

美洲黑杨新无性系主要物理力学性能研究

潘彪¹, 王丰¹, 连彩萍¹, 潘惠新²

(1. 南京林业大学材料科学与工程学院, 南京 210037; 2. 南京林业大学林学院, 南京 210037)

摘要: 对 11 年生的 11 个美洲黑杨新无性系和 1 个对照组 NL-351 杨木材的气干密度、基本密度、干缩性、顺纹抗压强度、抗弯强度、抗弯弹性模量以及冲击韧性等物理力学性能进行了比较研究。结果表明, 美洲黑杨新无性系木材的物理力学性能在无性系间存在显著差异; 11 个无性系中, 无性系 4-45、7-40 和 10-34 的材性表现最好; 密度与力学性能之间存在正相关关系; 除了冲击韧性外, 其他性能之间都存在显著或极显著的线性相关。

关键词: 美洲黑杨; 无性系; 物理力学性能

中图分类号: S781.29

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2014)06-0928-06

Physical and mechanical properties of new *Populus deltoides* clones

PAN Biao¹, WANG Feng¹, LIAN Caiping¹, PAN Huixin²

(1. College Science and Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037;

2. College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037)

Abstract: The physical and mechanical properties of 11 new *Populus deltoides* clones species at 11 years old were studied. The 11-year-old clone NL-351 was the control. The result showed there were significant differences in the physical and mechanical properties among the 11 clones were observed. Clone 4-45, 7-40, and 10-34 showed the better physical and mechanical properties than other eight clones. A positive correlation between density and mechanical properties was determined. Except the toughness, other five properties were significantly linear correlated.

Key words: *Populus deltoides*; clones; physical and mechanical properties

美洲黑杨 (*Populus deltoides*) 是我国上世纪引进的速生杨树树种之一, 它具有速生、优质、高产以及适应性强、木材用途广等特点, 是速生用材及绿化造林的主要树种, 具有良好的经济和生态效益, 在我国杨树产业中占有重要的地位^[1-2]。

近年来, 美洲黑杨无性系的优良品种选育和栽培受到大量学者的关注^[3-7]。然而对于优势新品种, 不仅要具备良好的集约栽培品质, 其木材还要达到一定的加工性能和物理力学性能, 满足木材工业化生产的质量要求, 适用于大规模的加工利用。为此作者开展了 11 个美洲黑杨新无性系和 1 个对照组 NL-351 杨 (NL-351 杨是南京林业大学杨树研究中心在“七五”期间选育的美洲黑杨新品种, 1982 年通过国家级技术鉴定, NL-351 杨具有父母本的优良特性, 生长快, 干形通直圆满, 材质优良, 抗病和

适应性强) 的木材材性的研究, 对气干密度、基本密度、干缩性、顺纹抗压强度、抗弯强度、抗弯弹性模量以及冲击韧性等几个主要的物理力学性能进行比较, 选出材性优良的若干品系, 为新无性系良种选育提供指导, 也为美洲黑杨木材加工利用提供重要的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料取自南京林业大学杨树育种组在泗洪县陈圩林场, 在开展无性系试验中选育的 11 年生、11 个美洲黑杨杂种无性系和对照组 NL-351 杨。每个品系选取 4 株 (如表 1 中 I、II、III、IV), 在每株树木的胸高 1.3 m 位置取长 2 m 木段, 沿纵向切割为 3 cm 厚的木板, 按次序编号, 自然风干备用。

收稿日期: 2014-06-03

基金项目: “超高产优质杨树速生材新品种选育” (2012BAD01B0303) 资助。

作者简介: 潘彪, 教授。E-mail: Pan.Biao@163.com

陈圩林场地处洪泽湖畔, 北纬 33°16', 东经 118°21', 年平均气温 14.4℃, 最冷月 (1 月份) 平均气温 -7℃, 最热月 (7 月份) 平均气温 28℃, 无霜期为 197 d, 全年日照时间为 2095.2 h, 年降雨量为 972.5 mm。

1.2 方法

按国家标准 (GB 1927~1943-2009)《木材物理

力学性质试样方法》加工试材, 并按该标准测量气干密度 (20 mm×20 mm×20 mm, 共 80 个试件)、基本密度 (20 mm×20 mm×20 mm, 每棵取 20 个试件)、干缩性 (与基本密度使用同一试件)、顺纹抗压强度 (30×20×20 mm², 每棵取 20 个试件)、抗弯强度 (300 mm×20 mm×20 mm, 每棵取 20 个试件) 以及抗弯弹性模量 (与抗弯强度使用同一试件)。

表 1 样木基本情况

Table 1 Data of the sample trees

无性系 Clone	I		II		III		IV		平均值 Average	
	D/cm	H/m	D/cm	H/m	D/cm	H/m	D/cm	H/m	D/cm	H/m
1-20	25.6	23.5	26.6	24.0	28.8	26.0	26.3	23.5	26.8	24.3
2-2	28.2	26.5	30.3	22.0	25.2	24.5	29.1	24.5	28.2	24.4
4-6	27.3	25.0	30.5	25.0	25.9	22.0	24.0	21.5	26.9	23.4
4-45	28.0	26.0	24.5	23.5	27.8	26.0	22.4	21.5	25.7	24.3
4-50	29.0	24.0	24.1	22.5	28.0	23.0	26.0	22.5	26.8	23.0
7-38	24.0	22.5	27.9	25.0	24.0	21.0	23.5	23.5	24.9	23.0
7-40	20.1	21.5	25.3	25.0	25.7	21.5	21.6	20.0	23.2	22.0
7-45	22.4	21.5	22.4	21.0	23.7	25.0	27.6	23.5	24.0	22.8
7-53	23.9	21.0	23.8	24.0	20.7	21.5	26.3	23.5	23.7	22.5
8-9	17.9	18.0	24.6	22.5	31.7	25.5	24.3	23.5	24.6	22.4
10-34	16.0	18.0	14.7	17.5	16.6	17.0	19.7	19.5	16.8	18.0
NL-351	25.8	24.0	25.2	23.5	26.5	23.0	26.8	24.5	26.1	23.8

D: 胸径 Diameter at breast height; H: 树高 Tree height.

1.3 数据分析与处理

用 Microsoft Excel 2003 软件进行数据处理, SPSS17.0 统计分析软件分别对各无性系各性状进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 无性系间物理性能的差异性

2.1.1 木材的密度 木材密度是木材性质的重要指标, 其中常用的为基本密度和气干密度。木材各部位的细胞尺寸、胞壁厚度、组织比量以及抽提物含量的不同都会引起木材密度的差异, 而生长环境及生长速度也会对木材密度产生影响。木材密度因树种不同而差异很大, 而同种不同株其密度也会有差异。木材密度大小直接影响到木材其他物理力学性质和木材加工质量, 因此常成为育种选择的重要特性指标^[8]。

气干密度与基本密度及对应方差分析结果表明: 无性系间的气干密度和基本密度均存在极显著差异(表 2)。

进一步分析可知: 12 个美洲黑杨无性系的气干密度平均值在(0.411±0.019)~(0.494±0.008)g·cm⁻³ 之间, 基本密度平均值在(0.333±0.01)~(0.400±0.01)g·cm⁻³ 之间。无性系 4-45、7-40 和 10-34 的气干密

度明显高于对照组; 无性系 4-6 和 7-45 与对照组处于同一水平但略低于对照组; 其他无性系的气干密度均明显低于对照组; 表现最好的为无性系 4-45, 达 0.494 g·cm⁻³, 比对照组高 8.68%; 其次是无性系 7-40, 达 0.469 g·cm⁻³; 无性系 2-2 和 4-50 表现最差, 只有 0.411 g·cm⁻³, 比对照组低 9.61%。无性系 4-45 和 7-40 的基本密度明显高于对照组; 无性系 10-34 与对照组处于同一水平但略低于对照组; 其他无性系的基本密度均明显低于对照组; 表现最好的为无性系 4-45, 达 0.400 g·cm⁻³, 比对照组高 7.24%; 其次是无性系 7-40, 达 0.386 g·cm⁻³; 无性系 2-2 表现最差, 只有 0.333 g·cm⁻³, 比对照组低 10.72%。综上所述, 无性系 4-45 和 7-40 的密度表现最好, 其次是 10-34。

根据《木材物理力学性质分级表》^[9], 可以将无性系的气干密度归为轻类 (12 个无性系的密度均处于 0.36~0.55 g·cm⁻³ 之间); 无性系的基本密度可细分为 2 类: 甚轻 (≤0.35 g·cm⁻³: 无性系 1-20、2-2、4-50、7-38、7-53 和 8-9、) 和轻 (0.36~0.55 g·cm⁻³: 无性系 4-6、4-45、7-45、7-40、10-34 和 NL-351)。

2.1.2 木材的干缩性 木材在失水时, 其尺寸和体积随着水分的散失而减小, 称之为干缩。本试验研

究的是木材线性干缩中的横纹干缩,横纹干缩又分为弦向干缩和径向干缩,前者指与生长轮相切的横纹干缩,后者为垂直于生长轮和半径一致的横纹干缩^[10]。木材的干缩性,是木材的一种不良属性,阻

碍了人们对木材的合理利用。研究木材的干缩特性,对木材的加工利用具有重要的指导意义。美洲黑杨12个无性系的全干缩率测定见表3。

表2 密度测定值与方差分析

Table 2 Testing results and variance analyses of density

无性系 Clone	12%气干密度/g·cm ⁻³ Air-dried density		基本密度/g·cm ⁻³ Basic density	
	平均值 Average	准确指数/% Accurate index	平均值 Average	准确指数/% Accurate index
1-20	0.415±0.025	1.11	0.343±0.020	1.04
2-2	0.411±0.016	0.72	0.333±0.015	0.81
4-6	0.440±0.012	0.48	0.363±0.009	0.46
4-45	0.494±0.008	0.28	0.400±0.012	0.54
4-50	0.411±0.019	0.86	0.335±0.017	0.90
7-38	0.418±0.016	0.72	0.339±0.016	0.88
7-40	0.469±0.014	0.56	0.386±0.011	0.52
7-45	0.446±0.013	0.53	0.362±0.013	0.64
7-53	0.419±0.014	0.63	0.344±0.011	0.58
8-9	0.425±0.024	1.03	0.351±0.020	1.03
10-34	0.463±0.034	1.33	0.372±0.019	0.69
NL-351	0.455±0.020	0.81	0.373±0.016	0.78
<i>F</i>	7.570**		11.683**	
<i>Sig.</i>	0.000		0.000	

注:(1)数值均为平均值±标准差。(2)**表示*Sig.*值为0.01时,存在极显著性;*表示*Sig.*值为0.05时,存在显著性。下同。

Note: (1) Values in the table are mean ± standard deviation. (2) ** means different significance at the 0.01 level; * means different significant at the 0.05 level. The same below.

由表3可知:无性系的弦向、径向、体积全干缩率和差异干缩分别平均在8.3%~9.1%、3.1%~3.8%、11.6%~13.0%和2.3~5.1之间,说明横纹干缩差异较大,弦向干缩明显高出径向2~3倍,对此刘一星等人^[11]将引起横纹干缩各向异性的原因归结为以下几种:①木射线对径向收缩的抑制;②早晚材差异的影响;③径向壁和弦向壁中的木质素含量差别的影响;④径壁、弦壁纹孔数量的影响。无性系4-45、7-45和10-34的弦向全干缩率略高于对照组;无性系2-2、4-6、7-40和7-53略低于对照组;其他无性系明显低于对照组;表现最差的为无性系4-45和7-45,达9.1%,但只比对照组高2.25%;其次是10-34,达9.0%;无性系1-20表现最好,为8.3%,比对照组低6.74%。无性系10-34的径向全干缩率明显高于对照组,表现最差,达3.8%,比对照组高8.57%;无性系2-2和4-45与对照组处于同一水平且略高于对照组;其他无性系的径向全干缩率均低于对照组,其中表现最好的是无性系7-38和8-9,只有3.1%,比对照组低11.43%。无性系2-2、4-6、4-45、7-45和10-34的体积全干缩率略高于对照组,表现最差的为无性系7-45,达13.0%,比对

照组高4.0%;无性系7-40和7-53略低于对照组;其他无性系的体积全干缩率明显低于对照组,表现最好的为7-38,达11.6%,比对照组低7.2%。

木材弦向干缩率与径向干缩率的比值称为差异干缩,它是判断木材干缩难易的一项标准,一般木材差异干缩越接近于1,木材各个方向的干缩越均匀,木材稳定性也就越好;反之,木材干燥时越容易发生翘曲和开裂^[12]。由表3可知,美洲黑杨12个无性系木材的差异干缩均大于2,由此说明12个无性系属较易翘曲木材,在木材干燥中易产生开裂,所以必须注意木材加工及其产品制作过程中尺寸的稳定性。进一步方差分析可知:无性系间的径向全干缩率与体积全干缩率存在极显著差异,弦向全干缩率存在显著差异,而差异干缩不存在显著差异。

综上所述,除个别无性系的全干缩率明显(10-34)高于或(7-38、1-20)低于对照组外,大多无性系均与对照组相差不大。

2.2 木材力学性能的差异性

木材力学性质作为木材合理利用的一个重要依据,是木材实际应用时的最主要参数。分析美洲黑杨无性系间木材力学性质的差异,可对树种选育

和木材加工利用提供重要指导^[7,9]。

由表 4 显示: 12 个美洲黑杨无性系木材: 顺纹抗压强度、抗弯强度和抗弯弹性模量的平均值分别在 22.72~26.95 MPa、66.53~81.05 MPa 和 6204~7593 MPa 之间。无性系 4-6、4-45、7-40 和 10-34 的顺纹抗压强度明显高于对照组; 无性系 1-20 和 7-45 与对照组处于同一水平; 其他无性系明显低于对照组; 表现最好的无性系 10-34, 达 26.95 MPa, 比对照组高 12.62%; 其次是无性系 4-45, 达 26.36 MPa; 无性系 7-53 表现最差, 只达 22.72 MPa, 比对照低 5.05%。无性系 4-6、4-45、7-40 和 10-34 的抗弯强度明显高于对照组; 其他无性系明显低于对照组; 表现最好的为 4-45, 达 81.05 MPa, 比对照组高 12.38%; 其次是 10-34, 达 77.64 MPa; 表现最差的为 1-20, 只有 66.53 MPa, 比对照组低 8.47%。

无性系 4-45、4-50、7-38、7-40 和 10-34 的抗弯弹性模量均明显高于对照组; 无性系 2-2 和 4-6 与对照组处于同一水平且略高于对照组; 其他无性系明显低于对照组; 表现最好的为无性系 7-40, 达 7593 MPa, 比对照组高 9.39%; 其次是无性系 4-45, 达 7513 MPa; 表现最差的为无性系 7-53, 只有 6204 MPa, 比对照组低 10.62%。综上所述, 11 个美洲黑杨无性系木材材性最好的是无性系 4-45、7-40 和 10-34。进一步方差分析可知: 无性系间的顺纹抗压强度和抗弯弹性模量达到极显著差异, 抗弯强度达到显著差异。

根据划分木材等级的指标范围^[9]可知, 无性系的顺纹抗压强度属于低等 (≤ 34.3 MPa); 抗弯强度属于低等和中等 (≤ 117.6 MPa); 抗弯弹性模量属于甚低等 (≤ 8800 MPa)。

表 3 全干缩率测定值与方差分析

Table 3 Testing results and variance analysis of shrinkage from green wood to oven-dry

无性系 Clone	干缩率/% Shrinkage rate	弦向 Tangential	径向 Radial	体积 Volume	差异干缩 Ratio of tangential to radial shrinkage
1-20	平均值 Average	8.3±0.53	3.2±0.18	11.8±0.75	2.3±0.86
	准确指数 Accurate index	1.16	1.01	1.17	6.89
2-2	平均值 Average	8.8±0.49	3.5±0.28	12.6±0.55	2.4±0.63
	准确指数 Accurate index	1.01	1.49	0.80	4.75
4-6	平均值 Average	8.8±0.47	3.4±0.20	12.6±1.02	2.4±0.63
	准确指数 Accurate index	0.98	1.08	1.48	4.71
4-45	平均值 Average	9.1±0.28	3.5±0.51	12.9±0.92	2.6±0.48
	准确指数 Accurate index	0.56	2.68	1.31	3.35
4-50	平均值 Average	8.5±0.28	3.2±0.19	11.9±0.60	2.6±0.45
	准确指数 Accurate index	0.59	1.08	0.93	3.18
7-38	平均值 Average	8.4±0.41	3.1±0.62	11.6±0.72	3.1±0.27
	准确指数 Accurate index	0.88	3.68	1.14	3.47
7-40	平均值 Average	8.9±0.42	3.3±0.17	12.3±0.54	2.7±0.16
	准确指数 Accurate index	0.87	0.92	0.79	1.10
7-45	平均值 Average	9.1±0.72	3.4±0.31	13.0±1.09	2.3±0.98
	准确指数 Accurate index	1.44	1.66	1.53	7.79
7-53	平均值 Average	8.8±0.43	3.2±0.20	12.2±0.56	2.7±0.47
	准确指数 Accurate index	0.88	1.14	0.84	3.19
8-9	平均值 Average	8.4±0.50	3.1±0.20	11.8±0.81	2.7±0.21
	准确指数 Accurate index	1.08	1.15	1.26	1.46
10-34	平均值 Average	9.0±0.40	3.8±0.26	12.8±0.51	2.4±0.18
	准确指数 Accurate index	0.81	1.24	0.73	1.41
NL-351	平均值 Average	8.9±0.58	3.5±0.27	12.5±0.77	2.6±0.19
	准确指数 Accurate index	1.19	1.45	1.13	1.34
	F	2.225*	5.352**	3.166**	1.928
	Sig.	0.035	0.000	0.004	0.068

2.3 无性系密度与力学之间的相关性

木材物理力学性能之间的相关紧密程度是有差别的, 如果能找到各个性能之间的相关关系, 在评定木材品质中就能减少测试项目^[13], 也就能为集

约育种和木材加工利用提高工作效率。

从表 2 至表 6 和查阅相关系数表^[14]可知, 气干密度与顺纹抗压强度、抗弯强度均呈高度的线性相关, 相关系数分别为 0.822 和 0.858; 与抗弯弹性模

量呈显著的线性相关, 相关系数分别为 0.627; 与冲击韧性在无显著性 (Sig 值为 0.052, 大于 0.05) 的基础上存在线性相关关系, 相关系数为 0.571。基本密度与顺纹抗压强度呈极显著的线性相关, 相关系数为 0.784; 与抗弯强度呈高度的线性相关, 相关系

数为 0.817; 与抗弯弹性模量呈显著的线性相关, 相关系数为 0.579。顺纹抗压强度与抗弯强度呈高度的线性相关, 相关系数为 0.804; 与弹性模量呈显著的线性相关, 相关系数为 0.631。抗弯强度与弹性模量呈高度的线性相关, 相关系数为 0.860。

表 4 无性系力学性能测定值与方差分析

Table 4 Testing results and variance analysis of mechanical properties

无性系 Clone	顺纹抗压强度/MPa		抗弯强度/MPa		抗弯弹性模量/MPa	
	The compressive strength parallel to grain		Bending strength		MOE	
	平均值 Average	准确指数/% Accurate index	平均值 Average	准确指数/% Accurate index	平均值 Average	准确指数/% Accurate index
1-20	23.88±1.24	0.95	66.53±7.07	1.94	6603±1062	5.87
2-2	22.74±3.76	3.02	71.63±8.28	2.11	6966±1277	6.69
4-6	24.71±1.81	1.34	73.16±7.25	1.81	6955±1264	6.64
4-45	26.36±1.47	1.02	81.05±5.24	1.18	7513±1022	4.96
4-50	23.29±3.04	2.38	71.56±6.64	1.70	7190±1184	6.01
7-38	23.02±0.95	0.76	68.20±5.10	1.37	7093±949	4.89
7-40	24.46±1.72	1.29	77.15±6.79	1.61	7593±1140	5.48
7-45	24.02±1.68	1.28	69.48±6.82	1.79	6677±983	5.37
7-53	22.72±1.53	1.23	66.57±6.66	1.83	6204±866	5.09
8-9	23.63±1.30	1.01	68.76±5.31	1.41	6837±1003	5.36
10-34	26.95±1.65	1.12	77.64±9.98	2.35	7457±1348	6.60
NL-351	23.93±1.91	1.45	72.69±14.04	3.53	6941±1136	5.97
<i>F</i>	2.248*		4.589**		2.09*	
<i>Sig.</i>	0.033		0.000		0.047	

表 5 无性系密度与力学性能之间的相关关系

Table 5 Correlation analysis between density and mechanical properties

项目 Item		抗压强度 The compressive strength parallel to grain	抗弯强度 Bending strength	弹性模量 MOE
气干密度 Air-dry density	相关性 Correlation	0.822**	0.858**	0.627*
	显著性 Sig. (2-tailed)	0.001	0.000	0.029
基本密度 Basic density	Correlation	0.784**	0.817**	0.579*
	Sig. (2-tailed)	0.003	0.001	0.049
抗压强度 Compressive strength	Correlation		0.804**	0.631*
	Sig. (2-tailed)		0.002	0.028
抗弯强度 Bending strength	Correlation			0.860**
	Sig. (2-tailed)			0.000

表 6 无性系木材强度值和强度品质系数

Table 6 The comprehensive strength value and physical factor of the clones

项目 Item	无性系 Clone											
	1-20	2-2	4-6	4-45	4-50	7-38	7-40	7-45	7-53	8-9	10-34	NL-351
木材综合强度/MPa The comprehensive strength value	90.4	94.4	97.9	107.4	94.8	91.2	101.6	93.5	89.3	92.4	104.6	96.6
强度品质系数/10 ⁵ Pa Physical factor	2634.7	2832.5	2698	2687.4	2833.1	2694	2634.2	2580.4	2594.2	2634.1	2808.6	2592.8

气干密度与力学性质之间的相关性明显高于基本密度与力学性质之间的相关性; 密度与抗弯强度的相关性均大于与其他两个力学性质, 相关系数均在 0.8 以上, 由此表明木材密度对各力学性能影响不一。

2.4 木材综合强度值和强度品质系数

木材综合强度值和强度品质系数(或称强重比), 是评价木材品质的重要参数, 对于木材产品的结构应用具有重要意义。一般用木材顺纹抗压和抗弯强度之和作为评价木材强度值的指标, 木材的强

度品质系数是木材的力学强度与木材基本密度之间的比值, 一般用木材顺纹抗压和抗弯强度与基本密度比值之和作为评价木材综合品质系数的指标^[13]。

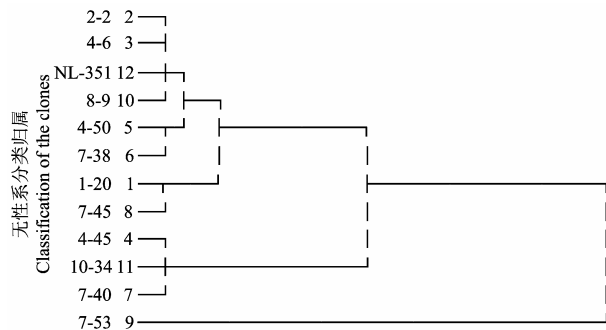


图 1 无性系聚类分析

Figure 1 Hierarchical cluster analysis among the clones

根据强度值可将木材分为 3 类: 低于 110 MPa 者为低强度木材, 在 111 ~ 170 MPa 为中等强度木材, 高于 170 MPa 者为高强度木材, 同时根据强度品质系数值也可将木材分为 3 类: 小于 1961×10^5 Pa 者为低等材, 强度品质系数为 $1961 \times 10^5 \sim 2156 \times 10^5$ Pa 者为中等材, 强度品质系数大于 2156×10^5 Pa 者为高等材^[13]。由此可知, 12 个美洲黑杨无性系的综合强度值均低于 110 MPa, 属于低强度木材; 而强度品质系数均高于 2156×10^5 Pa, 属于高品质材。因此 12 个无性系木材均属于低强度、高品质材。

2.5 无性系物理力学性质的聚类分析^[14]

聚类分析的基本思想是, 从一批样本的多个观测指标中, 找出能度量样本之间相似程度的统计数, 按相似程度或距离大小, 将样本距离较近或相似度较高的样本成员划分为一类的数学分析方法。利用聚类法分析各材性性质综合指标, 辅助单个材性指标分析结论, 能更合理地科学选出较优良的无性系。

由图 1 可知, 根据无性系的气干密度和主要物理力学性能, 可以将 11 个无性系美洲黑杨分为 4 类: 无性系 4-45、7-40 和 10-34 一类, 三者木材材性在 12 个无性系中表现最好, 这与单个材性指标分析的结论一致; 无性系 2-2、4-6、4-50、7-38 和 8-9 归为较近一类, 这也与单个材性指标分析结论较为相似, 各无性系木材的气干密度与 4 个力学性能均与对照组 NL-351 相近; 无性系 1-20 和 7-45 归为较近一类, 二者木材的顺纹抗压强度和抗弯弹性模量在各无性系中表现最相近, 比对照组略差; 聚类分析表明无性系 7-53 单独归一类, 与单个材性指标分析结论一致: 其木材气干密度、顺纹抗压强度、抗弯强度和抗弯弹性模量表现最差。

3 结论

对美洲黑杨 11 个无性系和 1 个对照组的气干密度、基本密度、顺纹抗压强度、抗弯强度以及抗弯弹性模量 5 个物理力学性能进行了测量统计。结果表明: 无性系间存在显著性差异; 无性系间的气干密度、基本密度以及抗弯强度均达到极显著差异, 顺纹抗压强度和抗弯弹性模量达到显著性差异。无性系的物理力学性能之间, 气干密度、基本密度、顺纹抗压强度、抗弯强度以及抗弯弹性模量都存在显著或极显著的线性相关关系。通过美洲黑杨无性系木材综合强度值和强度品质系数分析, 可将 12 个无性系木材判定为低强度、高品质材; 由气干密度与力学性能之间的聚类分析可以将 12 个无性系分为 4 类。由本次试验分析结果可选出材性优良的 3 个美洲黑杨无性系: 4-45、7-40 和 10-34。

参考文献:

- [1] 徐有明, 翁文源, 张友华. 美洲黑杨不同径级木材纤维、导管形态及其基本密度的差异[J]. 安徽林业科技, 2011, 37 (1): 2-9.
- [2] 刘忠华, 胡俊, 代先钊. 美洲黑杨优良无性系 NL-80351 推广初报[J]. 湖北林业科技, 2006(6): 29-31.
- [3] Farmer R E, Wilcox J R. Preliminary testing of eastern cotton wood clones [J]. Theory Apply Genetic, 1968, 38: 197-201.
- [4] Olson J R, Jourdain C J, Rousseau R J. Selection for cellulose content, specific gravity and volume in young *Populus deltoides* clones[J]. Can For Res, 1985, 15: 393-396.
- [5] 潘惠新, 黄敏仁, 阮锡根, 等. 材性改良研究-美洲黑杨-小叶杨新无性系木材密度性状早期选择研究[J]. 林业科学, 1998, 34(1): 73-80.
- [6] 曹福亮. 林分密度对南方型杨树木材性质的影响[J]. 南京林业大学学报, 1994, 18(2): 41-46.
- [7] 童再康, 俞友明, 郑勇平. 黑杨派新无性系木材物理力学性质研究[J]. 林业科学研究, 2002, 15(4): 450-456.
- [8] 吴敏, 吴立勋, 汤玉喜, 等. 南方型黑杨无性系木材材性的研究[J]. 湖南林业科技, 2005, 32(4): 21-31.
- [9] 李晓清, 唐森强, 隆世良, 等. 楨楠木材的物理力学性质[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(2): 77-79.
- [10] 王恺, 袁东岩. 九十年代我国木材工业的展望[J]. 木材工业, 1991(5): 1-5.
- [11] 刘一星, 赵广杰. 木质资源材料学[M]. 3 版. 北京: 中国林业出版社, 2007: 142.
- [12] 刘莉. 光皮树木材构造和材性变异研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2011.
- [13] 尹思慈. 木材品质和缺陷[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990: 5 8-60.
- [14] 王璐. SPSS 统计分析基础、应用与实践[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 174.