

油松种子园无性系自由授粉子代测定与种子批稳定性分析

钮世辉, 李 伟*, 李 悦*

(北京林业大学 生物科学与技术学院, 林木育种国家工程实验室, 林木花卉遗传育种教育部重点实验室, 北京 100083)

摘 要:基于辽宁兴城油松种子园相似立地条件下的多年度自由授粉子代测定材料,分析了油松种子园无性系自由授粉子代的遗传差异及其在年度种子批中表现的稳定性,探索了对稳定性变异的影响因子。结果表明:在油松种子园结实初期,无性系作为母本的一般配合力效应在种子批的遗传构成中起重要作用;兴城油松种子园中的绝大多数无性系具有优良的生长表现,现有种子园的去劣疏伐、子代林改建实生苗种子园以及配合选择第二代优树都具有较大的潜力;油松种子园花粉背景和植株生长的综合环境因子对无性系的遗传和表现有一定的影响,根据其稳定性差异可采取不同利用方式。

关键词:油松;自由授粉子代;种子批;稳定性

中图分类号:S791.254

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2013)02-0066-04

Open Pollinated Progeny Test and Stability Analysis of Seedlot from Clonal Seed Orchard of *Pinus tabulaeformis*

NIU Shi-hui, LI Wei*, LI Yue*

(National Engineering Laboratory for Forest Tree Breeding, Key Laboratory for Genetics and Breeding of Forest Trees and Ornamental Plants, Ministry of Education, College of Biological Science and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract:Based on many years of open pollinated progeny (OPP) test under similar site conditions in seed orchard of *Pinus tabulaeformis* in Xingcheng, Liaoning Province, China, genetic variations of OPPs and their stabilities in annual seed lots, as well as the factors affecting the stability of OPPs were examined. The results showed that in the early flowering stage, general combining ability of the clone as the female parent played an important role in the genetic composition of seed lots; most clones in seed orchard of *P. tabulaeformis* in Xingcheng were superior to those in natural stands. Management measures such as thinning in existing clones of seed orchard, rebuilding seedling seed orchard in progeny test forest, and selecting second-generation superior tree had great potentialities to get high genetic gains. Pollen background and comprehensive environment factors related to individual growth had certain influences on the genetic performance of the clones in seed orchard. According to the stability differences, clones and their progenies families could be used differently.

Key words:*Pinus tabulaeformis*; open pollinated progeny test; seedlot; stability

种子园是针叶树种遗传改良程序与良种在生产中应用的重要环节,是世界范围重要针叶树种遗传改良的主要途径。种子园生产种子的遗传增益水平取决于种子园选择亲本的遗传优异程度,以及对收获种子批(seedlot)的实际配子贡献^[1-3]。种子园

无性系之间的非随机交配及配子贡献的不平衡,再加上交配系统、花粉污染等问题,收获种子的遗传增益水平难以达到预期的目标^[4-7],每年收获种子的遗传增益不是恒定的^[8-9]。研究多年度种子园无性系自由授粉子代的表现及其在种子批中的相对稳定

收稿日期:2012-06-24 修回日期:2012-07-18

基金项目:中央高校基本科研业务费专项基金;林业公益性行业专项(201104022)。

作者简介:钮世辉,男,博士,主要研究方向:林木遗传育种。E-mail:arrennew@126.com

* 通信作者:李伟,博士,副教授,主要研究方向:林木遗传育种。

李悦,博士,教授,主要研究方向:林木遗传育种。E-mail:liwei@bjfu.edu.cn

性,对于无性系一般配合力评价、种子园的经营管理、高世代种子的园营建具有重要意义^[10-11]。

油松(*Pinus tabulaeformis*)是我国华北、西北及东北部分地区的重要乡土针叶树种,分布于中国北方的 14 个省市自治区,生态适生区达 300 万 km²^[12]。基于油松作为乡土树种的重要生态经济地位,20 世纪 70 年代国家开始了油松的遗传改良和初级种子园建设等工作。目前,有关油松种子园的研究尚缺乏从结实初期到种子产量稳定的过程中的种子园种子批遗传稳定性等方面的研究。

本研究基于辽宁兴城油松种子园相似立地条件下的多年度种子园自由授粉子代测定材料,分析了油松种子园无性系自由授粉子代的遗传差异及其在年度种子批中表现的稳定性,探索了对稳定性变异的影响因子,了解了种子园年度种子批的遗传构成和稳定性,为油松种子园管理、良种利用和持续改良提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

研究用油松种子园位于辽宁省兴城市,该种子园由 49 个油松无性系组成,按照 7×7 固定排列区组进行配置设计,无性系嫁接时间是 1974 年,砧木 2 年生,定植时间是 1975 年。

1.2 试验设计

第 1 批种子在种子园植株定植 6 a 时采集,有 24 个无性系自由授粉家系。第 2 批种子在种子园植株定植 8 a 时采集,有 48 个无性系自由授粉家系。第 3 批种子在种子园植株定植 11 a 时采集,有 45 个无性系自由授粉家系。第 4 批种子在种子园

植株 13 a 时采集,有 51 个无性系自由授粉家系。试验布置按完全随机区组设计,4 株小区,重复 3 至 10 次,以当地生产用油松种子作为对照。

1.3 统计方法

家系种批生长指标稳定性的方差分析线性模型:

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + S_j + FS_{ij} + e_{ijk} \tag{1}$$

式中: Y_{ijk} 为第 j 种批环境内, i 家系的第 k 重复的观测值; μ 为观测值总平均数; F_i 为第 i 家系效应(随机); S_j 为种批环境效应(随机); FS_{ij} 为家系与种批环境的互作效应; e_{ijk} 为剩余项。

家系稳定性分析采用 S. A. Eberhart 和 W. A. Russell^[13]提出的品种生产力对试验点环境指数的回归分析法,以试验中每个家系对环境指数的回归和该回归的平方差函数,来提供所需稳定性参数的估计值。

2 结果与分析

2.1 油松种子园无性系自由授粉子代的遗传变异

对各种子批包含的自由授粉子代进行测定,结果表明各种子批无性系自由授粉家系间的生长均存在着显著差异,除第 6 年的种子批年均树高显著性水平稍低外,其余试验家系间差异均达到极显著水平。各试验的年均树高家系方差分量在 6.21%~18.8%变动,家系遗传变异系数在 4.28%~7.67%之间,家系表型变异系数在 15.6%~24.3%之间,家系遗传率变动在 0.41~0.74 之间。随种子批采种树龄的增加,家系方差分量、家系遗传变异系数和家系遗传率有升高的趋势,这与种子园建园早期的花粉背景年度间变化有关,在有效父本很少时,母本和非加性效应可能对子代有较大影响(表 1)。

表 1 兴城油松种子园无性系子代家系年均树高的方差与遗传参数分析					
Table 1 Variance and genetic coefficient analysis of annual tree height of <i>P. tabulaeformis</i> in the seed orchard					
种子批		6 a	8 a	11 a	13 a
家系变异分析					
	自由度	24	48	41	50
	均方	1 546	2 013.3	2 998	2 140
	F 值	1.69 *	1.66 **	2.61 **	3.83 **
	分量/%	18.8	6.21	11.6	9.99
遗传参数分析	GCV _f /%	5.50	4.28	5.31	7.67
	CV _{pf} %	12.7	17.2	15.6	24.3
	H _f ²	0.41	0.40	0.62	0.74
	ΔG _{f/i} /%	3.52	2.70	4.17	6.59
	家系均值/cm	264.4	209.22	231.3	102.7
	对照均值/cm	212.0	164.6	192.05	91.39
	现实增益/%	24.72	27.11	20.44	11.93
超过对照家系数/%	>30 %	0.29	0.31	0.12	0.10
	20 %~30 %	0.46	0.50	0.34	0.36
	10 %~20 %	0.17	0.17	0.49	0.4
	20 %~10 %	0.08	0.02	0.05	0.12
	<对照	0.00	0.00	0.00	0.00

注: * 表示 0.05 水平差异显著, ** 表示 0.01 水平差异显著;GCV_f、CV_{pf}、H_f²、ΔG_{f/i}分别表示家系遗传变异系数、家系表型变异系数、家系遗传率和家系选择遗传增益,表 2 同。

种子园各年度测定结果中,绝大多数无性系自由授粉子代的生长指标超过作为对照的生产用种,各种子批平均树高生长超过对照的现实增益在 12%~27%之间,平均为 21.05%,说明该生产群体的遗传基础优良,所产种子用于工程造林可有良好效益(表 1)。在现有种子园无性系基础上实施 50%的入选率去劣疏伐,树高现实遗传增益估计值可以达到 25%。如不考虑近交效应,对子代测定林以单位选择强度选择优良家系改建实生苗种子园,预期遗传增益可增加 4.28%,累积增益可达 22%。在优树自由授粉家系中配合选择第二代优树,也有较大的潜力。

2.2 油松种子园种子批中子代家系的生长稳定性

为减小各种子批植株连年生长量差异对稳定性分析的影响,以 8、11 a 和 13 a 种子批中相同家系植株树高年平均值为统计值做稳定性的方差分析。结果显示(表 2),种子批综合环境效应间差异极显著,种子批综合环境分量比率达到 38.34%,其效应值

序次为 8 a(3.29)>11 a(1.77)>13 a(−5.06)。

表 2 种子园种子批与家系年均树高的环境互作分析

Table 2 Interactions between tree height and environtal factors				
变异来源	自由度	均方	F	分量/%
种批	2	13 553	297 **	38.34
家系	41	134.7	2.95 **	3.53
种批×家系	82	45.66	1.62 **	5.44
剩余项	1 806	28.18		
总合	1 931			
平均	GCV_f	H_f^2	$\Delta G_{f/i}$	平均现实增益
31.29	4.39%	0.66	3.57%	19.20%

家系间和家系与种子批综合环境的互作效应,对年平均树高有着极显著的影响(表 3),其互作项的变异分量高于家系,表现为各无性系自由授粉家系在种批花粉配子库与生长环境变化中,高生长表现的相对不同。各家系与生产用种对照相比年平均现实增益为 19.2%,综合各试验结果,以单位选择强度选择家系的预期遗传增益可达 22.7%。

表 3 兴城油松种子园各家系年平均树高及稳定性参数

Table 3 Average of tree height and stability coefficients

家系	\bar{y}_i^{**}	\hat{g}_i	PQI	b_i	$S_{\hat{g}_i}^2$	F
48	34.02	0.091 4	0.845 4	1.337 0*	0.073 3	1.040 8
7	33.89	0.087 2	0.806 4	1.237 0*	0.127 4	1.070 9
36	33.59	0.077 6	0.717 3	1.608 0**	5.780 4*	4.216 2
50	33.27	0.067 4	0.623 3	1.354 0*	−1.385 1	0.229 4
23	33.22	0.065 9	0.609 1	0.799 0	0.414 0	1.230 4
12	32.86	0.054 3	0.502 1	1.160 0	−1.796 1	0.000 6
43	32.83	0.053 1	0.491 5	0.201 0**	21.404 7*	12.909 4
19	32.80	0.052 4	0.484 8	0.707 0*	−1.797 1	0.000 1
39	32.56	0.044 5	0.411 6	0.755 0*	2.534 6*	2.410 2
6	32.54	0.043 8	0.405 2	1.258 0*	−1.302 9	0.275 1
10	32.20	0.033 1	0.306 2	1.248 0*	−1.687 5	0.061 1
1	31.97	0.025 5	0.236 1	0.294 0*	−1.640 8	0.087 1
13	31.91	0.023 9	0.220 6	0.835 0	−0.775 7	0.568 4
21	31.78	0.019 5	0.180 6	1.537 0*	3.568 8*	2.985 7
15	31.64	0.015 1	0.139 8	0.431 0**	4.772 5*	3.655 4
31	31.58	0.013 1	0.120 8	1.435 0*	−1.735 3	0.034 5
2	31.48	0.009 9	0.091 2	1.304 0*	−1.493 8	0.168 9
33	31.40	0.007 4	0.068 6	0.951 0	1.082 8	1.602 4
3	31.40	0.007 3	0.067 7	1.220 0	−1.058 4	0.411 1
17	31.39	0.006 9	0.064 2	0.633 0*	0.461 2	1.256 6
37	31.33	0.005 0	0.046 5	1.265 0*	53.860 6*	30.967 7
25	31.06	−0.003 5	−0.032 1	0.886 0	−1.688 7	0.060 4
26	30.94	−0.007 3	−0.067 4	1.084 0	−0.308 6	0.828 3
14	30.89	−0.009 1	−0.083 8	0.924 0	−1.171 2	0.348 4
38	30.88	−0.009 2	−0.085 1	0.656 0*	−1.514 2	0.157 5
8	30.83	−0.011 1	−0.102 4	1.120 0	4.547 6*	3.530 2
27	30.77	−0.012 9	−0.119 2	0.863 0	5.431 2*	4.021 9
24	30.75	−0.013 4	−0.123 8	1.202 0	1.779 1	1.989 9
9	30.69	−0.015 6	−0.143 8	1.023 0	−0.023 1	0.987 1
41	30.68	−0.015 9	−0.146 7	1.020 0	1.391 1	1.774 0
47	30.53	−0.020 6	−0.190 4	1.488 0**	11.865 2*	7.601 7
40	30.36	−0.026 1	−0.241 1	0.469 0**	−0.408 0	0.773 0
30	30.15	−0.032 9	−0.304 1	0.874 0	−0.828 7	0.538 9
16	30.05	−0.036 0	−0.332 7	1.256 0*	1.337 6	1.744 3
32	30.02	−0.036 8	−0.340 5	0.965 0	−1.509 8	0.159 9
45	29.65	−0.048 8	−0.451 3	0.973 0	−1.281 0	0.287 3
29	29.53	−0.052 6	−0.486 9	0.741 0*	7.778 8*	5.328 1
11	29.30	−0.059 9	−0.554 3	1.094 0	5.501 9*	4.061 2

注: * 表示 0.05 水平差异显著, ** 表示 0.01 水平差异显著, \bar{Y}_i 为家系 i 在所有环境的平均值; \hat{g}_i 为家系相对效应值, PQI 为生产力指数, b_i 为回归系数, $S_{\hat{g}_i}^2$ 为稳定性参数。

从不同环境背景下的生长和稳定性指标的分析结果看,各参试家系在不同试验中综合表现的年均树高、相对效应值和生产力指数均超过对照;各家系间的回归系数 b_i 和稳定性参数 S^2_{di} 有较大差异。用两者共同评价各家系树高生长稳定性时,结果有一定的差异。在用 b_i 作为稳定性标准时,如以 $1 \pm \sigma$ 作为回归显著性检验尺度,则有 12 个家系生长表现不稳定,9 个家系及对照的表现为超平均稳定,用 $1 \pm 2\sigma$ 检验时,有 2 个家系不稳定,4 个超平均稳定。用 S^2_{di} 评价时,有 12 个家系回归离差显著,两者对一些家系的稳定性评价不同。用 b_i 评价家系稳定性比用回归离差较为敏感。值得注意的是, PQI 为负值的家系,树高生长基本属于稳定或超平均稳定,而一些生长较好家系则不稳定。 $PQI > 0.20$ 的家系当中,表现稳定或超稳定的家系是 23、12、43、19、36、1 和 13 共 7 个家系,而不稳定家系是表现最优的 48、7、36、50,以及 6 和 10 家系(表 3)。

3 结论与讨论

从辽宁兴城油松种子园研究结果来看,尽管各种批花粉和环境背景存在差异,特别是建国初期有效父本数量很少的情况下,无性系自由受粉家系间仍存在显著的遗传变异,说明母本的一般配合力效应在油松种子园种子批的遗传构成中起重要作用,是引起油松种子批遗传变异的主要因素。无性系作为母本的遗传贡献在种子批遗传增益中所具有的地位和作用,对油松种子园无性系的经营管理具有重要的实际意义。采取有效措施,提高雌配子贡献率低而育种值高的无性系雌球花产量应是提高现有油松种子园种子产量和遗传品质的重要内容^[14-15]。

兴城油松种子园中的绝大多数无性系具有优良的生长表现,现实遗传增益普遍很高,有近 50% 的家系树高生长超过普通生产用种对照 20% 以上,并显著优于优良种源优良林分对照。说明该油松生产群体的遗传基础优良,在现有种子园无性系基础上实施去劣疏伐,会实现很高树高现实遗传增益。在子代测定林中选择优良家系改建实生苗种子园,以及在优树自由授粉家系中配合选择第二代优树,都具有较大的潜力。

不同种子批试验环境与家系间存在显著的交互作用,说明由于花粉背景和植株生长的综合环境因子差异对家系的遗传和表现有一定的影响,家系间的生长和种子批试验中的稳定性表现了差异。在初级种子园的改建时,对子代生长表现差、并且稳定的部分无性系,可作为首批去劣的对象^[16]。对于生长表现优异、并且稳定的家系,适合用于大面积的造林

推广。对于生长表现优异、但稳定性较差的家系,适宜在立地条件较好的地方造林。

参考文献:

[1] LINDGREN D, CUI J, SON S G, *et al.* Balancing seed yield and breeding value in clonal seed orchards[J]. *New Forest*, 2004, 28(1):11-22.

[2] SLAVOV G T, HOWE G T, ADAMS W T. Pollen contamination and mating patterns in a Douglas-fir seed orchard as measured by simple sequence repeat markers[J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2005, 35(7):1592-1603.

[3] LI B, MCKEAND S E, WEIR R. Tree improvement and sustainable forestry - impact of two cycles of loblolly pine breeding in the U. S. A[J]. *Forest Genetics*, 1999, 6(4):229-234.

[4] ASKEW G R. Estimation of gamete pool compositions in clonal seed orchards[J]. *Silvae Genet*, 1988, 37(5-6):227-232.

[5] EL-KASSABY Y A, FASHLER A M K, SZIKLAI O. Reproductive phenology and its impact on genetically improved seed production in a Douglas-fir seed orchard[J]. *Silvae Genet*, 1984, 33(4-5):120-125.

[6] 张华新, 李军, 李国锋, 等. 油松无性系雌雄球花量变异和稳定性评价[J]. *林业科学研究*, 1997, 10(2):47-56.

ZHANG H X, LI J, LI G F, *et al.* The clonal variation of female and male strobilus production and evaluation of stability for *Pinus tabulaeformis* Carr. [J]. *Forest research*, 1997, 10(2):47-56. (in Chinese)

[7] 秦采凤, 李悦, 牛正田, 等. 油松种子园无性系性状变异与配子贡献研究[J]. *北京林业大学学报*, 2000, 22(1):20-24.

QIN C F, LI Y, NIU Z T, *et al.* Genetic variations of clonal traits and estimation of gamete pool composition in a clonal seed orchard of *Pinus tabulaeformis* [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2000, 22(1):20-24. (in Chinese)

[8] BYRAM T D, LOWE W J, MCGRIF J A. Clonal and annual variation in cone production in loblolly pine seed orchards[J]. *Forest Sci*, 1986, 32(4):1067-1073.

[9] 李悦, 王晓茹, 李伟, 等. 油松种子园无性系花期同步指数稳定性分析[J]. *北京林业大学学报*, 2010, 32(5):88-93.

LI Y, WANG X R, LI W, *et al.* Flowering synchronization stability of clones among plant ages in a seed orchard of *Pinus tabulaeformis* [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2010, 32(5):88-93. (in Chinese)

[10] HANSEN O K. Mating patterns, genetic composition and diversity levels in two seed orchards with few clones—Impact on planting crop[J]. *Forest Ecol Manag*, 2008, 256(5):1167-1177.

[11] FUNDA T, LSTIBÚ REK M, LACHOUT P, *et al.* Optimization of combined genetic gain and diversity for collection and deployment of seed orchard crops[J]. *Tree Genetics & Genomes*, 2009, 5(4):583-593.

[12] 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):30-38.

ZHANG H X, SHEN X H. Variations and spatial changes of cone characters of clones in *Pinus tabulaeformis* Carr. seed orchard[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 1996, 18(1):30-38. (in Chinese)