

油松不同种源种实性状的变异分析

刘永红¹, 杨培华¹, 韩创举¹, 樊军锋¹, 李新会², 李安平³, 杨世荣⁴

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 陕西省桥山林业局, 陕西 黄陵 727300;

3. 陕西省洛南县古城林场, 陕西 洛南 726100; 4. 陕西省洛南县石坡林场, 陕西 洛南 726100)

摘要: 为了揭示油松 *Pinus tabulaeformis* 天然群体中种实性状的变异规律, 对陕西省天然群体中 7 个种源的 141 个油松家系(单株)的球果和种子表型性状采用方差分析、多重比较和相关分析等统计分析方法, 讨论了油松种源间和种源内家系间的遗传变异与相关。结果表明, 油松种实性状在种源间和种源内家系间存在极其丰富的遗传变异。油松球果长度、球果宽度、球果鲜质量、种子长度、种子宽度和种子厚度等 6 个性状在种源间和种源内差异均达极显著水平, 其中, 球果鲜质量的表型和遗传变异系数达到最大。油松球果 3 个性状间相关紧密($P < 0.05$), 种子性状间两两相关显著($P < 0.01$), 而球果性状与种子性状之间相关多数未达显著水平。海拔和年降水与球果宽度和种子宽度正相关显著; 年均温与种实性状呈负相关, 与种子的性状和千粒质量的负相关达到 5% 的显著水平; 地理纬度、 ≥ 10 °C 积温和无霜期与种实性状的相关性弱, 均未达到显著水平。表 7 参 15

关键词: 林木育种学; 油松; 天然群体; 种源; 种实性状; 地理变异

中图分类号: S791.254 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2008)02-0163-06

Phenotypic variation in seed cones and seeds of species and families in different provenances of *Pinus tabulaeformis*

LIU Yong-hong¹, YANG Pei-hua¹, HAN Chuang-ju¹, FAN Jun-feng¹,

LI Xin-hui², LI An-ping³, YANG Shi-rong⁴

(1. College of Forestry, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100,

Shaanxi, China; 2. Forest Enterprise of Qiaoshan, Huangling 727300, Shaanxi, China; 3. Forest Farm of

Gucheng, Luonan 726100, Shaanxi, China; 4. Forest Farm of Shipo, Luonan 726100, Shaanxi, China)

Abstract: To reveal the regularities of cone and seed variation, the phenotypic traits of cones and seeds of seven species and 141 families in natural populations of *Pinus tabulaeformis* provenances of Shaanxi Province were analyzed. Statistical analyses, such as analysis of variance, correlation analysis among provenances and within families for a provenance of *P. tabulaeformis*, and genetic variation, were used. Result showed that significant differences were found between in provenances and in individuals within provenances in cone length ($P < 0.01$), cone width ($P < 0.01$), cone fresh weight ($P < 0.01$), seed length ($P < 0.01$), seed width ($P < 0.01$), and seed thickness ($P < 0.01$). Also, the phenotype and coefficient of variation for hereditary of cone fresh weight were the largest. For correlations between cone width and seed width, altitude and rainfall were positively and significantly ($P < 0.01$) correlated; for correlations between cone and seed traits, annual mean temperature was negatively correlated; for seed traits and the thousand-seed weight there was a significant ($P < 0.05$) negative correlation; and for cone and seed traits at a latitude, ≥ 10 °C accumulated temperatures and the frost-free period were not significantly correlated. The variations of seed traits and the thousand-seed weight comply with annual mean temperature. The variations of cone width and seed width mainly follow the variation of altitude. [Ch, 7 tab. 15 ref.]

收稿日期: 2007-04-20; 修回日期: 2007-07-06

基金项目: 国家林业局油松优良种源(家系)推广项目(2006-85)

作者简介: 刘永红, 助理研究员, 从事林木遗传育种研究。E-mail: lyhlxy2002@yahoo.com.cn。通信作者: 樊军锋, 副研究员, 从事林木遗传改良研究。E-mail: fanjf@public.xa.sn.cn

Key words: forest tree breeding; *Pinus tabulaeformis*; natural population; provenances; cone and seed traits; geographic variation

油松 *Pinus tabulaeformis* 为我国北方地区重要的用材树种, 分布广泛, 地跨北方 14 省(区), 其中, 陕西油松天然林分布数量最多, 约占全分布区油松总面积的 45%, 是我国油松遗传基因资源最丰富的省区^[1]。关于油松生长性状的遗传变异研究, 相关报道较多^[2-4], 而种子和球果性状的变异分析, 有关文献较少^[5]。种子性状的大小表征了种子内营养物质的多少^[6], 其变异程度会影响种子扩散和种子萌发^[7]等, 对幼苗定居和存活有很大影响^[8,9]。同时, 种子大小与果实大小有着密切的关系^[10]。作者主要通过分析油松天然林分中不同种源之间、家系之间种实性状的变异与相关, 揭示陕西油松天然群体中种实性状的变异规律, 探讨种实性状特征差异产生的原因, 为油松种子区划以及优良种源的选择提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验材料均来自陕西省油松天然林分中所选优树上采集的种子, 包括宁陕县、宁东县、洛南县、太白县、黄陵县、黄龙县和富县共 7 个种源, 横跨包括南部区和中西部区 2 个采种大区。每个采种点选择优树 30 株, 由于受到气候条件和地理环境条件的制约, 部分优树没有结实, 2006 年秋仅对有结实的 141 株优树分单株(家系)进行采摘、风干和脱粒, 并对采种点的地理气候等因子进行记录(表 1)。

表 1 油松种源试验采种点主要地理气候因子

Table 1 Climate and geography factors in the seed collecting sites

种源来源	北纬/(°)	东经/(°)	海拔/m	气温/°C	≥10 °C 积温	年降水量/mm	无霜期/d	优树数/株
富县	35.99	108.67	1 396	8.9	3 276	600	130	6
黄龙	35.82	109.75	1 360	8.6	2 927	602	158	30
洛南	34.34	110.18	1 212	11.5	3 366	770	190	30
宁陕	33.46	108.48	1 982	8.0	3 200	1 133	199	6
宁东	33.53	108.56	1 391	12.4	3 847	899	215	24
黄陵	35.64	108.76	1 200	9.4	3 559	631	172	15
太白	33.82	107.18	1 413	9.2	2 390	751	158	30

1.2 表型性状的测定

从每个采种单株(家系)中随机抽取 10 个球果, 用 1/100 电子天平称量每个球果鲜质量, 用电子游标卡尺测量球果高度和宽度, 测量单位精确到 0.01 mm。球果分单株(家系)脱粒风干后, 用电子天平称量每个家系种子的千粒质量(测量精度为 0.01 g), 再从中随机抽取 10 粒种子, 用电子游标卡尺测量种子的长度、宽度和厚度(测量精度为 0.01 mm)。

1.3 统计分析方法

各性状采用 SPSS 12.0 线性模型嵌套设计方差分析, 多重比较采用 LSD 测验。种源和家系遗传力采用公式^[11]: $H^2 = 1 - 1/F$, 其中 H^2 为性状遗传力, F 为方差分析中的 F 检验值。各性状地理变异规律采用表型相关系数进行分析。

2 结果与分析

2.1 油松种源间种实性状变异

从表 2 可以看出油松球果和种子 6 个性状在种源间和种源内家系间均存在极显著差异

($P < 0.01$), 表明种源和家系间的种实性状存在着丰富的遗传变异。表 3 列出各性状种源间的多重比较结果, 可以看出, 油松球果性状在种源间差异显著, 宁陕、富县和宁东的球果性状值较大, 而洛南、黄陵和黄龙球果性状值较小。其中宁陕、富县和宁东的球果质量与黄陵和洛南的球果质量差异均达极显著水平, 球果质量最大的宁陕种源比球果质量最小的洛南种源大 50% 以上; 富县种源球果高度与黄龙、黄陵和洛南的球果高度差异均达极显著水平, 而且富县比洛南的果高大 18% 以上; 宁陕和富县的球果宽度与黄龙和洛南的球果宽度性状差异亦达极显著水平, 果宽最大的宁陕种源比果宽最小的洛南种源大 15% 以上。在种子性状中, 宁陕种源的 3 性状值均最大, 而洛南和太白种源的性状值最小, 且前后差异均已达到极显著水平。从地理位置和种子区划的情况来看, 宁陕、宁东和洛南属南部区的陕南亚区, 富县、黄陵和黄龙属于中西区的桥山亚区。从球果性状的变异来看, 表现为点状非连续的地理变异, 形成这种现象的原因是油松分布的非连续性; 而种子性状的变异, 除宁陕特殊的地理环境, 形成较特殊的点状变异外, 表现为北部桥山亚区的种子性状值大于南部陕南亚区种子性状值的一种地理变异模式。

表 2 油松球果和种子性状方差分析

Table 2 Variance analysis of cone and seed traits

性状	变异来源	自由度	均方	F 值	P 值
果质量	种源间	6	1 708. 108	8. 131	0. 000 1
	种源内	134	210. 076	13. 677	0. 000 1
果高	种源间	6	1 073. 732	4. 586	0. 000 3
	种源内	134	234. 154	14. 985	0. 000 1
果宽	种源间	6	298. 018	4. 062	0. 000 9
	种源内	134	73. 370	14. 392	0. 000 1
种宽	种源间	6	8. 816	7. 929	0. 000 1
	种源内	134	1. 112	7. 989	0. 000 1
种长	种源间	6	25. 859	6. 816	0. 000 1
	种源内	134	3. 794	20. 800	0. 000 1
种厚	种源间	6	5. 349	12. 531	0. 000 1
	种源内	134	0. 427	10. 683	0. 000 1

表 3 油松种源种实性状的均值、标准差和多重比较

Table 3 Mean value, standard deviation and multiple comparison of seed cone and seed traits of provenances

种源	果质量	果高	果宽	种宽	种长	种厚
宁陕	24. 549 ± 7. 362 a A	51. 305 ± 4. 567 b B	35. 15 ± 4. 052 a A	4. 798 ± 0. 571 a A	8. 413 ± 0. 627 a A	3. 14 ± 0. 287 a A
富县	23. 097 ± 4. 981 a A	54. 627 ± 4. 407 a A	34. 265 ± 3. 44 ab A	4. 291 ± 0. 486 b B	7. 487 ± 0. 537 b B	2. 967 ± 0. 335 b AB
宁东	22. 846 ± 6. 810 a A	51. 418 ± 6. 317 b AB	32. 472 ± 3. 400 bc AB	3. 974 ± 0. 482 c B	7. 122 ± 0. 739 b B	2. 689 ± 0. 312 c B
太白	22. 510 ± 6. 358 a AB	50. 377 ± 5. 958 bc B	32. 259 ± 3. 202 bc AB	4. 054 ± 0. 406 bc B	7. 348 ± 0. 806 b B	2. 684 ± 0. 234 c B
黄龙	21. 398 ± 5. 06 ab ABC	48. 795 ± 5. 123 bc B	31. 936 ± 3. 06 c B	4. 251 ± 0. 446 b B	7. 539 ± 0. 676 b B	2. 984 ± 0. 263 ab AB
黄陵	19. 014 ± 4. 783 bc BC	48. 761 ± 5. 142 bc B	32. 242 ± 3. 039 bc AB	4. 253 ± 0. 479 b B	7. 868 ± 0. 729 b AB	2. 989 ± 0. 291 ab AB
洛南	16. 097 ± 5. 408 c C	46. 158 ± 7. 516 c B	30. 364 ± 3. 935 c B	3. 928 ± 0. 441 c B	7. 057 ± 0. 727 b B	2. 726 ± 0. 279 bc B

说明: 表中 a, b, c, A, B, C 为多重比较 LSD 表示值, 其中小写字母相同者为相互间差异在 5% 水平不显著, 大写字母相同者为相互间差异在 1% 水平不显著。

2.2 同一种源不同家系间种实性状变异

由表1可知种源内家系间种实性状差异均达极显著水平,表4分别列出了种源内家系间的方差分析和表型变异系数,可以看出,7种源的球果和种子各性状在家系间的差异均达到极显著水平,说明油松种实性状同一种源内家系间的变异非常大,也反映了油松种实性状表型多样性较为丰富。

表4 同一种源不同家系间球果性状方差分析

Table 4 Variance analysis of seed cone traits in different families from same provenance

种源	自由度	果质量		果高		果宽		种厚		种长		种宽	
		F值	变异系数/%	F值	变异系数/%	F值	变异系数/%	F值	变异系数/%	F值	变异系数/%	F值	变异系数/%
黄龙	29	8.32**	23.83	10.31**	10.66	12.62**	9.51	10.12**	8.92	15.03**	8.91	7.65**	10.56
洛南	29	15.79**	33.95	20.12**	16.55	11.41**	12.86	9.78**	10.36	22.09**	10.23	7.11**	11.30
太白	29	14.23**	28.45	14.31**	12.00	17.17**	9.86	5.53**	8.79	25.52**	10.89	8.71**	10.07
宁东	23	18.70**	30.03	14.34**	12.47	19.45**	10.40	12.75**	11.77	35.63**	10.31	17.78**	12.22
宁陕	5	17.27**	30.19	11.11**	9.03	22.85**	11.45	10.71**	9.56	7.88**	7.40	12.91**	11.95
黄陵	14	10.94**	25.38	16.22**	10.71	10.65**	9.36	15.25**	9.96	17.96**	9.21	6.69**	11.33
富县	5	6.85**	21.72	6.10**	8.18	18.20**	9.97	27.09**	12.01	4.71**	7.12	19.13**	11.40

说明: **表示 $P < 0.01$ 差异性达到极显著水平。

用变异系数来表示性状值的变异程度,变异系数越大,则性状值变异程度越大。从表4可以看出,在种源内7个表型性状中,球果鲜质量的变异系数最大,变异范围21.72%~30.19%,说明球果鲜质量较其他性状变异大;种子厚度和种子长度的变异系数较小,表明该性状较其他性状稳定。另外,不同种源内每一性状的变异系数在不同程度上都有一定差异,这种差异是由种源所处环境的不同形成的。种子宽度的变异系数在各个种源内差异较小,说明种子宽度变异幅度稳定,受地理环境条件影响较小。

2.3 油松种实性状的遗传参数

表5列出了油松球果及种子性状的种源和家系6个性状的遗传力以及遗传变异系数。可以看出,6个性状的种源遗传力并非完全一致,种子厚度的种源遗传力最大,达0.9202,而球果宽度的种源遗传力最低为0.7538,说明前者在种源内的稳定性高于后者。7个种源合并分析,6个性状在种源内家系间遗传力都处于较高的水平(0.8748~0.9519),呈现出高度遗传,说明种实性状在种源内比较稳定,其变异主要为株间变异。从油松种实性状的遗传变异系数可以看出,球果质量在种源间的遗传变异系数最大,达到57.75%,变异幅度较大,而果宽遗传变异系数最小,变异幅度小,性状遗传较稳定。

2.4 油松种实性状间的相关分析

对所测定的球果和种子性状间分别作性状间的相关分析(表6)。从表6可以看出,油松种子性状之间相关关系均达到极显著水平,反映出它们彼此间关系密切。千粒质量与种长、种宽和种厚的相关系数达到0.95以上。可见种子形状越大,饱满程度越好,种子的颗粒越大。球果性状间,果质量、果高和果宽两两之间的相关关系亦达显著水平,说明果质量与果宽和果高相关紧密。种子性状与球果

表5 球果和种子遗传参数估算

Table 5 The genetic parameters of cone and seed traits

性状	种源遗传力	家系遗传力	均值	遗传变异系数/%
果质量	0.8770	0.9269	21.1928	57.75
果高	0.7819	0.9333	49.4680	18.52
果宽	0.7538	0.9305	32.8960	14.41
种宽	0.8739	0.8748	4.1972	21.30
种长	0.8533	0.9519	7.6030	19.54
种厚	0.9202	0.9064	2.8721	24.43

性状之间存在正向相关，除种宽与果宽外，均未达到显著水平。说明种子性状和球果性状的遗传途径可能是相互独立，使球果性状和种子性状的内在关联度不高。

2.5 油松种实性状与气候及地理指标相关分析

种实性状表型特征的差异是基因型与环境相互作用的结果^[12]，也是长期自然选择的结果。通过对油松不同种源的生长环境因子与其种实性状的相关研究，分析气候和地理因子对油松种实性状影响，从而探讨种实性状的地理变异规律。表 7 列出了油松种实性状与地理气候指标的相关系数。可以看出，海拔和年降水与油松种实性状呈正向相关，而且与球果宽度和种子宽度相关达到 5% 显著水平，说明在陕西境内高海拔，降水丰富的地区，油松的球果和种子的性状特征指标就较大，球果宽度和种子宽度将表现得更为突出；地理纬度与油松种实性状相关系数较小，对种实的性状特征值影响不大；地理经度与油松球果性状呈现负相关，说明东部球果大小和质量较西部的大，而地理经度与种子性状大小和质量几乎无相关；年均温与种实性状呈负相关，与种子的性状和千粒质量的负相关达到 5% 的显著水平，说明年均温较低的地区，种实的大小和质量较大，对种子的影响就更显著。在陕西境内，年均温较低的地区，可能主要由于在种实生长季节气温昼夜温差大，从植物生理角度讲，更有利于种实的生长发育，使得年均温低的地区种实性状特征值更大。 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温和无霜期与种实性状的相关性较小，对油松种实性状特征值影响较小。

表 6 油松种实性状间的相关关系

Table 6 Correlation coefficients to cone and seed traits

变量	果质量	果高	果宽	种长	种宽	种厚
果高	0.819 *					
果宽	0.843 *	0.810 *				
种长	0.447	0.222	0.725			
种宽	0.580	0.376	0.837 *	0.955 **		
种厚	0.329	0.251	0.662	0.884 **	0.900 **	
千粒质量	0.410	0.261	0.740	0.981 **	0.966 **	0.952 **

说明：* 表示 5% 水平相关；** 表示 1% 水平相关。

表 7 种实性状与地理气候指标的相关关系

Table 7 Correlation coefficients between traits of cones and seeds and geographical climatic factors

变量	果质量	果高	果宽	种长	种宽	种厚	千粒质量
海拔	0.729	0.410	0.798 *	0.724	0.840 *	0.536	0.683
北纬	-0.243	0.072	-0.077	-0.004	-0.025	0.378	0.138
东经	-0.633	-0.540	-0.453	-0.200	-0.147	0.142	-0.076
年均温	-0.437	-0.291	-0.592	-0.759 *	-0.758 *	-0.773 *	-0.788 *
$\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温	-0.194	0.024	-0.002	-0.063	-0.061	0.053	-0.023
无霜期	-0.069	-0.344	-0.124	0.021	-0.007	-0.203	-0.082
年降水	0.403	0.077	0.433	0.423	0.483	0.123	0.328

3 结论与讨论

在陕西油松天然分布区内，油松种实性状包括果质量、果宽、果高、种长、种厚和种宽在种源间及种源内家系间都存在极显著差异，表现出较为丰富的多样性。这与国内对其他树种球果和种子性状的种源变异研究基本类似^[13-15]。球果性状的地理变异呈现出点状非连续的变异，而种子性状则表现为由南向北逐渐递增的一种变异模式。家系间球果鲜质量的变异系数最大，变异丰富。种子厚度和种子长度的变异系数较小，性状较稳定。种子宽度的变异系数在不同种源内变化较小，变异幅度稳定，受地理环境条件影响较小。

种子厚度的种源遗传力最大，而球果宽度的种源遗传力较低。种源内家系间遗传力都较高，呈现出高度遗传，变异来源主要为株间个体差异。球果质量在种源间的遗传变异系数大，而球果宽度的遗传变异系数最小，性状遗传较为稳定。

油松种子性状之间相关紧密,球果性状间的相关亦达显著水平。种子性状与球果性状之间除果宽与种宽外,其余均未达到显著相关水平。说明球果性状与种子性状的内在关联度并不高。

不同的气象地理因子对油松球果和种子性状的影响不尽相同,海拔和年降水与油松种实性状呈现正向相关,且与球果宽度和种子宽度相关达到5%显著水平;纬度、经度、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温和无霜期与油松种实性状相关系数较小,对种实的性状特征值影响不大;年均温与种实性状呈负向相关,与种子性状和千粒质量的负相关达到5%的显著水平,说明陕西境内,年均温较低的地区,油松种实性状的特征值反而较大。不同种源种实形态的大小是与其生长环境相适应,也是长期自然选择的结果。

参考文献:

- [1] 徐化成. 油松[M]. 北京: 中国林业出版社, 1991: 18-40.
- [2] 徐化成. 油松地理变异和种源选择[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 57.
- [3] 郭均战, 李周岐, 毕春侠. 油松表型性状三水平遗传变异分析[J]. 西北林学院学报, 1997, 12(1): 13-16.
- [4] 刘永红, 樊军锋, 杨培华, 等. 油松单亲种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.
- [5] 张华新, 沈熙环. 油松种子园无性系球果性状的变异和空间变化[J]. 北京林业大学学报, 1996, 18(1): 29-37.
- [6] RAQUEL G R, KEITH R P, MALCOLM E R, *et al.* Effect of seed size and testa colour on saponin content of *Spanish lentil* seed [J]. *Food Chem*, 1997, 58(3): 223-226.
- [7] LATIF K M, PUTUL B, UMA S, *et al.* Seed germination and seedling fitness in *Mesua ferrea* L. in relation to fruit size and seed number per fruit [J]. *Acta Oecol*, 1999, 20(6): 599-606.
- [8] ERIKSSON O. Seed size variation and its effect on germination and seedling performance in the clonal herb *Convallaria majalis* [J]. *Acta Oecol*, 1999, 20(1): 61-66.
- [9] KHURANA E, SINGH J S. Influence of seed size on seedling growth of *Albizia procera* under different soil water levels [J]. *Ann Bot*, 2000, 86: 1185-1192.
- [10] JOSEFA L, JUAN A D, ANA O O, *et al.* Production and morphology of fruit and seeds in Genisteeae (Fabaceae) of south-west Spain [J]. *Bot J Linnean Soc*, 2000, 132(2): 97-120.
- [11] 续九如. 林木数量遗传学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 34-51.
- [12] 兰彦平, 顾万春. 北方地区皂荚种子及荚果形态特征的地理变异[J]. 林业科学, 2006, 42(7): 47-51.
- [13] 刘桂丰, 杨传平, 刘关君, 等. 白桦不同种源种子形态特性及发芽率[J]. 东北林业大学学报, 1999, 27(4): 1-4.
- [14] 王军辉, 顾万春, 万军, 等. 柃木不同种源球果及种子性状的遗传变异[J]. 东北林业大学学报, 2006, 34(2): 1-4, 17.
- [15] 罗建勋, 顾万春. 云杉天然群体种实性状变异研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2004, 32(8): 60-66.