

文章编号: 1000-5692(2005)05-0502-05

# 桉木种源的地理变异和种源区划

王军辉<sup>1,2</sup>, 顾万春<sup>1,2</sup>, 夏良放<sup>3</sup>, 万军<sup>4</sup>, 干小雄<sup>4</sup>

(1. 中国林业科学研究院 林业研究所, 北京 100091; 2. 国家林业局 林木培育实验室, 北京 100091; 3. 中国林业科学研究院 亚热带林业实验中心, 江西 分宜 336600; 4. 四川省林业科学研究院, 四川 成都 610081)

**摘要:** 以桉木 *Alnus cremastogyne* 自然分布区内 13 个种源的生长、材性和果实等性状为研究对象, 研究了桉木的地理变异及其趋势, 探讨了地理变异的气候生态学基础, 并划分了种源区。研究表明, 桉木种源生长性状与生态梯度值(EGA)的相关显著, 在单个生态因子分析中, 桉木种源生长量呈以经度和海拔为主的梯度变异。单株生物质产量和纤维长度与经度和纬度的相关关系不显著, 地理趋势并不明显。而木材基本密度与经度的正相关关系显著, 呈单向渐变模式。根据桉木种源 EGA 和试验林生长表现, 把桉木划分为 3 个种源区: 盆西北周沿区、盆中区和盆南周沿区。图 1 表 4 参 11

**关键词:** 林木育种学; 桉木; 种源; 地理变异; 种源区划

**中图分类号:** S722.3      **文献标识码:** A

桉木 *Alnus cremastogyne* 是国产桉木属 *Alnus* 的 11 个种中最重要的一个特有种, 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<sup>[1,2]</sup>。20 世纪 60 年代以来, 湘、鄂、皖、赣、闽、浙、苏、沪等相继引种成功。而今, 桉木的栽培区域西起四川康定, 东至浙江舟山, 南及云南东北部, 北抵秦岭南坡, 适生栽培区扩大到长江中下游地区<sup>[1]</sup>。桉木是个自然分布区不大的地域性树种, 但分布区内地势地貌变化大, 特别是海拔变异大, 气候类型多样。为此, 营林工作者把“适地适树”“适地适种源”作为首要技术措施, 强调用于营林的种源与环境之间合理搭配, 高、中、低产林地配合以“高产种源”“中产种源”“低产种源”, 以实现优化的营林生产结构<sup>[3]</sup>。本文在桉木种源多点试验林 G×E 互作和种源地理变异规律研究的基础上, 依据生态遗传学中生长与环境相似性的原理, 定量区划桉木种源区, 为保证桉木造林科学用种和合理调拨提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料来源与取样方法

材料来源、取样方法和室内测定方法参见文献[4, 5]。

### 1.2 统计分析方法

1.2.1 生态梯度值 在生态梯度模型的基础上进行多项式回归, 以生态梯度值为因变量  $y$ , 纬度、经度、海拔高度为自变量  $x$ 。将各产地和试验点的经纬度及海拔值经过变换处理后代入回归公式, 即

收稿日期: 2004-08-31; 修回日期: 2005-09-12

基金项目: “八五”“九五”国家科技攻关项目(96-014-03-01); 世界银行资助项目(FRDPP, 09-07)

作者简介: 王军辉, 副研究员, 博士, 从事林木遗传育种和转基因安全评估等研究。E-mail: wangjh@forestry.ac.cn

可求出  $y$  值, 它是各类环境因子在降维后的综合值<sup>[9]</sup>。

1.2.2 种源地理变异规律分析 各性状与经纬度、海拔高度和生态梯度值的关系由二维散点图, 经过选择多种方程进行模拟, 最后评选出最优方程, 并计算出相关系数<sup>[7-10]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 生长性状的地理变异规律

分析生长性状与原产地地理因子的偏相关表明(表 1), 在桉木的天然分布中, 经度对树高具有显著的影响。随着经度的增加, 树高逐渐升高。在经度的递变程度上, 用第一主成分与经度进行二维空间分析可以看到, 在  $103^{\circ}00' \sim 104^{\circ}30'E$ , 之间, 群体性状的优良性基本呈上升趋势。

海拔高度对树高、胸径和材积具有极显著或显著的影响。随着海拔高度的增高, 气温降低, 树木生长期缩短, 树高、胸径和材积都逐渐减低。这 3 个性状的生产力指数与海拔高度的相关系数分别为  $-0.6363$ ,  $-0.5339$  和  $-0.5457$ 。生产力指数表现出明显的地理变异规律, 与种源海拔高度呈紧密的二级抛物曲线相关。在海拔高度的递变程度上, 用第一主成分与经度进行二维空间分析可以看到, 在海拔 500 m 以上, 群体性状的优良性基本呈下降趋势。

纬度与 3 个性状无显著相关, 表明分布区内纬度变化对性状的优劣性影响不大(表 1)。

表 1 种源生长表现与原产地地理因子及生态梯度值的偏相关关系

Table 1 Partial correlation between growth traits and geography factors of natural provenances of *Alnus cremastogyne*

项目	树高	胸径	材积	树高生产力指数	胸径生产力指数	材积生产力指数
纬度	0.272 1	0.464 6	0.362 4	0.215 5	0.397 8	0.293 2
经度	0.519 9 *	0.245 6	0.366 9	0.386 8	0.093 9	0.190 9
海拔高度	$-0.687 8^*$	$-0.551 1^*$	$-0.608 2^*$	$-0.636 3^*$	$-0.533 9^*$	$-0.545 7^*$
生态梯度值	$-0.707 8^{**}$	$-0.443 4$	$-0.619 4^*$	$0.708 6^{**}$	$-0.444 1$	$-0.624 4^*$

树高、材积及其生产力指数与生态梯度值达到显著或极显著的负相关。这表明随着生态梯度值的降低, 树高、材积是逐渐增加的。在四川桉木原分布区内, 随着经度的增加, 海拔高度逐渐降低, 生长性状的表现越来越好, 表明桉木种源的生长性状是受海拔高度和经度的双重影响, 因此气温起着重要作用。

### 2.2 材质性状的地理变异规律

对桉木种源的木材基本密度、木材纤维长度、单株生物质产量与原产地的地理因子进行相关性分析(表 2)。由表 2 可以看出, 木材基本密度与原产地的经度呈显著的正相关。经度高, 木材基本密度偏高; 经度低, 木材基本密度偏低。木材纤维长度和单株生物质产量与纬度和经度的相关关系均未达到显著水平。

根据材质性状与生态梯度值的相关分析可知, 木材基本密度和单株生物质产量 2 项指标随生态梯度值的增大而都有下降, 但下降程度差异很大, 总的表现出非典型的梯度变异。木材纤维长度则完全不呈梯度变异( $r = 0.0937$ )。综合

表 2 材质性状与气候和地理因子相关分析

Table 2 Correlation between wood traits and climate and geography factors

因子	木材纤维长度	木材基本密度	单株生物质产量
纬度	$-0.023 5$	$0.023 0$	$0.100 0$
经度	$0.075 7$	$0.543 0^*$	$0.096 3$
海拔高度	$-0.097 3$	$-0.267 6$	$-0.284 1$
生态梯度值	$-0.093 7$	$-0.182 5$	$-0.473 7$

说明: 自由度  $d_f = 15$ 。

上述分析可以看出, 来自分布区东部的桉木种源木材基本密度比来自西部种源的木材基本密度大些, 木材基本密度变化呈单向渐变模式。木材纤维长度和单株生物质产量的变异趋势并不明显。

### 2.3 桉木种源区划

根据桉木全分布区多点试验, 在种源地理变异规律研究的基础上, 划分桉木种源区, 对指导种植

区种子调拨, 实现桉木造林的“适地适种源”非常重要。由于桉木分布区的生态多样性, 各地气候、海拔和土壤条件差别较大, 种源在生长、材性、固氮能力及果实和种子表型性状以及生长适应性和遗传稳定性上都存在着显著或极显著的差异。种源生长性状与地点间的交互作用也很显著, 而且这些性状的变异与桉木分布区的地理生态因子有关。根据种源试验各种源性状的遗传表型相似程度进行地理种群划分, 以各种源的生长和适应性综合判断为原则, 为使种源区划有利于指导生产, 以生态梯度轴来进行自然地理特征区划, 最后结合生长和生态梯度, 在地理上进行重新划分。根据2种初步划分结果, 进行量化多重检验与判断, 把生态梯度和生长性状都存在明显差异的区域作为桉木种源区。

对13个种源进行生态梯度值的估算(表3), 进而对生态梯度值进行方差分析。结果表明, 种源生态梯度值的  $s = 0.09469$ ,  $s_{\bar{d}} = 0.05252$ ,  $D_{1\%0.05} = 0.1134$ 。用最小显著差检验13个种源的生态梯度值差异, 划分出4个种源区。而根据生长性状(树高、材积)可划分为3个种源区。参照地理界限进行种源区调整, 将2种划分结果叠合与检验, 最后确定划分为3个种源区。

对种源区之间的不等重复生态梯度值和树高、材积作方差分析, 结果是种源区之间差异极显著( $\alpha = 0.01$ ), 而种源区内各种源间的差异不显著。各种源区间的差异是遗传上真实存在的外部差异, 也即相应等位基因频率显然是不同的, 证明所划分的I, II, III等3个种源区区划是合理的, 能够代表不同的种源区(图1)。

## 2.4 桉木各种源区的评价

2.4.1 I: 盆西北周沿区 是四川桉木自然分布区的边缘地带, 即四川盆地的盆沿西部与北部地带。根据本区内的环境条件和桉木的生长差异可划分为2个亚区。I<sub>1</sub>亚区(川北亚区), 地处米苍山、大巴山及其南坡丘陵区及岷江的上游丘陵地带, 西起成都平原的东北缘, 龙泉山和汶川一线, 包括剑阁种源。该区由于米苍山、大巴山的阻挡, 雨水较丰富, 年均温较高, 日照长, 生态梯度值较大<sup>[1]</sup>。桉木生长较好, 木材基本密度较高, 木材纤维长度较长, 苗期固氮能力中等偏下。果柄最短, 果长、果宽、果柄长/果长最小。单株生物物质产量偏小。I<sub>2</sub>亚区(川西高海拔亚区), 位于大渡河的上游和川西山地, 是以泸定沙湾、泸定磨西区种源为代表的高海拔亚区。该区冬季寒冷, 气温低, 生长期和日照较长, 日照丰富, 年降水量约1000 mm, 相对湿度较低, 生态梯度值最大。分布于该区内的桉木苗期生长较快, 但成林后生长较慢, 木材基本密度、木材纤维长度中等偏下, 固氮能力最强, 果长、果宽和果长×果宽最大。单株生物物质产量中等偏小(表4)。该区内2个种源在成林后表现出较大的差异, 而以泸定磨西区种源表现较好, 泸定沙湾种源表型较差, 应为淘汰种源。

2.4.2 II: 盆中区 位于四川盆地的盆底西部以及山沿地区, 成都平原和邛崃山脉的东南部与山区交接地段。该区内的桉木生长较好。该区也可划分为2个亚区。II<sub>1</sub>亚区(盆中丘陵区), 处于涪江上游的丘陵山地, 西起成都平原的北缘, 东至嘉陵江干流, 包括金堂、盐亭种源。该区水热条件较差, 尤其雨水偏少, 日照较长, 在丘陵地段立地条件较差。生长较好, 木材基本密度中等, 纤维长度较长, 固氮能力较强。桉木果柄较短, 果实性状变异幅度较大, 种子千粒质量较高, 单株生物物质产量较高。该亚区是优良种源的产区。II<sub>2</sub>亚区(盆中山地亚区), 包括都江堰、邛崃、雅安、峨眉山、夹江

表3 桉木种源的生态梯度值及其检验

Table 3 EGA and LSD test of provenances of *Alnus cremastogyne*

种源排序(种源代号)	生态梯度值	$D_{1\%}$ 检验( $\alpha = 0.05$ )
四川泸定沙湾(S)	-0.1394	
四川剑阁(J)	-0.4658	
四川邛崃(Q)	-0.5987	
四川盐亭(B)	-0.8475	
四川都江堰(Dx)	-0.8627	
四川峨眉山(E)	-0.8803	
四川雅安(Y)	-0.9048	
四川夹江(A)	-0.9353	
四川金堂淮口(F)	-0.9617	
四川金堂盐井(G)	-0.9617	
四川金堂长乐(C)	-0.9617	
四川珙县(H)	-1.2056	
四川沐川(M)	-1.2764	

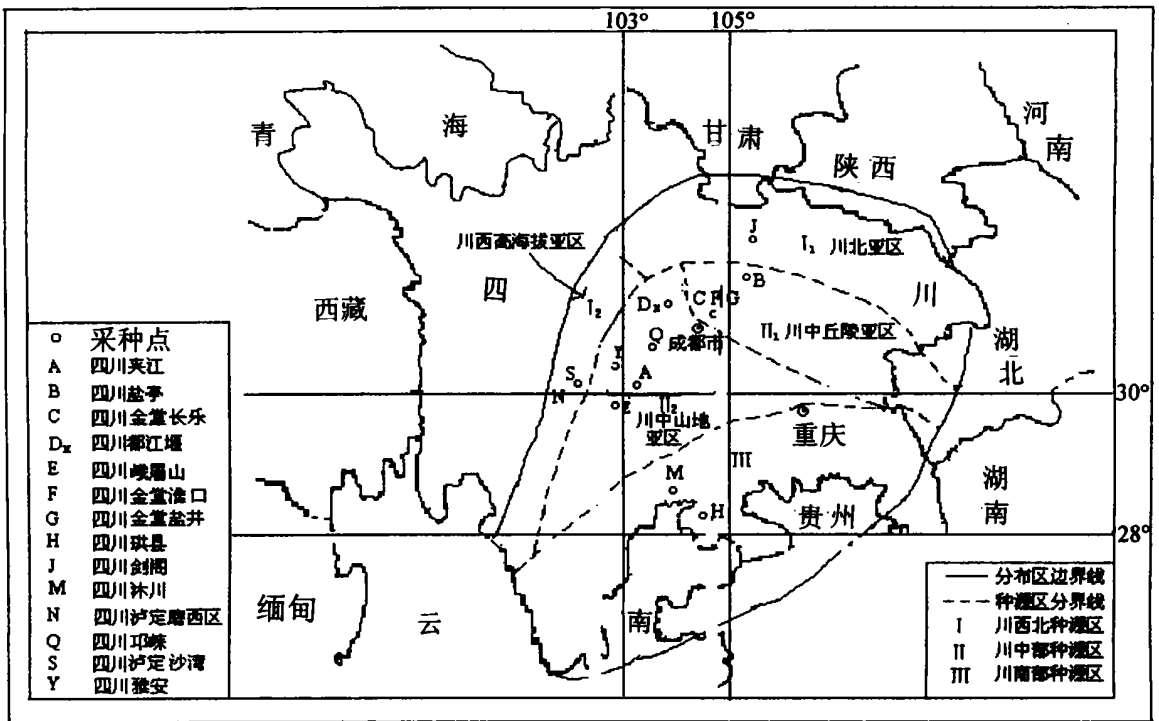


图 1 四川桉木种源区区划图

Figure 1 Provenance division of *Alnus cremastogyne*

表 4 桉木 3 个种源区的表型特征

Table 4 Phenotype characteristics of 3 provenances of *Alnus cremastogyne*

性状	种源区				
	I		II		III
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	II <sub>1</sub>	II <sub>2</sub>	
果柄长/cm	3.310	3.550	3.550	3.650	3.860
果长/cm	1.634	1.756	1.671	1.642	1.683
果宽/cm	0.889	1.158	1.011	0.921	0.959
果长/果宽	1.854	1.538	1.715	1.796	1.779
果柄长/果长	2.077	2.077	2.180	2.262	2.324
果长×果宽/(cm×cm)	1.469	2.061	1.716	1.630	1.636
种子千粒质量/g	0.525 9	0.636 1	0.524 2	0.427 0	0.428 7
根瘤个数	86.80	90.00	96.10	95.30	97.00
根瘤鲜质量/(g·株 <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	0.268	0.337	0.287	0.258	0.242
固氮活性/(μmol·g <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )	10.20	14.70	13.60	11.90	8.90
固氮量/g	12.98	16.72	15.68	13.54	11.37
1年生苗高/cm	57.21	61.15	56.16	57.69	55.40
1年生根长/cm	10.11	11.08	9.73	9.47	10.57
6年生树高/m	8.14	7.20	8.10	8.39	8.09
6年生胸径/cm	6.36	6.04	6.43	6.55	6.40
6年生材积/m <sup>3</sup>	0.017 3	0.013 6	0.017 4	0.018 4	0.017 0
木材基本密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.462 5	0.408 7	0.402 7	0.422 9	0.441 1
木材纤维长度/mm	1.299 3	1.252 3	1.278 8	1.266 3	1.294 0
单株生物物质产量/kg	9.578 5	10.919 2	11.429 1	13.878 9	11.626 9

种源。该区冬季气温较高, 生长期较长, 雨水丰富, 年降水量为 800~1 700 mm, 相对湿度较高。生长较好, 材性中等, 纤维长度较长, 苗期固氮能力中等, 果实表型形态处于中等水平, 单株生物物质产量最高。该亚区可能为桉木种源的起源中心区(表 4)。

2.4.3 III: 盆南周沿区 位于盆地南缘,金沙江下游,金—岷江交汇区。包括沐川和珙县种源。该区温暖多雨,相对湿度大,日照和霜期短,立地条件优越,雨水丰富,生态梯度值最小。生长较好,木材密度最高,固氮能力较强,除果柄最长,果柄长/果长较大外,桉木其他果实表型形态性状均处于中等水平,单株生物质产量中等(表4)。

### 3 结论与讨论

桉木种源生长性状与生态梯度的相关显著,在单个生态因子分析中,桉木种源生长量呈以经度和海拔为主的梯度变异。单株生物质产量和纤维长度与经度和纬度的相关关系不显著,地理趋势并不明显。而木材基本密度与经度的正相关关系显著,呈单向渐变模式。桉木总的变异趋势以垂直变异为主,径向变异为次,纬向变异不明显的特点。根据桉木种源生态梯度和试验林生长表现,把桉木划分为3个种源区:盆西北周沿区、盆中区和盆南周沿区。

### 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] 秦国峰, 周志春, 李光荣, 等. 马尾松造纸材最优产地的确定[J]. 林业科学研究, 1995, 8(3): 266—271.
- [4] 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.
- [5] 王军辉, 顾万春, 李斌, 等. 桉木种源(群体)/家系材性性状的遗传变异[J]. 林业科学研究, 2001, 14(4): 362—368.
- [6] 顾万春, 李斌, 郭文英, 等. 生态梯度轴(EGA)区划林木育种区的研究[J]. 生态学报, 1997, 17(2): 159—169.
- [7] 俞新妥, 林思祖, 洪伟. 杉木种源地理位置的数学模型[J]. 福建林学院学报, 1985, 5(2): 1—6.
- [8] 盛志康, 陈瑶生. 数量遗传学[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [9] 高惠旋. SAS系统SAS/STAT软件使用手册[M]. 北京: 中国统计出版社, 1997.
- [10] Cottenill P P, Dean C A. *Successful Tree Breeding With Index Selection* [M]. Sydney: CSIRO, 1990.
- [11] 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.

## Geographical variation and provenance division of *Alnus cremastogyne*

WANG Jun-hui<sup>1,2</sup>, GU Wan-chun<sup>1,2</sup>, XIA Liang-fang<sup>3</sup>, WAN Jun<sup>4</sup>, GAN Xiao-xiong<sup>4</sup>

(1. The Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China; 2. Laboratory of Tree Breeding, State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 3. Experimental Centre of Subtropical Forestry, CAF, Fenyi 336600 Jiangxi, China; 4. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, Sichuan, China)

**Abstract:** The growth, timber quality and fruits of 13 provenances of *Alnus cremastogyne* was tested to study the geographical variation of *Alnus cremastogyne* and its tendency. The climate ecology foundations for the geographical variation and divided the provenance areas were discussed. The results implied that there was significant correlation between provenance growth characteristics of *Alnus cremastogyne* and ecological gradient axis (EGA). The analysis of single ecological factor showed that the provenance growth quantity of *Alnus cremastogyne* changed with the longitude and altitude. There was no significant correlation between the bio-substance production and fiber length of single plant and longitude and latitude. There was significant correlation between the basic density of timber and longitude. Judging by the EGA of *Alnus cremastogyne* provenance and the growth status of the experimental forest, there are three provenance areas of *Alnus cremastogyne*, namely, northwest Sichuan, central Sichuan and south Sichuan. [Ch, 1 fig, 4 tab, 11 ref.]

**Key words:** forest tree breeding; *Alnus cremastogyne*; provenances; geographical variation; provenance division.