

7年生木荷生长和木材基本密度 地理遗传变异及种源选择

王秀花¹, 陈柳英², 马丽珍², 范辉华³, 叶穗文², 周志春^{1*}

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 福建省建瓯市林业科技推广中心, 福建 建瓯 353100; 3. 福建省林业科学研究院, 福建 福州 350012)

摘要:针对福建建瓯的7年生33个产地的木荷种源试验林,研究揭示其生长和木材基本密度的种源差异及地理变异模式,并依据聚类分析结果进行速生优质种源选择。结果表明,木荷胸径、树高、枝下高、材积指数和木材基本密度等存在显著或极显著的种源变异,其中以材积指数的种源变异最大。木荷生长和木材基本密度的种源变异主要受产地温度影响,呈典型的纬向变异模式,来自纬度较低、温度较高产地的木荷种源,其树高、胸径和材积指数等生长量较大,木材基本密度较小。木荷各性状间也存在相关性,其木材基本密度与生长性状呈显著负相关。除存在显著的种源效应外,不同重复间的微立地效应也非常显著,在较差立地条件下,木荷种源的生长量较小,但木材基本密度呈现增大趋势。基于生长和木材基本密度进行种源聚类,可大致将木荷划分为中心种源区、中部种源区和北部种源区3个种源区。同时,以高于材积指数和木材基本密度种源总体均值为选择标准,分别初选出17个速生型和11个速生优质型木荷优良种源,其中多数优良种源来源于南岭山脉—武夷山脉的中心种源区。

关键词:木荷;生长;木材基本密度;种源变异;种源选择

中图分类号:S722

文献标识码:A

Geographical Provenance Variation of Growth and Wood Basic Density of 7-Year-Old *Schima superba* and Its Provenance Selection

WANG Xiu-hua¹, CHEN Liu-ying², MA Li-zhen², FAN Hui-hua³, YE Sui-wen², ZHOU Zhi-chun¹

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China; 2. Extending Center for Forestry Science and Technology of Jian'ou City, Fujian Province, Jian'ou 353100, Fujian, China; 3. Fujian Academy of Forestry, Fuzhou 350012, Fujian, China)

Abstract: The provenance test including 33 seed sources of *Schima superba* at age seven was conducted at Jian'ou of Fujian to study the provenance differences and geographic variation pattern for growth traits and wood basic density. Based on cluster analysis results, the provenances with superior growth and wood properties were selected. Significant variations in DBH, height, clear bole height, volume index and wood basic density among provenances were demonstrated, of which the variation in volume index was the largest. A typical latitude variation pattern was found for growth traits and wood basic density of *S. superba*, and the local temperature was the main climatic factor which led to the variation. The provenances from lower latitudes and higher temperature region were higher in height, diameter and volume index, with lower wood basic density. Also, there existed correlations among various traits, as the wood basic density was negatively correlated with growth traits. Besides the provenance effect, the effect of micro-environment of different repetition was also very significant, the increment of *S. superba* provenances was smaller under poorer site condition, but the wood basic density showed

收稿日期:2010-04-06

基金项目:国家林业局重点项目(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);国家级林业科技成果推广项目([2009]7号)

作者简介:王秀花(1982—),女,山东潍坊人,硕士,主要从事林木遗传改良和森林培育技术研究。

*通讯作者:周志春(1963—)。E-mail:zczhou_risf@163.com, zczhou@fy.hz.zj.cn

an increasing tendency. Based on clustering of growth and wood basic density, the *S. superba* provenances could be approximately divided into three provenance regions, i. e. central, middle and northern regions. Meanwhile, seventeen provenances with superior growth and eleven provenances with both superior growth and wood properties were preliminarily selected, which were above provenance mean of volume index and wood basic density, and most of which originated from central provenance region of the Nanling-Wuyi Mountains.

Key words: *Schima superba*; growth; wood basic density; provenance variation; provenance selection

物种长期适应不同自然环境条件可产生丰富的种内遗传变异^[1],在林木上则表现在生长、形态和材性等性状存在显著的种源间和种源内个体间差异^[2-4]。从20世纪初开始,欧美等国相继系统开展了欧洲赤松(*Pinus sylvestris* Linn.)、挪威云杉(*Picea abies* Karst.)和火炬松(*P. taeda* Linn.)等的种源试验,证实来自不同产地的种源其生长、材性和适应性等遗传差异显著,并对这种遗传变异充分利用^[5]。如火炬松种源试验发现,来自美国东海岸和墨西哥湾的种源生长迅速,弗吉尼亚及马里兰州的种源生长缓慢但耐寒,而密西西比河以西的种源可抗锈病和耐干旱^[6];西部和东北部的火炬松种源木材密度较高,而在南部和东南部的种源木材密度较低^[7]。从20世纪80年代初,我国系统开展了杉木(*Cunninghamia lanceolata* Lamb.)、马尾松(*P. massoniana* Lamb.)等主要造林树种的种源试验,在揭示了主要经济性状地理变异的基础上,根据不同造林区初选出一批优良种源,并进行种子区划以指导种子的科学调拨^[8]。近年来,我国一些学者陆续报道了某些已达主伐期主要造林树种的种源试验成果,如刘青华等^[9]研究表明,24年生马尾松的生长、形质和木材基本密度皆存在显著的种源变异,产地水热资源条件差异是变异的主要原因,来自南部的种源生产力水平高且树干通直,但木材基本密度较低。又如鄂文峰等^[10]发现产地温度和降水等环境条件的不同可引起兴安落叶松(*Larix gmelinii* Rupr.)种源的心材/边材生长特征差异明显。我国亚热带地区水热资源丰富,是林业生产最具活力的区域,该区域除松杉等传统速生丰产用材树种外,还分布着大量珍贵优质阔叶用材树种,但除西南桦(*Betula alnoides* Hamilt.)、鹅掌楸(*Liriodendron chinense* Sarg.)和香樟(*Cinnamomum comphora* Presl.)等少数树种外,多数未列入国家和区域的育种研究计划,难以满足对珍贵优质用材林木良种的生产需求。

木荷(*Schima superba* Gardn et Champ)为山茶科(Theaceae)木荷属(*Schima* Reinw. ex Bl.)常绿大乔木,不仅是我国生物防火林带建设的重要树种和高抗

生态防护树种,而且是主要的速生珍贵优质阔叶用材树种之一。研究表明,木荷分布广泛,种内变异极其丰富^[11-12];来自不同产地的种源存在显著的遗传差异并多呈纬向变异模式^[13],且低纬度种源生长速度快于高纬度种源^[14-16]。木荷育苗容易、造林成效好,每年用种和用苗量大,在南方重点林业生态建设工程中占有重要地位。为了满足生产需求,从2001年开始,中国林科院亚热带林业研究所以珍贵优质用材和生态防护为目标,全面开展了木荷全分布区种源区域试验,揭示木荷苗木和幼林的生长、形态等性状存在显著的种源差异,并初选出一批优良种源^[13,17-18]。同时在初选木荷优良种源的天然林分内选择优树近400株,建立了较大规模的优树家系多点遗传测定林。本文利用设置在福建建瓯的木荷种源试验林深入研究其生长和木材基本密度的种源变异规律,基于主要经济性状的聚类结果对种源区进行初步划分,并初选出一批速生、优质的优良种源。

1 材料与方 法

1.1 材料来源和试验设计

木荷种源试验林设置在福建省建瓯市城郊东溪村(27°03' N, 118°19' E),林地前茬为第1代杉木人工林。参试的33个种源分别来自安徽、浙江、江西、福建、湖南、广东6个省。试验采用完全随机区组设计,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,穴规40 cm×40 cm×30 cm,造林后连续抚育3~4年至幼林郁闭^[13]。

1.2 试验调查和木芯采集

2009年11月底,在7年生木荷种源试验林每个重复的试验小区中,选择4株生长最佳植株,测量其树高、胸径和枝下高,并在其胸高上坡方位用6 mm直径的生长锥钻取1根树皮至髓心的完整无疵木芯,用最大含水量法^[19]测定其木材基本密度。

1.3 数据分析

因木荷种源试验林林龄尚小,本文以材积指数($D^2 \times H$)说明种源的材积生长量。以小区平均值为单元,采用SAS/STAT软件中的GLM程序进行性状

方差分析以验证重复、种源效应,并对性状相互间及种源性状均值与产地地理气候因子间进行相关分析。采用 DPS15.0 统计软件估算种源间的欧氏距离,并作 Q 型聚类分析。

2 结果与分析

2.1 木荷生长和木材基本密度的种源变异及微立地条件的影响

方差分析(表1)表明,木荷胸径、树高、枝下高、

材积指数和木材基本密度等皆存在显著或极显著的种源变异,种源间的遗传分化明显。其中以枝下高和材积指数的种源变异较大,其种源变幅分别在 0.64 ~ 1.38 m 和 0.012 ~ 0.065 m³ 间,种源最大值分别是最小值的 2.16 和 5.42 倍,种源变异系数分别为 17.88% 和 38.49%,这为木荷优良种源选择提供了筛选空间。木材基本密度的种源分化较生长性状相对较小,变幅在 0.535 ~ 0.580 g · cm⁻³ 间,种源最大值为最小值的 1.08 倍,种源变异系数为 2.55%。

表1 木荷种源生长和木材基本密度的方差分析

性状	均值	变幅	变异来源			种源变异系数 CV/%
			重复	种源	机误均方	
胸径/cm	7.120	4.58 ~ 8.53	51.309 **	10.941 **	3.716 2	16.88
树高/m	7.221	5.01 ~ 8.65	87.992 **	9.152 **	3.071 1	15.27
枝下高/m	0.930	0.64 ~ 1.38	2.064 **	0.402 *	0.263 7	17.88
材积指数/m ³	0.045	0.012 ~ 0.065	0.014 7 **	0.002 5 **	0.001 0	38.49
木材基本密度/(g · cm ⁻³)	0.555	0.535 ~ 0.580	0.007 1 **	0.001 9 **	0.000 9	2.55

注:重复、种源和机误自由度分别为4、32和415。*和**分别为0.05和0.01显著水平(下同)。

表1还表明,7年生木荷生长和木材基本密度的重复效应达到极显著水平。重复效应由微立地环境差异引起,随着微立地环境条件的下降(图1,微立地环境条件由好到差顺序为I、II、IV、V、III),木荷种源胸径、树高和枝下高多呈减小的趋势。在微立地条件较好的试验重复I,木荷种源胸径、树高和枝下高均值分别为7.44 cm、8.08 m 和 1.04 m,是立

地条件较差的试验重复III相应指标均值6.11 cm、5.94 m 和 0.84 m 的1.22倍、1.36倍和1.24倍;种源木材基本密度随微立地条件下降有增大的趋势,但在不同重复间其绝对值差异较小,最大值仅是最小值的1.03倍。这说明立地条件的选择对于木荷人工林的速生丰产也是非常重要的。

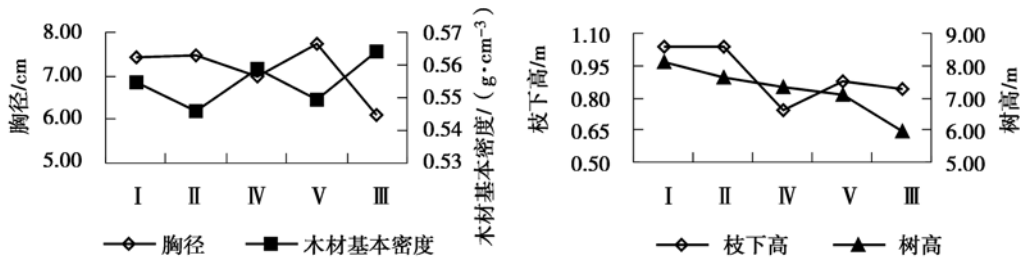


图1 微立地环境梯度上木荷种源性状均值变化

2.2 木荷种源生长和木材基本密度与产地地理气候因子的相关性

与产地地理气候因子的相关分析(表2)表明,木荷种源生长和木材基本密度呈明显的纬向变异模式,产地经度对其影响较小。产地温度尤其是1月均温、年均温、≥10℃积温和无霜期是造成木荷生长和基本密度纬向变异的主要环境因子,产地的7月均温和年降水量对木荷种源生长和材性的影响不显著。来自低纬度的南部种源,因长期适应热量高(1月均温和≥10℃积温高)、无霜期长的自然环境

形成速生但木材基本密度较低的特性;较高纬度的偏北种源因产地热量低、无霜期短,其生长量较小,但木材基本密度较大。

2.3 木荷种源木材基本密度与生长性状的相关性

木荷种源木材基本密度与胸径、树高呈显著的负相关关系(分别为-0.34*和-0.26*),其散点分布见图2。即随着种源胸径和树高生长量的提高其木材基本密度减小,且直径生长对木材基本密度造成的负向影响($y = -28.136x + 22.698$)要大于树高生长造成的影响($y = -18.82x + 17.568$),这意味着

表2 木荷种源生长和基本密度与产地地理气候因子的相关系数

性状	E	N	年均温	1月均温	7月均温	≥10℃积温	年降水量	无霜期
胸径	0.099	-0.494 **	0.413 *	0.458 **	-0.047	0.451 **	-0.059	0.434 *
树高	0.074	-0.457 **	0.377 *	0.477 **	-0.069	0.436 **	-0.012	0.432 *
枝下高	-0.082	-0.586 **	0.385 *	0.553 **	-0.113	0.476 **	-0.038	0.436 **
材积指数	0.074	-0.510 **	0.466 **	0.488 **	-0.051	0.469 **	-0.034	0.449 **
木材基本密度	0.130	0.432 *	-0.279	-0.346 *	-0.033	-0.358 *	0.087	-0.394 *

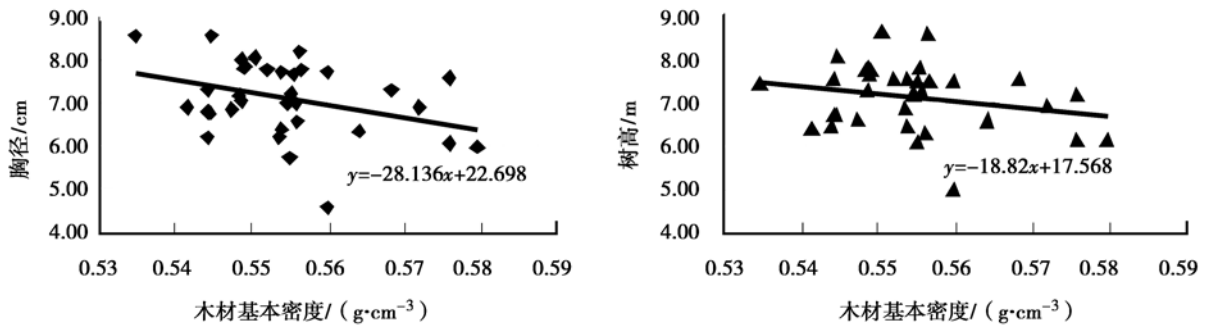


图2 木荷种源木材基本密度与胸径和树高的相关性

木荷种源的速生性是以降低其木材密度为代价的，选择速生的种源将导致其木材密度的降低。

2.4 木荷种源聚类 and 优良种源选择

2.4.1 木荷种源聚类 采用枝下高、材积指数和木

材基本密度3个指标的种源均值以估算种源间的欧氏距离,并对33个参试种源进行Q型聚类。从聚类结果(图3)及种源的分布情况看(图4),可大致将参试种源划分为中心种源区、中部种源区和北部种

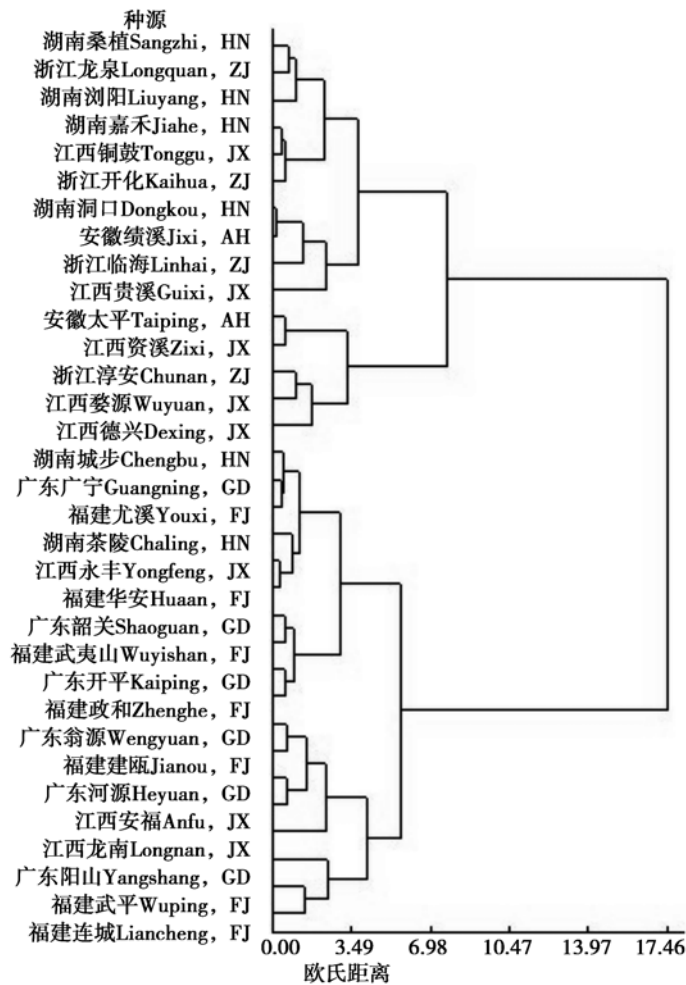


图3 33个参试种源聚类分析

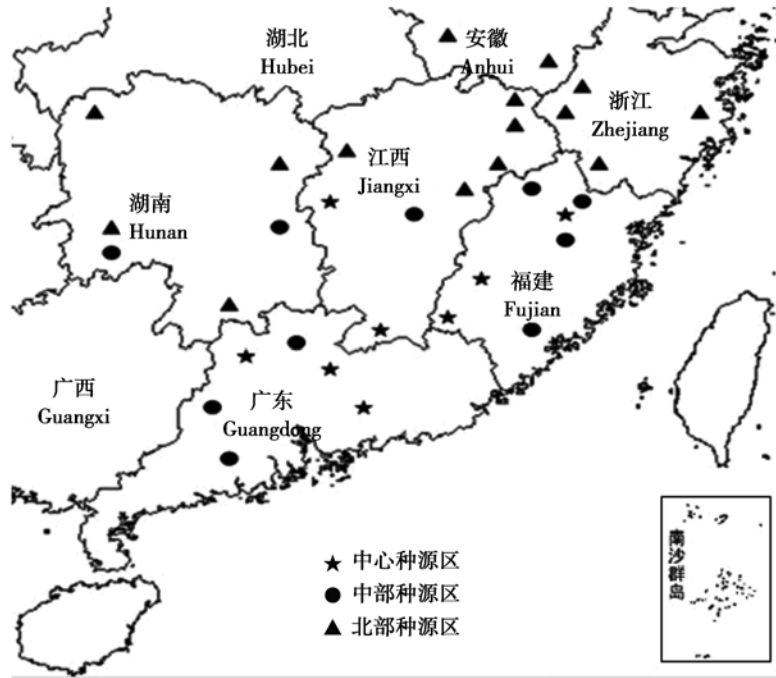


图4 木荷种源区划分示意图

源区3个种源区。中心种源区(25° N 附近)和中部种源区(25°~27° N 之间)大部分位于27° N 以南的区域,该区域因水热资源条件好,其种源速生性强、材积生长量大,木材基本密度(0.551 0 ~ 0.551 2 g·cm⁻³)则略小于北部种源区(0.559 0 g·cm⁻³)(表3)。中心种源区的种源大部分位于25° N 附近的南岭山脉—武夷山脉地区,包括福建建瓯、连城、武平、江西安福、龙南和广东阳山、河源等参试种源,该种源区的种源最为速生,7年生平均胸径、树高和材积指数分别为7.89 cm、7.88 m和0.057 6 m³,较种源总体均值分别高出10.81%、9.14%和29.15%,较中部种源区种源分别高出7.63%、6.48%和20.25%。

表3 木荷不同种源区生长和木材基本密度平均值

种源区	胸径 /cm	树高 /m	枝下 高/m	材积指 数/m ³	木材基本密度 /(g·cm ⁻³)
中心种源区	7.89	7.88	1.12	0.057 6	0.551 0
中部种源区	7.33	7.40	0.94	0.047 9	0.551 2
北部种源区	6.41	6.47	0.78	0.033 6	0.559 0
(种源均值)	7.12	7.22	0.93	0.044 6	0.555 3

北部种源区范围包括湖南中北部、江西中北部、浙江全部和安徽南部,共有15个参试种源归在这一种源区中(图4)。与中心种源区和中部种源区相比,27° N 以北种源区的种源因产地纬度较高、温度

较低,其生长相对缓慢,平均胸径、树高和材积指数分别为6.41 cm、6.47 m和0.033 6 m³,较种源总体均值分别降低9.97%、10.39%和24.66%,较南岭山脉—武夷山脉地区的种源分别降低18.76%、17.89%和41.67%。该区种源的木材基本密度略高于27° N 以南的中心种源区和中部种源区的种源。北部种源区还可粗分为东部和西部两个亚区,但有一些参试种源不能很好地按地域归类,来自北部种源区东部地区的种源较为速生,且木材基本密度也较高,是除中心种源区和中部种源区以外的木荷次优良种源区。

2.4.2 优良种源选择 作为优质工艺用材,不仅要求速生,而且要求木材密度较大且均匀。这里以材积指数大于种源总体均值0.044 6 m³作为选择标准,可选出17个速生型木荷优良种源;若以材积指数大于种源总体均值0.044 6 m³,木材基本密度大于0.550 0 g·cm⁻³作为选择标准,可选出11个速生优质型种源(表4)。由表中可见,居前10位的速生型种源主要来自南岭山脉—武夷山脉亚区,材积指数在0.051 3~0.065 4 m³间,较种源总体均值高出15.02%~46.64%,其中以江西龙南最为速生,材积指数最高。居前10名的速生优质型种源其材积指数在0.045 8~0.064 5 m³间,较种源总体均值高出2.69%~44.62%;木材基本密度在0.551 9~0.575 7 g·cm⁻³间,较种源总体均值

高出 0.35%~4.67%,其中以福建建瓯种源表现最好,其7年生木荷的材积指数和木材基本密度分

别为 0.0645 m^3 和 $0.5563 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 分别比选择标准提高 44.62% 和 1.15%。

表4 速生型、速生优质型木荷种源选择结果

速生型种源	材积指数/ m^3	速生优质型种源	材积指数/ m^3	木材基本密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$
江西龙南	0.065 4	福建建瓯	0.064 5	0.556 3
福建建瓯	0.064 5	福建尤溪	0.055 1	0.551 9
广东河源	0.062 3	广东广宁	0.054 5	0.555 4
广东阳山	0.062 0	福建华安	0.051 8	0.556 6
广东翁源	0.061 1	江西婺源	0.051 3	0.575 7
江西安福	0.057 2	江西永丰	0.050 0	0.553 8
福建尤溪	0.055 1	湖南城步	0.049 7	0.555 2
广东广宁	0.054 5	江西德兴	0.048 9	0.559 8
福建华安	0.051 8	福建连城	0.047 0	0.568 3
江西婺源	0.051 3	福建武平	0.045 8	0.554 6
(种源均值)	0.044 6	(选择标准)	0.044 6	0.550 0

3 结论与讨论

木荷作为南方高抗生态防护和珍贵优质的主要阔叶造林树种,地理分布广泛,种内遗传变异丰富^[11],遗传改良潜力巨大。本文6个省区33个产地的种源试验表明,木荷生长和木材基本密度存在显著或极显著的种源差异,尤其是枝下高和材积指数的种源分化较大,来自南部的木荷种源速生性好,胸径、树高和材积生长量大,但木材基本密度却较低,这与分布范围大致相同的马尾松^[9]和杉木^[18]等研究结果相似。木荷种源生长和木材基本密度与产地纬度的相关性显著,但与产地经度的相关性却较小,呈典型的纬向变异模式。木荷的纬向变异主要是由产地的1月均温、年均温、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温和无霜期等造成的,产地7月均温和年降水量的影响不显著,这与马尾松等的研究结果有一定差异。马尾松种源显著的纬向变异除与产地温度密切相关外,还与产地降水量有很大的关系,产地降水量高的马尾松种源速生丰产性也高^[9]。结果还表明,木荷生长和木材基本密度除存在显著的种源效应外,重复间的微立地环境效应也很大,随着微立地条件的改善,木荷高径生长量明显增大,但木材基本密度有所减小,这意味着立地选择是营造木荷木质工艺材原料林的重要技术措施。

种源试验是开展种源区划分和制定种子调拨原则的基础,但在开展树种种源试验或获得种源试验结果之前可利用DNA分子标记进行种源聚类以辅助开展种源区的初步划分。本文利用7年生的种源生长和木材基本密度测定结果可大致地将木荷划分

为中心种源区、中部种源区和北部种源区3个种源区,这与张萍等^[11]利用RAPD分子标记将木荷划为北缘(安徽南部和浙江北部)、中部(南岭以北、浙江南部以南)和南部(南岭以南即 25°N 左右区域)3个种源区的结果大体相近。文中的中心种源区位于 25°N 附近的南岭山脉—武夷山脉地区,与张萍等^[11]划分的南部种源区位置大体相同,该区种源不仅最为速生,而且遗传多样性也最高^[11],进一步证实了该地区是木荷的中心种源区。中部种源区包括张萍等^[11]所指的中部种源区偏北的一部分,因其产地温度稍低,种源速生性不如中心种源区,但木材密度较高。北部种源区位于 27°N 以北,还可粗分为东部和西部2个亚区,其中东部亚区的种源不仅较为速生,而且木材密度也较高,加之抗寒性强,是除中心种源区和中部种源区以外的木荷次优良种源区,应重视该亚区优良种质资源的收集保存及与中心种源区速生种质间的杂交育种,以创制速生、优质和高抗的木荷新品种。基于7年生测定结果,分别初选出17个速生型和11个速生优质型木荷优良种源,这些优良种源主要来源于南岭山脉—武夷山脉地区的中心种源区。

参考文献:

- [1] Tureson G. The genotypical response of the plant species to the habitat[J]. Hereditas, 1922, 3:211-350
- [2] Panshin A J, de Zeeuw C, Brown H P. Textbook of Wood Technology[M]. New York: McGraw-Hill Book Co., 1964:257-276
- [3] Bamber P K, Burley J. The Wood Properties of Radiate Pine[M]. Slough, England: Common Wealth Agricultural Bureau, 1983:1-84

- [4] Megraw R A. Wood Quality Factors in Loblolly Pine[M]. Atlanta, Georgia:Tappi Press, 1985:1-88
- [5] Blumenrother M, Bachmann M, Muller-Starck G. Genetic characters and diameter growth of provenances of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) [J]. *Silvae Genetica*, 2001, 50 (5-6): 212-222
- [6] 潘志刚. 火炬松、湿地松种源试验研究[M]. 北京:北京科学技术出版社,1992
- [7] Tauer C G, Loo-Dinkins J A. Seed source variation in specific gravity of loblolly pine grown in a common environment in Arkansas[J]. *Forest Science*, 1990, 36 (4): 1133-1145
- [8] 徐化成. 林木种子区划[M]. 北京:中国林业出版社,1990
- [9] 刘青华,金国庆,张蕊,等. 24年生马尾松生长、形质和木材基本密度的种源变异与种源区划[J]. *林业科学*, 2009, 45(10): 55-61
- [10] 鄂文峰,王传宽,杨传平,等. 兴安落叶松边材心材生长特征的种源效应[J]. *林业科学*, 2009, 45(6): 109-115
- [11] 张萍,周志春,金国庆,等. 木荷种源遗传多样性和种源区初步划分[J]. *林业科学*, 2006,42(2):38-42
- [12] 金则新,李钧敏,蔡琰琳. 不同海拔高度木荷种群遗传多样性的ISSR分析[J]. *生态学杂志*, 2007,26(8):1143-1147
- [13] 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
- [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
- [15] 肖复明,曾志光,包国华,等. 木荷种源苗期生长性状地理变异及遗传参数估算[J]. *江西农业大学学报*, 2004, 26(4): 545-550
- [16] 余琳,张萍,周志春,等. 木荷种源苗期干物质积累和分配差异[J]. *林业科学研究*, 2005, 18(1): 91-94
- [17] 张萍,周志春,金国庆,等. 木荷种源鲜叶抑燃和助燃性化学组分的差异[J]. *林业科学研究*, 2005, 18(1):80-83
- [18] 林磊,周志春,范辉华,等. 木荷生长与形质地理变异和木制工艺材种源选择[J]. *浙江林学院学报*,2009,26(5): 625-632
- [19] Smith D M. Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples: Rept. No. 2014 [R]. Madison, Wisconsin: USDA Forest Serv, Forest Prod Lab, 1954