

木荷生长与形质地理变异和木制工艺材种源选择

林磊¹, 周志春¹, 范辉华², 金国庆¹, 陈柳英³, 王月生⁴

(1. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 福建省林业科学研究院, 福建 福州 350012;
3. 福建省建瓯市林业科技推广中心, 福建 建瓯 353100; 4. 浙江省淳安县富溪林场, 浙江 淳安 311700)

摘要: 利用设置在福建建瓯和浙江淳安的 5 年生木荷 *Schima superba* 种源试验林, 系统研究生长和形质性状种源差异、地理变异模式和性状遗传相关, 并利用选择指数开展木制工艺材优良种源选择。方差分析结果表明, 木荷树高、胸径、树干通直度及一级侧枝总数、最大侧枝长和最大侧枝粗存在显著的种源效应, 受到中等以上强度遗传控制, 种源广义遗传力达 0.34~0.61, 而树干分叉干数和分枝角的种源效应较小。木荷生长和形质性状的地理变异模式因区试点不同而存在一定的差异, 在木荷中心产区的福建建瓯点, 主要生长和形质性状与产地纬度呈显著的负相关, 相关系数达 -0.313~-0.534, 与产地经度相关性较小, 呈典型的纬向变异模式, 南部种源生长较快, 树干通直, 但分枝多而粗; 在北缘区的浙江淳安点, 除种源一级侧枝总数与产地纬度呈显著负相关外, 其他生长和形质性状与产地纬度的负相关性较小。性状相关分析发现, 木荷种源主要的形质与生长性状呈显著的正遗传相关, 遗传相关系数达 0.320~1.164, 而树干通直度则与最大侧枝长互为独立。选用 2 个理想的等经济权重和以生长改良为主的选择指数分别为福建建瓯和浙江淳安点选出了 10 个生长和形质兼优的优良种源, 前者多为南部种源, 而后者多为中部种源。表 6 参 16

关键词: 林木育种学; 木荷; 种源; 生长; 形质; 地理遗传变异; 选择指数; 木制工艺材

中图分类号: S722 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2009)05-0625-08

Genetic variation of growth and form in *Schima superba* provenances with selection for wood processing materials

LIN Lei¹, ZHOU Zhi-chun¹, FAN Hui-hua², JIN Guo-qing¹, CHEN Liu-ying³, WANG Yue-sheng⁴

(1. The Research Institute of Subtropical Forestry, The Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China; 2. Fujian Academy of Forestry, Fuzhou 350012, Fujian, China; 3. Extending Center for Forestry Science and Technology of Jian'ou City, Fujian Province, Jian'ou 353100, Fujian, China; 4. Fuxi Forest Farm of Chun'an County, Chun'an 311700, Zhejiang, China)

Abstract: To aid in wood processing with superior *Schima superba* stock, provenance differences, geographic variation patterns, and genetic correlation of growth and form traits in provenance trails of five-year-old trees located at Jian'ou, Fujian Province and Chun'an, Zhejiang Province were determined using the variance, simple correlation and genetic correlation analysis. A random block design with five replications was applied in the trials, and the traits survey was conducted in December of 2007. Provenance broad-sense heritability and selection index were estimated with the quantitative genetics methods. Results showed significant differences between provenances for height ($P<0.05$), DBH ($P<0.05$), stem straightness ($P<0.05$), total number of primary branches ($P<0.01$) and length ($P<0.05$), and diameter of primary branches ($P<$

收稿日期: 2008-10-24; 修回日期: 2009-03-10

基金项目: 国家林业局重点资助项目(2008-05); 浙江省重大科技专项重点项目(2008C02004-2); 国家农业成果转化基金项目(2008GB24320421); 浙江省农业成果转化基金项目(2008D70094); 浙江省与中国林科院省院合作项目(2006SY06, 2007SY15); 浙江省林业厅林木良种基础研究项目

作者简介: 林磊, 硕士, 从事林木遗传改良和培育技术研究。E-mail: linleiformal@163.com。通信作者: 周志春, 研究员, 博士, 博士生导师, 从事林木遗传育种研究。E-mail: zczhou@fy.hz.zj.cn

0.05). These traits were under moderate or even strong provenance genetic control with a provenance broad-sense heritability that varied from 0.34 to 0.61. No significant differences for stem bifurcation or maximum branch angle were found. The correlation analysis at Jian'ou (the central distribution area) showed a classic latitudinal clinal variation pattern with main growth and form traits negatively ($r = -0.313$ to -0.534) and significantly ($P < 0.05$) related to seed source latitudes. At the more northern Chun'an the total number of primary branches was negatively ($r = -0.380$) and significantly ($P < 0.05$) related to seed source latitude. A significant ($P < 0.05$), positive ($r = 0.320$ to 1.164) relationship was found for the main growth and form traits in both locations, whereas stem straightness was not correlated to primary branch length. Based on the two selection indexes of: 1) equal and 2) growth-emphasized economic weighting, 10 superior provenances were selected with most superior provenances for Jian'ou in southern areas and for Chun'an in central areas. [Ch, 6 tab. 16 ref.]

Key words: forest tree breeding; *Schima superba*; provenance; growth; form traits; geographic genetic variation; selection index; wooden processed materials

世界各国重视珍贵优质用材的培育, 很多林业先进国家把培育珍贵用材林资源作为保护生物多样性, 提高林地产值及森林生态功能的重要技术手段。如法国在第二次世界大战结束时的森林基本上只能生产薪材的低质次生林, 经过大约 30 a 的努力, 通过加强低质次生林培育为珍贵用材林的研究和经营, 全法国的森林基本上改培为高经济价值的橡树 *Quercus palustris* 林和山毛榉 *Fagus sylvatica* 林^[1]。英国重视橡树等乡土珍贵树种种质资源的发掘和整理, 大力培育珍贵阔叶用材林^[2]。日本重视日本椴 *Tilia japonica*, 水曲柳 *Fraxinus mandschurica*, 山樱 *Prunus serrulata* 和日本花楸 *Sorbus japonica* 等珍贵阔叶树的培育^[3]。中国南方森林资源丰富, 蕴藏着很多的珍优阔叶用材树种, 但因遭到长期过度采伐利用, 加之忽视后备资源的培育, 现有资源存量很少。近 10 a 来, 中国南方省区才开始珍优用材树种培育研究, 如蔡道雄等^[4]根据多年人工造林和研究结果, 以红锥 *Castanopsis hystrix* 为例提出细致规划林地, 使用良种壮苗, 适时调控林分密度, 采用多树种混交, 抹芽修枝, 实施择伐等亚热带珍优阔叶树种大径材培育配套技术。李建民等^[5]在福建省多年人工造林研究和调查的基础上, 筛选出一批适宜福建山地造林的珍贵阔叶用材树种。中国南方在注重松杉速生丰产用材树种育种外, 近 10 a 来重视西南桦 *Betula alnoides*^[6], 红锥^[7], 樟树 *Cinnamomum camphora*^[8]等一些珍优乡土阔叶用材树种的良种选育工作。但总的来讲, 中国珍优乡土阔叶用材树种的遗传育种研究还处于起步阶段, 一些重要的树种还未涉及。木荷 *Schima superba* 乃山茶科 Theaceae 常绿大乔木, 为中国亚热带常绿阔叶林的重要建群种, 它不仅是中国南方生物防火林带建设的主要树种和高效的生态树种, 而且还是造林成效好、速生珍优的阔叶用材树种^[9]。木荷木材坚实致密, 结构均匀, 力学性质良好, 是建筑、器材、胶合板、家具、木地板、木制玩具、木制工艺品等优质用材。随着中国胶合板、木制家具、木制玩具和木制工艺品等产业的蓬勃发展, 耗用的木荷等珍优工艺材成倍增长, 因此亟须选育一批速生优质的木荷等珍优用材新品种, 大力发展工艺用材林基地以支撑这些产业的健康安全发展。笔者利用设置在浙江淳安和福建建瓯 2 个试点的 5 年生木荷种源试验林, 以木制工艺材(即木制工艺品用材)为选育目标, 研究和揭示生长和形质性状的种源遗传变异规律和性状遗传相关, 并借助选择指数初选出一批生长和形质兼优的种源供生产应用。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

木荷种源区域试验林分别设置在福建省建瓯市城郊东溪村(27°03'N, 118°19'E)和浙江省淳安县富溪林场(29°37'N, 119°01'E)。福建建瓯点林地前茬为第 1 代杉木 *Cunninghamia lanceolata* 人工林, 海拔 150 m 左右, 坡度 25°左右, 山地红壤, 立地条件好; 浙江淳安点造林地前茬为以马尾松 *Pinus massoniana* 为主的天然针阔混交林, 海拔 120 ~ 180 m, 坡度 25° ~ 30°, 土壤为山地黄红壤, 立地条

件较好。计有来自安徽、浙江、江西、福建、湖南、广东、广西 7 个省(自治区)37 个木荷种源参试^[10]。种源试验林均按完全随机区组设计, 5 次重复, 10 株单列小区。2003 年 2 月用 1 年生裸根苗造林, 株行距 2 m × 2 m, 块状整地, 栽植穴大小为 40 cm × 40 cm × 30 cm, 连续抚育 3 a 至幼林郁闭。

1.2 试验林调查与统计分析

2007 年底对 2 个地点的木荷种源区域试验林全面调查, 测定与木制工艺材相关的生长和形质性状, 包括树高、胸径、树干通直度(1~5 分)、分叉干数、一级侧枝总数、最大侧枝长、最大侧枝粗和最大侧枝角度等。通直度按通直、较通直、一般、较弯曲和弯曲 5 分制统计, 分别记分为 5, 4, 3, 2 和 1, 分数越高越通直。以性状小区均值为单元, 进行单点方差分析以检验种源效应的显著性。通过种源性状均值与产地经纬度的相关分析, 以揭示木荷生长和形质性状的地理变异规律。采用 Smith-Hazel 选择指数进行种源生长-形质联合选择^[11], 采用等权法估算各性状的相对经济权重(W)^[12-13]。性状方差分析采用 SAS/GLM 软件, 而遗传相关分析和选择指数构建则利用 DPS 统计软件相应模块进行。方差分析和遗传相关分析时, 树干通直度、分叉干数和一级侧枝总数经 $X^{1/2}$ 数据转换, 最大侧枝粗经 $1/X$ 数据转换。

2 结果与分析

2.1 生长和形质性状种源变异

福建建瓯和浙江淳安 2 个试点的单点方差分析表明(表 1), 5 年生木荷树高、胸径、树干通直度以及一级侧枝总数、最大侧枝长和最大侧枝粗等形质性状皆存在显著的种源变异。如在福建建瓯点, 种源树高和胸径变幅分别为 3.40 ~ 5.04 m 和 3.42 ~ 5.28 cm, 树高和胸径最大种源分别是最小种源的 1.48 倍和 1.54 倍; 在木荷偏北分布区的浙江淳安点, 种源树高和胸径变幅分别为 3.39 ~ 4.78 m 和 2.53 ~ 3.73 cm, 树高和胸径最大种源则分别是最小种源的 1.41 倍和 1.47 倍。观测表明, 木荷树干较

表 1 不同区试点的木荷种源主要性状的方差分析

Table 1 Variance analysis for main traits of *Schima superba* provenances in two locations

地点	性状	均值	变幅	变异来源			种源广义遗传力
				重复	种源	机误	
福建建瓯	树高/m	4.36	3.40 ~ 5.04	9.857 9**	0.784 9**	0.307 2	0.61
	胸径/cm	4.54	3.42 ~ 5.28	2.674 5**	0.993 3**	0.540 3	0.46
	树干通直度	3.96	3.37 ~ 4.41	0.445 8**	0.019 3*	0.011 7	0.39
	分叉干数	1.38	1.09 ~ 1.60	0.079 0**	0.019 0*	0.013 6	0.28
	一级侧枝总数	31.26	21.99 ~ 41.04	19.334 6**	0.642 8**	0.353 1	0.45
	最大侧枝长/m	1.60	1.22 ~ 1.85	1.989 5**	0.125 5**	0.068 3	0.46
	最大侧枝粗/cm	1.90	1.48 ~ 2.17	0.538 2**	0.019 0*	0.010 6	0.44
	最大侧枝角/度	45.81	38.93 ~ 58.17	711.167 8**	75.078 1	60.694 4	0.19
浙江淳安	树高/m	3.96	3.39 ~ 4.78	2.819 0**	0.601 4*	0.342 9	0.43
	胸径/cm	3.07	2.53 ~ 3.73	5.944 0**	0.510 3*	0.336 4	0.34
	树干通直度	3.66	2.91 ~ 4.21	0.081 6**	0.037 8**	0.018 5	0.51
	分叉干数	1.09	1.00 ~ 1.22	0.007 9	0.003 0	0.003 4	—
	一级侧枝总数	34.11	26.14 ~ 41.88	17.620 5**	0.7593**	0.371 2	0.51
	最大侧枝长/m	1.10	0.88 ~ 1.44	0.243 8*	0.174 1*	0.109 5	0.37
	最大侧枝粗/cm	1.22	0.93 ~ 1.70	1.193 2**	0.070 5*	0.045 4	0.36
	最大侧枝角/度	53.23	46.34 ~ 66.16	1 013.833 1**	99.850 7	93.744 5	0.06

说明: 浙江淳安点的重复、种源和机误自由度分别为 4, 36 和 144; 福建建瓯点的重复、种源、种源×重复和机误自由度分别为 4, 33 和 132。+, * 和 ** 分别为 0.10, 0.05 和 0.01 显著水平。

为通直,但不同种源的树干通直度差异明显,福建建瓯和浙江淳安2个试点种源树干通直度得分值分别变化在3.37~4.41和2.91~4.21。木荷树干基部存在分叉干现象,植株的树干分叉数为1~5个,但种源间树干分叉干数差异则较小。此外,侧枝角的种源效应也不显著。从2个试点生长和形质性状的种源广义遗传力来看,除分叉干数和最大侧枝角的广义遗传力较小外,各主要生长和形质性状皆受中等以上强度的种源遗传控制。

比较不同地点间种源性状均值发现(表1),福建建瓯点木荷种源树高和胸径生长量及树干通直度明显地高于浙江淳安点。如福建建瓯点5年生树高和胸径种源均值分别为4.36 m和4.54 cm,分别较浙江淳安点的3.96 m和3.07 cm高出10.1%和47.9%;福建建瓯点树干通直度种源平均得分较浙江淳安点高出0.4。这说明木荷的这些生长和形质性状不仅存在显著的种源效应,而且地点效应也较大。较之于木荷自然分布区北缘的浙江淳安点,为木荷中心分布区的福建建瓯点水热资源丰富且立地条件较好,有利于木荷种源的树高和胸径生长,并提高种源的树干通直度。

2.2 生长和形质性状地理变异模式

与产地经纬度的相关分析表明(表2),2个区试点木荷种源生长和形质性状的地理遗传变异规律存在一定差异。在木荷中心分布区的福建建瓯点,木荷种源树高、胸径、通直度、分叉干数、一级侧枝总数、最大侧枝数与产地纬度呈显著或极显著的负相关关系(-0.313~-0.534),与产地经度相关性较小,呈典型的纬向变异模式,类似于苗期和3年生测定结果^[10,14],即来自分布区南部的种源高、径生长较快,树干通直,但分叉较多,分枝多而粗。在木荷偏北分布区的浙江淳安点,种源生长和形质虽也与产地纬度呈一定程度的负相关,但仅发现种源一级侧枝总数与产地纬度的负相关显著。在浙江淳安点除来自南部的种源生长较快外,来自中部的种源也生长较好。

表2 木荷种源生长和形质性状与产地经纬度的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between main growth and form traits and the latitude and longitude of *Schima superba* provenances

地点	性状	树高	胸径	树干通直度	分叉干数	一级侧枝总数	最大侧枝长	最大侧枝粗	最大侧枝角度
福建建瓯	纬度	-0.481**	-0.534**	-0.319*	-0.412*	-0.467**	-0.233	-0.313*	0.206
	经度	0.154	0.185	0.121	0.160	0.202	-0.031	0.102	0.043
浙江淳安	纬度	-0.201	-0.192	-0.110	-0.149	-0.380*	0.015	-0.064	-0.141
	经度	-0.069	-0.212	0.065	0.156	-0.141	-0.210	-0.362*	0.184

说明:浙江淳安和福建建瓯2个区试点的种源数分别为37和34。+, *和**分别为0.10, 0.05和0.01显著水平。

2.3 生长和形质性状遗传相关

表3分别列出了福建建瓯和浙江淳安2个试点木荷6个具有显著种源效应的生长和形质性状间的表型和遗传相关系数。从表3可以看出,2个试点种源树干通直度、一级侧枝总数、最大侧枝长和最大侧枝粗等形质性状均与树高和胸径呈显著或极显著的正遗传相关,遗传相关系数达到0.320~1.164,意味着树高和胸径生长量越大的种源,树干越通直,分枝发达,树冠宽大浓密,可以利用形质性状对高、径生长进行间接选择。种源树干通直度与最大侧枝长呈微弱的正遗传相关(0.239)和负遗传相关(-0.100),说明两者互为独立,可以选择树干通直、窄冠的种源。种源树干通直度与最大侧枝粗的遗传相关性因地点不同而有差异。在浙江淳安点2个形质性状呈显著的正相关,而福建建瓯点两者则呈微弱的正相关关系。

2.4 种源生长、形质联合选择

木制工艺材改良的目标要求速生、树干通直圆满、侧枝少而细小和材性均匀等。因木荷木制工艺材优良种源选择涉及多个性状,且这些性状间关系较为复杂,因此,这里通过建立约束和无约束选择指数方程对木荷种源生长和形质联合选择。浙江淳安和福建建瓯2个区试点树高、胸径、树干通直度和最大侧枝粗等4个主要生长和形质性状的经济权重向量分别为: $W_1 = (2.88, 3.13, 11.5, 8.42)$ 和 W_2

表 3 种源生长和形质性状间表型(P)和遗传(G)相关系数

Table 3 Phenotypic(P) and genetic(G) correlation coefficients of main growth and form traits of *Schima superba* provenances

性状	福建建瓯					浙江淳安				
	树高	胸径	树干通直度	一级侧枝总数	最大侧枝长	树高	胸径	树干通直度	一级侧枝总数	最大侧枝长
胸径	P	0.882**				0.907**				
	G	0.929**				1.039**				
树干通直度	P	0.433**	0.381*			0.321+	0.269			
	G	0.671**	0.591**			0.434**	0.355*			
一级侧枝总数	P	0.768**	0.677**	0.470**		0.872**	0.817**	0.318+		
	G	0.971**	0.811**	0.647**		1.164**	0.976**	0.479**		
最大侧枝长	P	0.267	0.392*	-0.051	0.053	0.707**	0.678**	0.106	0.713**	
	G	0.320+	0.778**	-0.100	-0.325*	0.762**	0.648**	0.239	1.042**	
最大侧枝粗	P	-0.448**	-0.728**	-0.098	-0.305*	-0.319*	-0.593**	-0.641**	0.064	-0.600**
	G	-0.803**	-0.758**	-0.397*	-0.654**	-1.563**	-0.765**	-0.849**	-0.168	-1.253**

说明：最大侧枝粗经 1/X 数据转换。+、* 和 ** 分别为 0.10、0.05 和 0.01 显著水平。

= (2.52, 2.24, 16.1, 16.22)。表 4 和表 5 分别列出了 2 个区试点按等权重和强调生长改良为育种目标的约束和无约束方程、选择指数的遗传进展和遗传力以及各性状的期望遗传进展，指数分析时以单性状直接选择结果作为参照值。

表 4 不同性状配合的各种约束和无约束选择指数方程

Table 4 Restricted and unrestricted selection indices with growth and form traits

地点	编号	性状配合及选择指数方程	ΔI	指数遗传力	
等权重(2.524, 2.244, 16.096, 16.222)					
浙江淳安	I ₁	$I = 3.499 6x_1 - 0.977 4x_2 + 0.465 7x_3 + 2.484 1x_4$	0.945 5	0.560 7	
	I ₂	$I = 2.576 4x_1 - 0.764 6x_2 + 0.418 8x_3 + 10.088 2x_4$	0.669 1	0.314 5	
	生长为主(252.4, 224.4, 16.096, 16.222)				
	I ₃	$I = 360.880 7x_1 - 78.763 8x_2 - 179.589 4x_3 - 256.617 9x_4$	118.840 4	0.618 1	
	I ₄	$I = 215.802 6x_1 - 45.332 0x_2 - 186.969 7x_3 + 938.346 7x_4$	55.700 5	0.340 0	
等权重(2.883, 3.130, 11.501, 8.422)					
福建建瓯	I ₁	$I = 1.633 3x_1 + 0.971 0x_2 + 7.790 5x_3 + 2.336 8x_4$	1.205 4	0.559 7	
	I ₂	$I = -2.493 5x_1 + 3.436 8x_2 + 5.988 4x_3 + 5.675 9x_4$	0.652 3	0.387 6	
	生长为主(288.3, 313, 11.501, 8.422)				
	I ₃	$I = 132.491 1x_1 + 142.241 3x_2 + 273.506 7x_3 + 249.800 2x_4$	88.071 1	0.522 2	
	I ₄	$I = -191.037 1x_1 + 335.551 0x_2 + 132.227 3x_3 + 511.576 5x_4$	37.970 2	0.505 5	

说明：I₁ 和 I₃ 为无约束选择，I₂ 和 I₄ 为使最大侧枝粗遗传进展为 0 的约束选择；x₁, x₂, x₃, x₄ 分别表示树高、胸径、树干通直度和最大侧枝粗； ΔI 表示指数的期望遗传进展。

比较 2 个试点等权重的各指数方程发现，无约束选择指数方程 I₁ 式的遗传进展和指数遗传力以及树高、胸径和树干通直度获得的遗传进展均明显高于使最大侧枝粗遗传进展为 0 的约束选择指数方程 I₂ 式，而 I₁ 式中最大侧枝粗发生了负向进展；比较 2 个试点强调以生长改良为主的各指数方程（生长性状经济权重扩大 100 倍），类似于等权重指数方程，除了最大侧枝粗发生负向进展外，无约束

表5 约束或无约束指数方程中各性状的期望遗传进展

Table 5 Expected genetic progress on the traits of all the selection indices

地点	指数方程	树高	胸径	树干通直度	最大侧枝粗
浙江淳安	I ₁	0.232 4	0.241 1	0.009 9	- 0.021 0
	I ₂	0.114 0	0.113 1	0.007 9	0
	I ₃	0.244 7	0.255 7	0.008 1	- 0.026 3
	I ₄	0.117 3	0.115 9	0.006 0	0
	单性状直接选择	0.188 1	0.137 3	0.015 4	0.018 2
福建建瓯	I ₁	0.159 1	0.122 4	0.042 4	- 0.014 8
	I ₂	0.048 4	0.059 0	0.028 5	0
	I ₃	0.162 8	0.130 5	0.035 9	- 0.015 8
	I ₄	0.046 9	0.077 6	0.016 1	0
	单性状直接选择	0.097 7	0.063 5	0.031 7	0.025 2

指数方程 I₃ 式的遗传进展和指数遗传力以及树高、胸径和树干通直度获得的遗传进展也均高于使最大侧枝粗遗传进展为 0 的约束选择指数方程 I₄ 式。按以上构建的各选择指数进行选择, 浙江淳安点等权重和以生长为主的无约束选择指数方程 I₁ 式和 I₃ 式的树高、胸径和树干通直度的遗传增益均高于单性状直接选择的增益; 福建建瓯点等权重和以生长为主的无约束选择指数方程 I₁ 式和 I₃ 式的树高和胸径的遗传增益也高于单性状直接选择, 但树干通直度的增益则低于单性状直接选择。2 个试点约束选择指数方程 I₂ 式和 I₄ 式各性状所获得的遗传增益均低于单株选择。综上所述, 等权重的 I₁ 式和以生长为主的 I₃ 式是 2 个比较理想的多性状选择指数, 据此可分别为福建建瓯和浙江淳安点选出 10 个生长和形质兼优的木制品材优良种源(表 6)。福建建瓯点的入选种源多为南部种源, 而浙江淳安点的入选种源除少部分南部种源外, 多为中部种源。

3 结论与讨论

本研究利用 2 个分别设置在中心产区和边缘产区的 5 年生木荷种源试验林研究表明, 木荷主要生长和形质性状存在显著的种源效应, 进一步证实了木荷存在明显的地理遗传分化及进行种源选择巨大的潜力^[10,14]。与多数阔叶树一样^[15], 木荷树干基部也存在分叉干现象, 每株分叉干数为 1~5, 但试验未发现其在种源间的显著差异性, 较小选择价值。分枝角是重要的形质性状, 与树冠大小密切, 同时影响自然整枝和节的形成等, 试验也未发现其明显的种源效应。木荷生长和形质性状的地理变异模式因区试点不同而有差异。在木荷中心产区的福建建瓯点, 木荷种源主要生长和形质性状呈典型的纬向变异模式, 与产地经度相关性较小, 来自南部种源的树高和胸径生长较快, 树干通直, 分枝多而粗; 在北缘区的浙江淳安点, 虽然发现木荷种源生长和形质性状与产地纬度呈不同程度的负相关, 但仅种源一级侧枝总数与产地纬度呈显著的负相关。试验观测到在北缘区的浙江淳安点, 除一些来自南部的种源外, 较多来自木荷分布区中部的种源也表现出速生、树干通直等特性, 这应是在浙江淳安点木荷主要生长和形质性状未显现典型纬向地理变异的主要原因。

从理论上说, 选择树干通直和分枝习性理想的品系比材性的直接改良更能有效提高材质。干形圆满通直, 不仅出材率高, 而且木材品质较好; 节少、细小、分枝角小则有利于减少节的数量、减小节的大小并有利于自然整枝等^[16]。因此, 木荷木制品材育种程序应以生长和形质改良为主, 而多性状选择指数则是生长、形质联合选择的理想方法, 可克服性状间不利的相关性。本研究选择树高、胸径、树干通直度和最大侧枝粗 4 个主要生长和形质性状, 构建约束和无约束的选择指数用于种源生长和形质联合选择。通过比较分析表明, 采用等权重和以生长为主改良(树高和胸径权重扩大 100 倍)的无约束选择指数方程 I₁ 式和 I₃ 式是 2 个比较理想的多性状选择指数方程, 其期望遗传进展、指数遗

表 6 福建建瓯和浙江淳安 2 个试点优选木荷种源生长、形质性状均值及选择指数值

Table 6 Selection index values and means of superior provenances at Jian'ou of Fujian and Chun'an of Zhejiang

地点	种源	性状均值							选择指数		
		树高	胸径	树干通直度	分叉干数	一级侧枝总数	最大侧枝长	最大侧枝粗	最大侧枝角度	I ₁	I ₃
福建建瓯	福建政和	4.98	4.75	3.80	1.44	37.14	1.69	1.94	48.14	14.97	940.07
	福建建瓯	5.04	5.08	3.70	1.60	41.04	1.85	2.08	42.50	14.77	950.03
	广东阳山	4.87	4.66	4.20	1.60	35.14	1.72	1.91	47.64	14.75	888.59
	广东翁源	4.98	5.06	4.01	1.38	34.40	1.83	2.01	38.93	14.66	912.69
	江西安福	4.82	5.28	4.32	1.30	35.05	1.56	1.79	45.98	14.05	804.82
	广东龙川	4.62	4.61	4.13	1.53	33.30	1.68	1.99	42.88	13.85	809.51
	福建尤溪	4.65	4.92	4.41	1.40	35.55	1.67	1.87	45.15	13.75	773.74
	福建武夷山	4.57	4.59	4.17	1.52	32.86	1.68	1.92	47.47	13.75	787.55
	福建华安	4.73	5.11	3.98	1.54	35.65	1.56	2.02	46.16	13.74	820.56
广东韶关	4.63	4.64	3.42	1.55	32.23	1.76	2.12	47.58	13.71	852.65	
浙江淳安	福建尤溪	4.78	3.73	4.18	1.05	41.78	1.19	1.27	51.89	29.18	1 918.10
	福建连城	4.59	3.54	4.03	1.05	38.85	1.10	1.28	53.89	28.40	1 856.53
	江西安福	4.26	3.35	4.07	1.04	35.75	1.09	1.22	55.64	27.85	1 797.60
	江西铜鼓	4.53	3.71	3.73	1.11	41.35	1.15	1.31	50.54	27.83	1 846.44
	江西龙南	4.53	3.37	3.69	1.06	41.06	1.17	1.25	50.83	27.51	1 805.33
	江西永丰	4.23	3.12	3.89	1.06	41.88	1.12	1.17	63.33	27.30	1 757.87
	广东韶关	4.38	3.39	3.71	1.15	39.83	1.23	1.34	46.94	27.19	1 775.39
	福建建瓯	4.08	3.26	3.97	1.02	40.04	1.19	1.28	46.34	27.17	1 743.82
	浙江临海	4.14	3.24	3.89	1.08	32.17	1.15	1.26	49.89	27.14	1 748.05
江西婺源	4.37	3.44	3.56	1.13	34.69	1.25	1.35	51.67	26.91	1 770.00	

传力以及树高、胸径和树干通直度获得的遗传进展均较高。而两式中最大侧枝粗发生负向进展说明最大侧枝变粗,但由此引起的损失可以通过高、径生长获得的巨大增益得以补偿。根据这 2 个指数方程分别为 2 个区试点初选出 10 个生长和形质兼优的木荷木制工艺材优良种源,前者多为南部种源,后者多为中部种源。需要注意的是,在构建选择指数时,性状的多少对选择结果影响很大,性状过多会导致单个性状遗传增益降低以及选择目标不明确,因此本文仅采用树高、胸径、树干通直度和最大侧枝粗等 4 个性状,未包括与树高、胸径呈显著正相关的一级侧枝总数和最大侧枝长,这 2 个分枝性状可通过栽植密度进行调控。

致谢: 参加试验研究的还有福建省建瓯市林业技术推广中心的马丽珍、叶穗文,浙江省淳安县富溪林场洪桂木、王晖、余家中等,谨致谢忱。

参考文献:

- [1] 侯元兆, 陈统爱. 我国结合次生林经营发展珍贵用材树种的战略利益[J]. 世界林业研究, 2008, 21 (2): 49 - 52.
HOU Yuanzhao, CHEN Tong'ai. The strategic benefits of developing precious commercial tree species integrated with secondary forest management in China [J]. *World For Res*, 2008, 21 (2): 49 - 52.
- [2] ENNOS R A, WORRELL R, MALCOLM D C. The genetic management of native species in Scotland [J]. *Forestry*, 1998, 71 (1): 1 - 23.

- [3] 邹学忠, 吴月亮, 张云江. 赴日本进行珍贵阔叶树种栽培技术交流考察报告[J]. 辽宁林业科技, 2001 (5): 36 - 38, 41.
ZOU Xuezhong, WU Yueliang, ZHANG Yunjiang. Report on communication and review of cultivation technology of valuable hardwood species [J]. *J Liaoning For Sci Technol*, 2001 (5): 36 - 38, 41.
- [4] 蔡道雄, 贾宏炎, 卢立华, 等. 我国南亚热带珍优乡土阔叶树种大径材人工林的培育[J]. 林业科学研究, 2007, **20** (2): 165 - 169.
CAI Daoxiong, JIA Hongyan, LU Lihua, *et al.* On large-size timber plantation forestry of valuable hardwood species in warm sub-tropical areas of China [J]. *For Res*, 2007, **20** (2): 165 - 169.
- [5] 李建民, 潘标志, 陈存及, 等. 福建珍贵阔叶用材树种的筛选研究[J]. 林业科学, 2003, **39** (增刊 1): 93 - 99.
LI Jianming, PAN Biaozi, CHEN Cunji, *et al.* The selection of excellent broad-leaved timber species in Fujian Province [J]. *Sci Silv Sin*, 2003, **39** (supp 1): 93 - 99.
- [6] 曾杰, 郭文福, 赵志刚, 等. 我国西南桦研究的回顾与展望 [J]. 林业科学研究, 2006, **19** (3): 379 - 384.
ZENG Jie, GUO Wenfu, ZHAO Zhigang, *et al.* Domestication of *Betula alnoides* in China; current status and perspectives [J]. *For Res*, 2006, **19** (3): 379 - 384.
- [7] 黄永权, 梁东成, 张方秋. 广东省红锥遗传改良及改良策略初探[J]. 广东林业科技, 2004, **20** (4): 58 - 60.
HUANG Yongquan, LIANG Dongcheng, ZHANG Fangqiu. On the breeding strategy of *Castanopsis hystrix* in Guangdong Province [J]. *J For Sci Technol Guangdong*, 2004, **20** (4): 58 - 60.
- [8] 姚小华, 任华东, 孙银祥, 等. 樟树种源/家系早期性状变异及选择研究[J]. 江西农业大学学报, 2002, **24** (3): 330 - 335.
YAO Xiaohua, REN Huadong, SUN Yinxiang, *et al.* A study on juvenile *Cinnamomum camphora*'s genetic variance & dominant selection for provenance/families [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2002, **24** (3): 330 - 335.
- [9] 阮传成, 李振问, 陈诚和, 等. 木荷生物工程防火机理及应用[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1995.
- [10] 周志春, 范辉华, 金国庆, 等. 木荷地理遗传变异和优良种源初选[J]. 林业科学研究, 2006, **19** (6): 718 - 724.
ZHOU Zhichun, FAN Huihua, JIN Guoqing, *et al.* Geographic genetic variation and preliminary selection of superior provenance in *Schima superba* [J]. *For Res*, 2006, **19** (6): 718 - 724.
- [11] 盛志廉, 陈瑶生. 数量遗传学[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [12] COTTERILL P P, JACKSON N. On index selection(I) Method of deterring economic weight [J]. *Silv Genet*, 1985, **34**: 56 - 63.
- [13] COTTERILL P P, DEAN C A. *Successful Tree Breeding with Index Selection* [M]. Melbourne: Print Advisory Service, 1990.
- [14] 张萍, 金国庆, 周志春, 等. 木荷苗木性状的种源变异和地理模式[J]. 林业科学研究, 2004, **17** (2): 192 - 198.
ZHANG Ping, JIN Guoqing, ZHOU Zhichun, *et al.* Provenance difference and geographic variation pattern for seedling trait of *Schima superba* [J]. *For Res*, 2004, **17** (2): 192 - 198.
- [15] 李建民. 马褂木地理遗传变异和优良种源选择[J]. 林业科学, 2001, **37** (4): 41 - 49.
LI Jianmin. Geographic genetic variation and provenance selection of *Liriodendron chinense* [J]. *Sci Silv Sin*, 2001, **37** (4): 41 - 49.
- [16] 周志春, 金国庆, 周世水. 马尾松自由授粉家系生长和材性的遗传分析及联合选择 [J]. 林业科学研究, 1994, **7**(3): 263 - 268.
ZHOU Zhichun, JIN Guoqing, ZHOU Shishui. Genetic analysis and combined selection for growth and wood quality of open-pollinated families of Masson pine [J]. *For Res*, 1994, **7** (3): 263 - 268.