

文章编号: 1001-1498(2001)03-0237-08

# 鹅掌楸种源遗传变异和选择评价\*

李 斌<sup>1</sup>, 顾万春<sup>1</sup>, 夏良放<sup>2</sup>, 李锡泉<sup>3</sup>, 干少雄<sup>4</sup>

(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;  
3. 湖南省林业科学研究院, 湖南 长沙 410004; 4 四川省林业科学研究院, 四川 成都 610081)

**摘要:** 在中国鹅掌楸全分布区内抽样 15 个种源, 于长江中下游 5 省区按统一试验设计营造种源试验林。7 年生时全面测定其树高( $H$ )、胸径( $DBH$ )、冠幅( $RC$ )等主要生长性状, 进行遗传变异分析。结果表明: 中国鹅掌楸生长性状在种源间存在显著的遗传差异。地点间差异极显著, 种源对环境反映灵敏, 种源与地点间存在明显的交互作用。 $H$ 、 $DBH$  和材积( $V$ )的广义遗传力分别为 0.503、0.526、0.521, 受较强的遗传控制;  $RC$  受遗传控制程度相对较低( $H^2 = 0.301$ )。相继进行了遗传稳定性、生长适应性分析和幼成龄相关分析, 分析结果为种源选择和评价提供了理论依据。多点综合选择选出黎平、叙永两个优良种源, 遗传增益 11.8%。单点选择分别选出 1~3 个丰产种源, 遗传增益达 15.4%~51.5%。

**关键词:** 鹅掌楸; 种源; 遗传变异; 选择评价

**中图分类号:** S722.7

**文献标识码:** A

鹅掌楸属(*L. iriodendron*)原有 23 个种<sup>[1]</sup>, 经历数次冰川后, 大多数种已灭绝, 现仅存中国鹅掌楸[*L. chinense* (Hemsl.) Sarg.] (又称鹅掌楸或马褂木)和北美鹅掌楸(*L. tulipifera* L.), 这两个种被植物学家们称为洲际“种对”(Vicariad Species Pairs)<sup>[2~4]</sup>。北美鹅掌楸分布较广, 在美国东部的 23 个州呈连续分布, 对北美鹅掌楸的种源研究较早, 从 60 年代开始, 就已开展这方面试验与研究<sup>[5~8]</sup>, 基本摸清了其种源变异规律, 并将北美鹅掌楸划分为 3 大种源区, 即东部平原区、阿巴拉契亚山区、佛罗里达区。中国鹅掌楸零散分布在我国中南部 11 个省区的丘陵山地, 天然分布较少, 呈伴生状态, 且繁殖率低, 因此被列为国家二级珍稀濒危物种<sup>[9~10]</sup>。对中国鹅掌楸的研究起步相对较晚, 研究领域集中在杂交、扦插繁殖和生活力等方面, 有局部少量栽培试验报道<sup>[11~14]</sup>。中国鹅掌楸具有抗寒、抗旱、抗病虫等优良生态习性, 是很好的绿化兼用材树种<sup>[15, 16]</sup>, 已列为世行项目速生丰产推广树种和国家“九五”攻关种质资源保存树种, 从 1990 年起, 建立了多地点全分布种源试验林。本文通过对 7 年生中国鹅掌楸多点种源试验林(含部分北美鹅掌楸种源, 作对照试验)的测定分析, 量化评价种源遗传变异及种源选择, 为生产选用良种服务, 也为进一步深入研究中国鹅掌楸地理变异和遗传改良等提供依据。

收稿日期: 2000-10-28

基金项目: 国家“九五”攻关主要树种种质资源保存课题、“948”美国鹅掌楸育种材料引进项目和“世行”贷款阔叶树丰产推广项目

作者简介: 李斌(1969-), 男, 湖南张家界人, 助理研究员, 博士生

\* 感谢郭文英、王军辉、刘和林、董纯、万军、余良富、封建文、谭德仁、赖树华、关子山、蔡宏明、蔡仁等协助数据调查和资料整理

# 1 材料与方法

## 1.1 试材

在调研中国鹅掌楸自然分布区、产地生态因子代表性及种子生产能力的基础上,于1990年秋季采集了覆盖全分布区的15个种源种子,每种源混采15个半同胞家系,并调查登记了种子产地的环境因子和采种母树情况(表1)。同年从美国密苏里(美A)、路易斯安纳(美B)、北卡罗来纳(美C)、南卡罗来纳(美D)、佐治亚(美E)引进5个北美鹅掌楸种源,作为试验对照材料。

表1 中国鹅掌楸种源采种点环境因子与母树各性状的平均值

种源 名称	产地	环境因子					采种母树各性状的平均值					
		东经/ (°)	北纬/ (°)	海拔/ m	年均 温/ °C	年降水 量/mm	土壤 类型	冠幅/ m	树龄/ a	平均树 高/m	枝下 高/m	平均胸 径/cm
大别山	安徽大别山	118.2	31.13	1450	10.1	1280	棕壤	11.0	70	22.0	6.5	39.0
鄂西	湖北鹤峰市中营区	109.0	30.30	1180	11.1	1387	黄棕壤	3.0	21	23.0	4.0	18.0
富阳	浙江富阳亚林所	119.9	29.13	76	18.4	1523	粘壤土	6.0	17	15.2	5.8	29.7
赣武夷	江西上饶武夷山自然保护区	117.8	27.92	1000	13.7	1734	黄棕壤	6.5	20	20.5	8.1	34.2
黄山	安徽黄山(市)	116.1	30.17	1250	13.2	1109	山地黄壤	9.4	50	17.1	4.9	33.9
黎平	贵州黎平县老山界	108.6	26.50	1100	15.3	1308	中山黄壤	6.5	60	31.0	12.0	34.0
浏阳	湖南浏阳县大围山	113.9	28.05	1100	11.9	1434	山地黄壤	8.0	10	13.5	5.0	27.2
庐山	江西九江庐山自然保护区	116.0	29.53	1167	13.4	1437	黄壤	7.2	25	26.2	9.8	36.8
陌南	贵州松桃	109.5	26.80	1050	14.3	1250	山地黄壤	5.5	60	35.0	10.0	38.0
桑植	湖南桑植县天平山	110.2	29.15	1200	11.6	1321	黄棕壤	10.0	30	26.0	18.0	38.0
松阳	浙江松阳	119.6	28.50	138	16.8	1650	红壤	6.0	12	9.8	5.0	14.5
绥宁	湖南绥宁黄双保护区	110.2	26.33	1500	12.3	1425	山地黄壤	6.0	30	24.5	7.0	25.0
叙永	四川叙永大安林场	105.5	28.20	800	15.0	1512	山地黄壤	6.0	40	14.0	6.0	28.0
酉阳	四川酉阳冷口乡秋河6组	108.8	28.82	890	14.8	1395	山地黄壤	12.0	80	29.6	12.0	42.0
云南	云南勐腊	101.6	21.40	700	20.3	1942	山地红壤	3.8	30	24.0	8.0	44.2

## 1.2 试验方法

1991年春在长江中下游5省区(表2)统一布置试验设计:随机区组排列,4次重复,8×3株矩形小区,造林密度4m×2m。1997年底调查树高、胸径、冠幅等。为了分析中国鹅掌楸种源早期选择的可靠性,在江西分宜种源试验林附近的一片17年生中国鹅掌楸人工林中抽样30株(取样详细数据资料另文报道),统一在胸径处采用5mm生长锥取木芯条样本,分年轮测定径生长量,每样条分别测得15个年轮的数据,在此基础上进行分析,将1~7a的木芯径生长量与15a径生长量进行幼成龄相关分析,为7年生种源选择提供实验依据。

表2 试验地点环境因子

试验地	地理坐标			气象因子		土壤 类型	立地 指数	平均坡度/ (°)
	北纬/(°)	东经/(°)	海拔/m	年均温/ °C	年降水量/mm			
湖北京山	30.40	112.09	280	15.6	1114.6	灰棕色土	14	6
江西分宜	27.80	114.40	129	16.3	1619.7	红棕壤	14	15
湖南桃源	29.05	117.70	130	16.2	1346.5	棕色土	12	20
福建邵武	27.33	117.47	190	17.7	1825.2	棕红壤	12	17
四川邛崃	30.00	103.05	1350	11.4	1749.8	棕黄壤	10	25

### 1.3 数据处理与分析

采用 Eberhart 法<sup>[17,18]</sup>估算种源的生长适应性( $b$ )、遗传稳定性参数( $\hat{S}d^2$ )、环境指数( $I_j$ )，根据 Eberhart 的定义“ $b=1, \hat{S}d^2=0$ ”为一个理想的稳定适应品种， $b>1$  适应优良立地， $b<1$  适于较差立地， $\hat{S}d^2$  越小则稳定性越好。 $I_j$  为  $j$  地点的环境效应标准化值， $I_j$  值越大立地越优，值越小立地越差，当接近于 0 时为中等立地<sup>[17]</sup>。广义遗传力<sup>[19]</sup> $H^2 = (V_p - V_{ps})/V_p$ ，其中  $V_p$  为种源(P)均方差， $V_{ps}$  为种源  $\times$  地点(S)的均方差；现实增益或选择响应 =  $(S/\bar{x}) \times 100\%$ ，其中  $S$  为选择差， $\bar{x}$  为性状均值；遗传增益  $\Delta G = H^2 \times (S/\bar{x}) \times 100\%$ 。方差分析采用 GLM 分析模型<sup>[20]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 种源间差异极显著

中国鹅掌楸 5 地点 15 个种源平均树高 6.81 m，平均胸径 7.10 cm，平均材积 0.021 3 m<sup>3</sup>，平均冠幅 2.44 m (表 3)。生长表现好的种源有叙永、黎平、松阳、陌南、黄山，平均树高 7.216 m，平均胸径 7.552 cm，大于对照北美鹅掌楸均值。生长表现中等的种源包括富阳、酉阳、浏阳、庐山、赣武夷，平均树高 6.90 m，平均胸径 7.206 cm，略超对照北美鹅掌楸均值。生长较差的种源为大别山、云南、桑植、绥宁、鄂西，其平均树高 6.296 m，平均胸径 6.536 cm，低于对照均值 (表 3)。

为进一步了解中国鹅掌楸各种源间遗传差异性，对树高、胸径、材积和冠幅分别进行了方差分析 (表 4)。4 性状的方差分析结果基本一致：树高 ( $H$ )、胸径 ( $DBH$ )、材积 ( $V$ ) 和冠幅 ( $RC$ ) 在种源间均存在极显著差异， $F_H = 29.5$ ， $F_{DBH} = 10.02$ ， $F_V = 13.6$ ， $F_{RC} = 4.1$  (表 4)。这表明中国鹅掌楸主要生长性状种源间遗传差异真实存在，各地理群体间分化大，具有选育潜力，为种源选择利用以及种质资源保存评价奠定了基础。

对照北美鹅掌楸 5 地点 5 种源的平均树高 6.39 m，平均胸径 6.61 cm，平均材积 0.018 6 m<sup>3</sup>、平均冠幅 2.43 m。中国鹅掌楸在其适合生长的长江中下游丘陵山地，整体上比参试的北美鹅掌楸生长略好 (表 3)。但有研究报道北美鹅掌楸比中国鹅掌楸生长快<sup>[13]</sup>。出现两种歧义结果的原因很多，主要与试验地的选择、北美鹅掌楸种源的产地及参与试验的北美鹅掌楸种源的数量等有关，因此，种间的差异需要作进一步的试验和深入探索。

### 2.2 地点间差异及 G $\times$ E 交互作用极显著

表 3 中国鹅掌楸及对照北美鹅掌楸 4 性状 5 地点的种源均值

树种	种源	树高/ m	胸径/ cm	材积/ m <sup>3</sup>	冠幅/ m
中国 鹅 掌 楸	叙永	7.13	7.83	0.027 1	2.40
	酉阳	6.94	7.17	0.021 9	2.38
	鄂西	6.52	6.75	0.018 4	2.30
	黄山	7.06	7.39	0.023 4	2.47
	陌南	7.22	7.45	0.023 6	2.53
	黎平	7.37	7.64	0.025 1	2.54
	浏阳	6.89	7.25	0.020 8	2.47
	桑植	6.47	6.74	0.019 3	2.51
	绥宁	6.93	7.02	0.020 2	2.31
	富阳	6.82	7.09	0.021 5	2.51
	松阳	7.30	7.45	0.024 0	2.41
	庐山	7.06	7.44	0.023 3	2.48
	赣武夷	6.79	7.08	0.021 0	2.64
	云南	6.24	6.42	0.017 9	2.31
	大别山	5.32	5.75	0.011 6	2.30
平均值	6.81	7.10	0.021 3	2.44	
北美 鹅 掌 楸	美 A	6.86	7.27	0.021 9	2.55
	美 B	6.26	6.27	0.016 7	2.36
	美 C	6.53	6.59	0.018 5	2.54
	美 D	6.32	6.78	0.020 0	2.42
	美 E	6.00	6.13	0.015 9	2.30
	平均值	6.39	6.61	0.018 6	2.43

2.2.1 地点间的差异 方差分析结果显示,种源在地点间差异均达极显著,而且地点项的  $F$  值比其它各项大许多(表 4),这说明中国鹅掌楸种源对环境条件敏感,这是值得关注的一点。Zobel 等人<sup>[21]</sup>在对北美鹅掌楸研究中也阐述了这一点,选择适宜的地点对鹅掌楸属都至关重要,它将关系到种植的成功与否。鹅掌楸怕涝,喜肥沃、微酸性山地土壤,当然适宜的气候生态条件也是必须考虑的。本试验的分析结果充分证实了这一点。

2.2.2  $G \times E$  交互作用 4 性状均存在明显的  $G \times E$  交互作用(表 4),这说明不同的种源具有不同的生态适应地区,而且不同种源具有不同的遗传稳定性和生长适应性。中国鹅掌楸种源选择,需要根据各地环境优化配置,做到适地适种源<sup>[17-21]</sup>。

表 4 多点试验 7 年生中国鹅掌楸种源 GLM 方差分析结果

性状	变异来源	自由度	离差平方和	均方	$F$ 值	$Pr > P$	遗传力
树高	S	4	478.32	119.58	34.36	0.001	0.503
	S 内 R	15	133.90	8.93	2.56	0.010	
	P	14	1436.50	102.60	29.50	0.001	
	$P \times S$	56	2857.10	51.02	14.66	0.010	
	$P \times S$ 内 R (Se1)	210	730.80	3.48	2.10		
	机误(Se2)	6086	10102.80	1.66			
胸径	S	4	802.88	200.72	38.60	0.001	0.526
	S 内 R	15	551.90	36.80	7.08	0.001	
	P	14	729.40	52.10	10.02	0.001	
	$P \times S$	56	1383.60	24.70	4.75	0.010	
	$P \times S$ 内 R (Se1)	210	1092.10	5.20	2.84	0.010	
	机误(Se2)	6086	11104.40	1.83			
材积	S	4	0.0683	0.017	43.10	0.001	0.521
	S 内 R	15	0.0658	$4.39 \times 10^{-3}$	11.08	0.010	
	P	14	0.0754	$5.38 \times 10^{-3}$	13.60	0.001	
	$P \times S$	56	0.1446	$2.58 \times 10^{-3}$	6.52	0.001	
	$P \times S$ 内 R (Se1)	210	0.0831	$3.96 \times 10^{-4}$	2.57	0.001	
	机误(Se2)	6086	0.9351	$1.54 \times 10^{-4}$			
冠幅	S	3	179.68	59.89	16.10	0.001	0.301
	S 内 R	12	383.90	32.00	8.60	0.001	
	P	14	213.50	15.25	4.10	0.010	
	$P \times S$	42	448.56	10.68	2.87	0.001	
	$P \times S$ 内 R (Se1)	168	625.50	3.72	3.65	0.001	
	机误(Se2)	4187	4290.70	1.02			

注:地点(S)、重复(R)、种源(P);冠幅只有 4 个地点的数据。

## 2.3 环境指数、遗传稳定性和生长适应性评价

2.3.1 试验点环境指数评价 各试验点的环境指数  $I_j$  (相对值)在地点间存在差异,综合立地评价结果(表 5)表明:京山和分宜点属于良好或较好立地条件;邵武和桃源点为中等立地条件;四川邛崃地处中高海拔(表 2),土壤瘠薄,环境指数低,代表差的立地条件。

2.3.2 遗传稳定性和生长适应性评价 对包括 15 个中国鹅掌楸及 5 个北美鹅掌楸种源在内的 20 个种源,进行材积的遗传稳定性和生长适应性分析,可将所有参试种源分为 4 类(图 1)。I 类的

表 5 试验地点环境指数( $I_j$ )评价

项目	湖北京山	江西分宜	福建邵武	湖南桃源	四川邛崃
树高	0.76	0.22	0.21	0.09	-1.28
胸径	0.87	0.38	-0.02	-0.11	-1.12
材积	0.97	0.36	0.1	-0.08	-1.35
平均	0.867	0.320	0.097	-0.033	-1.250
评价	好	较好	中	中偏差	很差

种源适应性强、稳定性也好; II 类的种源适应性弱、稳定性好; III 类的种源适应性强、稳定性差; IV 类的种源适应性弱、稳定性也差。对照北美鹅掌楸除美 A 种源适应性较好 ( $b > 1.0$ ) 外, 其它 4 个种源适应性均较差 ( $b < 1.0$ ) (图 1); 但  $\bar{s}^2 d^2$  均小, 遗传稳定性较好, 适于在较差至中等立地上栽培。从这两个种的生长适应性来看, 乡土树种具有较强的优势。

### 2.4 径生长幼成龄相关、性状相关与种源早期选择可靠性评价

从图 2 可知, 各幼龄 (1~7 a) 与成龄 (15 a) 径生长量间的相关系数随着年龄的增长呈对数曲线递增趋势 (幼成龄材年龄界定见另文报道)。第 1 a、2 a 与第 15 a 的相关系数不显著 ( $r_{(0.05, 30)} = 0.349$ ), 从第 3 a 开始逐渐相关显著, 从第 5 a 开始幼成相关达极显著 ( $r_{(0.01, 30)} = 0.449$ ), 说明等于或大于 5 a 即可进行选择, 就胸径性状而言是可靠的。

胸径、树高、材积两两相关均达极显著 (表 6), 3 性状相关极密切表明上述径生长量幼成龄相关分析具有一定代表性。因此, 中国鹅掌楸 7 年生种源林生长性状选择具有一定的可靠性。

表 6 生长性状间相关分析

项目	树高	胸径	材积	冠幅
树高	1.00			
胸径	0.96**	1.00		
材积	0.94**	0.98**	1.00	
冠幅	0.45	0.58*	0.57*	1.00

注:  $n = 15, r_{0.05} = 0.46, r_{0.01(15)} = 0.61$ 。

力均大于 0.5, 这表明受遗传控制程度较强, 若进行性状选择, 将获得较高的遗传增益。与树高等 3 性状的遗传力相比, 冠幅受遗传控制程度相对较低, 因此冠幅指标的选择作用不明显, 在一般性生长选择时可以不考虑冠幅, 除非营林措施对冠幅有特殊的要求。

2.5.2 种源选择评价 首先从整体上 (多点综合选择) 进行优良种源选择, 以种源均值超过 5 地点材积总均值 1 个标准差 ( $\alpha = 0.00367 \text{ m}^3$ ) 为入选标准, 结果只有黎平、叙永种源入选 (表 7)。入选率 13.3%, 选择强度 1.53, 材积现实增益为 22.7%, 遗传增益 11.8%, 选择效果明显。在入选的两个种源中, 黎平种源不仅生长快, 而且稳定性好, 具有广适性, 适合各类立地条件种植, 叙永种源在优良立地上生长极快, 稳定性稍差, 适合中偏上立地条件种植 (表 7、图 1)。

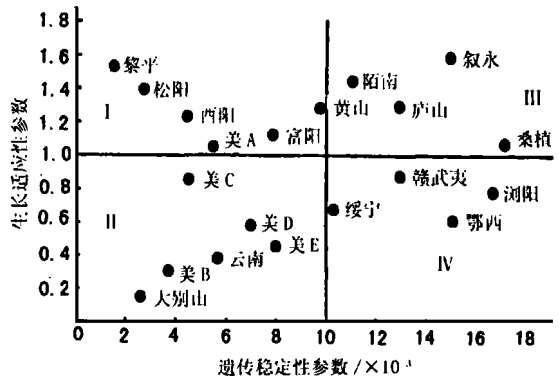


图 1 种源生长适应性参数与遗传稳定性参数二维图

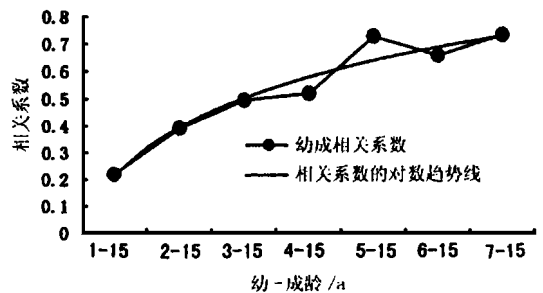


图 2 幼成龄径生长量相关系数图

### 2.5 性状遗传力与种源选择评价

2.5.1 性状遗传参数估算 树高、胸径、材积和冠幅 4 性状的广义遗传力为:  $H_{\bar{H}}^2 = 0.503$ 、 $H_{DBH}^2 = 0.526$ 、 $H_V^2 = 0.521$ 、 $H^2 = 0.301$  (表 4)。树高、胸径、材积 3 性状遗传力比较接近, 这与性状相关分析结果是吻合的 (表 6)。3 性状遗传

力均大于 0.5, 这表明受遗传控制程度较强, 若进行性状选择, 将获得较高的遗传增益。与树高等 3 性状的遗传力相比, 冠幅受遗传控制程度相对较低, 因此冠幅指标的选择作用不明显, 在一般性生长选择时可以不考虑冠幅, 除非营林措施对冠幅有特殊的要求。

2.5.2 种源选择评价 首先从整体上 (多点综合选择) 进行优良种源选择, 以种源均值超过 5 地点材积总均值 1 个标准差 ( $\alpha = 0.00367 \text{ m}^3$ ) 为入选标准, 结果只有黎平、叙永种源入选 (表 7)。入选率 13.3%, 选择强度 1.53, 材积现实增益为 22.7%, 遗传增益 11.8%, 选择效果明显。在入选的两个种源中, 黎平种源不仅生长快, 而且稳定性好, 具有广适性, 适合各类立地条件种植, 叙永种源在优良立地上生长极快, 稳定性稍差, 适合中偏上立地条件种植 (表 7、图 1)。

考虑到地点与种源交互作用的存在,为便于各地点因地制宜推广利用种源,以某地点种源超过该地点材积平均值 1 个标准差为单点选择入选标准。单点选择分别为各地点优选出 1~3 个种源(表 7)。单点选择材积遗传增益达 15.4%~51.5%,高于整体选择的遗传增益 11.8%(表 7),表明当交互作用显著时,分地点进行的单点选择效果更好,更有利于适地适种源栽培。

表 7 中国鹅掌楸不同地点的材积与种源选择及评价

m<sup>3</sup>

种 源	福建邵武	湖北京山	湖南桃源	江西分宜	四川邛崃	种源均值
大别山	0.010 89	0.019 09	0.012 64	0.006 71	0.001 21	0.011 60
鄂西	0.020 59	0.037 25	0.032 56	0.013 76	0.001 22	0.018 40
富阳	0.017 58	0.026 12	0.032 25	0.023 95	0.001 73	0.021 50
赣武夷	0.028 23	0.038 59	0.016 98	0.006 21	0.000 11	0.021 00
黄山	0.019 17	0.033 23	0.033 05	0.022 07	0.002 10	0.023 40
黎平	0.023 58	0.037 14	0.038 13	0.033 46	0.002 88	0.025 10
浏阳	0.020 26	0.033 30	0.030 00	0.016 40	0.002 25	0.020 80
庐山	0.019 55	0.032 45	0.037 02	0.023 90	0.001 87	0.023 30
陌南	0.028 71	0.044 91	0.033 31	0.012 75	0.001 11	0.023 60
桑植	0.019 10	0.028 58	0.020 00	0.011 92	0.001 85	0.019 30
松阳	0.022 61	0.033 18	0.034 98	0.024 08	0.001 72	0.024 00
绥宁	0.018 84	0.030 58	0.027 28	0.017 24	0.002 07	0.020 20
酉阳	0.018 12	0.021 19	0.034 09	0.033 73	0.004 16	0.021 90
叙永	0.025 65	0.047 50	0.034 58	0.028 84	0.001 29	0.027 10
云南	0.014 40	0.023 03	0.024 29	0.024 75	0.001 04	0.017 90
地点平均	0.019 75	0.031 74	0.029 41	0.019 98	0.001 77	0.021 27
标准差	0.005 88	0.009 40	0.007 63	0.008 24	0.001 09	0.003 67
优选标准	0.025 63	0.041 14	0.037 04	0.028 22	0.002 86	0.024 94
中选种源 (括号内为 参考种源)	叙永 陌南 赣武夷 (黎平)	叙永 陌南 (黎平)	黎平 (庐山)	黎平 酉阳 叙永	黎平 酉阳	黎平 叙永
入选种源数	3	2	1	3	2	2
入选率/%	20	13	7	20	13	13
选择强度	1.40	1.53	1.92	1.40	1.53	1.53
现实增益/%	39.2	45.6	29.6	60.2	98.9	22.7
遗传增益/%	20.4	23.7	15.4	31.3	51.5	11.8

### 3 结论与讨论

(1) 中国鹅掌楸种源间树高、胸径、材积和冠幅 4 性状均达到极显著水平。表明种源间遗传差异真实存在,选择潜力大。地点间差异极显著;地点和种源交互作用显著,说明中国鹅掌楸各种源对环境条件敏感度高,互作效应明显,适地适种源对鹅掌楸栽培利用尤为重要。7a 多点试验结果表明适生区内中国鹅掌楸比对照北美鹅掌楸生长略好。按照遗传稳定性和生长适应性参数估计值,将中国鹅掌楸 15 个种源和对照北美鹅掌楸 5 个种源分为 4 类,将为适地适种源推广栽培提供依据。

(2) 树高、胸径、材积遗传力分别为 0.503、0.526、0.521,受强度遗传控制;冠幅 0.301,受遗传控制相对较低。幼-成龄相关性检验结果,从第 5 a 开始,径生长量幼成龄为极显著相关,说明径生长量早期选择是可行的;同时,径、高、材积均达极显著相关( $r=0.94$ ),表明径生长量的幼-成龄相关分析结果在主要生长性状间具有一定的代表性。

(3) 多点选择,从整体上为 5 个试验点所覆盖的立地相似地区选择优良的种源,结果黎平、叙永两种源入选,材积遗传增益为 11.8%。其中黎平种源不仅生长快,而且稳定性好,具有广

适性, 适合在各类立地条件下生长; 叙永种源在立地条件越好的地方生长越快, 稳定性稍差, 适合在中等以上的立地条件下推广。分地点进行的单点选择, 分别为每个试验点选中 1~3 个优良种源(表 7), 材积遗传增益比多点选择高, 达 15.4%~51.5%。种源选择及其遗传增益评价结果说明中国鹅掌楸种源遗传改良前景很好。

(4) 种源试验结果反映了群体的平均表现, 是实验生态学的量化评价。国内外大量树种的种源早期选择<sup>[22~26]</sup>表明其具有较高的可信程度, 如油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.) 种源试验 5~6 a 进行种源区划, 马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.) 6~7 a 生开展种源选择, 柚木(*Tectona grandis* Linn.) 种源选择评价始于 5 a, 杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.] 的早期选择在 6 a 左右, 火炬松(*Pinus taeda* Linn.) 和湿地松(*Pinus elliottii* Engelm.) 10 a 左右等。本研究根据 7 年生鹅掌楸种源林多点试验结果分析, 应该从理论和实践上都会产生良好效应。

## 参考文献:

- [1] Wolfe J A. Later cretaceous-cenozoic history of deciduousness and the terminal cretaceous event [J]. *Paleobiology*, 1987, B: 215~226
- [2] Wolfe J A. Paleocene floras from the Gulf of Alaska region, professional paper US [J]. Geological Survey, 1997, (4): 100~108
- [3] Parks C R, Wendel J F, Sewell M M, et al. Genetic control of isozyme in genus *Liriodendron* [J]. *Journal of Heredity*, 1990, 81(4): 317~323
- [4] Parks C R, Wendel J F. Molecular divergence between Asian and North American species of *Liriodendron* with implications for interpretation of fossil floras [J]. *Amer J Bot*, 1990, 77(10): 1243~1256
- [5] Barnett P E, Famer R E. Altitudinal variation in germination characteristics of yellow poplar in the southern Appalachians [J]. *Silvae Genetica*, Tena USA, 1978, 27: 101~104
- [6] Linnstrom G H, Raymond F F. Seed source and nursery effects on yellow poplar plantations [J]. *Journal of Forestry*, US Forest Service, 1956, (12): 828~831.
- [7] Fred W T. Property variation within stems of selected hardwoods growing in the Mid-south [J]. *Wood Sci*, 1979, 11(3): 193~199.
- [8] Roeder K P. Provenance performance of *L. tulipifera* in South Africa [J]. *South African Forestry Journal*, 1980, (112): 42~44
- [9] 中国植物志编委会. 中国植物志 第30卷 第1分册[M]. 北京: 科学出版社, 1980 196~198
- [10] 方炎明. 鹅掌楸的地理分布和空间格局[J]. *南京林业大学学报*, 1994, 18(2): 13~18
- [11] 刘洪鄂, 沈湘林. 鹅掌楸、北美鹅掌楸及其杂种在形态和生长性状上的遗传变异[J]. *浙江林业科技*, 1991, 11(5): 18~23
- [12] 方炎明, 尤录祥. 中国鹅掌楸天然群体与人工群体的生育力[J]. *植物资源与环境*, 1994, 3(3): 9~13
- [13] 陈世群, 杨永兰, 郑先宝, 等. 鹅掌楸扦插繁殖技术初探[J]. *重庆林业科技*, 1993, 36(1~4): 30~33
- [14] 杨志成. 杂种鹅掌楸扦插试验初报[J]. *林业科学研究*, 1994, 7(6): 697~700
- [15] 顾万春. 主要阔叶树种速生丰产技术[M]. 北京: 中国科技出版社, 1993 64~78
- [16] 刘西俊, 周丕振. 鹅掌楸生理特性及适应性的研究[J]. *西北植物学报*, 1989, 9(3): 183~190
- [17] 张贤珍. 农业数理统计计算程序[M]. 北京: 农业出版社, 1990 126~135
- [18] 顾万春. 刺槐无性系 G×E 互作研究——遗传稳定性和生长适应性评价[J]. *林业科学研究*, 1991, 4(6): 623~628
- [19] 朱之悌. 林木遗传学基础[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992 163~190
- [20] 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 309~330
- [21] Zobel B J, Kellison C. 森林经营中遗传型和环境交互作用的重要意义[A]. 第8届世界林业会议论文集[C]. 北京: 中国林业出版社, 1981 162~167.
- [22] 徐化成. 油松地理变异与种源选择[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992 1~310
- [23] 张荣贵, 蓝猛, 乔光明, 等. 红河州柚木种源试验 5 年评价[J]. *林业科学研究*, 1999, 12(2): 190~196
- [24] 阮梓材, 胡德活, 王一珊, 等. 杉木家系物候型与早期选择[J]. *林业科学研究*, 1999, 12(3): 291~299
- [25] 荣文琛, 岳水林, 赵世远, 等. 马尾松造林区优良种源选择[J]. *林业科学研究*, 1994, 7(5): 542~549
- [26] Li B, Makeand S E. Stability of loblolly pine families in the southeastern US [J]. *Silvae Genetica*, 1989, 38(3~4): 96~101.

## Genetic Variation and Provenance Selection of Chinese Tuliptree

LI Bin<sup>1</sup>, GU Wan-chun<sup>1</sup>, XIA Liang-fang<sup>2</sup>, LI Xi-quan<sup>3</sup>, GAN Shao-xiong<sup>4</sup>

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

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

3. Hunan Academy of Forestry, Changsha 410004, Hunan, China;

4. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, Sichuan, China)

**Abstract:** Fifteen provenances were sampled in the distribution areas of Chinese Tuliptree (*Liriodendron chinense*) and the trial plantations were simultaneously established in 5 sites along the middle and lower reaches of Yangtze River in 1991. The main growth characteristics, including height ( $H$ ), diameter at breast height ( $DBH$ ) and range of tree crown ( $RC$ ) were all measured respectively when in the seventh year and the variance analysis were conducted. The results showed that there were significant differences among provenances ( $F_H = 29.5$ ,  $F_{DBH} = 10.02$ ,  $F_{RC} = 4.1$ ), which indicated potentiality of selection and genetic improvement, and there were significant differences among sites, which indicated Chinese Tuliptree was sensitive to environment, and there were also significant differences among mutual actions of provenances and sites. The heritabilities of height,  $DBH$  and volume for provenance are all more than 0.5 which shows a strongly genetic control in growth characteristics and a good genetic gain can be acquired by provenance selection. The analysis of genetic stability, growth adaptability and correlation between juvenile and mature were conducted, which provided bases for provenance selection and evaluation. The provenance selection and evaluation were conducted in multi-sites' and single-site's way respectively. Liping and Xuyong provenances were picked out from all five sites in multi-sites selection and the genetic gain was 11.8%, and one to three provenances were respectively picked out for each site in single-site's selection and the genetic gain was 15.4% ~ 51.5% higher than multi-sites'.

**Key words:** *Liriodendron chinense*; genetic variation; provenance; selection and evaluation