

陕西省油松不同种源和家系苗期性状的遗传变异分析

张 锁,樊军锋,刘永红,杨培华

(西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】通过对苗期油松生长性状和生物量性状的测定与分析,初步评选出陕西省的油松优良种源和家系。【方法】采集陕西洛南、黄龙、太白、宁陕、黄陵和富县 6 个种源地的 82 株油松自由授粉优树种子,采用完全随机区组设计进行容器育苗试验,测定各家系 2 年生油松实生苗的株高、地径、主根长、地上部鲜质量和干质量、地下部鲜质量和干质量及侧根数,对测定性状进行方差分析、遗传变异分析、遗传相关分析,并采用综合选择指数评选优良种源和家系。【结果】所测定的油松实生苗性状在种源内家系间的差异均达极显著水平,同时除主根长外,其余 7 个性状在种源间的遗传差异也均达极显著水平;家系间油松实生苗的株高、地径、地上部干质量和鲜质量及地下部鲜质量和干质量两两间遗传相关均达到极显著水平,其中地上部和下部干质量、鲜质量 4 者间遗传相关系数 ≥ 0.813 ;家系间油松实生苗主根长和侧根数的遗传变异系数均较小,分别为 7.976% 和 11.275%;家系间油松实生苗的地上部鲜质量与地上部干质量、地下部鲜质量与地下部干质量的相关遗传力均较大,分别为 0.754 和 0.750,但是均小于其对应的家系遗传力,所以不适宜进行间接选择;运用综合指数选择法评选出 17 个油松优良家系,所选家系各性状值均明显优于 82 个家系各性状的平均值。【结论】洛南种源为陕西油松种子园建设的优选种源;选出了 17 个油松优良家系。

【关键词】 油松实生苗;家系遗传变异;遗传相关分析;指数选择

【中图分类号】 S791.254.04

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)04-0064-07

Genetic variation analysis of seedling characteristics among different provenances and families of *Pinus tabulaeformis* in Shaanxi Province

ZHANG Suo, FAN Jun-feng, LIU Yong-hong, YANG Pei-hua

(College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The superior provenances and families of *Pinus tabulaeformis* were selected by the determination of growth and biomass characters at seedling stage. 【Method】 The open pollinated seeds of 82 *P. tabulaeformis* families were collected from Luonan, Huanglong, Taibai, Ningshan, Huangling and Fuxian in Shaanxi Province; Seedling cultivation was conducted in container nursery with complete random block design. Height, ground-diameter, main root length, shoot fresh weight, shoot dry weight, root fresh weight, root dry weight and the number of side root of 2-year-old seedlings were determined and studied through variance analysis, genetic variation analysis and genetic correlation analysis. And the superior families were selected through the method of comprehensive selection index. 【Result】 The study demonstrated that highly significant differences in 7 characters were observed between different provenances, except main root length, while highly significant differences in 8 characters were observed between different families. The genetic correlations were closely related to each character of the families. The coefficients of genetic correlate was more than 0.813 among fresh shoot weight, fresh root weight, dry shoot weight and dry root

* [收稿日期] 2009-10-09

[基金项目] 国家林业局推广项目 2006-85

[作者简介] 张 锁(1984—),男,陕西延安人,在读硕士,主要从事林木遗传改良研究。E-mail: sullivan53374388@163.com

[通信作者] 樊军锋(1962—),男,陕西扶风人,研究员,硕士生导师,主要从事林木遗传改良研究。E-mail: fanjf@sina.com

weight. The coefficients of genetic variation of main root length and the number of side root was lower, which was 7.976% and 11.275% respectively. Correlation heritability between fresh shoot weight and dry shoot weight was high, but lower than family heritability of fresh shoot weight and dry shoot weight, the correlation between fresh root weight and dry root weight was the same, so indirect selection was not taken. 17 superior families were selected with index selection, and characters of families selected were superior than the average 82 families. 【Conclusion】 Luonan is a superior provenance in *Pine* seed orchard establishment in Shaanxi province, and 17 families selected are superior families .

Key words: seeding of *Pinus tabulaeformis*; family genetic variation; genetic correlation analysis; index selection

油松生长快、材质好、耐干旱、耐瘠薄,天然分布于我国北方的 14 个省(区),是特有的材用树种,也是北方各省区的主要造林树种^[1]。1978 年,王思恭等^[2]首次在陕西开展了油松种源试验,通过连续 2 年的苗期测定发现,采自我国 8 个省份的 19 个油松种源间苗高差异显著。2005 年,刘永红等^[3]在油松单亲子代苗期生长性状遗传分析中指出,油松苗高和地径的遗传力均较高,并运用生长量指数,评选出了 46 个优良家系。2008 年,韩创举等^[4]在油松半同胞家系苗期生长性状遗传分析中指出,油松家系间 1 年生和 2 年生苗高、地径差异显著,并选择出配合力高的优良家系。然而在既有的研究报道中,对油松优良家系的选择大多仅考虑了生长性状,综合考虑生长性状和生物量性状的研究报道不多。而仅从单方面性状选择而建立的油松种子园,势必会造

成树木生长势弱、适应性差等一些问题出现,这些问题的产生除了管理方面的部分因素外,大多与其自身的遗传型有关^[5]。本研究对采自陕西 6 个种源地的 82 个油松自由授粉家系的 2 年生实生苗进行测定,分析比较油松家系间苗期生长性状和生物量性状的遗传力等参数,并利用指数选择法,初步评选出生长性状和生物量性状兼优的家系,旨在为制定正确的油松育种方案提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料来源

参试的 82 个油松自由授粉家系种子,于 2005 年分别采自陕西省的洛南、黄龙、太白、宁陕、黄陵和富县 6 个种源地,各种源地的地理气候因子和所采家系数见表 1。

表 1 6 个油松种源地的地理气候因子和所采家系数

Table 1 Climatic and geographical factors in 6 seed collecting sites and families' number collected

种源 Provenance	北纬/(°) Latitude	东经(°) Longitude	海拔/m Altitude	年均温/℃ Annual temperature	≥10℃年 积温/℃ Annual accumulated temperature	年降水量/mm Annual precipitation	无霜期/d Frostless period	家系数 Family number
洛南(L) Luonan	34.34	110.18	1 212	11.5	3 366	770	190	15
黄龙(H) Huanglong	35.82	109.75	1 360	8.6	2 927	602	158	15
太白(T) Taibai	33.82	107.18	1 413	9.2	2 300	751	158	15
宁陕(XY) Ningshan	33.53	108.56	1 391	12.4	3 847	899	215	20
黄陵(Q) Huangling	35.64	108.76	1 200	9.4	3 559	631	172	12
富县(C) Fuxian	35.99	108.67	1 396	8.9	3 276	600	130	5

1.2 试验地点

试验地设在西北农林科技大学林学院苗圃。该地区属温带气候区,海拔 730 m,年平均气温 12.4℃,1 月平均气温-2.1℃,7 月平均气温 26.3℃,≥10℃年积温 4 030℃,年平均降水量 592 mm,且 70%降水量集中在夏秋季节,土壤为黄土。

1.3 试验方法

2006 年春季进行大田营养袋育苗。种源内各油松家系随机区组排列,每小区 20 袋,每袋播 3~4

粒种子,重复 3 次。播种前各家系种子先用 10 g/L 高锰酸钾溶液消毒 30 min,清水冲洗后催芽,待 70%种子露白时播种,出苗后注意灌水、喷药和除草。2008-10 调查株高和地径,每小区调查 10 株,每个家系选 30 株取平均值。2009-03-05,每小区随机选取 3 株,每个家系共选 9 株带土实生苗进行生物量测定。

1.4 表型性状的测定方法

株高、地径和主根长用电子游标卡尺测量,精确

到 0.01 mm。地上部和地下部干、鲜质量的测定方法:先将苗木分为地上部分和地下部分,用精度为 1/1 000 的电子天平称其鲜质量;再将地上和地下部分分别剪成 1 cm 长的小段,放入编号的信封中封口,(105±1)℃杀青 30 min 后,于(80±1)℃烘干至质量恒定,用精度为 1/10 000 的电子天平称其干质量。统计实生苗地下部分侧根长度≥1 cm 的侧根数量,计为侧根数。

1.5 油松不同种源、家系各性状的遗传变异分析

1.5.1 方差分析 各性状采用 SPSS 12.0 线性模型嵌套设计进行方差分析,多重比较采用 LSD 测验。家系性状方差分析采用线性固定模型: $Y_{ij}=u+B_i+F_j+E_{ij}$,其中: Y_{ij} 为第*i*个重复第*j*个家系的观测值, u 为性状总体平均值, B_i 为重复效应值, F_j 为家系效应值, E_{ij} 为环境误差。

1.5.2 相关分析 性状*x*与性状*y*的遗传相关系数 $r_{g(xy)}$ 和相关遗传力 h_{xy} 的计算公式为^[6]:

$$r_{g(xy)}=\frac{\text{cov}(g_x,g_y)}{\sigma_{g(x)}\cdot\sigma_{g(y)}},h_{(xy)}=\frac{\text{cov}(g_x,g_y)}{\sigma_{p(x)}\cdot\sigma_{p(y)}}.$$

式中:cov(g_x,g_y)为性状*x*和*y*的遗传协方差, $\sigma_{g(x)}$ 为性状*x*的遗传标准差, $\sigma_{g(y)}$ 为性状*y*的遗传标准差, $\sigma_{p(x)}$ 为性状*x*的表型标准差, $\sigma_{p(y)}$ 为性状*y*的表型标准差。

1.5.3 遗传参数 遗传参数分别按下式计算:

$$h_f^2=\frac{\sigma_f^2}{\sigma_f^2+\sigma_e^2},h_i=\frac{4\sigma_f^2}{\sigma_f^2+\sigma_e^2},GCV=\frac{\sigma_{g(x)}}{x}\times100\%,$$

表 2 种源间油松实生苗生长性状与生物量性状的比较分析

Table 2 Comprative analysis of growth characters and biomass characters of seeding of *Pinus tabulaeformis* from different provenances

种源 Provenance	株高/cm Height	地径/mm Ground diameter	主根长/cm Main root length	地上部 鲜质量/g Shoot fresh weight	地上部 干质量/g Shoot dry weight	地下部 鲜质量/g Root fresh weight	地下部 干质量/g Root dry weight	侧根数 The number of side root
洛南 Luonan	16.25±5.3 aA	4.95±1.1 aA	21.69±6.8 aA	6.24±3.5 aA	2.99±1.7 aA	2.46±1.4 aA	1.34±0.7 aA	17.42±3.1 abAB
黄龙 Huanglong	9.85±2.5 cB	4.15±1.8 bB	22.54±6.9 aA	3.10±1.4 bB	1.80±0.7 bB	1.50±0.6 bB	1.08±0.3 bB	16.10±3.4 bcABC
太白 Taibai	12.24±4.3 bB	3.96±1.0 bcBC	19.89±5.1 aA	5.69±2.5 aAB	2.42±1.1 abAB	2.06±0.8 abAB	0.93±0.4 bAB	15.33±3.6 cC
宁陕 Ningshan	10.52±3.3 cB	3.55±0.9 cC	21.47±6.8 aA	3.41±1.8 bB	1.68±0.8 bB	1.40±0.7 bB	0.91±0.4 bB	15.65±3.1 bcC
黄陵 Huangling	11.11±3.4 bcB	3.75±0.8 cC	20.78±6.2 aA	3.48±1.9 bB	1.74±1.1 bB	1.55±0.7 bB	0.88±0.3 bB	17.65±2.9 aA
富县 Fuxian	11.18±2.8 bcB	3.51±0.9 cC	21.42±5.9 aA	3.36±3.5 bB	1.66±1.5 bB	1.60±1.1 bB	0.83±0.5 bB	14.40±2.9 cC

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$),标不同大写字母者表示差异极显著($P<0.01$)。

Note:Column data maked with different lowercase express signigicant difference ($P<0.05$);Column data maked with difference uppercase express extremely significant difference ($P<0.01$).

油松实生苗 8 个性状在种源间的方差分析结果 (表 2)表明,种源间除主根长差异不显著外,其余 7

$PCV=\frac{\sigma_{p(x)}}{x}\times100\%,\Delta G=\frac{s\times h^2}{x}=\frac{i\times\sigma_p^2\times h_f^2}{x}\times100\%.$ 式中: h_f^2 为家系遗传力, h_i 为单株遗传力, GCV 为遗传变异系数, PCV 为表型变异系数, ΔG 为遗传增益, σ_f^2 和 σ_e^2 为家系方差和机误, n 为家系数, $\bar{x}$ 为性状*x*均值, s 为选择差, h^2 为广义遗传力, i 为选择强度, σ_p^2 为表型方差。

1.6 油松优良家系的评选

利用(Smith-Hazel)综合选择指数^[7]对油松优良家系进行评选,各性状的经济权重(w)采用等权法^[8]估算,指数估计准确度(r_1)、指数遗传力(H_1^2)、指数的期望遗传进展(ΔI)和指数选择效率(E_r)计算公式^[9]如下:

$$r_1=\sqrt{\frac{b'Aw}{w'A'Aw}},H_1^2=\frac{b'Ab}{b'Pb},$$

$$\Delta I=i\cdot\sqrt{b'Pb},E_r=\frac{b'Ab}{w'A'Aw}.$$

式中: b 为选择性状的指数系数向量, A 为遗传协方差阵, w 为经济权重, P 为性状间的表型协方差阵, i 为选择强度。

2 结果与分析

2.1 种源及家系间油松实生苗生长性状和生物量性状的比较分析

不同种源间油松实生苗生长性状与生物量性状的比较见表 2。

个性状的差异均达极显著水平。另外,8 个性状在种源内家系间的差异也均达极显著水平。由此可知,供试油松种源和家系间的生长性状和生物量性状存在丰富的遗传变异。

由表 2 可知,洛南种源油松实生苗的株高、地径、地上部鲜质量和干质量及地下部鲜质量和干质量均明显高于其他种源,黄龙种源油松实生苗的株高、地上部鲜质量及富县种源油松实生苗的地径、地上部干质量、地下部干质量和侧根数均最小,太白种源油松实生苗的主根长及宁陕种源实生苗的地下部鲜质量均最小。地上部干质量和地下部鲜质量在各种源间的差异显著性水平一致。综上述可知,洛南种源油松实生苗在各性状上均优于其他种源。从地理分布上看,黄龙、富县和黄陵属黄桥林区,洛南和太白分别位于秦岭山区的东部和西部,宁陕位于秦岭山区的中部,6 个种源地油松实生苗的变异表现为非连续的地理变异,其原因是油松分布的非连续性所致^[10]。

2.2 家系间油松实生苗生长性状和生物量性状的遗传相关分析

对油松优良家系进行遗传相关分析,利用各性状间内在的联系,通过对容易测定的性状进行预测和间接选择,可以降低改良成本,提高选择效率^[5]。由表 3 可以看出,油松实生苗的株高、地径、地上部

鲜质量和干质量及地下部鲜质量和干质量两两间遗传相关均达到极显著水平,其中地上部和下部干、鲜质量 4 者间的遗传相关系数 ≥ 0.813 ,表明油松实生苗干质量和鲜质量在遗传方面相互联系、相互制约,可以利用鲜质量对干质量进行估算和间接选择。主根长与侧根数间遗传相关达显著水平,但与其他性状间的遗传相关不显著,表明主根长独立于其他性状单独遗传,受不同的遗传机制控制。另外,侧根数与株高的遗传相关达到极显著水平,说明利用株高对侧根数进行估算和间接选择,也可达到很好的效果。

遗传相关系数虽然反映了 2 性状间遗传变异系数的关联程度,但这种遗传变异在表型变异中的决定程度还受到相关遗传力的控制,因为选择是对表型进行的,所以仅考虑各性状基因值间的遗传相关还不够,必须进行相关遗传力分析^[5]。相关遗传力是性状遗传力在 2 个相关性状上的推广,反映了 2 个性状互相制约的程度,利用表型相关系数和相关遗传力,可以揭示相关变异中由遗传原因引起的变异所占的比重及其间接选择的相对效率。从表 3 和表 4 可以看出,所有性状的家系遗传力均大于相对应的两两性状间的相关遗传力,因此对油松家系进行间接选择意义不大,但对部分相关遗传力高且难于测定的性状,可进行适当的间接选择。

表 3 家系间油松实生苗生长性状和生物量性状的遗传相关系数和相关遗传力

Table 3 Genetic correlation coefficient and correlation heritability of growth characters and biomass characters of seeding of *Pinus tabulaeformis* from different families

性状 Character	株高 Height	地径 Ground diameter	主根长 Main root length	地上部 鲜质量 Shoot fresh weight	地上部 干质量 Shoot dry weight	地下部 鲜质量 Root fresh weight	地下部 干质量 Root dry weight	侧根数 The number of side root
株高 Heright	—	0.536	−0.112	0.559	0.530	0.446	0.356	0.294
地径 Ground diameter	0.588**	—	0.077	0.559	0.588	0.599	0.577	0.198
主根长 Main root length	−0.207	0.166	—	−0.033	−0.017	−0.005	0.090	0.109
地上部鲜质量 Shoot fresh weight	0.642**	0.672**	−0.058	—	0.754	0.724	0.644	0.005
地上部干质量 Shoot dry weight	0.622*	0.718**	−0.026	0.954**	—	0.721	0.713	0.051
地下部鲜质量 Root fresh weight	0.516**	0.708**	−0.003	0.900**	0.913**	—	0.750	−0.034
地下部干质量 Root dry weight	0.418*	0.699**	0.192	0.813**	0.915**	0.947**	—	0.002
侧根数 Number of side root	0.369**	0.267*	0.248*	0.022	0.084	−0.037	0.011	—

注:右上三角为相关遗传力,左下三角为遗传相关系数; * 表示在 5%水平上相关, ** 表示在 1%水平上相关。
Note: Upper right triangle is correlation heritability, lower left triangle is genetic correlation; * express 5% level correlation, ** express 1% level correlation.

2.3 家系间油松实生苗生长性状与生物量性状的遗传参数

确定入选率为 20%、选择强度为 1.4,可计算得

到家系间油松实生苗各性状的遗传参数(表 4)。由表 4 可知,主根长和侧根数的家系遗传力和单株遗传力均 <0.5 ,表明其遗传力较低。地上部和地下部

的鲜质量、干质量的遗传变异系数均>30%，表型变异系数均>50%，表明其遗传受环境影响较大。因此，油松的早期选择应对各性状综合考虑。遗传增益的大小不仅取决于性状的遗传力和群体表型方差，还与选择强度有关^[11]。由表 4 还可以看出，除了主根长和侧根数外，其他各性状的遗传增益均较大，其中地上部鲜质量最大，为 56.117%，表明对油松优良家系进行选择是可行的。

表 4 家系间油松实生苗生长性状和生物量性状的遗传参数

Table 4 Genetic parameters of growth characters and biomass characters of seeding of <i>Pinus tabulaeformis</i> from different families					
性状 Trait	家系遗传力 Family heritability	单株遗传力 Single tree heritability	遗传变异系数/% Genetic variation coefficients	表型变异系数/% Phenotypic variation coefficients	遗传增益/% Genetic gain
株高 Height	0.933	0.891	25.147	35.634	34.629
地径 Ground diameter	0.885	0.734	15.604	31.151	34.629
主根长 Main root length	0.302	0.136	7.976	29.518	5.935
地上部鲜质量 Shoot fresh weight	0.806	0.671	43.834	61.673	56.117
地上部干质量 Shoot dry weight	0.775	0.636	40.753	59.655	51.475
地下部鲜质量 Root fresh weight	0.803	0.657	38.410	54.894	48.916
地下部干质量 Root dry weight	0.452	0.622	34.211	50.899	42.965
侧根数 The number of side root	0.301	0.463	11.275	20.542	13.046

2.4 油松优良家系的指数选择分析和选择结果

油松优良种源、家系选择的最终目标是要选择生长量大、适应性强的家系作为种子园的建园材料，指数选择法是通过多性状综合评价油松优良家系的一种较优方法^[12]。利用株高(X_1)、地径(X_2)、主根长(X_3)、地上部鲜质量(X_4)、地上部干质量(X_5)、地下部鲜质量(X_6)、地下部干质量(X_7)和侧根数(X_8) 8 个性状进行指数选择，按等权法计算经济权重，8 个性状的经济权重分别为：0.313, 1.367, 0.208, 0.397, 0.871, 1.105, 2.15 和 0.351，按 20% 的入选率和 1.4 的选择强度可得指数值 I 的计算方程如下：

$I=0.471\ 1X_1+2.328\ 8X_2+0.048X_3+0.369\ 7X_4-$

$0.107\ 9X_5-0.205\ 6X_6+2.722\ 5X_7-0.003\ 5X_8。$

经计算， $X_1 \sim X_8$ 性状的遗传进展依次为 3.011, 0.717, 0.107, 2.138, 0.964, 0.745, 0.355 和 0.612；指数的期望遗传进展较大，为 5.437；指数遗传力、指数估计准确度和指数选择效率值均较高，分别为 0.836, 0.894 和 0.681。表明上述方程适合作为选择指数方程。

表 5 为选择指数值排名前 40 位的油松家系，其中洛南种源所有家系入选，黄龙种源有 26.7% 家系入选，太白种源有 73.3% 家系入选，黄陵种源有 33.3% 家系入选，宁陕种源和富县种源各有 25.0% 家系入选，可知洛南种源、太白种源和黄陵种源是优良种源。

表 5 排名在前 40 位油松优良家系的指数值

Table 5 Index value of superior families of <i>Pine tabulaeformis</i> selected among the top 40								
家系号 Family number	指数值 Index value	排名 Order	家系号 Family number	指数值 Index value	排名 Order	家系号 Family number	指数值 Index value	排名 Order
L47	31.354	1	C1	22.718	15	Q8	20.577	29
L17	28.554	2	T11	22.711	16	XY29	20.48	30
L39	27.437	3	XY-H1	22.554	17	Q1	20.443	31
L26	26.562	4	L44	22.519	18	XY17	20.245	32
L2	26.533	5	T19	21.816	19	T22	20.184	33
L8	26.498	6	Q9	21.745	20	T8	20.162	34
L14	26.126	7	T28	21.559	21	H28	20.038	35
L49	25.505	8	Q3	21.381	22	H2	19.963	36
L50	25.169	9	T12	21.196	23	H36	19.813	37
L25	24.516	10	H46	21.15	24	XY7	19.764	38
L32	24.501	11	T18	21.026	25	T10	19.596	39
L42	24.475	12	XY23	20.879	26	L29	19.503	40
L15	23.589	13	T23	20.829	27			
T29	23.538	14	T3	20.808	28			

按入选率 20％算,从 82 个油松家系中可选出 17 个优良家系,其各性状间的比较见表 6。与 82 个油松家系各性状均值相比,选出的 17 个家系各性状值均有不同程度提高,其中株高提高了 109.7％～206.3％,地径提高了 100.7％～139.01％,主根长提高了 103.92％～184.33％。洛南种源的 L47 家

系表现最优,其地上部鲜质量和干质量及地下部鲜质量和干质量分别是 82 个油松家系平均值的 3.09, 3.32,3.72,和 3.16 倍;但家系 L49 和 T11 的地下部干质量分别是全部家系平均值的 98％和 95％,略有减少。

表 6 17 个入选油松优良家系各性状的平均值
Table 6 Average value of each character of 17 selected superior families of Pine tabulaeformis

家系号 Family number	株高/cm Height	地径/mm Ground diameter	主根长/cm Main root length	地上部 鲜质量/g Shoot fresh weight	地上部 干质量/g Shoot dry weight	地下部 鲜质量/g Root fresh weight	地下部 干质量/g Root fresh weight	侧根数 The number of side root
L47	15.747	4.927	21.067	12.694	6.432	6.029	3.216	18.167
L17	20.043	5.302	18.183	8.155	3.856	2.877	1.447	15.833
L39	17.497	4.909	28.500	8.713	3.692	2.201	1.505	20.333
L26	16.787	5.173	21.517	6.7156	3.127	2.799	1.490	14.667
L2	14.850	5.633	23.683	6.382	3.338	2.721	1.435	17.667
L8	18.583	4.872	22.500	7.494	3.425	2.548	1.288	18.667
L14	17.510	5.547	21.067	4.491	2.141	1.983	1.098	18.167
L49	18.363	5.023	18.917	6.211	2.814	1.994	1.006	20.833
L50	14.420	5.251	19.900	6.003	2.891	2.626	1.400	14.167
L25	17.537	4.343	25.367	6.926	3.132	2.260	1.184	16.333
L32	13.447	4.696	21.567	6.813	3.416	3.179	1.748	17.000
L42	12.678	5.544	18.017	6.197	2.803	2.283	1.201	17.500
L15	17.680	4.083	20.867	5.833	2.702	2.269	1.251	15.333
T29	14.997	4.882	16.067	6.114	3.055	1.787	1.040	17.333
C1	12.253	4.230	17.417	8.998	3.917	3.134	1.487	13.500
T11	16.407	4.379	25.117	4.227	1.944	1.743	0.977	21.333
XY-H1	10.657	4.849	24.850	4.334	2.412	2.657	1.578	12.167
82 个家系平均值 Average value of 82 families	9.717	4.052	15.461	4.108	1.938	1.622	1.019	11.317

3 结论与讨论

刘永红等^[3]研究表明,苗期油松生长性状和生物量性状具有丰富的遗传变异,而且呈强度遗传,不同种源和家系间性状差异很大,本试验结果与之相似,但同时也显示,除主根长外的 7 个性状在种源间有极显著差异,全部 8 个性状在家系间也均有极显著差异,这些变异主要由遗传因素制约,是进一步遗传改良的基础。本研究中,油松实生苗家系间的主根长与侧根数遗传相关达显著水平,与其他性状遗传相关不显著,主根长是独立于其他性状单独遗传;此外,侧根数与株高的遗传相关达极显著水平。周永学等^[13]认为,高生长与侧根生长量密切相关,与主根长无显著关系,与本试验结果一致。家系间油松实生苗主根长、侧根数的家系遗传力和单株遗传力均<0.5,同时与其他性状遗传相关不显著,因此在制定经营管理措施时,创造一个有利于根系生长的良好环境,是可以获得优质根系性状的重要措施。地上部和地下部的鲜质量、干质量的遗传变异系数

均>30％,表型变异系数均>50％,表明以上 4 个性状的遗传受环境影响较大,在制定育苗计划时,要考虑环境的影响,育苗时尽可能提供最适宜的条件;另外,油松的早期选择应综合考虑各性状的表现。通过人工选择取得的改良效果,常用遗传增益表示^[14]。本试验对家系间油松实生苗各性状的遗传增益进行了测定,结果表明,除了主根长和侧根数外,其他各性状的遗传增益均较大,其中最大的为地上部鲜质量,达到 56.117％,可见对油松实生苗各性状进行测定和分析,可以达到对优良种源和家系选择的预期目的。根据指数选择法选择的 17 个家系的各性状值均明显优于 82 个家系各性状的平均值。

苗期油松生长性状具有丰富的遗传变异,种子园内的油松家系存在着丰富的选择潜力,遗传变异不仅存在于不同种源间,也存在于同一林分的不同个体间^[14]。由于地理环境影响,地处自然状况较差的种源,因降水量、年均温和生长期均小于其他种源,与其他地方选择的优树相比,从当地选择的优

树,是经过长期的自然选择且已与当地的气候条件相适应,虽然在条件较好的地方其生长性状和生物量性状小于其他产地家系的性状,但其在抗寒、耐旱性以及适应性等方面会更强一些,如果在自然条件比较差的地方,它们的优势也会更好的表现出来。同时,油松优良家系实生苗各性状的综合表现只能反映其在特定阶段的生长状况,所以要选育出各性状优良的单株或综合表现优良的种源和家系,还需要制定油松的中长期、多世代遗传改良育种计划,通过多年度、多立地和多区域的重复试验,才能全面正确地评定每一家系的优劣。

[参考文献]

[1] 樊军锋,杨培华,刘永红,等. 陕西油松改良研究进展 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2006,34(1):45-50.
Fan J F, Yang P H, Liu Y H, et al. Research progress of genetics and improvement on *Pinus tabulaeformis* carriers of Shaanxi province [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2006, 34(1): 45-50. (in Chinese)

[2] 王思恭,王亚峰,郝宏钧,等. 油松产地苗期初报 [J]. 陕西林业科技,1982(2):14-25.
Wang S G, Wang Y F, Xi H J, et al. Report of seedlings on the provenance of *Pinus tabulaeformis* [J]. Shaanxi Forestry Science and Technology, 1982(2): 14-25. (in Chinese)

[3] 刘永红,樊军锋,杨培华,等. 油松单亲子代苗期生长性状遗传分析 [J]. 浙江林学院学报,2005,22(5):513-517.
Liu Y H, Fan J F, Yang P H, et al. Genetic variation of seedling growth traits of open-pollination families of *Pinus tabulaeformis* [J]. Journal of Zhejiang Forestry University, 2005, 22(5): 513-517. (in Chinese)

[4] 韩创举,杨培华,刘永红,等. 油松半同胞家系苗期生长性状遗传分析 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2008,36(5):124-134.
Han C J, Yang P H, Liu Y H, et al. Genetic analysis on seedling growth characteristics of half-sib family of *Pinus tabulaeformis* carr [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2008, 36(5): 124-134. (in Chinese)

[5] 刘永红,杨培华,韩创举,等. 油松优良家系的遗传变异及其综合选择 [J]. 中南林业科技大学学报,2007,27(6):22-25.
Liu Y H, Yang P H, Han C J, et al. Genetic variation and comprehensive selection of superior families of *Pinus tabulaeformis* carr [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2007, 27(6): 22-25. (in Chinese)

[6] 戴君惕,杨德,尹世强,等. 相关遗传力及其在育种上的应用

[J]. 遗传学报,1983,10(5):375-383.
Dai J T, Yang D, Ying S Q, et al. Correlation heritability in breeding [J]. Journal of Genetics and Genomics, 1983, 10(5): 375-383. (in Chinese)

[7] Cotterill P P, Dean C A. Successful tree breeding with index section [M]. Melbourne:Print Advisory Service, 1990.

[8] Cotterill P P, Fackson N. On index selection I: Methods of determining economic weight [J]. Silvae Genetica, 1985, 34 (2/3): 56-63.

[9] 盛志廉,陈瑶生. 数量遗传学 [M]. 北京:科学出版社,1999:58-67.
Sheng Z L, Chen Y S. Quantitative genetics [M]. Beijing: Scientific Press, 1999: 58-67. (in Chinese)

[10] 刘永红,杨培华,樊军锋,等. 油松不同种源种实性状的变异分析 [J]. 浙江林学院学报,2008,25(5):163-168.
Liu Y H, Yang P H, Fan J F, et al. Phenotypic variation in seed cones and seeds of species and families in different provenances of *Pinus tabulaeformis* [J]. Journal of Zhejiang Forestry University, 2008, 25(5): 163-168. (in Chinese)

[11] 孙鸿有,郑勇平,翁春媚,等. 杉木种子园种子品质性状变异及遗传参数 [J]. 浙江林学院学报,2005,22(1):61-65.
Song H Y, Zheng Y P, Weng C M, et al. Seed quality character variation and seed genetic parameters of *Cunninghamia lanceolata* in seed orchard [J]. Journal of Zhejiang Forestry University, 2005, 22(1): 61-65. (in Chinese)

[12] 刘永红,杨培华,樊军锋,等. 油松优良家系多性状选择方法研究 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2006,34(12):115-120.
Liu Y H, Yang P H, Fan J F, et al. Multi-characteristic selection methods of superior families of *Pinus tabulaeformis* carr [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2006, 34(12): 115-120. (in Chinese)

[13] 周永学,樊军锋,杨培华,等. 奥地利黑松与油松 1 年生苗生长和生物量对比分析 [J]. 浙江林学院学报,2003,20(4):438-441.
Zhou Y X, Fan J F, Yang P H, et al. Comparative studies on growth and biomass of one-year-old seedlings of *Pinus nigra* var. *austriaca* and *Pinus tabulaeformis* [J]. Journal of Zhejiang Forestry University, 2003, 20(4): 438-441. (in Chinese)

[14] 王宏,常有宏,陈志谊. 梨黑斑病病原菌生物学特性研究 [J]. 果树学报,2006,23(2):247-251.
Wang H, Chang Y H, Chen Z Y. Study on biological characteristics of *Alternaria alternata* caused occurrence of pear black spot [J]. Journal of Fruit Science, 2006, 23(2): 247-251. (in Chinese)