

文章编号: 1001-1498(2001)-04-0362-07

桉木种源(群体)/家系材性性状的遗传变异*

王军辉¹, 顾万春¹, 夏良放², 李 斌¹, 郭文英¹

(1. 中国林业科学研究院 林业研究所, 北京 100091;

2 中国林业科学研究院 亚热带林业实验中心, 江西 分宜 336600)

摘要: 对 6 年生桉木种源/家系的多点试验林的材性进行了研究, 结果表明木材基本密度和纤维长度的种源间差异极显著, 家系间差异不显著; 木材基本密度的种源 × 地点的交互作用并未达到显著水平, 纤维长度的种源 × 地点的交互作用达到显著水平。3 个地点木材基本密度的种源遗传力和家系遗传力分别为 0.564 8~ 0.661 8 & 0.285 7 ~ 0.653 5; 木材纤维长度种源遗传力和家系遗传力分别为 0.255 3~ 0.789 5, 0.290 5~ 0.452 8。木材密度、纤维长度和生长性状三者之间的相关关系均不显著, 可以进行 3 个性状的独立选择。提出桉木木材密度和纤维长度随年龄变化的生长模型和早晚期相关关系, 适宜的早期选择年龄为 6 a, 从木材密度考虑培育造纸材的适宜年龄拟定为 10~ 11 a。江西点 15 个种源的木材密度在种源间达到了显著差异, 家系间并未达到显著差异, 纤维长度在种源间、家系间都达到极显著差异。

关键词: 桉木; 种源; 木材密度; 纤维长度; 遗传参数; 相关分析; 选择

中图分类号: S718.46

文献标识码: A

桉木属(*A. Inus*)主要分布于北半球寒温带、温带和亚热带地区, 全世界大约有 40 余种, 中国有 11 种, 其地理分布为欧洲、亚洲、非洲、北美及中南美洲, 美洲最南达秘鲁。在中国分布于东北、华北、华南、华中、西南地区^[1]。桉木(*A. cremastogyne* Burk.)是国产桉木属 11 个种中最重要的一个特有种^[2], 原分布区以成都盆地为中心, 遍及四川全省、贵州北部、陕西南部、甘肃东南部等地, 尤以邛崃山地生长最好。60 年代以来, 湘、鄂、皖、赣、闽、浙、苏、沪等长江中下游地区相继引种栽培, 获得成功。而今, 桉木的栽培区域西起四川康定(102 °E), 东至浙江舟山(121 49 E), 南及云南东北部(26 °N), 北抵秦岭南坡(33 °N), 适生栽培区扩大到长江中下游地区^[1]。国内对桉木的遗传变异的研究较少^[3~ 7]。万军等^[3, 4]的研究认为桉木优树半同胞子代苗期性状差异除侧枝数、根瘤数、根数等 3 个性状差异不显著外, 其它性状差异均达到显著水平, 苗高的广义遗传力为 0.941 5。陈益泰等^[5]发现桉木种内存在着极其丰富的产地变异和个体变异。木材密度和果实形态特征在产地内株间差异明显大于产地间差异。陈炳星^[6]综述了桉木制浆造纸研究现状与我国桉木浆的开发利用。王军辉等^[7]对桉木优良种源/家系的生长适应性和遗传稳定性进行了研究, 树高、材积在种源间差异极显著, 种源内家系间差异不显著, 种源 × 环境的互作显著。木材密度与纤维的遗传变异是材性改良研究的基础, 是代表工业人工林木材性质的重要性状。因此, 木材密度和纤维长度变异性的研究至关重要^[8]。有鉴于此, 结合营建桉木造纸原料林的需求, 本文研究桉木木材密度和纤维长度在地点间、种源间、种源内家系间

收稿日期: 1999-08-31

基金项目: “八五”、“九五”国家科技攻关专题“主要树种种质资源保存、评价与利用研究”(96-014-03-01)与世行项目(FRDPP)阔叶树课题(09-07)的部分研究内容

作者简介: 王军辉(1972-), 男, 河南郑县人, 博士

* 中国林科院亚热带林业实验中心余良富, 福建省邵武市林业委员会封建文, 湖北董纯, 湖南李锡泉, 四川林科院万军, 干少雄等为多点试验林负责人并协助完成生长量调查和木材取样工作, 特此一并致谢

1.3 室内测定方法

对 3 个试验点的试材和 37 株 14 年生桉木试材树皮至髓心方向每个年轮的材性都进行了测定。木材基本密度的测定采用了材性改良中常用的最大饱和含水量法^[9]。纤维长度的测定采用硝酸和铬酸混合液离析的 Taylor 染色法。经番红液染色, 每处理样本在投影显微镜下($\times 68$ 倍) 随机测定 50 根完整纤维的长度, 取其平均值作为样品的纤维长度。

1.4 统计分析方法

为了消除髓心至树皮木材年轮断面积渐增的差异, 计算木材密度或纤维长度时按不同年轮组木材断面积加权, 这能客观地反映桉木种源/家系胸高处木材的平均密度或纤维长度^[10, 11]。

以家系平均值参与统计分析, 应用混合线性模型进行遗传组成的估计, 用 SAS 6.12 版本统计软件 GLM (一般线性模型) 模块进行各点方差分析, 对各点的误差均方经同质性检验, 差异不显著时作多点方差分析; 用 VARCOMP 模块中的 REML (限制最大似然估计法) 方法进行方差分量的估算; 用 REG 模块进行回归方程的模拟; 用 CORR 模块计算性状之间的 Pearson 相关系数^[12]。种源和家系遗传力、遗传变异系数根据 Namkoong 的方法计算^[13]。

2 结果与分析

2.1 不同试验点对桉木种源/家系的材质影响显著

6 年生时 3 个试验点木材基本密度的均值为 $0.3823 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 种源间变化范围为 $0.3602 \sim 0.4799 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (表 2); 纤维长度的均值为 1.2479 mm , 种源间变化范围为 $1.1264 \sim 1.3497 \text{ mm}$ 。木材基本密度和纤维长度的变异系数分别为 8.09% 和 8.22%, 说明桉木种源具有丰富的遗传变异, 开展种源选择具有很大的潜力。

表 2 3 个地点桉木种源 6 年生时木材基本密度和纤维长度的变异

地点	木材性状	样本数	平均值	最小值	最大值	标准差	变异系数/%
江西分宜	基本密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	262	0.4204	0.3800	0.4799	0.0406	9.41
	纤维长度/mm	262	1.2795	1.1998	1.3497	0.0878	6.85
湖北京山	基本密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	80	0.3945	0.3678	0.4040	0.0332	8.41
	纤维长度/mm	74	1.2088	1.1264	1.2913	0.1175	9.72
福建邵武	基本密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	80	0.3775	0.3602	0.3979	0.0292	7.74
	纤维长度/mm	80	1.2690	1.2396	1.2896	0.1012	7.98

多点方差分析结果表明(表 3): 木材基本密度、纤维长度在地点间的差异极显著。桉木不同种源的木材基本密度和纤维长度均差异显著, 说明在种源水平上对桉木的材性进行改良有

表 3 木材基本密度和纤维长度 3 个地点综合方差分析结果

变异来源	自由度	木材基本密度(MS)	纤维长度(MS)	EMS
地点	2	0.006202**	0.019871**	$\sigma_e^2 + nF\sigma_p^2 + nPF\sigma_s^2$
种源	4	0.000693*	0.007447*	$\sigma_e^2 + nF\sigma_p^2 + nS\sigma_{F/p}^2 + nSF\sigma$
家系	14	0.000244 ^{NS}	0.002860 ^{NS}	$\sigma_e^2 + nS\sigma_{F/p}^2$
地点 × 种源	8	0.000320 ^{NS}	0.006552*	$\sigma_e^2 + nF\sigma_p^2$
误差	28	0.000325	0.002602	σ_e^2

注: ** 表示 1% 水平差异显著, * 表示 5% 水平差异显著, NS 表示 5% 水平差异不显著。

很大的潜力, 进行木材基本密度和纤维长度的种源选择将取得良好的效果。种源 × 地点的交互作用对木材基本密度的影响不显著, 说明桉木种源存在较小的环境效应, 进行木材基本密度的种源选择时, 不同造林地区可选出共同的优良种源。种源 × 地点交互作用对木材纤维长度的影响显著, 因此, 要针对特定地区进行木材纤维长度的种源选择。

2.2 桉木年度材性变异及早期预测

许多研究^[14~16]证实, 木材基本密度和纤维长度由髓心至树皮逐渐增加, 到一定年龄趋于相对稳定的趋势。图 1 表明江西 37 株 14 年生桉木木材密度和纤维长度的径向变异趋势基本一致。

随着树龄 X 的增加, 桉木 14 年生木材基本密度平均生长(Y) 模型为:

$$Y = 0.394\ 279 - 0.005\ 037X + 0.000\ 437X^2 \quad (1)$$

$$R^2 = 0.817\ 8, F = 24.674, M S E = 0.006\ 15$$

木材纤维长度(Y) 与树龄(X) 间的关系可用下列方程来表示:

$$Y = 1.331\ 630 - 0.014\ 545X + 0.002\ 656X^2 \quad (2)$$

$$R^2 = 0.949\ 4, F = 93.875, M S E = 0.028\ 86$$

由表 4 可以看出: 6 年生时木材密度、纤维长度均与 14 年生的显著相关, 因此 6 年生的材性性状可代表 14 年生的材性性状; 6 年生以后相关系数比较大, 且都达到了显著或极显著的水平, 这表明试验林的 6 年生时的材性能反映总体变异情况; 6 年生木材密度、纤维长度的回归方程和 14 年生的回归方程的差异显著性检验结果表明差异不显著($t = 2.12$ 和 $t = 2.07$), 因此早期选择林龄在第 6 年比较合适。一般认为, 密度为 $0.4 \sim 0.6\ g \cdot cm^{-3}$ 的木材有利于生产木浆^[17], 桉木 10~11 a 后木材密度可达造纸材密度(0.4 以上)的要求(图 1), 因此 10~11 a 以后用于造纸较合适。

表 4 不同年龄桉木的木材密度和纤维长度与 14 a 的相关关系

年龄/a	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
木材密度	0.962**	0.380 ^{ns}	0.996**	0.938**	0.731 ^{ns}	0.945**	0.458*	0.446*	0.412*	0.564**	0.515*	0.747**	0.574**
纤维长度		-0.323 ^{ns}	-0.587 ^{ns}	-0.656 ^{ns}	-0.581 ^{ns}	0.684**	0.740**	0.703**	0.761**	0.734**	0.703**	0.592**	0.813**

注: 自由度为 14, ** 表示 1% 水平显著, * 表示 5% 水平显著, ns 表示 5% 水平差异不显著。

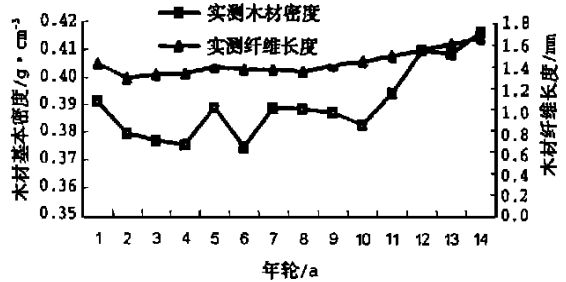


图 1 桉木木材基本密度和纤维长度的径向变异

2.3 木材密度和纤维长度遗传参数估算

3 个地点木材基本密度的种源遗传力和家系遗传力分别为 0.564 8~0.661 8、0.285 7~0.653 5, 3 个地点综合的木材基本密度种源遗传力为 0.655 1。木材纤维长度种源遗传力和家系遗传力分别为 0.255 3~0.789 5、0.290 5~0.452 8, 3 个地点综合的木材纤维长度种源遗传力为 0.085 5(表 5)。桉木种源、家系的材质性状受着弱至高度的遗传的控制, 这对确定桉木工业用材的材性改良计划具有重要意义。通过一定强度的种源、家系选择, 能获得较高的遗传增益和改良效果^[18]。

2.4 材质性状与生长性状间的相关与选择

数量性状的遗传往往受到多基因的遗传控制,由于基因之间的相互作用以及多因一效和一因多效的作用,使得性状间彼此关联,相互影响,只有弄清性状间的相关程度,才能在育种改

表5 不同地点桉木种源/家系木材基本密度和纤维长度的遗传参数

性状	参数	江西分宜	湖北京山	福建邵武	综合	
木材基本密度	种源	遗传力	0.564 8	0.596 0	0.661 8	0.655 1
		遗传变异系数	3.89	2.16	3.53	
	家系	遗传力	0.285 7	—	0.653 5	
		遗传变异系数	3.78	—	4.03	
木材纤维长度	种源	遗传力	0.721 7	0.789 5	0.255 3	0.085 5
		遗传变异系数	3.00	5.02	0.92	
	家系	遗传力	0.452 8	0.290 5	—	0.090 2
		遗传变异系数	2.58	2.68	—	

良中权衡取舍性状,提高林木改良的效率。分析重要性状间的相关性,对估计相关遗传进展以及评定种源/家系具有重要的作用。Zobel^[19]指出树木生长速度与木材密度和纤维长度之间的相关性均因树种、树龄和地理位置不同而异,有的明显相关,有的不相关。因此,本研究在性状遗传变异的基础上,以家系平均值为基础,又对这3个地点的生长性状和材性性状的相关关系进行了分析(表6)。

表6 桉木生长性状与材性性状的相关性

性状	地点	树高	胸径	材积	冠幅	木材基本密度
木材基本密度	江西	0.054 5(0.824 5)	0.009 3(0.970 0)	-0.011 8(0.961 9)	0.048 7(0.864 8)	
	福建	-0.373 4(0.115 4)	-0.245 7(0.310 7)	-0.208 2(0.392 4)	-0.146 2(0.550 3)	
	湖北	0.358 9(0.109 0)	0.393 0(0.135 1)	0.364 0(0.110 2)	0.302 9(0.103 6)	
木材纤维长度	江西	0.412 9(0.141 7)	0.376 2(0.112 4)	0.403 0(0.087 1)	0.041 9(0.864 8)	0.146 2(0.550 2)
	福建	0.229 0(0.345 7)	0.154 0(0.529 0)	0.147 1(0.547 8)	0.371 9(0.116 9)	0.044 3(0.857 2)
	湖北	-0.346 1(0.146 6)	-0.274 5(0.255 5)	-0.324 1(0.175 8)	-0.380 5(0.108 0)	-0.406 3(0.167 0)

注:括号内为Pearson显著性概率,自由度为19。

木材基本密度、纤维长度和生长性状在不同试验点的相关分析结果相似。木材基本密度同树高、胸径、材积、冠幅的相关不显著;纤维长度同树高、胸径、材积、冠幅的相关也不显著;3个地点的木材基本密度与纤维长度之间的相关系数分别为 $r=0.146 2$ (江西)、 $r=0.044 3$ (福建)、 $r=-0.406 3$ (湖北),二者相关不显著(表6),即生长性状(树高、胸径、材积、冠幅)、木材密度和纤维长度这3个性状互为独立遗传,表明可以相互独立选择^[20]。

2.5 江西点桉木15个种源的材性变异

江西点桉木种源的木材基本密度差异显著,家系之间差异不显著,纤维长度在种源之间、家系之间的差异均极显著(表7)。江西点的15个桉木种源的材性性状分化很大,15个桉木种

表7 江西点桉木木材基本密度和纤维长度的方差分析结果

变异来源	自由度	F值(木材基本密度)	F值(纤维长度)	EMS
种源	14	2.29*	3.59***	$\sigma_e^2 + n\sigma_{F/\rho}^2 + nF\sigma_p^2$
种源内家系	50	1.40 ^{ns}	1.83**	$\sigma_e^2 + n\sigma_{F/\rho}^2$
误差	197			σ_e^2

注:***表示0.1%水平显著,**表示1%水平显著,*表示5%水平显著,ns表示5%水平不显著。

源的木材基本密度的平均值为 $0.380\ 0\sim 0.479\ 9\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 种源间最大和最小木材基本密度之差为 $0.099\ 9\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。木材纤维长度为 $1.199\ 8\sim 1.349\ 7\ \text{mm}$, 种源间最长和最短木材纤维长度之差为 $0.149\ 9\ \text{mm}$, 种源间相对极差达 12%。

3 结论与讨论

(1) 6年生桉木的木材基本密度接近造纸材的木材密度标准($0.4\sim 0.6\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), 3个地点的木材密度平均为 $0.382\ 3\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 这和红枝桉木(*A. rubra* Bong.)的木材密度($0.39\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)相近^[21]; 3个地点的平均纤维长度均符合国际木材解剖学会规定的中级长度纤维($0.91\sim 1.61\ \text{mm}$)标准^[22], 3个地点的平均纤维长度为 $1.247\ 9\ \text{mm}$ 。

(2) 3个地点桉木种源的木材密度和纤维长度的差异均显著, 家系间差异不显著, 木材基本密度的种源 \times 地点的交互作用未达到显著水平, 这说明桉木种源存在较小的环境效应, 进行木材基本密度的种源选择时, 不同造林地区可选出共同的优良种源。木材纤维长度的种源 \times 地点交互作用达到显著水平, 因此要针对特定地区进行木材纤维长度的种源选择。江西单点研究结果表明: 桉木 15个种源的木材密度的差异极显著, 家系之间差异不显著, 种源和家系的纤维长度的差异均极显著, 这进一步说明桉木种源材性选择的潜力较大。

(3) 在3个地区, 木材基本密度的种源遗传力为 $0.564\ 8\sim 0.661\ 8$, 家系遗传力为 $0.285\ 7\sim 0.653\ 5$; 木材纤维长度的种源遗传力为 $0.255\ 3\sim 0.789\ 5$, 家系遗传力为 $0.290\ 5\sim 0.452\ 8$ 。这表明材性性状受到中度到强度的遗传控制, 开展种源、家系的材性选择是有效的。因此, 根据不同研究需要和育种目标抓住重要的遗传力高的性状, 在工业用材林纸浆材选育方面加以运用, 能提高选择效率和育种效率。

(4) 木材密度和纤维长度随年龄的生长变化模型和早晚期相关关系表明, 桉木材性早期选择的适宜年龄为 6 a, 而桉木造纸材培育年龄拟定为 10~ 11 a; 桉木木材基本密度、纤维长度同生长性状(树高、胸径、材积、冠幅)的相关关系不显著, 桉木纤维长度和木材基本密度的相关系数为 $r=0.146\ 2$ (江西)、 $r=0.044\ 3$ (福建)、 $r=-0.406\ 3$ (湖北), 这表明三者之间在遗传上是相互独立的, 受不同的遗传控制, 可以独立进行选择, 有利于工业材多性状同步遗传改良, 从而可以选择出生长较快、木材密度较高和纤维长度较长的种源/家系。

参考文献

- [1] 顾万春. 主要阔叶树速生丰产培育技术[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992: 79~ 97.
- [2] 杨志成. 优良阔叶树种——桉木的分布、生长和利用[J]. 林业科学研究, 1991, 4(6): 643~ 648.
- [3] 万军, 刘和林, 岳德智, 等. 桉木优树子代苗期性状变异的研究[J]. 四川林业科技, 1995, 16(3): 52~ 57.
- [4] 王启和, 干少雄, 龚毅红, 等. 桉木家系选择的初步研究[J]. 四川林业科技, 1997, 18(2): 29~ 32.
- [5] 陈益泰, 李桂英, 王惠雄. 桉木自然分布区内表型变异的研究[J]. 林业科学研究, 1999, 12(4): 379~ 385.
- [6] 陈炳星, 周志春, 李光荣, 等. 桉木制浆造纸研究现状与我国桉木浆的开发利用[J]. 林业科学研究, 1999, 12(6): 656~ 661.
- [7] 王军辉, 顾万春, 夏良放, 等. 桉木优良种源(群体)/家系的选择研究——生长的适应性和遗传稳定性分析[J]. 林业科学, 2000, 36(3): 59~ 63.
- [8] 鲍甫成, 江泽慧. 短周期工业用材林木材性研究(第二集)[J]. 世界林业研究, 1995, 8(专集).
- [9] Smith D M. A comparison of two method for detemining the specific gravity of small wood samples of sceond-grow th Douglas fir[R]. For Pro Lab Rep, 1995, 2033.
- [10] 顾万春, 李斌, 郭文英, 等. 山杨材性个体内遗传变异的研究[J]. 林业科学研究, 1994, 7(5): 561~ 566.
- [11] 潘惠新, 黄敏仁, 阮锡根, 等. 材性改良研究VII 美洲黑杨 \times 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.
- [12] 高惠旋, 耿直, 李贵斌, 等编译. SAS系统 SAS/STAT 软件使用手册[M]. 北京: 中国统计出版社, 1997.

- [13] 王明庥 林木育种学概论[M]. 北京: 中国林业出版社, 1988 191~ 208
- [14] 刘洪涛, 童再康, 刘力, 等. 杂种杨树纸浆用材良种材性的遗传变异和选择[J]. 浙江林学院学报, 1994, 11(1): 1~ 6
- [15] 王金满, 刘一星, 李坚. 人工林长白落叶松木材材质早期预测模式 (I) 材性变异、幼龄期与成熟期的界定[J]. 东北林业大学学报, 1996, 24(5): 65~ 71.
- [16] 王金满, 刘一星, 李坚. 人工林长白落叶松木材材质早期预测模式 (II) 材质早期预测与木材品质评价[J]. 东北林业大学学报, 1997, 25(2): 24~ 28
- [17] 徐有明. 火炬松纸浆材性变异和优质原料培育期的确定[J]. 林业科学研究, 1995, 8(5): 544~ 549
- [18] 宋云民, 黄铨, 黄永利, 等. 湿地松家系生长和材性遗传变异分析[J]. 林业科学研究, 1995, 8(6): 671~ 676
- [19] Zobel B J, Buitjten J P. Wood variation-its cause and control[M]. New York: Springer-Verlag, 1989.
- [20] 顾万春, 归复, 于志民, 等. 毛白杨优良无性系(新品种)材性测定研究[J]. 林业科学研究, 1998, 11(2): 186~ 191.
- [21] Harrington C A, Debell D S. Variation in specific gravity of red alder (*Alnus rubra* Bong.) [J]. Canada Journal Forest Research, 1995, 10: 293~ 299.
- [22] Robison T L, Mize C W. Specific gravity and fiber length variation in a European black alder provenance study[J]. Wood and Fiber Science, 1987, 19(3): 225~ 232

Genetic Variation and Selection of Wood Property of *Alnus cremastogyne* Provenance and Family

WANG Jun-hui¹, GU Wan-chun¹, XIA Liang-fang², LIB in¹, GUO Wen-ying¹

(1. Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China;

2. Experimental Center of Subtropical Forestry, CAF, Fenyi 336600, Jiangxi, China)

Abstract: The trial plantations with 15 *Alnus cremastogyne* provenances were planted in 6 sites along the middle and lower reaches of Yangtze River according to a split plot design. Four hundred and sixty-two wood cores were sampled from 3 sites of 6-year-old plantations for measuring and analyzing the wood density and fiber length of 15 *A. cremastogyne* provenances. The results showed that provenance means for wood density was $0.3823 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ and fiber length was 1.2479 mm. It also proved that there existed significant differences among provenances in wood quality and fiber length. The interaction between provenance and site in wood density was not significant, however, that between provenance and site in fiber length was significant. Meanwhile, in Jiangxi Province, there also existed significant difference among provenances and families in fiber length, however, significant difference in wood density was only existed among provenances. Wood density and fiber length were not significantly correlated. The relationship between wood quality and growth characters was also weak, hence the selection of wood property or growth character can be conducted independently. Genetic parameter analysis showed that the provenance heritability and family heritability of wood density were 0.5648~0.6618 and 0.2857~0.6535, while that of fiber length were 0.2553~0.7895 and 0.2905~0.4528. The models of the changes of wood density and fiber length with the age and the correlation of early stage and late stage were set up. It is proved that the feasible age for genetic selection is 6 years old. From the viewpoint of wood density, the feasible age for culturing pulp wood is 10~11 years old.

Key words: *Alnus cremastogyne*; provenance; wood density; fiber length; genetic parameter; correlation analysis; selection