

积分分别占 84.1%,85.9%,79.6%,76.6%,显示秃杉生长性状遗传变异中,种源效应是最明显的,其变异分量较大,因此,秃杉选择应着重于群体,充分利用种源变异选择优良种源,在此基础上选择优良家系,有助于提高选择效率。

表6 种源内家系单株材积变异

种源	均值 $\times 10^{-2}(\text{m}^3/\text{株})$	变幅 $\times 10^{-2}(\text{m}^3/\text{株})$	变异系数 CV(%)
贵州昂	6.24	4.64 ~ 7.90	16.25
贵州格	6.35	4.48 ~ 7.86	16.78
贵州丹	6.09	4.65 ~ 6.88	12.73
贵州交	7.30	4.50 ~ 9.53	32.60

2.3 优良种源选择

用 2004 年调查的树高、胸径、单株材积,通过主成分遗传指数方法综合 3 个性状评价种源。通过主成分分析求出矩阵特征根 λ_i 和特征向量 L_{ij} 列于表 7。各特征根的大小代表综合指标遗传方差的大小,各特征根累积百分率分别代表各有关综合指标对总遗传方差贡献的百分率,特征向量表示各性状对综合指标的贡献大小。由表 7 可知,第一特征根最大,占遗传方差的 88%,以 85% 为阈值选择主成分,故只选择第一主成分。 λ_1 对应的特征向量:

$L_1 = (0.551\ 5 \quad 0.581\ 5 \quad 0.598\ 1)$

来源 树高 胸径 单株材积

对种源均值进行标准化变换,以消除不同性状度量单位不同产生的量纲的影响。代入主成分遗传指数方程:

$I = 0.551\ 5H' + 0.581\ 5D' + 0.598\ 1V'$, 式中 H' 、 D' 、 V' 表示标准化变换后的种源均值。

表7 特征值及特征向量

特征根 λ_i	2.658	0.286	
累积贡献率(%)	88	98	
分量来源	树高	胸径	单株材积
特征向量 L_{ij}	0.5515	0.5815	0.5981
	0.8152	-0.5279	-0.2383

计算各种源主成分遗传指数值(表 5),由主成分遗传指数值可看出,贵州交表现最优。以入选率 0.5 的标准选择 5 个秃杉优良种源(不包括杉木、柳杉),有贵州交、贵州格、贵州昂、贵州丹、云南腾冲种源(主成分遗传指数值 8.37 ~ 7.00),以秃杉均值为对照,秃杉优良种源平均单株材积遗传增益为 30.06%,实际增益为 35.03%,较差种源有云南昌宁、湖北利川、云南龙陵种源。

2.4 种源生长年——年相关分析

以单株观测值计算 1995,1996,1997,2004 年 4 个年度树高、胸径、单株材积相关系数,结果见表 8,各性状各年度间相关极显著。

2.5 性状遗传力和遗传变异系数

各年度秃杉种源、家系遗传力见表 9,遗传力值为 0.228 1 ~ 0.919 2。种源遗传力大于家系遗传力。随年龄增长种源遗传力增大,而家系遗传力有减少趋势,种源遗传力随年龄变化规律与杉木有关报道一致。因此,秃杉种源生长—环境效应逐步减少,而家系环境效应相反更加明显。

各年度种源遗传变异系数见表 9,遗传变异系数值为 7.70% ~ 33.74%,性状遗传变异系数出现单株材积 > 胸径 > 树高的规律,随年龄的变化不明显,与种源幼龄时期具较高的遗传力一致,表明秃杉幼龄具有较

高的群体遗传稳定性,种源优劣分化较为稳定。

表 8 年度间生长性状遗传相关系数和表型相关系数

项目	树龄(a)	2	3	4	11
树 高	2		0.9983	0.9989	0.9743
	3	0.9941		0.9993	0.9811
	4	0.9999	0.9999		0.9794
	11	0.9812	0.9870	0.9854	
胸 径	2		0.9930	0.9914	0.9835
	3	0.9962		0.9997	0.9931
	4	0.9967	0.9999		0.9941
	11	0.9990	0.9999	0.9999	
单株材积	2		0.9765	0.9755	0.9012
	3	0.9969		0.9989	0.9591
	4	0.9999	0.9999		0.9606
	11	0.9616	0.9946	0.9890	

注:上三角为表型相关系数,下三角为遗传相关系数。

表 9 性状遗传力估测值

性状	1995 年			1996 年			1997 年			2004 年			
	树高	胸径	材积	树高	胸径	材积	树高	胸径	材积	树高	胸径	枝下高	材积
种源	0.7911	0.8552	0.7721	0.8187	0.9019	0.8378	0.8318	0.9345	0.8737	0.8967	0.9192	0.6864	0.8579
家系	0.6858	0.6237	0.6502	0.6823	0.4941	0.5540	0.7160	0.4100	0.6150	0.5494	0.5428	0.2281	0.5428
种源 CVg(%)	7.70	15.68	30.84	7.91	14.16	28.86	7.82	13.97	28.33	10.98	16.40	7.74	33.74

2.6 种源地理变异

在计算生长性状与纬度相关时,为消除海拔对纬度的影响,反映纬度的真实性,采用等效纬度^[12]。
用秃杉种源平均树高、胸径、单株材积、主成分遗传指数值与地理因子经度、等效纬度、海拔进行相关分析,结果表明(见表 10),所有相关系数不显著,因此生长性状与地理因子不存在显著相关,秃杉种源没有明显的变异规律。但从主成分遗传指数值可知,种源表现呈块状变化(表 5),贵州各种源生长表现较好,云南除腾冲种源外的各种源和湖北种源都较差。

表 10 种源与地理因子相关系数

地理因子	树高	胸径	枝下高	单株材积
经度	0.5997	0.6190	0.1276	0.5415
等效纬度	-0.3757	-0.6523	0.10301	-0.3234
海拔	-0.3396	-0.6179	0.2875	-0.2818

2.7 种源区划分

用芽、物候、苗高、11 年生生长性状等 11 个指标进行主成分分析,特征值及特征向量见表 11,第一、二主成分累积贡献率达 79%,用一、二主成分进行 PCA 法作图(见图 1),结合第一、二主成分聚类分析(见图 2),对秃杉进行种源区划分。由图 1、图 2 可知,秃杉种源可分为 3 个种源区,第 1 个种源区包括湖北利川种源,

第2个种源区包括云南昌宁、云南滕冲种源,第3个种源区包括云南龙陵、贵州丹、贵州格、贵州昂、贵州交种源。结合生长观测结果表明,第3个种源区种源在广东生长表现良好,适宜在广东引种推广。

表 11 特征值及特征向量

特征根 λ_i	5.29	3.38	1.57	0.51	0.19	0.05					
累积贡献率(%)	0.48	0.79	0.93	0.98	0.99	1.00					
分量来源	发芽率	发芽势	发芽速度	真叶始现	真叶全现	真叶数	苗始封顶	最大半月高生长	苗高	一年幼树抽高	一年幼树高
特征向量 L_{ij}	0.393	0.417	0.035	0.249	-0.169	-0.185	-0.300	0.301	0.261	0.387	0.383
	-0.006	0.037	0.502	-0.408	0.419	0.474	-0.355	0.102	0.192	0.039	0.070

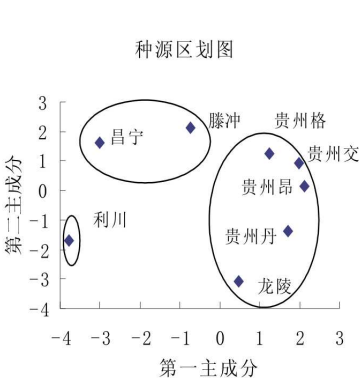


图 1 秃杉种源 PCA 二维排序图

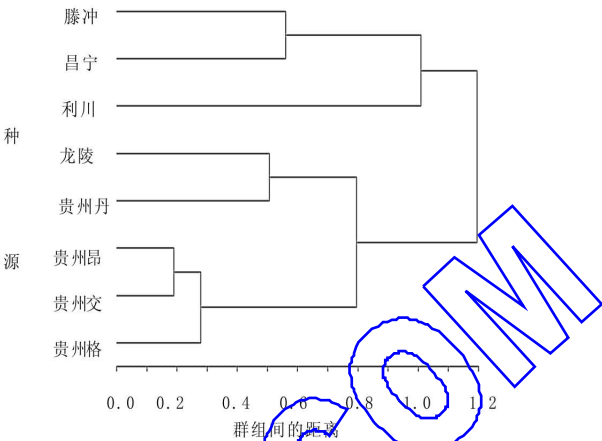


图 2 一、二主成分聚类图

3 结论与讨论

- 3.1 1993 年种源一家系试验种源间真叶全现、一年生幼树抽高、一年生幼树全高种源间差异显著,发芽率、发芽势差异不显著。秃杉平均发芽率 23.3%。秃杉 8 个种源地理生态因子与发芽、物候、苗高等 11 个指标中,除苗高、苗最大半月高生长与海拔相关显著外,其余相关都不显著。
- 3.2 11 年生种源一家系联合试验表明,种源间、家系/种源间生长性状差异显著,因此进行种源、家系选择有效。试验林种源平均树高、胸径、枝下高、单株材积为 8.62 m、9.70 cm、3.44 m、0.045 1 m³。在遗传方差中,种源方差分量所占比例较大,种源效应是最明显的,秃杉选择应着重于群体,充分利用种源变异选择优良种源,在此基础上选择优良家系,有助于提高选择效率。
- 3.3 优良种源有贵州交、贵州格、贵州昂、贵州丹、云南滕冲种源,秃杉优良种源平均单株材积遗传增益为 29.68%,实际增益为 34.60%。
- 3.4 年度间树高、胸径、单株材积相关显著。各性状遗传力值分别为 0.228 1~0.919 2,种源遗传力有随年龄增大而增大的趋势,各性状种源遗传力较高,年度间变化不大,表明秃杉幼龄具有较高的群体遗传稳定性,种源优劣分化较为稳定。生长性状与地理因子相关不显著,秃杉种源没有明显的变异规律。
- 3.5 秃杉种源可分为 3 个种源区,第 1 个种源区包括湖北利川种源,第 2 个种源区包括云南昌宁、云南滕冲种源,第 3 个种源区包括云南龙陵、贵州丹、贵州格、贵州昂、贵州交种源。结合生长观测结果表明,第 3 个种源区种源在广东生长表现良好,适宜在广东适生区域引种推广。