨树木材化学成分影响的单因素方差分析结果

Table 3 One way ANOVA results for influence of chemical composition of poplar wood among woods at different ages

类别 Catalogue	方差来源 Source of variance	平方和 Sum of mean square	自由度 <i>df</i>	均方 Mean square	<i>F</i> 值 <i>F</i> value	显著值 Significance
综纤维素含量 Holo-cellulose content	组间 Between group	3.584×10^{-3}	1	3.584×10^{-3}	6.585	0.016**
	组内 Within group	1.524×10^{-2}	28	5.442×10^{-4}		
	总的 Total	1.882×10^{-2}	29			
纤维素含量 Cellulose content	组间 Between group	1.685×10^{-4}	1	1.685×10^{-4}	1.282	0.267
	组内 Within group	3.680×10^{-3}	28	1.314×10^{-4}		
	总的 Total	3.849×10^{-3}	29			
木质素含量 Lignin content	组间 Between group	1.716×10^{-5}	1	1.761×10^{-5}	0.279	0.601
	组内 Within group	1.765×10^{-3}	28	6.303×10^{-5}		
	总的 Total	1.783×10^{-3}	29			
苯醇抽提物含量 Benzene-elcohol extractive contents	组间 Between group	1.865×10^{-5}	1	1.865×10^{-5}	5.745	0.023*
	组内 Within group	9.089×10^{-5}	28	3.246×10^{-6}		
	总的 Total	1.095×10^{-4}	29			
10 g/L NaOH 抽提物含量 10 g/L NaOH extractives content	组间 Between group	5.009×10^{-4}	1	5.009×10^{-4}	1.788	0.192
	组内 Within group	7.842×10^{-3}	28	2.801×10^{-4}		
	总的 Total	8.343×10^{-3}	29			

注: * 表示 5% 水平下差异显著, ** 表示 1% 水平下差异显著, *** 表示 0.1% 水平下差异显著。下表同。
Note: * means significance at 0.05 levels, ** means significance at 0.01 levels, *** means significance at 0.001 levels. The same as below.

以不同杨树无性系为自变量,对其成熟材和幼龄材的各化学成分进行单因素方差分析,结果如表 4 所示。表 4 结果显示,不同无性系之间,综纤维素含量和 10 g/L NaOH 抽提物含量在 $P=0.001$ 水平

上差异显著,木质素含量在 $P=0.01$ 水平上差异显著,其余化学成分差异均不显著。方升佐等^[13]研究认为,不同无性系之间纤维素含量差异显著。

表 4 无性系对杨树木材化学成分影响的单因素方差分析结果

Table 4 One way ANOVA results for comparison of chemical composition of poplar wood among different clones

类别 Catalogue	方差来源 Source of variance	平方和 Sum of mean square	自由度 <i>df</i>	均方 Mean square	<i>F</i> 值 <i>F</i> value	显著值 Significance
综纤维素含量 Holoc-ellulose content	组间 Between group	1.228×10^{-2}	4	3.069×10^{-3}	11.727	0.000***
	组内 Within group	6.544×10^{-3}	25	2.617×10^{-4}		
	总的 Total	1.882×10^{-2}	29			
纤维素含量 Cellulose content	组间 Between group	9.929×10^{-4}	4	2.482×10^{-4}	2.173	0.101
	组内 Within group	2.856×10^{-3}	25	1.142×10^{-4}		
	总的 Total	3.849×10^{-3}	29			
木质素含量 Lignin content	组间 Between group	8.730×10^{-4}	4	2.183×10^{-4}	5.999	0.002**
	组内 Within group	9.095×10^{-4}	25	3.638×10^{-5}		
	总的 Total	1.783×10^{-3}	29			
苯醇抽提物含量 Benzene-elcohol extractive contents	组间 Between group	2.092×10^{-5}	4	5.230×10^{-5}	1.476	0.239
	组内 Within group	8.861×10^{-5}	25	3.544×10^{-5}		
	总的 Total	1.095×10^{-4}	29			
10 g/L NaOH 抽提物含量 10 g/L NaOH extractives content	组间 Between group	7.254×10^{-3}	4	1.814×10^{-3}	41.648	0.000***
	组内 Within group	1.089×10^{-3}	25	4.355×10^{-5}		
	总的 Total	8.343×10^{-3}	29			

3 讨 论

与其他研究中的杨树无性系相比^[5,12,17-20],本研

究中 5 个无性系木材中的纤维素、木质素和苯醇抽提物含量偏低,但 10 g/L NaOH 抽提物含量较高,综纤维素含量处于中等水平。

本研究对成熟材和幼龄材的化学成分进行比较后发现,5 个杨树无性系综纤维素和纤维素含量均表现为成熟材高于幼龄材,木质素含量均表现为幼龄材高于成熟材,这一结果与众多学者的研究结果^[5-6,11-13]一致。苯醇抽提物含量除无性系皖林 1 号杨外,其余无性系均表现为成熟材大于幼龄材,这与鲍甫成等^[5]对中林三北 1 号杨的研究结果一致;但徐艾清等^[9]研究三倍体毛白杨苯醇抽提物含量的径向变异时得出,随着树龄的增加,苯醇抽提物的含量逐渐降低;蒲俊文等^[7]对同种无性系杨树木材的苯醇抽提物含量进行研究时发现,苯醇抽提物含量在径向从髓心向外是逐渐降低的,个别无性系却在最外层有反常的升高现象。由此可以看出,学者们对幼龄材和成熟材苯醇抽提物含量的比较结果尚未达成一致,究其原因可能是研究材料不同所致。本研究中,在测试方法相同的情况下,皖林 1 号杨幼龄材与成熟材中苯醇抽提物含量的测定结果就与其他无性系不同。目前对杨树木材 10 g/L NaOH 抽提物含量径向变异的研究结论相对较少。鲍甫成等^[5]研究中林三北 1 号杨时得出,其成熟材的 10 g/L NaOH 抽提物含量高于幼龄材,这与本研究中中汉 22 杨、107 杨、皖林 1 号杨的结果不同。李金花等^[21]对中林 47 号杨的研究结果表明,其径向变异没有相同趋势,在各年轮间呈波动状态。由此可以看出,10 g/L NaOH 抽提物含量比较结果在不同材料间也存在较大差异。

对幼龄材和成熟材各化学成分进行比较后可知,形成层年龄对木材的化学成分具有一定的影响。木质素是细胞壁的基质填充物质,在细胞壁复合胞间层中存在较多;而纤维素是木材细胞壁的骨架物质,主要位于次生细胞壁。在生长激素的调控下,幼龄形成层分生速度较快,形成的木材细胞壁次生加厚程度较低,因此细胞壁中基质组分较多。随着树龄的增加,形成层的木材细胞壁次生加厚程度提高,其细胞骨架物质比例也相对提高。因此,幼龄材和成熟材的纤维素与木质素组成之间的差异主要是由于形成层年龄造成的^[1-2,22]。苯醇溶液主要溶解木材中的次生代谢物,如树脂、树胶、单宁等,随着树龄的增加,木材次生代谢逐渐增强。因此,从理论上分析,苯醇抽提物含量应随着年龄的增加而增长。10 g/L NaOH 抽提物的组成更为丰富,不仅能溶解无机盐类,而且部分分子链较短的多糖也能被其溶解^[23]。树龄与 10 g/L NaOH 抽提物之间的关系较为复杂,目前没有统一的研究结论。木材化学成分

除受树龄影响外,树种和立地条件也能对其产生较大的影响^[2,24]。综上分析可知,成熟材和幼龄材中各化学成分的含量主要受形成层年龄控制,但其他因素也会对其化学成分产生影响,因此需要针对不同树种、立地条件,开展具体的研究和分析。

本研究结果显示,成熟材与幼龄材之间,综纤维素含量差异极显著($P < 0.01$),苯醇抽提物含量差异显著($P < 0.05$),其余化学成分差异均不显著($P > 0.05$)。不同无性系之间,综纤维素含量和 10 g/L NaOH 抽提物在 $P = 0.001$ 水平上差异显著,木质素含量在 $P = 0.01$ 水平上差异显著,其余化学成分差异均不显著。由于无性系之间化学成分差异显著,幼龄材与成熟材之间各化学成分的组成也存在差异,因此建议在选择制浆造纸原料时,应优先考虑无性系的影响。

参考文献

- [1] John R, Geroge B J. Wood quality and its biological basis [M]. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2003.
- [2] Zobel, B, J P v B. Wood variation, its source and control [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1989.
- [3] 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.
Bao F C, Jiang Z H. The nature of China's major timber plantation species [M]. Beijing: Forestry Publishing House of China, 1998. (in Chinese)
- [4] 李忠正. 林纸一体化与中国主要速生人工造纸树种的制浆造纸性能 [J]. 中华纸业, 2001, 22(7): 5-12.
Li Z Z. Forestry-paper integration and the pulp and paper making property of major man-made paper making trees in China [J]. Chinese Pulp & Paper Industry, 2001, 22(7): 5-12. (in Chinese)
- [5] 鲍甫成, 江泽慧, 姜笑梅, 等. 中国主要人工林树种幼龄材与成熟材及人工林与天然林木材性质比较研究 [J]. 林业科学, 1998, 34(2): 63-75.
Bao F C, Jiang Z H, Jiang X M, et al. Comparative studies on wood properties of juvenile vs. mature wood and plantation vs. natural forest of main plantation tree species in China [J]. Scientia Silvae Sinicae, 1998, 34(2): 63-75. (in Chinese)
- [6] 徐有明, 方洪元, 黄吉田. 意杨纸浆材材性变异的研究 [J]. 木材工业, 1994, 8(1): 38-45.
Xu Y M, Fang H Y, Huang J T. Variation in wood characteristics of Italian poplars for pulp wood [J]. China Wood Industry, 1994, 8(1): 38-45. (in Chinese)
- [7] 蒲俊文, 宋君龙, 姚春丽. 三倍体毛白杨化学成分径向变异的研究 [J]. 造纸科学与技术, 2002, 21(3): 1-4.
Pu J W, Song J L, Yao C L. Studies on variation of chemical components of *Populus tomentosa* carr. triploid clones [J]. Paper Science & Technology, 2002, 21(3): 1-4. (in Chinese)

- [8] 庞志强,陈嘉川,杨桂花.不同树龄三倍体毛白杨纤维形态与制浆性能 [J]. 中国造纸,2004,23(5):14-18.
Pang Z Q, Chen J C, Yang G H. Fiber morphology and pulping properties of the triploid of *Populus tomentosa* at different ages [J]. China Pulp & Paper, 2004, 23(5): 14-18. (in Chinese)
- [9] 徐艾清,樊永明,张志毅,等.三倍体毛白杨(B304)生长特征及化学成分变异的研究 [J]. 中华纸业,2005,26(11):64-65.
Xu A Q, Fan Y M, Zhang Z Y, et al. The growing features and chemical composition variation of triploid *Populus tomentosa* (B304) [J]. China Pulp & Paper Industry, 2005, 26(11): 64-65. (in Chinese)
- [10] 房用,张兴丽,孟振龙,等.杨树造纸材优良无性系筛选 [J]. 东北林业大学学报,2007,35(1):8-15.
Fang Y, Zhang X L, Meng Z L, et al. Selection of excellent clones from poplar varieties used as paper making materials [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2007, 35(1): 8-15. (in Chinese)
- [11] 邢善湘,张求慧,刘正添.7个杂种毛白杨无性系幼龄材化学成分和纤维形态的研究 [J]. 北京林业大学学报,1994,16(1):53-57.
Xing S X, Zhang Q H, Liu Z T. Study on the chemical components and fiber dimensions of seven poplar hybrids [J]. Journal of Beijing Forestry University, 1994, 16(1): 53-57. (in Chinese)
- [12] 姜岳忠,王桂岩,吕雷昌,等.杨树纸浆材定向培育技术研究 [J]. 林业科学,2004,40(1):123-131.
Jiang Y Z, Wang G Y, Lü L C, et al. Studies on pulp-oriented cultivation techniques of poplar wood [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(1): 123-131. (in Chinese)
- [13] 方升佐,杨文忠.杨树无性系木材基本密度和纤维素含量株内变异 [J]. 植物资源与环境学报,2004,13(1):19-23.
Fang S Z, Yang W Z. Within tree variation in wood basic density and cellulose content of poplar clone [J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2004, 13(1): 19-23. (in Chinese)
- [14] 国家技术监督局. GB 1927—1991 木材物理力学性质试验方法 [S]. 北京:北京标准出版社,1991.
Bureau of Technical Supervision. GB 1927—1991 Wood physical mechanics properties test methods [S]. Beijing: Standards Press of Beijing, 1991. (in Chinese)
- [15] 屈维均.制浆造纸实验 [M]. 北京:中国轻工业出版社,1992.
Qu W J. Experiment of pulp and paper [M]. Beijing: China Light Industry Press, 1992. (in Chinese)
- [16] 李志辉,罗平,洪楠.SPSS for Windows 统计分析教程 [M]. 2版.北京:电子工业出版社,2005.
Li Z H, Luo P, Hong N. SPSS for Windows course of statistical analysis [M]. 2nd ed. Beijing: Electronic Industry Press, 2005. (in Chinese)
- [17] 秦特夫,黄洛华,周勤.杉木、I-72 杨主要化学组成的株内纵向变异研究 [J]. 林业科学研究,2004,17(1):47-53.
Qin T F, Huang L H, Zhou Q. Studies on longitudinal variation of main chemical compositions in Chinese-fir and *Poplar* × *euramaricana* cv. I-72/58 trees [J]. Forest Research, 2004, 17(1): 47-53. (in Chinese)
- [18] 张自敏,邹红春,李群,等.两种幼龄杨的化学组成及纤维形态与 APMP 浆的性能 [J]. 天津造纸,2004(2):9-18.
Zhang Z M, Zou H C, Li Q, et al. Performance analysis of the chemical composition of two juvenile poplar and fiber morphology in APMP [J]. Tianjin Paper Making, 2004(2): 9-18. (in Chinese)
- [19] 刘洪涛,刘力,斯红光.几种杨树木材化学成分分析 [J]. 浙江林学院学报,1995,12(4):343-346.
Liu H E, Liu L, Si H G. Chemical composition of wood of some poplar [J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 1995, 12(4): 343-346. (in Chinese)
- [20] 林瑞荣.立地条件对拟赤杨人工林木材纤维特性的影响 [J]. 福建林学院学报,2008,28(2):160-163.
Lin R R. Effects of sites on fiber morphology and chemical composition of *Alniphyllum fortunei* wood from plantations [J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2008, 28(2): 160-163. (in Chinese)
- [21] 李金花,张绮纹.不同年龄 47 号杨木材性质变异研究 [J]. 林业科学研究,2005,18(5):567-572.
Li J H, Zhang Q W. Variation of wood qualities along tree height and growth and correlation analysis of multiple-traits in poplar hybrid [J]. Forest Research, 2005, 18(5): 567-572. (in Chinese)
- [22] Zimmermann M H. The formation of wood in forest trees [M]. New York: Academic Press Inc, 1963.
- [23] Sjostrom E. Wood chemistry [M]. 2nd ed. New York: Academic Press Inc, 1993.
- [24] Zobel B, Talbert J. Applied forest tree improvement [M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1984.