

湿地松引种家系的个体育种值评价*

谭志强¹ 邓乐平¹ 李义良² 陈秀云¹
李福明¹ 郭文冰² 赵奋成² 王哲²

(1. 台山市红岭种子园, 广东 江门 529223; 2. 广东省森林培育与保护利用重点实验室 / 广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520)

摘要 湿地松 *Pinus elliottii* 是引进树种, 遗传基础变窄是高世代育种面临的严重问题, 需要不断补充新的基因资源。研究对二十世纪 90 年代从美国引进的 126 个全同胞家系、32 个自由授粉家系湿地松种子营建的基因资源林进行了生长量调查分析, 结果显示, 与一代种子园和改良种子园生产的子代相比, 个体树高、胸径、材积的最大值和最小值均来自引进的子代群体, 表明新引进群体包含更多的遗传变异; 树高、胸径、材积的单株狭义遗传力范围分别为 0.323-0.417、0.218~0.392、0.255~0.426, 与其它报道范围一致, 生长量性状受中等程度的遗传控制。使用个体模型分别计算全同胞家系、半同胞家系所有个体的育种值并以材积育种值为标准进行了排名, 全同胞家系排名前 30 的个体集中在 7 个家系, 半同胞家系排名前 15 的集中在 5 个家系, 为保证更多的遗传多样性, 从这 12 个家系中选择 1~2 个个体补充到新一轮的育种群体中, 有效的拓宽现有湿地松育种群体的遗传背景。

关键词 湿地松; 引种; 遗传基础; 种子园

中图分类号: S791.24 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2021) 06-0030-08

Evaluation of Individual Breeding Value of *Pinus elliottii*'s Introduction Families

TAN Zhiqiang¹ DENG Leping¹ LI Yiliang² CHEN Xiuyun¹
LI Fuming¹ GUO Wenbing² ZHAO Fencheng² WANG Zhe²

(1. Hongling Seed Orchard, Taishan, Guangdong 529223, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/ Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract *Pinus elliottii* is an introduced tree species. The narrowing of the genetic basis is a serious problem faced by high-generation breeding, and new genetic resources need to be continuously supplemented. This study conducted a survey and analysis of the growth of genetic resource forests constructed by seeds of 126 all-sibling families and 32 open-pollinated families from the United States in the 1990s. The results showed that compared with the progeny produced by the first-generation seed orchard and the improved seed orchard, the maximum and minimum individual tree height, DBH, and volume all came from the introduced progeny population, indicating that the newly introduced population contains more genetic variation. The narrow-sense heritability ranges of tree height, DBH, and volume were 0.323-0.417, 0.218-0.392 and 0.255-0.426 respectively, which were consistent with other reports. The growth traits were under moderate genetic control. The individual models were used to calculate the breeding values of all individuals in the full-sib family and half-sib family and

* 基金项目: 广东省林业科技创新项目 (2019KJCX019)。

第一作者: 谭志强 (1984—), 男, 工程师, 主要从事林木遗传育种工作, E-mail: 448270073@qq.com。

通信作者: 王哲 (1989—), 男, 助理研究员, 主要从事松树遗传育种研究, E-mail: wangzhe@sinogaf.cn。

ranked based on the volume breeding value. The top 30 individuals in the full-sib family were concentrated in 7 families, and the top 15 individuals in the half-sib family were concentrated in 5 families. In order to ensure more genetic diversity, 1-2 individuals from these 12 families were selected to be added to the new round of breeding population. These individuals effectively broaden the genetic background of the existing *P. elliottii* breeding population.

Key words *Pinus elliottii*; introduction; genetic basis; seed orchard

湿地松 *Pinus elliottii* 原产美国东南部, 因其生长迅速、适应性强, 是人工造林的理想树种。我国最早引种湿地松, 可追溯到上世纪 30 年代初, 由旅美华侨肖德钦先生带回一批湿地松种子^[1]。经过几十年的引种试验和示范, 证明湿地松是很有推广价值的速生用材、松脂树种^[2-4]。从 1973 年开始, 陆续大量进口湿地松种子, 在我国广东、广西、湖南、湖北、江西、安徽等 13 省(区)广泛种植, 成为我国亚热带地区一个主要的造林树种^[5-7]。为了获得品质更好的湿地松种子, 广东、湖南、浙江、福建等省建立了湿地松种子园^[8-10]。广东省台山市红岭种子园是国家级林木良种繁育中心、全国特色种苗基地, 经过几代人努力, 建起国内的第一个湿地松初级种子园、一代种子园、改良种子园、精选种子园和二代种子园^[11-12]。然而, 湿地松作为外引树种, 建园材料大部分来自三四十年代引种的湿地松林分, 遗传背景窄, 解决这一问题的办法是从原产地继续引进新的基因资源。种子园于 1995 年从美国引进湿地松全同胞家系、半同胞家系种子, 开展试验与测定工作, 现对其进行个体育种评价, 筛选优良个体拓宽现有种子园遗传基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料概况

试验材料取自广东省台山市红岭种子园试验区内的湿地松种质资源林, 地理位置为 22°11'N, 112°49'E; 属亚热带海洋性气候, 年均温 21.8℃, 年积温 7 654℃, 无霜期 360 天, 年降雨量 1 940 mm; 平均海拔 30 m, 土壤为花岗岩发育的酸性砖红壤, pH 值 5.0~5.5, 土层深厚。

该湿地松种质资源林于 1997 年 6 月种植, 种子来源为美国, 共 126 个全同胞家系、32 个自由授粉家系。试验设计为随机完全区组设计, 1~4 株单行小区, 15 个区组, 每个家系的设计总株数

40 株。试验林地势平缓, 前茬为湿地松人工林。造林前除杂、炼山、挖穴, 穴规格为 40 cm × 40 cm × 30 cm, 株行距 3 m × 3 m。试验林四周种植 2 行湿地松作为保护行。同期还种植了改良代种子园混合种子、湿地松一代种子园 10 个湿地松混合家系的林分作为生长量对比。

1.2 数据获取与统计分析

2014 年 11 月, 对种质资源林进行每木检尺, 树高 H 测量采用超声波测高测距仪 (Haglöf Vertex IV, 瑞典), 1.3 m 处胸径 DBH 采用测围尺, 利用形数公式换算单株材积 Vol。

利用统计软件 Asreml-R 3.0 的个体模型对亲本、个体的育种值作分析^[13], 半同胞家系与全同胞家系个体模型采用的线性模型分别为:

$$y_{ijk} = \mu + B_i + T_{ijk} + BP_{ik} + e_{ijk} \dots\dots\dots (1)$$

$$y_{ijk} = \mu + B_i + T_{ijk} + MD_{jk} + e_{ijk} \dots\dots\dots (2)$$

式(1)、(2)中, y_{ijk} 为单株观测值, μ 为群体平均值, b_i 为区组效应, T_{ijk} 为加性遗传效应, MD_{jk} 为显性效应, BP_{ij} 为区组内的小区效应, e_{ijk} 为误差效应。其中, 除均值外的因素为随机效应。计算时, 先根据父母本与子代关系求得子代个体对应谱系的逆矩阵。采用 coef 语句求得母本一般配合力 GCA, 再根据均值换算育种值 BA。BA 的精确度估算采用:

$$\text{Corr} = \sqrt{1 - \frac{S^2}{(1+F) \times \sigma_A^2}} \dots\dots\dots (3)$$

式(3)中, S 为预测育种值的标准误, F 为近交系数, σ_A^2 为加性方差。

2 结果与分析

2.1 湿地松种质资源总体表现

对早期引种的 158 个湿地松家系、改良的混

合种子、湿地松一代种子园 10 个湿地松混合家系生长量进行了比较,结果显示广东改良的家系在树高、胸径、材积均值上高于引种家系,引种家系与一代种子园种子的均值相似。引种家系的最大值高于改良家系与一代混合种子,最小值小于改良家系与一代混合种子,说明引种的家系中变异丰富,并且存在优良的种质,可通过选优,作为新一轮育种材料的增补。

使用 Asreml-R 软件的个体模型对引种湿地松

半同胞家系和全同胞家系进行遗传参数估算时,全同胞家系 3 个性状的家系效应均不显著,半同胞家系中区组效应不显著,最终模型的各项效应估算值如表 2 所示。

根据模型各项效应的估算值,计算半同胞家系树高、胸径、材积的单株狭义遗传力分别为 0.323、0.218、0.255;全同胞家系树高、胸径、材积的单株狭义遗传力分别为 0.417、0.392、0.426 (表 3)。在此基础上进一步计算遗传变异系数,成

表 1 3 个湿地松子代群体的生长表现

Table 1 Growth performance of three progeny populations of *Pinus elliottii*

性状 Trait	家系类型 Family type	均值 Average	最大值 Max	最小值 Min	标准差 SD	变异系数 / % Coefficient of variation
树高 /m <i>H</i>	早期引种家系	12.96	17.50	6.40	1.40	10.83
	改良代家系	13.26	16.60	9.90	1.35	10.20
	一代种子园混合种子	12.64	16.00	6.50	1.40	11.08
胸径 /cm DBH	早期引种家系	18.28	32.50	7.10	3.47	18.98
	改良代家系	19.24	28.30	11.50	3.41	17.75
	一代种子园混合种子	18.74	28.40	9.20	3.56	19.00
材积 /m ³ Vol	早期引种家系	0.181	0.620	0.010	0.083	45.71
	改良代家系	0.204	0.470	0.060	0.086	41.97
	一代种子园混合种子	0.185	0.430	0.020	0.081	43.82

注:加粗为突出显示。

Note: bold for highlight.

表 2 个体模型中各项效应的估算值

Table 2 Estimated value of each effect in the individual model

性状 Trait	效应 Effect	全同胞家系 Full-sib family			半同胞家系 Half-sib family		
		组分 Component	标准误 Std.error	Z 比值 z.ratio	组分 Component	标准误 Std.error	Z 比值 z.ratio
树高 /m <i>H</i>	rep!rep.var	0.051	0.020	2.588	-	-	-
	ped(id)!ped	0.828	0.150	5.534	0.656	0.260	2.525
	R!variance	1.156	0.087	13.259	1.376	0.168	8.167
胸径 /cm DBH	rep!rep.var	0.282	0.112	2.517	1.616	0.748	2.162
	ped(id)!ped	4.493	0.827	5.430	2.986	1.378	2.167
	R!variance	6.973	0.491	14.194	10.728	1.028	10.435
材积 /m ³ Vol	rep!rep.var	0.000 119	0.000 051 0	2.333	0.000 805	0.000 396	2.033
	ped(id)!ped	0.002 68	0.000 487	5.514	0.002 40	0.001 03	2.329
	R!variance	0.003 61	0.000 282	12.811	0.007 00	0.000 73	9.640

注:效应一栏里 rep!rep.var 代表区组效应, ped(id)!ped 代表个体效应, R!variance 代表残差, Z 比值是组分与标准误的比值。

Note: in the effect column, rep!rep.var represents the block effect, ped(id)!ped represents the individual effect, and R!variance represents the residual, and z.ratio is the ratio of component to its standard error.

林树高趋于稳定，树高的变异较小，这也体现在两种家系的树高性状遗传变异系数（6%，表3），材积的遗传变异较丰富，因此将材积性状作为后续育种值排名的依据更可靠。对育种值计算的精确度估算结果显示，半同胞家系个体育种值精确度范围较大，为0.4~0.9，主要集中在0.5~0.6，而全同胞家系个体育种值精确度范围较集中，均在0.8~0.9（图1）。

个体模型可同时评价亲本与子代的育种值，126个全同胞家系中，有7个家系材积性状的个体

育种值排名在前30位，个体育种值高的个体集中在家系28、52、63中（表4）。前30名优良个体来源的家系中，28、52、63、96、107这5个家系的材积性状在家系育种值排名中也在前30个内（表5），但家系13与48的家系育种值表现一般，这说明家系整体表现一般的，也存在可作为优良亲本的个体。考虑到遗传多样性，从前30名的个体中选择了7个个体进入新一轮育种群体。

半同胞家系的表现与全同胞相似，排名前15名的个体集中在127、136、140、141和144上

表3 湿地松引种家系遗传参数估算
Table 3 Estimation of genetic parameters of *Pinus elliottii* Introduced families

家系 Family	树高 <i>H</i>		胸径 DBH		材积 Vol	
	单株狭义遗传力 Individual plant narrow heritability	遗传变异系数 /%Genetic variation coefficient	单株狭义遗传力 Individual plant narrow heritability	遗传变异系数 /%Genetic variation coefficient	单株狭义遗传力 Individual plant narrow heritability	遗传变异系数 /%Genetic variation coefficient
半同胞家系	0.323	6.12	0.218	8.86	0.255	23.3
全同胞家系	0.417	6.89	0.392	11.1	0.426	28.0

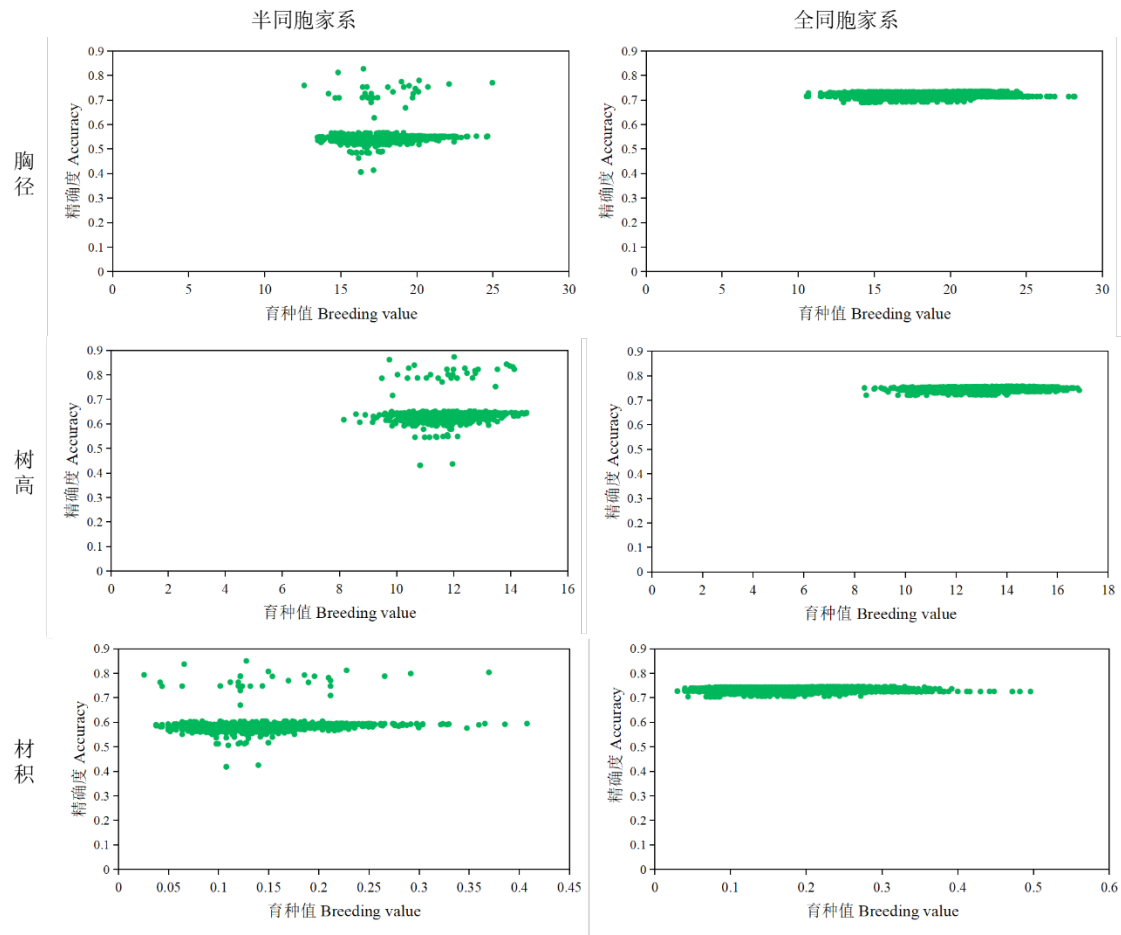


图1 湿地松引种家系个体育种值计算精确度分布

Figure 1 Distribution map of calculation accuracy of individual breeding value of *Pinus elliottii* introduced families

表 4 湿地松全同胞家系材积性状育种值排名前 30 的个体
Table 4 Top 30 individuals with breeding value for volume trait of full-sib *Pinus elliottii* families

家系 Family	个体 Individual	材积 Vol			胸径 DBH			树高 <i>H</i>			入选 Select
		育种值 BA ± SE	精确度 Corr	排名 Rk	育种值 BA ± SE	精确度 Corr	排名 Rk	育种值 BA ± SE	精确度 Corr	排名 Rk	
13	1761	0.356 ± 0.032	0.74	27	24.41 ± 1.32	0.73	27	14.72 ± 0.57	0.75	213	Y
28	1424	0.392 ± 0.032	0.74	10	24.60 ± 1.34	0.73	24	16.79 ± 0.58	0.75	3	
	1149	0.376 ± 0.032	0.74	15	24.60 ± 1.34	0.73	23	16.35 ± 0.58	0.75	10	Y
	1292	0.370 ± 0.032	0.74	17	24.41 ± 1.34	0.73	28	16.24 ± 0.58	0.75	15	
	993	0.364 ± 0.032	0.74	19	24.34 ± 1.34	0.73	31	16.15 ± 0.58	0.75	18	
	848	0.362 ± 0.032	0.74	20	23.97 ± 1.34	0.73	41	16.54 ± 0.58	0.75	6	
	1295	0.362 ± 0.032	0.74	21	24.08 ± 1.34	0.73	37	16.33 ± 0.58	0.75	11	
	994	0.360 ± 0.032	0.74	24	23.89 ± 1.34	0.73	43	16.64 ± 0.58	0.75	4	
48	800	0.362 ± 0.032	0.74	23	23.70 ± 1.34	0.72	50	15.52 ± 0.58	0.75	63	Y
52	1098	0.448 ± 0.033	0.73	4	26.34 ± 1.36	0.71	7	16.81 ± 0.59	0.74	2	Y
	1250	0.442 ± 0.033	0.73	5	26.60 ± 1.36	0.71	5	16.28 ± 0.59	0.74	14	
	1386	0.412 ± 0.033	0.73	8	25.92 ± 1.36	0.71	8	15.92 ± 0.59	0.74	31	
	1099	0.400 ± 0.033	0.73	9	25.07 ± 1.36	0.71	14	16.86 ± 0.59	0.74	1	
	1385	0.388 ± 0.033	0.73	11	25.22 ± 1.36	0.71	11	15.92 ± 0.59	0.74	32	
	945	0.382 ± 0.033	0.73	12	24.74 ± 1.36	0.71	21	16.37 ± 0.59	0.74	9	
	1530	0.376 ± 0.033	0.73	16	24.79 ± 1.36	0.71	18	15.98 ± 0.59	0.74	24	
	944	0.362 ± 0.033	0.73	22	24.37 ± 1.36	0.71	29	16.03 ± 0.59	0.74	19	
63	2417	0.496 ± 0.033	0.73	1	28.17 ± 1.36	0.71	1	15.42 ± 0.59	0.74	72	Y
	2681	0.482 ± 0.033	0.73	2	27.78 ± 1.36	0.71	3	15.71 ± 0.59	0.74	42	Y
	2593	0.472 ± 0.033	0.73	3	28.10 ± 1.36	0.71	2	15.46 ± 0.59	0.74	67	
	2874	0.430 ± 0.033	0.73	6	26.86 ± 1.36	0.71	4	15.15 ± 0.59	0.74	100	
	2504	0.416 ± 0.033	0.73	7	26.52 ± 1.36	0.71	6	15.06 ± 0.59	0.74	116	
	2680	0.382 ± 0.033	0.73	13	25.68 ± 1.36	0.71	9	14.88 ± 0.59	0.74	156	
	2969	0.366 ± 0.033	0.72	18	25.10 ± 1.36	0.71	13	14.80 ± 0.59	0.74	183	
	2873	0.358 ± 0.033	0.73	26	25.01 ± 1.36	0.71	16	14.66 ± 0.59	0.74	239	
	2503	0.352 ± 0.033	0.73	28	24.79 ± 1.36	0.71	19	14.72 ± 0.59	0.74	217	
	2776	0.352 ± 0.033	0.73	29	24.77 ± 1.36	0.71	20	14.71 ± 0.59	0.74	220	
	2592	0.352 ± 0.033	0.73	30	25.13 ± 1.36	0.71	12	14.53 ± 0.59	0.74	295	
96	2577	0.380 ± 0.033	0.73	14	25.42 ± 1.36	0.71	10	14.97 ± 0.59	0.74	131	Y
107	270	0.360 ± 0.032	0.74	25	24.07 ± 1.33	0.73	38	14.98 ± 0.58	0.75	125	Y

注：Y 表示入选育种群体。

Note: Y represents the selected breeding population.

表 5 湿地松全同胞家系材积性状育种值排名前 30 的家系
Table 5 The top 30 *Pinus elliottii* full-sib families with the breeding value of volume trait

家系 Family	材积 Vol			胸径 DBH			树高 <i>H</i>		
	育种值 BA ± SE	精确度 Corr	排名 Rk	育种值 BA ± SE	精确度 Corr	排名 Rk	育种值 BA ± SE	精确度 Corr	排名 Rk
63	0.204 ± 0.010	0.976	1	19.02 ± 0.43	0.98	1	13.05 ± 0.16	0.98	4
28	0.196 ± 0.010	0.977	2	18.70 ± 0.42	0.98	3	12.96 ± 0.15	0.98	12
52	0.196 ± 0.010	0.975	3	18.74 ± 0.43	0.98	2	13.04 ± 0.16	0.98	5
3	0.190 ± 0.010	0.979	4	18.52 ± 0.40	0.98	5	13.09 ± 0.15	0.99	1
107	0.190 ± 0.010	0.977	5	18.65 ± 0.41	0.98	4	12.93 ± 0.15	0.98	22
26	0.186 ± 0.010	0.977	6	18.50 ± 0.42	0.98	7	12.96 ± 0.15	0.98	13
51	0.186 ± 0.010	0.978	7	18.45 ± 0.41	0.98	9	13.03 ± 0.15	0.98	6
56	0.186 ± 0.010	0.978	8	18.40 ± 0.41	0.98	11	13.07 ± 0.15	0.98	2
76	0.186 ± 0.010	0.978	9	18.51 ± 0.41	0.98	6	13.03 ± 0.15	0.98	7
25	0.184 ± 0.010	0.976	10	18.43 ± 0.42	0.98	10	12.92 ± 0.16	0.98	25
96	0.184 ± 0.010	0.975	11	18.34 ± 0.43	0.98	13	12.94 ± 0.16	0.98	20
102	0.184 ± 0.010	0.975	12	18.36 ± 0.43	0.98	12	12.95 ± 0.16	0.98	15
106	0.184 ± 0.010	0.979	13	18.32 ± 0.40	0.98	14	12.95 ± 0.15	0.99	16
123	0.184 ± 0.010	0.979	14	18.48 ± 0.40	0.98	8	13.02 ± 0.15	0.99	8
34	0.182 ± 0.010	0.978	15	18.28 ± 0.41	0.98	17	12.92 ± 0.15	0.99	26
111	0.182 ± 0.010	0.976	16	18.26 ± 0.43	0.98	22	12.94 ± 0.16	0.98	21
27	0.180 ± 0.010	0.978	17	18.27 ± 0.41	0.98	20	12.90 ± 0.15	0.99	35
29	0.180 ± 0.010	0.977	18	18.26 ± 0.41	0.98	21	12.90 ± 0.15	0.98	33
32	0.180 ± 0.010	0.978	19	18.17 ± 0.40	0.98	26	13.07 ± 0.15	0.99	3
45	0.180 ± 0.010	0.975	20	18.23 ± 0.43	0.98	23	12.90 ± 0.16	0.98	31
57	0.180 ± 0.010	0.975	21	18.22 ± 0.43	0.98	25	12.96 ± 0.16	0.98	14
86	0.180 ± 0.010	0.976	22	18.29 ± 0.42	0.98	16	12.90 ± 0.15	0.98	32
100	0.180 ± 0.010	0.977	23	18.27 ± 0.42	0.98	18	12.92 ± 0.15	0.98	24
113	0.180 ± 0.010	0.977	24	18.30 ± 0.41	0.98	15	12.94 ± 0.15	0.98	18
115	0.180 ± 0.010	0.978	25	18.23 ± 0.41	0.98	24	12.93 ± 0.15	0.99	23
19	0.178 ± 0.010	0.977	26	17.96 ± 0.42	0.98	56	13.00 ± 0.15	0.98	10
36	0.178 ± 0.010	0.977	27	18.06 ± 0.42	0.98	41	13.00 ± 0.15	0.98	9
93	0.178 ± 0.010	0.976	28	18.15 ± 0.43	0.98	28	12.86 ± 0.16	0.98	55
101	0.178 ± 0.010	0.976	29	18.27 ± 0.43	0.98	19	12.80 ± 0.16	0.98	76
5	0.176 ± 0.010	0.977	30	18.04 ± 0.41	0.98	42	12.89 ± 0.15	0.98	43

(表 6), 从每个家系选择 1~2 个个体, 共 7 个优良个体, 入选新一轮育种群体。对其它半同胞、全同胞家系个体, 采用生长量育种值排名靠前、综合性状表现优良的原则进行优树选择。

3 结论与讨论

作为引种树种, 遗传背景越来越窄是必须面对的难题, 需要通过不断从原产地引进新的种质资源拓宽遗传背景。从生长数据上来看, 一代种子园混合种子的生长量与引种家系相当, 改良代家系的生长量明显高于引种家系和一代种子园, 邓乐平等^[12]通过比较改良种子园与一代种子园子代 4、13、18 年生时的单株材积, 显示增益达到 15.08%~25.66%。引种家系优良个体的生长量大于

选育的家系, 且最差的个体生长量也低于改良代家系和一代种子园, 表明引种家系包含更多的遗传变异, 优良种质可以在一定程度拓宽现有种子园的遗传基础。

林木中大多生长量性状是数量性状, 因此大部分林木生长量性状的狭义遗传力为 0.1~0.3^[14]。Dorman 等^[15]总结湿地松树高、胸径、材积狭义遗传力范围分别为 0.03~0.37、0.22~0.58、0.16~0.35。赵奋成等^[16]对种子园内 60 个湿地松自由授粉家系进行了多年持续观察, 其树高、胸径、材积单株狭义遗传力范围分别为 0.27~0.46、0.21~0.38、0.25~0.4, 本研究结果显示半同胞家系和全同胞家系的三个性状的单株遗传力均在此范围内, 其中全同胞家系材积的单株遗传力相对最

表 6 湿地松半同胞家系材积生长量育种值排名前 15 的个体
Table 6 Top 15 individuals with breeding value for volume trait of half-sib *Pinus elliotii* families

家系 Family	个体 Individual	材积 Vol			胸径 DBH			树高 H			入选 Select
		育种值 BA ± SE	精确度 Corr	排名 Rk	育种值 BA ± SE	精确度 Corr	排名 Rk	育种值 BA ± SE	精确度 Corr	排名 Rk	
127	3035	0.408 ± 0.039	0.59	1	24.65 ± 1.40	0.55	1	14.39 ± 0.62	0.65	4	Y
	3494	0.386 ± 0.039	0.59	2	24.58 ± 1.40	0.55	2	13.18 ± 0.62	0.64	85	Y
	3202	0.366 ± 0.039	0.59	3	23.91 ± 1.40	0.55	3	14.17 ± 0.62	0.65	9	
	3573	0.330 ± 0.039	0.59	6	23.25 ± 1.40	0.55	5	13.68 ± 0.62	0.64	26	
	3363	0.304 ± 0.039	0.59	10	23.33 ± 1.40	0.55	4	12.40 ± 0.62	0.64	277	
	3344	0.300 ± 0.039	0.59	12	22.91 ± 1.41	0.55	6	13.30 ± 0.62	0.64	66	
	3034	0.298 ± 0.039	0.59	14	22.41 ± 1.40	0.55	15	13.83 ± 0.62	0.65	19	
	3616	0.298 ± 0.039	0.59	15	22.47 ± 1.40	0.55	12	13.36 ± 0.62	0.64	60	
	3034	0.298 ± 0.039	0.59	14	22.41 ± 1.40	0.55	15	13.83 ± 0.62	0.65	19	
	3616	0.298 ± 0.039	0.59	15	22.47 ± 1.40	0.55	12	13.36 ± 0.62	0.64	60	
136	3224	0.348 ± 0.039	0.58	5	22.44 ± 1.43	0.53	13	14.11 ± 0.63	0.63	14	Y
140	3070	0.324 ± 0.039	0.59	8	22.51 ± 1.40	0.55	11	14.15 ± 0.62	0.64	11	
	3507	0.322 ± 0.039	0.59	9	22.54 ± 1.41	0.55	10	13.39 ± 0.62	0.64	55	Y
	3508	0.304 ± 0.039	0.59	11	21.69 ± 1.41	0.55	22	14.18 ± 0.62	0.64	8	Y
141	3592	0.360 ± 0.039	0.59	4	22.63 ± 1.41	0.55	7	14.47 ± 0.62	0.64	3	Y
	3316	0.328 ± 0.039	0.59	7	22.56 ± 1.41	0.55	9	14.21 ± 0.62	0.64	7	
144	3705	0.300 ± 0.039	0.58	13	21.43 ± 1.42	0.53	27	13.76 ± 0.63	0.63	21	Y

注: Y 表示入选育种群体。

Note: Y represents the selected breeding population.

高(0.426),这可能与试验地只有一个地点有关。总体来说,湿地松生长量性状受中等程度的遗传控制,经过选择可获得一定的遗传增益。

在Asreml里,使用个体模型计算时,输入了子代对应的谱系,通过MME方程的求解,可同时获得子代个体和母本的育种值。通过对子代个体育种值的排名情况,可以直接筛选优良单株^[13]。项目引进湿地松的材料是种子,没有其亲本的材料,所以并没有计算亲本的育种值,只计算子代的育种值并排名。由于全同胞家系拥有更详细的谱系信息,计算出来的育种值精确度要高于半同胞家系。本研究以材积育种值为排名的标准,对应个体的胸径性状育种值排名也靠前,树高性状部分个体的育种值排名却相对不高,这可能与两个原因有关,一是树高对材积的影响只占小部分;二是树高测量的误差相对更大。随着分子标记技术的广泛应用,本研究下一步将利用分子标记确定入选个体的谱系关系、遗传距离,为拓宽湿地松种子园遗传基础提供科学依据。引进的湿地松种质宝贵的基因资源,目前只利用其生长性状的优良个体,在将来会对其他例如产脂量、抗性等有价值的性状进行评价,其丰富变异等待进一步挖掘利用。

参考文献

- [1] 朱志淞,丁衍畴.湿地松[M].广东:广东科技出版社,1993: 62-75.
- [2] 江西吉安专区林科所.湿地松在江西吉安引种成功[J].林业实用技术,1966(20): 3.
- [3] 江苏省老山林场.引种湿地松二十三年[J].林业科技资料,1974(1): 18-25.
- [4] 海南林科所.湿地松引种试验小结[J].热带林业科技,1974(2): 26-29.
- [5] 丁伟,谷振军,黄文晖,等.美国引种湿地松在赣南地区生长适应性评价[J].南方林业科学,2020,48(5): 37-40.
- [6] 龙晓飞.湿地松在贵州国有龙里林场不同海拔造林试验研究[J].绿色科技,2019(3): 128-130.
- [7] 袁慧,方丽丹,雷清虎,等.不同种源湿地松种子性状及苗期生长比较[J].湖北林业科技,2020,49(1): 8-10; 85.
- [8] 朱志淞,李宪政,任海丽,等.台山红岭湿地松种子园的营建和经营管理技术阶段总结[J].广东林业科技,1990(3): 1-4.
- [9] 叶建仁,韩政敏,李传道,等.湿地松、火炬松种源抗褐斑病试验和抗病优树选择[J].南京林业大学学报(自然科学版),1986(2): 27-36.
- [10] 韩宁林,赵锦年,刘昭息,等.长乐林场湿地松种子园种子丰产技术研究[J].林业科学研究,1997(1): 70-75.
- [11] 黄永权,林新,王华南,等.联合国援助我国湿地松火炬松改良种子园项目实施的技术措施及其成果[J].广东林业科技,1998(2): 46-51.
- [12] 邓乐平,黄婷,王哲,等.湿地松改良种子园无性系的遗传评价及新一轮育种亲本选择[J].林业与环境科学,2020,36(4): 1-7.
- [13] 林元震.R与ASReml-R统计分析教程[M].北京:中国林业出版社,2016: 496-542.
- [14] 怀特TL,亚当斯WT,尼尔DB.森林遗传学[M].崔建国,李火根,译.北京:科学出版社,2013: 101-130.
- [15] DORMAN K W, SQUILLACE A E. Genetics of slash pine[M]. US Department of Agriculture, Forest Service, 1974: 8-9.
- [16] 赵奋成,林昌明,吴惠姗,等.湿地松生长性状遗传参数的年度变化趋势[J].广东林业科技,2015,31(5): 1-7.