

滇楸无性系早期木材性状变异与评价

肖 遥¹, 姚淑均², 杨桂娟¹, 张明刚², 欧阳芳群¹, 王军辉¹, 麻文俊^{1*}

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 林木遗传育种国家重点实验室, 国家林业和草原局林木培育重点实验室, 国家林木种质资源平台, 北京 100091; 2. 贵州省林业科学研究院, 贵州 贵阳 550000)

摘要: [目的] 为解析滇楸无性系材性遗传变异规律, 提高滇楸材性的遗传改良效率。 [方法] 以生长于贵州的 20 个滇楸无性系为试验材料, 测定了其树高、胸径、木材基本密度、胞壁率、双壁厚、胞腔直径和纤维长度等生长和材性指标; 通过最大似然法估计了性状的遗传参数, 分析了性状间的遗传相关和表型相关; 以聚类法和隶属函数法相结合的方法评价了无性系材性优良程度。 [结果] 结果表明: 滇楸无性系间具有显著的材性差异; 各性状的表型变异系数为 6.21%~21.29%; 木材基本密度、胞壁率和双壁厚受较强的遗传控制, 重复力分别达 0.88、0.87 和 0.73; 遗传和表型相关分析结果发现, 基本密度与管孔率、胞壁率和双壁厚均呈显著或极显著正相关, 遗传相关系数分别为 0.542、0.908 和 0.747。木材密度与胞腔直径各项性状的遗传相关均呈负相关。木材密度与其余材性性状的遗传相关系数绝对值均大于表型相关系数绝对值, 材性性状的相关主要取决于遗传因素。回归分析进一步表明, 木材基本密度与胞壁率和双壁厚有明显的正向线性关系, 而与弦向胞腔直径和弦向中央直径有明显的负线性关系。 [结论] 滇楸无性系间材性差异显著, 存在较大的变异程度; 聚类分析和隶属函数法综合评价得出, 滇楸无性系可分为: A 高木材密度型, B 短纤维型; C 低木材密度型, D 长纤维型, 四大类型。

关键词: 滇楸; 材性; 遗传变异; 相关; 评价

中图分类号: S718.46

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2019)04-0079-09

材性改良是林木定向培育的重要方向之一, 木材的材性品质是通过诸如木材密度和强度、纤维素含量和长度、管胞形态、微纤丝角、化学组分等性状来定量描述的^[1]。在从多的材性指标中, 木材密度被认为是最重要的改良指标之一^[2]。而在林木材性遗传改良的育种策略中, 早期选择是一种必要措施, 其是利用无性系幼-成相关原理, 依据幼龄期性状对其成熟期性状作出预测的一种间接选择方式, 可较大程度地缩短育种周期^[3]。至今已有研究证实了材性性状具有较高的早晚遗传相关, 且这种相关性接近 1^[4-5]。由此可见, 林木苗期材性变异评价可以作为早期材性选择的参考, 通过幼龄期对木材材性进行选择具有较强的可行性。另一方面, 早期大量研究也表明, 木材性状具有较强的遗传效应^[6-8], Fires^[9]研究表明, 木材密度存在中度到高度的遗传控制。还有相关报道发现, 毛白杨(*Populus tomento-*

sa) 无性系木材化学特性受较强的遗传控制^[10]; 黑木相思(*Acacia melanoxylon*) 的木材性质也受遗传因素影响显著^[11]。这些研究的结果都表明, 林木材性改良具有较强的遗传基础, 木材密度是材性遗传改良的有利性状。综上所述, 本研究开展滇楸苗期材性的评价能为其优良种质早期选择提供可靠的科学依据, 加速其育种进程。

滇楸(*Catalpa fargesii* f. *duclouxii*) 属紫葳科梓属, 落叶乔木, 其种群主要分布于云南和贵州, 四川、湖北和湖南也有分布^[12]。滇楸木材防腐耐磨, 物理性质优越, 为中国重要的珍贵用材树种。其木材作为优质上等用材, 可满足国内对高级木材的需要^[13-14]。虽然滇楸具有较大利用价值, 但至今对其的基础和应用研究力度均较薄弱。现阶段滇楸遗传改良主要集中在苗期生长性状的遗传测定^[15]和速生优良无性系选育方面^[16-18], 虽取得了一定进展,

收稿日期: 2018-07-24 修回日期: 2019-05-04

基金项目: “十三五”国家重点研发计划课题“楸树良种选育与高效培育技术研究”(2017YFD0600604)

* 通讯作者: 麻文俊, 助理研究员. 主要研究方向: 楸树遗传育种. E-mail: mwjlx@sina.com

但改良的程度较低,且滇楸材性遗传改良并未开展。鉴于此,为弥补这一领域的空缺,加强其木材的利用价值,本研究以栽植于贵州兴仁的20个滇楸无性系为材料,研究其木材基本密度和管胞形态的遗传变异规律,估算其材性性状的遗传参数。旨在揭示滇楸无性系苗期材性指标的变异规律,阐明无性系间的各性状遗传差异,探索生长与材性指标间的遗传相关,综合多性状指标评价滇楸无性系间苗期材性变异,为优良材性滇楸无性系的早期选择提供理论和试验依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验地概况

试验地点位于滇楸的中心分布区贵州省兴仁市,104°54′~105°34′ E, 25°16′~25°47′ N,海拔600~1400 m,年平均气温15.2℃,1月平均气温6.1℃,7月平均气温22.1℃,无霜期273 d,有效积温4526.3℃,年均降水量1320.5 mm,年均日照时长1553.2 h。试验地为苗圃地,土壤类型为轻黏土,肥力中等,土层厚度大于50 cm。

试验所需的20个滇楸无性系材料来源于贵州不同气候区的13个种源的151个家系无性系化后的优良无性系,选择方法为初步的家系评比试验选择出超级苗,其次对超级苗进行无性系后,开展三级筛选,选育办法详见文献[19]。滇楸种质无性系采用2年生梓树作砧木以芽接的嫁接方式进行扩繁^[20]。

试验设计采用完全随机区组设计,共4次重复,每小区10株,株行距为50 cm × 50 cm。

1.2 方法

植株生长指标测定:于2012年10月对试验地1年生植株每木检尺,测定其树高(精确到1.00 cm)和胸径(精确到0.10 cm)。

材性指标测定:每个无性系随机选择4个单株作为材性检测的样木,截取胸高处2 cm高木块用于材性指标测定。

木材基本密度按照GB-T1931-1991《木材含水率的测定方法》测定。

纤维长度采用硝酸和铬酸混合液离析法测定,木材离析试样取自髓心边缘向外约1 mm至树皮处向内约0.5 mm的木质部。通过Tayler染色法对切片进行染色,置于显微镜下在10×4的倍数下测定完整纤维长度(精确到0.1 μm)。随机选取纤维细

胞至少50根,取其平均值作为样品的纤维细胞长度。

采用滑走切片机切取滇楸茎段横切面,厚度设置为15 μm。经乙醇梯度脱水,二甲苯透明,树脂胶封存。利用日本Nikon 80i显微镜、美国Pixera的显微图像检测系统在10×40的倍数下测定滇楸木材细胞壁率、双壁厚、管孔率及胞腔直径(精确到0.1 μm)等解剖性状。每个有效纤维细胞数量不低于50个。测定工作由东北林业大学材料科学与工程学院完成。

1.3 数据处理

采用R语言中的ANOVA和ASReml-R程序包根据各性状指标的线性模型进行方差分析和遗传参数估算。

树高和胸径分析以单株调查值为统计值,采用的线性模型为:

$$y_{ijk} = \mu + C_i + B_j + BC_{ij} + e_{ijk}$$

式中: y_{ijk} 为第*i*无性系第*j*区组第*k*单株的观察值; μ 为群体平均效应; C_i 为第*i*无性系效应(随机); B_j 为第*j*区组效应(固定); BC_{ij} 为第*i*无性系与第*j*区组的交互效应(随机); e_{ijk} 为小区内。

纤维细胞长度、胞壁率、双壁厚、管孔率及胞腔直径等材性性状分析以单株调查均值为统计值,采用的线性模型为:

$$y_{ik} = \mu + C_i + e_{ik}$$

式中: y_{ik} 为第*i*无性系第*k*单株的观察值; μ 为群体平均效应; C_i 为第*i*无性系效应(随机); e_{ik} 为剩余项。

性状指标间的聚类分析^[21]以无性系为单位,性状数据统一进行“Z得分”的标准化。通过SPSS 22.0估算相应线性模型的随机效应的F值。聚类分析采用层次聚类法,以欧氏距离为划分标准。回归分析和作图采用Graphpad prism-6.02完成。其余的图表制作和数据分析通过Excel 2013软件处理。

表型变异系数:

$$PCV = S/\bar{X} \times 100\%$$

式中:PCV为表型变异系数;S为各性状的标准差; \bar{X} 各性状均值。

遗传变异系数:

$$GCV = \sqrt{\sigma_g^2/\bar{X}} \times 100\%$$

式中:GCV为遗传变异系数; σ_g^2 为各性状的无性系方差; \bar{X} 各性状均值。

重复力:

树高和胸径的无性系重复力公式:

$$R = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_c^2 + \sigma_b^2/B + \sigma_e^2/NB}$$

材性性状的无性系重复力公式:

$$R = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_c^2 + \sigma_e^2/K}$$

式中: R 为无性系性状重复力; σ_c^2 为无性系效应的方差; σ_b^2 为区组效应方差; σ_e^2 为剩余(或小区内); N 为试验单株数; B 为区组数; K 为材性测定单株数。

遗传相关系数和表型相关系数采用无性系单株均值进行分析,分析方法参考 Becker 的方法^[22]。

2 结果与分析

2.1 滇楸无性系生长性状和材性性状变异与遗传分析

表1结果显示:滇楸无性系生长和材性性状中纤维长度表型变异系数最小(6.21%),管孔率表型变异系数最大(21.29%),说明滇楸无性系不同性状变异程度差异较大。生长性状中无性系胸径均值达1.97 cm,表型变异系数较高(18.78%),树高表型变异系数相对较低(10.42%)。方差分析结果显示:滇楸1年生植株的树高在无性系间存在极显著差异,而胸径在无性系间差异不显著,其无性系的重复力分别为0.77和0.47(表2),表明无性系间的遗传与固定环境效应对性状表现有较大影响,其中树高受遗传影响较大,胸径主要受环境效应影响。

材性性状中管孔率、胞壁率、双壁厚和基本密度

表型变异系数大于10%(表1)。方差分析的结果显示:以上性状中除管孔率在无性系间均存在显著差异外,其他性状均存在极显著差异,其中,胞壁率和基本密度无性系重复力较高,分别达 0.87 ± 0.05 和 0.88 ± 0.04 ,误差均较小(表3),表明滇楸无性系材性性状中胞壁率和基本密度具有较大的变异,且遗传因素是变异的主要来源。相反的径向胞腔直径、弦向胞腔直径等纤维腔径的表型变异系数均小于10%,无性系重复力范围为 $0.32 \sim 0.54$ (表3),表明滇楸无性系纤维细胞的大小变异程度较小,且受遗传控制程度较弱,遗传效应较低,固定环境效应对其影响明显。木材基本密度是决定材性优良与否的关键指标,上述结果意味着以改良木材密度为目的的滇楸无性系选育具有极大的潜力和可行性。

表1 滇楸无性系生长性状和材性性状描述

Table 1 Characteristic of growth and wood properties of clones

性状 Traits	均值 Mean	标准差 SD	表型变异 系数 PCV/%
树高 H/m	3.07	0.32	10.42
胸径 DBH/cm	1.97	0.37	18.78
管孔率 VPR/%	9.96	2.12	21.29
胞壁率 CWR/%	27.81	3.19	11.47
双壁厚 DWT/ μm	2.44	0.29	11.89
径向胞腔直径 RD/ μm	18.33	1.80	9.82
弦向胞腔直径 TD/ μm	15.41	1.50	9.73
径向中央直径 RCD/ μm	20.76	1.77	8.53
弦向中央直径 TCD/ μm	17.85	1.45	8.12
平均中央直径 MCD/ μm	19.30	1.43	7.41
基本密度 BD/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	0.25	0.03	12.00
纤维长度 FL/ μm	1 081.56	67.14	6.21

表2 滇楸无性系生长性状方差分析和无性系重复力

Table 2 Variance analysis and clone repeatability of growth traits

变异来源 Source of variation	自由度 df	树高 Height		胸径 DBH	
		均方 MS	F 值 F value	均方 MS	F 值 F value
区组 Block	3	0.52	6.76 **	0.14	1.08
V 无性系 Clone	19	0.53	3.82 **	0.27	1.71
区组 × 无性系 Block × Clone	57	0.14	1.82 **	0.16	1.28
误差 Error	418	0.08		0.13	
无性系重复力 ± 标准误 Clone repeatability ± SE			0.77 ± 0.09		0.47 ± 0.24

注 * * 代表0.01的显著水平。 Note: * * $P < 0.01$.

2.2 材性性状遗传相关和表型相关分析

相关分析结果(表4)显示:滇楸无性系 H、DBH 与各木材的细胞性状均呈较弱的表型相关($-0.056 \sim 0.276$)。材性性状相关分析结果显示:木材密度与管孔率呈显著的正遗传相关(0.542),其与胞壁率和双壁厚均具有极显著正遗传相关,相关系数分别为0.908和0.747。就表型相关程度看,木材基本

密度主要与胞壁率(0.862)和双壁厚(0.477)有中偏上的正相关;而木材基本密度与弦向胞腔直径呈极显著的负遗传相关(-0.899),其表型相关的也呈显著负相关(-0.274)。木材密度与纤维长度的遗传相关和表型相关均较弱,相关系数分别为0.131和0.165,表明滇楸1年生无性系纤维长度的改变对木材基本密度影响较小。对比遗传相关和表

型相关可见,木材密度与其他性状遗传相关系数绝对值分别均大于表型相关系数,这说明性状与性状的相互关系主要是由遗传因素决定。

表3 滇楸无性系木材性状方差分析和无性系重复力

Table 3 Variance analysis and clone repeatability of wood properties traits

性状 Traits	自由度 <i>df</i>		均方 <i>MS</i>		<i>F</i> 值 <i>F</i> value	无性系重复力 ± 标准误 Clone repeatability ± SE
	无性系 Clone	误差 Error	无性系	误差 Error		
管孔率 VPR	19	60	7.017	3.684	1.905 *	0.48 ± 0.20
胞壁率 CWR	19	60	30.187	3.874	7.791 **	0.87 ± 0.05
双壁厚 DWT	19	60	0.182	0.05	3.676 **	0.73 ± 0.10
基本密度 BD	19	60	0.002	0.000 24	8.541 **	0.88 ± 0.04
纤维长度 FL	19	60	11 300.749	2 356	4.796 **	0.79 ± 0.08
径向胞腔直径 RD	19	60	5.526	2.532	2.182 *	0.54 ± 0.17
弦向胞腔直径 TD	19	60	3.412	1.893	1.802 *	0.45 ± 0.21
径向中央直径 RCD	19	60	4.967	2.558	1.941 *	0.49 ± 0.19
弦向中央直径 TCD	19	60	2.777	1.903	1.46	0.32 ± 0.26
平均中央直径 MCD	19	60	3.305	1.655	1.997 *	0.50 ± 0.19

注: * 代表 0.05 的显著水平, ** 代表 0.01 的显著水平。

Notes: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$. 下同。

表4 滇楸木材性状的遗传相关和表型相关

Table 4 Genetic correlation and phenotype correlation of wood properties

性状 Traits	H	DBH	VPR	CWR	DWT	RD	TD	RCD	TCD	MCD	BD	FL
H	1	0.646	-0.056	0.111	0.019	0.071	0.258	0.075	0.276	0.186	0.198	0.144
DBH	-0.345	1	0.028	0.038	0.020	0.129	0.259	0.135	0.274	0.219	0.124	0.129
VPR	0.790	0.596	1	0.239 *	0.161	-0.303 *	-0.217 *	-0.287 **	-0.192 *	-0.282 *	0.248 *	-0.03
CWR	-0.338	-0.897	0.605 *	1	0.578 **	-0.263 *	-0.399	-0.173	-0.117	-0.273 *	0.862 **	0.09
DWT	-0.072	-0.277	0.364	0.827 **	1	-0.212 *	-0.315 **	-0.05	-0.132	-0.099	0.477 **	0.232 *
RD	-0.287	-0.746	-0.496	-0.702 **	-0.659	1	0.601 **	0.986 **	0.582 **	0.907 **	-0.188	0.374 **
TD	0.142	-0.097	-0.352	-0.993 **	-0.966 **	0.974 **	1	0.563	0.982 **	0.845 **	-0.274 *	0.257 *
RCD	-0.336	-0.780	-0.468	-0.585	-0.492	0.979 **	0.951 **	1	0.577 **	0.911 **	-0.112	0.421 **
TCD	0.208	-0.783	-0.327	-0.869	-0.893	0.984 **	0.983 **	0.965 **	1	0.862 **	-0.190 *	0.320 **
MCD	-0.129	-0.618	-0.407	-0.738 **	-0.626	0.995 **	0.971 **	0.994 **	0.987 **	1	0.169	0.423 **
BD	0.081	-0.709	0.542 *	0.908 **	0.747 **	-0.603	-0.899 **	-0.491	-0.899	-0.631	1	0.165
FL	0.063	-0.430	0.257	0.026	0.212	0.134	0.22	0.213	0.395	0.266	0.131	1

注:矩阵左下角为遗传相关;右上角为表型相关。* 代表 0.05 的显著水平, ** 代表 0.01 的显著水平。VPR 管孔率;CWR 胞壁率;DWT 双壁厚;BD 基本密度;FL 纤维长;RD 径向胞腔直径;TD 弦向胞腔直径;RCD 径向中央直径;TCD 弦向中央直径;MCD 平均中央直径。

Notes: The data in matrix below is genetic correlation coefficient; above is phenotype correlation coefficient. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$. 下同。

VPR, Vessel percentage ratio; CWR, Cell wall ratio; DWT, Double wall thickness; BD, Basic density; FL, Fiber length; RD, Radial cell lumen diameter; TD, Tangential cell lumen diameter, RCD, Radial central diameter, TCD, Tangential central diameter. MCD, Mean central diameter. The same below.

2.3 滇楸无性系木材基本密度与解剖性状的线性回归

为明确木材基本密度与解剖性状的具体关系,对其构建了线性回归方程。由图 1 可知:4 组回归方程 P 值均小于 0.05,说明拟合效果显著,其中,胞壁率和双壁厚与基本密度的回归方程拟合效果极显著($P < 0.01$)。从决定系数 R^2 可以看出:4 组模型分别可以解释基本密度 79.67%、39.32%、30.35% 和 20.56% 的方差。胞壁率与基本密度的决定系数 R^2 达 0.796 7,表明其与基本密度有明显的线性相关关系,因此,可初步通过该性状来进一步预测木材

基本密度。从回归系数可知:每增加 10% 的胞壁率,木材基本密度大约将增加 $0.074 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$;双壁厚每增加 $1 \mu\text{m}$,基本密度大约将增加 $0.066 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$;而弦向胞腔直径和弦向中央直径分别增加 $1 \mu\text{m}$,基本密度可能下降 $0.014 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 或 $0.012 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。弦向胞腔直径和中央直径虽与基本密度线性关系较弱,但也可通过这 2 个性状来大致判断基本密度。

2.4 滇楸无性系聚类分析

依据 20 个滇楸无性系的 2 个生长性状和 10 个木材的纤维解剖性状的相似性,将 20 个滇楸无性系聚为 4 类(表 5),A、B 两类无性系数量较多,分别包

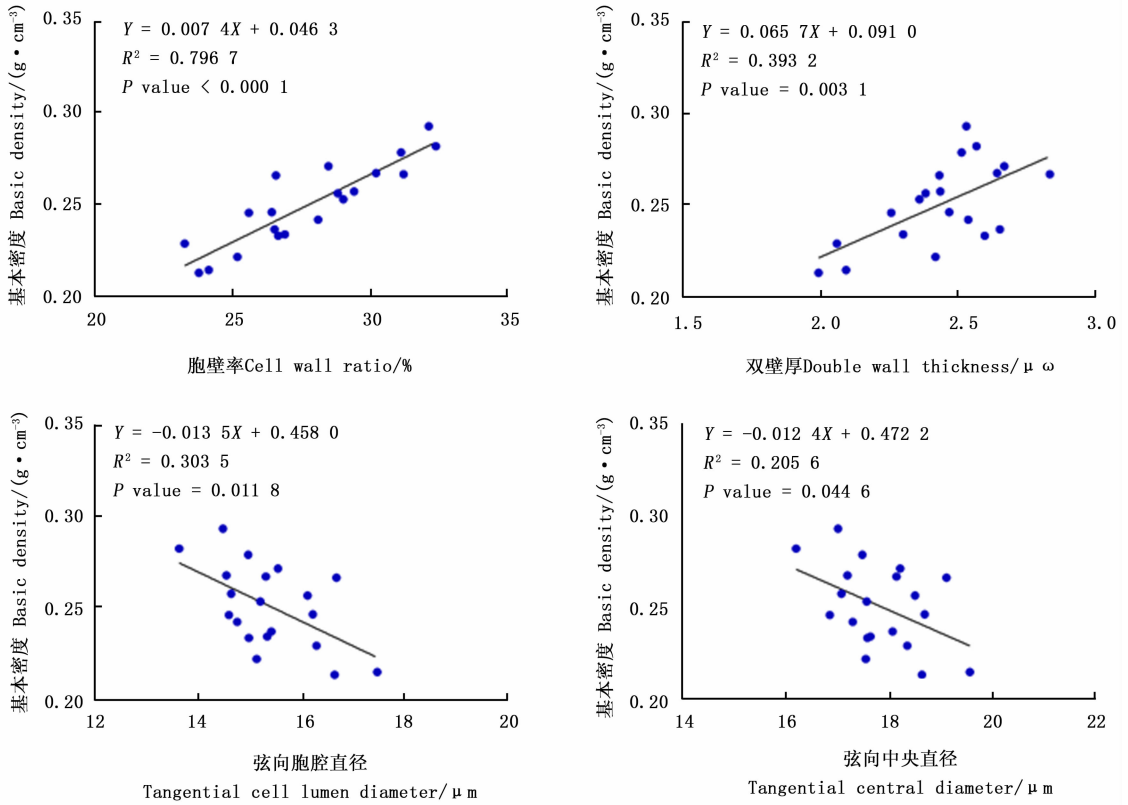


图1 滇楸木材密度与木材解剖性状线性回归

Fig. 1 Linear regression of basic density and wood anatomical traits

表5 滇楸无性系表型性状的聚类

Table 5 Phenotypic clustering of clones

类群 Groups	无性系 Clones	H/ m	DBH/ m	VPR/ %	CWR/ %	DWT/ μm	RD/ μm	TD/ μm	RCD/ μm	TCD/ μm	MCD/ μm	BD/ (g·cm ⁻³)	FL/ μm
A	1	3.31	1.97	10.51	32.14	2.53	17.97	14.49	20.50	17.02	18.76	0.29	1 004.82
	7	3.12	2.05	12.56	28.12	2.54	16.86	14.76	19.40	17.30	18.35	0.24	1 130.78
	15	2.96	1.76	9.54	32.41	2.57	16.49	13.64	19.06	16.21	17.63	0.28	1 078.34
	77	3.38	2.13	10.21	30.23	2.65	17.32	14.56	19.97	17.20	18.58	0.27	1 051.24
	111	3.06	1.93	11.15	28.49	2.67	17.69	15.56	20.36	18.23	19.29	0.27	1 041.74
	120	3.13	1.94	13.83	31.14	2.52	18.02	14.98	20.54	17.49	19.02	0.28	1 119.58
B	26	2.91	2.12	9.38	26.91	2.30	17.42	15.35	19.72	17.65	18.68	0.23	1 057.81
	31	3.11	1.94	10.54	29.04	2.36	16.98	15.21	19.34	17.58	18.46	0.25	1 031.83
	38	2.88	1.90	8.90	29.43	2.44	17.74	14.65	20.18	17.09	18.63	0.26	1 069.66
	52	2.96	1.92	10.34	25.19	2.42	17.16	15.14	19.58	17.56	18.57	0.22	1 046.77
	79	3.14	2.08	9.61	25.61	2.26	18.81	14.60	21.07	16.86	18.97	0.25	1 082.48
	110	3.18	2.00	8.70	26.54	2.66	18.50	15.43	21.16	18.08	19.62	0.24	1 064.22
	137	2.98	2.03	8.41	26.67	2.60	18.55	14.99	21.15	17.59	19.37	0.23	1 031.83
C	43	3.04	2.00	9.10	23.79	2.00	19.58	16.65	21.58	18.65	20.11	0.21	1 029.48
	48	2.97	1.89	9.53	24.14	2.10	21.23	17.48	23.33	19.58	21.45	0.22	1 074.45
	60	2.98	1.93	8.68	23.27	2.06	18.97	16.30	21.03	18.36	19.70	0.23	1 082.56
D	63	3.22	2.09	9.16	26.59	2.44	18.86	16.69	21.29	19.12	20.21	0.27	1 183.22
	74	3.29	2.05	9.70	26.44	2.47	19.04	16.23	21.51	18.70	20.11	0.25	1 181.84
	118	3.01	1.91	9.68	28.84	2.39	19.63	16.13	22.01	18.51	20.26	0.26	1 081.75
	128	2.86	1.79	9.38	31.23	2.84	19.58	15.32	22.41	18.15	20.28	0.27	1 186.87

含了30%和35%的无性系;C类无性系数量最少,仅包含43、48和60。由图2可知:A类群体树高、基本密度、胞壁率、双壁厚和管孔率均最大,胞腔直径各项指标均最小。由此可见,A类属于高密度用材的优良类群。B类虽然胞腔直径较小,但并不具有高密度的木材特性,该类群胸径较为突出,纤维长度最小。D类与B类情况相反,虽胞腔直径各项指标较大,但仍保持了较高的基本密度、胞壁率和双壁厚,且纤维长度最大。C类无性系胞腔直径各项指标均最大,而生长和木材密度等特性最差,属于劣势的类群。

2.5 滇楸无性系早期评价

通过隶属函数法计算了20个无性系各性状的隶属函数值(与基本密度有显著负相关的性状计算其反隶属函数值),通过各项函数值相加得到综合隶属函数值来初步评价无性系性状优良与否。评价结果(表6)显示:77号无性系树高和胸径隶属函数值最大,表明生长最优,其基本密度排第5;15号无性系胞壁率最大,细胞腔径各项指标均最佳,其树高和胸径均排名倒数,表明该无性系特点是材性突出,生

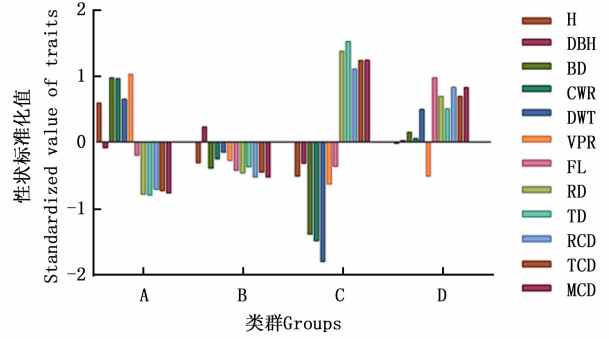


图2 不同类型滇楸无性生长性状和木材性状差异
Fig. 2 The difference of growth and wood properties of different groups

长欠缺。7号无性系胸径较大,纤维细胞长,但木材基本密度较小;120号无性系和1号无性系基本密度均较高;43号无性系木材基本密度和双壁厚隶属函数值均为0,这意味着该无性系材性较差;48号无性系木材基本密度排名倒数第二,胞腔腔径各指标反隶属函数值均为0,表明其纤维细胞腔径较大,这可能是木材密度较低的主要原因。

表6 滇楸无性系生长性状和木材性状综合评价结果

Table 6 Comprehensive evaluation of growth and wood properties of clones

无性系 Clone	排名 Rank	合计 Total	H	DBH	VPR	CWR	DWT	RD	TD	RCD	TCD	MCD	BD	FL
77	1	8.63	1.00	1.00	0.33	0.76	0.77	0.82	0.76	0.79	0.71	0.75	0.68	0.25
15	2	8.34	0.18	0.00	0.21	1.00	0.68	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.86	0.40
7	3	8.31	0.50	0.78	0.77	0.53	0.65	0.92	0.71	0.92	0.67	0.81	0.36	0.69
120	4	8.18	0.51	0.50	1.00	0.86	0.62	0.68	0.65	0.65	0.62	0.64	0.82	0.63
1	5	8.01	0.86	0.55	0.39	0.97	0.64	0.69	0.78	0.66	0.76	0.70	1.00	0.00
31	6	6.87	0.47	0.49	0.39	0.63	0.44	0.90	0.59	0.93	0.59	0.78	0.50	0.15
111	7	6.55	0.38	0.45	0.51	0.57	0.80	0.75	0.50	0.69	0.40	0.57	0.73	0.20
38	8	6.31	0.04	0.38	0.09	0.67	0.53	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.55	0.36
79	9	6.27	0.53	0.87	0.22	0.26	0.32	0.51	0.75	0.53	0.81	0.65	0.41	0.43
26	10	6.06	0.09	0.97	0.18	0.40	0.37	0.80	0.56	0.85	0.57	0.72	0.26	0.29
74	11	5.97	0.82	0.79	0.24	0.35	0.56	0.46	0.33	0.43	0.26	0.35	0.41	0.97
63	12	5.88	0.68	0.89	0.14	0.36	0.52	0.50	0.21	0.48	0.13	0.33	0.66	0.98
52	13	5.73	0.18	0.44	0.36	0.21	0.51	0.86	0.61	0.88	0.60	0.75	0.11	0.23
128	14	5.66	0.00	0.09	0.18	0.87	1.00	0.35	0.56	0.21	0.42	0.31	0.67	1.00
110	15	5.60	0.60	0.64	0.05	0.36	0.78	0.58	0.53	0.51	0.44	0.48	0.30	0.33
137	16	5.30	0.22	0.72	0.00	0.37	0.72	0.57	0.65	0.51	0.59	0.55	0.25	0.15
118	17	4.58	0.29	0.40	0.23	0.61	0.46	0.34	0.35	0.31	0.32	0.31	0.54	0.42
60	18	3.59	0.24	0.45	0.05	0.00	0.08	0.48	0.31	0.54	0.36	0.46	0.20	0.43
43	19	2.91	0.34	0.64	0.13	0.06	0.00	0.35	0.22	0.41	0.28	0.35	0.00	0.14
48	20	1.39	0.21	0.36	0.21	0.10	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.38

3 讨论

木材的物理力学属性是决定木材用途的主要依据,研究木材的物理力学属性及其影响因素,可为合

理应用木材、科学开展林木选育等提供必要参考^[23]。木材密度是反映木材性能的关键物理学指标,常用来评估木材的质量^[24]。本研究结果表明,滇楸无性系间树高、胸径、木材基本密度及木材解剖

性状具有显著或极显著差异。本研究的无性系来源于嫁接繁殖,嫁接作为无性系繁殖的一种有效方式,不同于扦插,除所需繁殖的材料本身外还具有外源的砧木参与。在大多数研究已经发现,不同的砧木对繁殖材料成活率和生长均有显著影响^[25-26]。此外,砧木与接穗的互作效应也是嫁接繁殖的重要考虑因素,特定的组合可较大程度改善无性材料的生长状态^[27-28]。考虑到这些情况,本研究选择了最适合楸树嫁接繁殖的梓树作为砧木,以确保植株嫁接的成活率与良好生长^[20, 25]。另一方面,有研究证实了嫁接后无性材料生长差异主要是来自于无性系间,无性系内变异不显著^[29]。这一进步证实了滇楸无性系的生长和材性变异来源主要为遗传效应,而嫁接繁殖效应和无性系与砧木互作效应对其的影响较小。

滇楸基本密度、管孔率、胞壁率及双壁厚表型变异系数均大于树高,这不同于挪威云杉(*Picea abies*)木材密度表型变异系数低于生长性状和产量性状的结果^[30]。可能原因是本研究参试的无性系已经过2次生长优选,降低了其变异大小。滇楸无性系材性性状中基本密度、胞壁率和双壁厚受较强的遗传控制,其无性系重复力分别高达0.88、0.87和0.73。这与黑杨派无性系^[6]、楸树(*Catalpa bungei*)^[31]无性系、青海云杉(*Picea crassifolia*)^[32]无性系木材密度具有高重复力(0.745~0.983)的研究结果类似。以上结果均表明木材密度具有高度遗传控制的特性,这为材性改良提供了良好的遗传基础。除具有较高遗传控制的特点,木材密度早晚相关也较密切^[4-5],如亮果桉(*Eucalyptus nitens*)边材密度和心材密度的早晚遗传相关高达0.9^[33]。这表明以木材密度为主要性状的早期选择具有较高的可行性,同时这也意味着本研究对滇楸无性系进行早期材性评价具有实际意义,能为后续的人工选育提供依据。

材性性状遗传相关和表型相关分析发现,无论是遗传相关还是表型相关,木材基本密度均与胞壁率和双壁厚呈极显著的正相关,而与弦向胞腔直径呈显著负相关。在青海云杉的材性研究中也发现,基本密度与胞腔直径相关性呈显著负相关^[32];而马建伟^[31]研究发现,楸树木材基本密度与胞壁率、胞腔直径并没有显著的相关性,可能原因在于统计的数量差异,导致相关性结果不同。相关分析还发现,滇楸无性系树高、胸径与木材密度及解剖性状相关程度均较弱,这与李斌等^[34]研究发现鹅掌楸木材

密度与树高和胸径均呈微弱相关的结果一致。暗示了滇楸无性系生长性状和材性性状相对独立,材性的优选对生长性状的影响较小。因此,生长和材性性状的联合选择可以获得速生和优质木材兼并的优良品种。然而,多数研究认为,木材材性性状,特别是木材密度与生长性状存在显著的负相关,过度追求速生会制约木材的品质^[30, 32, 35-37]。考虑到参试滇楸树龄尚小,遗传参数稳定性较弱,为了更准确的达到育种目的,有待后期进一步实验验证其生长和材质性状的相关性。

4 结论

滇楸1年生无性系木材基本密度、管孔率和双壁厚具有较高的无性系重复力,这些性状受较强的遗传控制;滇楸1年生无性系生长性状差异不显著,但木材基本密度、双壁厚、管孔率和纤维长度等材性性状在无性系间存在显著或极显著差异;木材密度与胞壁率和双壁厚具有极显著且较大的遗传相关,而与胞腔直径呈较大的负相关。综合生长性状和材性性状,滇楸20个无性系可初步分为4大类,分别为A高木材密度型;B短纤维型;C低木材密度型;D长纤维型。评价结果显示:15、120和1号无性系苗期木材密度较高,43和48号等无性系苗期材性较差。滇楸无性系苗期的材性性状遗传变量规律及评价结果能为后续的优良材性无性系选择提供有利的参考依据。

参考文献:

- [1] 季孔庶,毛桃,康建诚,等. 马尾松材性遗传改良研究进展[J]. 林业工程学报, 2011, 25(5): 1-6.
- [2] Rozenberg P, Cahalan C. Spruce and wood quality: Genetics aspects[J]. *Silvae Genet*, 1997, 46(5): 270-279.
- [3] 潘惠新,黄敏仁,阮锡根,等. 材性改良研究 VI. 美洲黑杨×小叶杨新无性系木材性状遗传相关分析[J]. 林业科学, 1997, 33(1): 83-92.
- [4] Li L, Wu H X. Efficiency of early selection for rotation-aged growth and wood density traits in *Pinus radiata* [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2005, 35(8): 2019-2029.
- [5] Lenz P, Mackay J, Rainville A, et al. The influence of cambial age on breeding for wood properties in *Picea glauca* [J]. *Tree Genetics & Genomes*, 2011, 7(3): 641-653.
- [6] 李善文,姜岳忠,王桂岩,等. 黑杨派无性系生长与材性联合选择[J]. 林业科学, 2005, 41(2): 53-58.
- [7] Antony F, Schimleck L R, Jordan L, et al. Growth and wood properties of genetically improved loblolly pine: propagation type comparison and genetic parameters [J]. *Canadian Journal of Forest Re-*

- search, 2014, 44(44):263-272.
- [8] Fukatsu E, Hiraoka Y, Matsunaga K, *et al.* Genetic relationship between wood properties and growth traits in *Larix kaempferi*, obtained from a diallel mating test[J]. *Journal of Wood Science*, 2015, 61(1):10-18.
- [9] Fries A. Genetic parameters, genetic gain and correlated responses in growth, fibre dimensions and wood density in a Scots pine breeding population[J]. *Annals of Forest Science*, 2012, 69(7):783-794.
- [10] Zhang P, Wu F, Kang X. Chemical properties of wood are under stronger genetic control than growth traits in *Populus tomentosa*, Carr[J]. *Annals of Forest Science*, 2015, 72(1):89-97.
- [11] Bradbury G J, Potts B M, Beadle C L. Genetic and environmental variation in wood properties of *Acacia melanoxylon*[J]. *Annals of Forest Science*, 2011, 68(8):1363-1373.
- [12] 邱明光, 段安安, 叶宏谋. 滇楸引种简结[J]. *陕西林业科技*, 1988, 16(2):16-18.
- [13] 潘庆凯, 康平生, 郭 明. 楸树[M]. 北京:中国林业出版社, 1991:8-20.
- [14] 王达明, 杨绍增, 张懋嵩, 等. 云南珍贵用材树种的产材类别品性及分布特征[J]. *西部林业科学*, 2012, 41(1):7-16.
- [15] 杨安敏, 姚淑均, 许 杰, 等. 滇楸半同胞家系子代苗期性状的遗传变异[J]. *种子*, 2010, 29(3):89-90.
- [16] 吴倩婷, 顾沈华, 王 婉, 等. 沿海地区滇楸无性系幼龄林对比测定及选择研究[J]. *中国农学通报*, 2014, 30(16):53-56.
- [17] 黄国伟, 陈慧玲, 包一鸣, 等. 滇楸幼苗无性系光合特性的比较[J]. *东北林业大学学报*, 2015, 43(1):20-23.
- [18] 张新叶, 李振芳, 张亚东, 等. 湖北引种滇楸优良无性系早期选择[J]. *中国农学通报*, 2016, 32(10):24-29.
- [19] 王军辉, 张守攻, 麻文俊, 等. 一种楸树无性系的选育方法:中国, CN102939898A[P]. 2014-07-09 [http://dbpub.cnki.net/grid2008/dbpub/detail.].
- [20] 张 锦. 楸树无性繁殖技术[J]. *林业工程学报*, 2002, 16(4):35-37.
- [21] 林元震, 张卫华, 郭 海. R 与 ASReml-R 统计学[M]. 北京:中国林业出版社, 2017.
- [22] Becker W A. 数量遗传学手册[M] 区靖祥译. 北京:科学出版社, 1987.
- [23] 朱江玲, 石 岳, 方乐祺, 等. 中国主要树种木材物理力学属性的地理格局及其环境控制[J]. *中国科学:生命科学*, 2015, 45(1):56-67.
- [24] 孙燕良, 张厚江, 朱 磊, 等. 木材密度检测方法研究现状与发展[J]. *森林工程*, 2011, 27(1):23-26.
- [25] 王军辉, 负慧玲, 冯小芹, 等. 不同砧木对灰楸生长和光合特性的影响[J]. *东北林业大学学报*, 2013, 41(10):40-45.
- [26] 李 莉, 周贝贝, 徐慧敏, 等. 不同砧木品种对核桃树体生长及光合特性的影响[J]. *林业科学研究*, 2017, 30(3):472-478.
- [27] 汤 丹, 龚榜初, 江锡兵, 等. 不同甜柿砧穗组合根系差异性研究[J]. *林业科学研究*, 2016, 29(1):85-92.
- [28] 张 东, 张宝娟, 李文强, 等. 渭北黄土高原苹果不同砧穗组合幼树根系发育和分布的特征[J]. *园艺学报*, 2016, 43(4):623-632.
- [29] 王红娟, 段安安, 蒋 艳, 等. 晋宁县引种元宝枫优良无性系嫁接苗木的年生生长节律研究[J]. *西部林业科学*, 2013, 42(2):73-77.
- [30] Gerendiain A Z, Peltola H, Pulkkinen P, *et al.* Differences in growth and wood property traits in cloned Norway spruce (*Picea abies*)[J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2007, 37(12):2600-2611.
- [31] 马建伟, 王军辉, 宋 璐, 等. 楸树杂种无性系幼龄期材性遗传变异[J]. *东北林业大学学报*, 2014, 42(10):11-15.
- [32] 李青粉, 王军辉, 李登平, 等. 青海云杉无性系木材性状的遗传变异[J]. *东北林业大学学报*, 2015, 43(12):12-16.
- [33] Greaves B L, Borralho N M, Raymond C A, *et al.* Age-age correlations in, and relationships between basic density and growth in *Eucalyptus nitens*[J]. *SilvaeGenetica*, 1997, 46(5):264-270.
- [34] 李 斌, 顾万春, 夏良放, 等. 鹅掌楸种源材性遗传变异与选择[J]. *林业科学*, 2001, 37(2):42-50.
- [35] Li C, Weng Q, Chen J B, *et al.* Genetic parameters for growth and wood mechanical properties in *Eucalyptus cloeziana* F. Muell[J]. *New Forests*, 2017, 48(1):33-49.
- [36] Ivkovich M, Namkoong G, Koshy M. Genetic variation in wood properties of interior spruce. I. Growth, latewood percentage, and wood density. [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2002, 32(12):2116-2127.
- [37] Zhou H, Fries A, Wu H X. High negative genetic correlations between growth traits and wood properties suggest incorporating multiple traits selection including economic weights for the future Scots pine breeding programs[J]. *Annals of Forest Science*, 2014, 71(4):463-472.

Early Variations of Wood Property of *Catalpa fargesii* f. *duclouxii* Clone and Their Evaluation

XIAO Yao¹, YAO Shu-jun², YANG Gui-juan¹, ZHANG Ming-gang², OUYANG Fang-qun¹,
WANG Jun-hui¹, MA Wen-jun¹

(1. State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, National Forestry and Grassland Administration, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. Guizhou Academy of Forestry, Guiyang 550000, Guizhou, China)

Abstract: [**Objective**] To analyze the genetic variation of wood properties of *Catalpa fargesii* f. *duclouxii* clones and to improve their efficiency of genetic improvement of wood properties. [**Method**] Twenty clones from Guizhou Province were chosen as sampling materials, the height, diameter at breast height (DBH), wood basic density, double wall thickness, cell lumen diameter and fiber length were measured. The genetic parameters were estimated by maximum likelihood method, the phenotype and genetic correlation were analyzed. The wood properties of clones were evaluated by clustering and membership function methods. [**Result**] The results showed that the growth and wood property traits were significant different among clones; the range of traits phenotype variable coefficient were 6.21% to 21.29%; the basic density, cell wall rate and double wall thickness were strongly controlled by heritability, the repeatability were 0.88, 0.87 and 0.73, respectively; the basic density had significantly positive correlation with vessel percentage ratio (0.542), cell wall ratio (0.908) and double wall thickness (0.747). However it was negatively correlated with cell lumen diameter. The correlation between wood property traits was strongly influenced by the heritability. Regression analysis showed that the basic wood density had significantly positive linear relationship with cell wall ratio and double wall thickness. On the contrary, it had negative linear relationship with tangential cell lumen diameter. [**Conclusion**] The wood properties are significantly different among clones, and have greater variation. The evaluation results of combining clustering and membership function show that the wood properties of all the 20 clones can be divided into four groups, group A has higher wood density, group B has shorter fiber length, group C has lower wood density and group D has longer fiber length.

Keywords: *Catalpa fargesii* f. *duclouxii*; wood property; genetic variation; correlation; evaluation

(责任编辑:张 研)