

杉木耐贫瘠优良无性系苗期初选

齐明¹, 何贵平¹, 曹高铨², 程亚平², 罗修宝³, 翁春媚³

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 浙江省庆元县庆元林场, 浙江 庆元 323800;
3. 浙江省遂昌县林业局, 浙江 遂昌 323300)

关键词: 杉木; 无性系; 耐贫瘠; 主成分选择指数; 初选

中图分类号: S723.1 文献标识码: A

Preliminary Evaluation on Fine Clones of Chinese fir Based on Sexual Progeny Tests

QI Ming¹, HE Gui-ping¹, CAO Gao-quan², CHENG Ya-ping², LUO Xiu-bao³, WENG Chun-mei³

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China;
2. Qingyuan Forest Farm of Zhejiang Province, Qingyuan 323800, Zhejiang, China;
3. Forestry Bureau of Suichang County, Zhejiang Province, Suichang 323300, Zhejiang, China)

Abstract: In order to shorten the breeding cycle of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) clone, and select good clones with stronger tolerance to barrenness, in the light of 31 clones, artificial design nutrient environments, the experiment was carried out according to two factors randomized blocks, 8 individuals (in 8 cups) in each plot. After the experiment finished, the height and diameter at base of seedling were measured on entire experiment. The other traits such as the aboveground biomass, the underground biomass, the total biomass, the root-shoot ratio and the entire P content of individual have been measured according to sampling method. The results of statistical analysis showed that: (1) There were obvious differences among the clones in all the traits besides root-shoot ratio; (2) Obvious differences in all the traits existed under different nutrient stress and different sites conditions among different clones; (3) The interaction of clone \times nutrient coercion processing was complex; (4) The research traits showed a certain variation and repeatability over intermediate level. Based on the variance analysis (fixed model), the PCA selection index under different situations was derived and obtained. Using certain selected intensity, 13 outstanding clones were evaluated from the entire experiment. Among them 7 clones were anti-phosphorus and the anti-potassium lack (happy nitrogenous fertilizer) clones, 7 clones were anti-phosphorus lack (happy nitrogen potassium fertilizer) clones, 8 fine clones were selected under normal nutrient management (happy nitrogenous, phosphorus, potassium), there were 5 fine clones with good performance, and simultaneously very stable under all kind of conditions. These clones may be applied to field tests.

Key words: *Cunninghamia lanceolata*; clone; tolerance to barrenness; PCA index; trait evaluation

20世纪90年代,我国南方营造了大量的杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)速丰林,但由于忽视了良种的耐贫瘠特性,致使约30%的杉木人工林不能成林,约20%的人工林不能成材;另

收稿日期: 2012-06-12

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目“杉木三代育种技术研究与示范”(2012BAD01B0201);浙江省科技厅重大专项“杉木高生产力优质新品种选育与示范”(2012C12908-11)

作者简介: 齐明(1962—),湖北武汉人,副研究员,硕士,从事林木多性状遗传改良研究。

外每年新增大量的退化地需要治理,也需要大量耐瘠薄的优良品系。因此,杉木良种的抗逆性评定与选择十分重要。杉木无性系在良种培育中具有独有的优势,它能保持母本的遗传特性,生长一致,林相整齐,便于集约经营,尤其是无性系的木材材性均匀一致,收获期相同,是建立工业用材林的最佳材料^[1-2]。无性系育种是杉木良种发展的一个重要方向,理应引起林业界的重视。

我国的杉木无性系林业已有一定规模,但常规的杉木无性系选育目标,多集中在品种的生长和木材性状方面。马祥庆等^[3-5]已开展了杉木营养遗传研究,目前已取得了一些成果;但我国南方丘陵山区,土壤普遍缺磷,进行人工施肥,不仅施肥结果复杂,人工成本较高,而且因养分吸收有限,还会引起环境污染。林木耐贫瘠与营养高效利用有一定的联系,但并不总是统一的,林木的耐贫瘠特性是指生长介质中养分浓度较低时,能维持正常生长发育的能力,并获得与养分充足时相当的生产力;而林木营养高效利用,则是指生长介质中养分充足或向生长介质中提供养分时,植物能吸收更多的养分,并获得较高的生产力。因此,不少学者认为,对于我国南方山地,林木施肥是一项高投入、低产出的措施,测定与选育耐贫瘠的杉木良种更有积极意义。本文是对杉木无性系苗期养分胁迫试验结果的总结,以期为进一步的区试与优良无性系的终选提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

根据多片单亲子代测定和多片双亲子代测定的综合评选结果,2007年年底从杉木优良家系实生苗中共收集超级苗354株(以后每年新选一批超级苗,同时淘汰一批劣质超级苗)。

在本研究中,参与耐贫瘠试验的杉木无性系有31个,其母株是采穗圃2007年中选的优株,进行试验的穗条是30个萌条多的母株于2009年所产的秋条。

1.2 试验设计

扦插圃放在浙江富阳中国林科院亚热带林业研究所大垅内。采用容器杯育苗,容器规格为直径14 cm、高13 cm,育苗基质为本地缺磷红心土与河沙按一定比例(体积比)混合。缺磷红心土含有机质20.28 g·kg⁻¹,全氮、全钾和全磷含量分别为0.23、21.95、0.94 g·kg⁻¹,水解氮、有效钾和有效磷含量

分别为60.3、50.60、1.87 mg·kg⁻¹(杉木林地含有有效磷16.0 mg·kg⁻¹为正常^[5]),pH值4.55。

不同处理基质间的配制^[6-7]如下,(1)对照:3桶缺磷红心土:2桶河沙:1桶鸡粪有机肥(杭州萧山协庆化工有限公司生产),混均匀后装杯;(2)磷胁迫和(3)磷钾胁迫的基质配制:3桶缺磷红心土:2桶河沙,混均匀后装杯。

试验设计是按养分胁迫和无性系两因素随机区组设计,参试无性系31个,磷胁迫和磷钾胁迫外,另加1个对照(正常养分管理),共3个处理,8株小区。

本试验的穗条于2009年10月中旬采集,假植在防冻塑料大棚中,次年3月5日开始扦插(均已形成愈伤组织),每杯插1个穗条。由于穗条5月份已生根,养分胁迫试验于2010年5月15日到2010年8月15日。对照每隔10 d施1.5 g·L⁻¹浓度的硝酸铵(20 g NH₄NO₃)和1.5 g·L⁻¹浓度的磷酸二氢钾(20 g KH₂PO₄)混合液;磷胁迫处理每隔10 d施1.5 g·L⁻¹浓度的硝酸钾(20 g KNO₃);磷钾胁迫每隔10 d施1.5 g·L⁻¹浓度的尿素(20 g CO(NH₂)₂)。整个试验期间正常水分管理。

试验结束后,于2010年11月底进行生长测量,全部植株测量苗高和地径。生物量(地上生物量、地下生物量、总生物量)、根冠比和全株磷含量采用抽样的方法测定,由于研究材料是无性系,所以采用如下抽样方案:在8株小区中抽取生长中等偏上的3个植株。抽取植株于茎基剪断,分成地上和地下2个部分,采用105℃杀青1 h,然后80℃烘干,用快速天平测定其干质量,然后计算根冠比。由于植株全磷含量与生长等性状密切相关^[8],故将磷含量大小视为抗贫瘠的一个重要指标(其它性状也是耐贫瘠指标)。磷含量测定方法是将每个单株全部干样都粉碎成细粉混均,采用H₂SO₄-HClO₄消煮,钼锑抗比色法测得植物样品的磷浓度,据总生物量推算出全株磷含量。

1.3 统计分析^[9]

以单株观察值作为统计分析单位,苗高和地径有如下线性模型:

$$y_{ijk} = u + C_i + B_j + (CB)_{ij} + e_{ijk}$$

式中: $i = 1 \rightarrow 31$; $j = 1 \rightarrow 3$; $k = 1 \rightarrow 8$; y_{ijk} 表示第*i*个无性系在第*j*个区组(养分胁迫处理)中的第*k*个观察值; C_i 表示第*i*个无性系的效应值, $C_i \sim N(0, \sigma_c^2)$; B_j 表示第*j*个养分胁迫处理(区组)的效应

值, $B_j \sim N(0, \sigma_b^2)$; $(CB)_{ij}$ 表示无性系与养分胁迫间的交互作用, $(CB)_{ij} \sim N(0, \sigma_{cb}^2)$; e_{ijk} 表示随机误差, $e_{ijk} \sim N(0, \sigma_e^2)$ 。

自由度、期望均方结构及重复力等参见文献[9]。

1.4 全信息量无性系的初评

优良无性系的评选采用多性状选择法。本研究初选无性系的评选是在方差分析的基础上,以无性系平均值进行主成分分析,按下式计算主成分选择指数^[10]:

$$I = \sum_i (\beta_i / \lambda_i) \times Z(i)$$

式中: β_i 和 λ_i 分别为第 i 个主成分 $Z(i)$ 的信息权重和其变异性(特征值的平方根)。

1.5 无性系的选择增益

无性系的选择增益 $\Delta G =$ 研究性状重复力 \times (入选群体平均值 - 试验群体平均值) / 试验群体平

均值

数据处理在 Excel 2003、Matlab 7.0 和 DPS(高级版)平台上完成。

2 结果与分析

2.1 养分胁迫条件下扦插苗的生长情况

由表1可见:(1)杉木扦插苗比一般的实生苗高大(浙江地区1年生的杉木实生苗通常苗高25~35cm);(2)7个研究性状具有较大的表型变异,全株磷含量表型变异最大,表型变异系数 CV_p 达48.81%,地径的表型变异最小,表型变异系数 CV_p 为21.76%;(3)通常遗传变异系数要比表型变异系数小,其中,地下生物量遗传变异系数 CV_c 最大,为19.29%,地径遗传变异系数 CV_c 最小,为6.25%;(4)整个试验群体的研究性状具有中度左右的重复力。

表1 养分胁迫试验扦插苗的生长情况

项目	苗高/cm	地径/mm	地上生物量/g	地下生物量/g	总生物量/g	根冠比	全株磷含量/mg
参试群体平均值	40.29	5.93	11.140 5	4.749 5	15.893 3	0.432	18.359 4
表型变异系数 $CV_p/\%$	24.34	21.76	42.01	48.54	41.95	29.84	48.81
遗传变异系数 $CV_c/\%$	9.43	6.25	17.11	19.29	6.54	8.28	19.00
无性系重复力	0.737 0	0.645 6	0.573 3	0.577 9	0.705 7	+++	0.496 4

注:+++表示方差分析差异不显著,因此不能根据这里的结果来计算无性系平均值的重复力。

2.2 不同研究性状的差异性分析

表1中的结果,不论是参试群体平均数,还是性状重复力等参数,都是依赖随机模型条件下的方差

分析结果。苗高、地径的方差分析结果(随机模型)列于表2,其它性状的平衡数据分析结果(随机模型)列于表3。

表2 苗高和地径性状间的差异分析

性状变因	自由度	均方		期望均方结构 ^[9]
		苗高	地径	
无性系	30	413.537 7**	4.481 6**	$\sigma_e^2 + 7.257 8\sigma_{cb}^2 + 0.174 8\sigma_b^2 + 21.118 0\sigma_c^2$
养分胁迫	2	632.012 7**	20.322 0**	$\sigma_e^2 + 7.291 0\sigma_{cb}^2 + 217.586 3\sigma_b^2 + 0.228 5\sigma_c^2$
Clone \times NC	60	106.477 9*	1.560 1 ^{NS}	$\sigma_e^2 + 6.922 4\sigma_{cb}^2 - 0.087 4\sigma_b^2 - 0.007 6\sigma_c^2$
误差	594	72.116 7	1.377 4	σ_e^2

注:*、**分别表示5%、1%统计水平上存在差异,NS表示差异不显著,Clone \times NC表示无性系与营养胁迫互作;下同。

从表2可见:在苗高和地径上,无性系间的差异达到极显著水平,这是耐贫瘠无性系选择的基础,而不同养分胁迫间生长的差异也极显著,这表明不同立地条件下,种植不同的无性系,其生产力不同。在苗高上无性系与养分胁迫互作显著(达5%统计水平),这与叶培忠等^[11]的研究结果一致,而地径上的互作差异不显著,这反映了性状变化的复杂多样性。

在表3中,除了根冠比在无性系间没有差异外,全株磷含量在无性系间的差异接近1%的统计水平,其它3个性状在无性系间均差异极显著;所研究的性状中,地下生物量、根冠比、全株磷含量在不同养分胁迫间的差异极显著,总生物量的差异达5%的统计水平,地上生物量间的差异不显著;除总生物量在无性系与养分胁迫间的互作效应的差异不显著外,地上生物量、根冠比在无性系与养分胁迫间的互

作效应均达极显著水平,而地下生物量和全株磷含量,在无性系与养分胁迫间的互作效应显著性达5%统计水平,即无性系与养分胁迫互作表现复杂,

交互作用随研究性状的变化而变化,这一结果与张贵云等^[12]的研究结果一致。

表3 其它性状平衡数据的方差分析结果

性状变因	均方				
	地上生物量	地下生物量	总生物量	根冠比	全株磷含量
无性系	57.053 4 ^{**}	13.071 5 ^{**}	116.243 7 ^{**}	0.031 003 ^{NS}	165.203 2 [*]
养分胁迫	55.715 1 ^{NS}	40.260 7 ^{**}	121.736 1 [*]	0.331 300 ^{**}	707.459 2 ^{**}
Clone × NC	24.342 3 ^{**}	5.517 6 [*]	34.206 8 ^{NS}	0.023 823 ^{**}	83.200 2 [*]
误差	15.078 3	3.622 0	35.337 0	0.000 859	58.915 3

2.3 不同养分胁迫条件下最优无性系的评选
在方差分析的基础上,以各无性系的处理平均

值参与主成分分析,根据主成分分析结果,可求出主成分选择指数(表4)。

表4 不同养分胁迫条件下的主成分选择指数

项目	主成分选择指数
磷钾胁迫	$I = 26.652 9Z(1) + 14.567 2Z(2) + 12.519 1Z(3) + 8.990 5Z(4) + 8.059 7Z(5) + 4.811 1Z(6) + 1.315 5Z(7)$
磷胁迫	$I = 26.043 0Z(1) + 14.092 0Z(2) + 12.629 3Z(3) + 10.446 7Z(4) + 7.418 1Z(5) + 6.762 4Z(6) + 1.944 5Z(7)$
对照	$I = 28.145 5Z(1) + 14.007 9Z(2) + 11.516 0Z(3) + 7.803 0Z(4) + 7.428 5Z(5) + 3.370 9Z(6) + 0.394 7Z(7)$

表4反映:不同养分胁迫处理(肥种)条件下的主成分指数结构大体相同,不同的主成分分量的相对重要性各不相同,Z(1)的重要性最大,然后依次降低。

运用表4的主成分选择指数,计算出不同养分胁迫条件下各无性系的选择指数值,列于表5。

按通常使用的入选率进行选择,整个试验初步评选出13个耐贫瘠优良无性系:A4、A7、A9、A11、A13、A16、A18、A20、A24、A26、A28、A29、A30,其中,耐磷钾(喜氮肥)的无性系7个:A4、A7、A9、A11、A13、A18、A26,它们适宜于种植在含氮较高的土壤上;耐磷(喜氮钾肥)的无性系7个:A9、A13、A16、A18、A28、A29、A30,它们适宜于种植在氮钾含量高的土壤上;在对照处理(喜氮磷钾肥)中表现突出的无性系8个:A9、A11、A13、A18、A20、A24、A26、A28,它们适宜于种植在肥沃的土地上。由上述结果可见,不同处理中表现突出的无性系有不交叉出现的,如耐磷钾处理中的A4、A7,耐磷处理中的A16、A29、A30,对照处理中的A20、A24等,说明这些无性系适应性较窄;不同处理中表现突出的无性系也有重叠出现的,如A9、A13、A18等,说明这些无性系具有广泛的适应性。综合以上分析,并结合表5的结果,可见A9、A13、A18、A26、A28这5个无性系在各种试验处理下表现均较好,是对环境变化不敏感的无性系,它们可在多种立地上进行野外造林试验。

表5 不同养分胁迫条件下各无性系的选择指数值

无性系 编号	磷钾胁迫 (供氮肥)	磷胁迫 (供氮钾肥)	对照
A1	-40.269 6	-44.659 4	-131.378 0
A2	-102.563 0	-156.491 0	-124.544 0
A3	31.114 8	-29.297 8	-72.347 9
A4	48.298 6	-35.617 5	-27.260 4
A5	24.549 7	-3.906 0	-37.125 1
A6	-43.490 9	8.436 7	-6.189 5
A7	121.402 0	30.424 5	-105.245 0
A8	-0.649 4	-6.116 1	-86.436 5
A9	68.958 9	70.192 3	82.795 0
A10	-57.293 7	-99.027 3	23.939 3
A11	75.578 0	4.984 2	129.476 5
A12	-5.965 7	29.030 2	-10.631 3
A13	41.981 6	81.639 0	83.617 5
A14	-39.796 2	-35.202 2	-57.484 7
A15	-22.494 0	26.940 1	-6.305 8
A16	31.049 2	52.760 3	-46.607 0
A17	26.100 8	-50.469 3	-18.354 5
A18	107.598 5	159.703 2	53.964 2
A19	-29.745 8	-18.098 5	35.759 6
A20	33.206 7	-24.383 9	47.160 6
A21	-85.590 4	-71.335 8	28.105 1
A22	4.829 2	-27.400 7	27.759 7
A23	-134.877 0	-58.644 0	-80.312 8
A24	11.879 2	29.510 4	106.152 4
A25	23.430 7	23.439 0	44.905 2
A26	84.108 3	21.991 5	56.819 3
A27	-92.256 5	-33.964 3	-23.084 5
A28	31.837 7	51.923 6	89.456 2
A29	-86.686 6	46.240 8	-22.170 4
A30	-10.223 7	67.756 0	30.790 7
A31	-14.026 3	-10.366 8	14.779 2

2.4 杉木耐贫瘠试验初选效果的分析

由上可知,各种试验处理下表现均优,而且稳定的无性系有:A9、A13、A18、A26、A28,对这5个广谱

性的无性系进行苗期选择,其选择增益见表6。由表6可见:采用5/31的选择强度时,各性状均有明显的选择增益。

表6 表现均优且稳定的5个无性系的选择增益

项目	苗高/cm	地径/mm	地上生物量/g	地下生物量/g	总生物量/g	根冠比	全株磷含量/mg
入选群体平均值	42.744 3	6.355 2	13.629 3	6.308 2	19.980 6	0.489 5	22.230 8
选择增益/%	4.49	4.63	12.81	18.97	18.15	13.31 ⁺⁺	9.18

注:++表示现实增益。

3 小结与讨论

我国南方丘陵山地,立地条件各异,要针对不同立地类型展开杉木多目标育种。本试验研究表明:参试杉木无性系苗期对不同养分胁迫有不同的反应,无性系在养分胁迫处理间差异巨大,这是无性系材料的遗传特性所决定的,也说明杉木多目标(包括耐贫瘠)育种是切实可行的。

主成分选择指数考虑了所有研究性状的遗传变异和遗传相关信息,具有选择结果精确可靠的特点。饶显生等^[13]探讨了杉木无性系苗期选择的可靠性,结果表明1年生苗高可作为杉木无性系苗期选择的重要生长指标。与单性状评选相比,主成分指数选择的优势更明显。

经过养分胁迫试验,在多性状方差分析的基础上,计算主成分选择指数,据此初步评选出13个耐贫瘠优良无性系:A4、A7、A9、A11、A13、A16、A18、A20、A24、A26、A28、A29、A30,其中,耐磷钾(喜氮肥)的无性系7个:A4、A7、A9、A11、A13、A18、A26,它们适宜于种植在含氮较高的土壤上;耐磷(喜氮钾肥)的无性系7个:A9、A13、A16、A18、A28、A29、A30,它们适宜于种植在氮钾含量高的土壤上;在对照处理(喜氮磷钾肥)中表现突出的无性系8个:A9、A11、A13、A18、A20、A24、A26、A28,它们适宜于种植在肥沃的土地上。各种试验处理下表现均优的无性系有:A9、A13、A18、A26、A28,它们不仅表现较好,同时也很稳定,对其进行苗期选择,可获得明显的选择增益。

通过苗期耐贫瘠试验初选出的无性系材料,正

着手大量扩繁,准备用于下一步的多点野外造林试验,以进一步展开优良杉木优良无性系的终选。

参考文献:

- [1] 王明麻. 林木遗传育种学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001: 200-225
- [2] 齐明. 我国杉木无性系选育的成就、问题和对策[J]. 世界林业研究, 2007, 20(6): 50-55
- [3] 马祥庆, 刘爱琴, 黄宝龙, 等. 氮素高效基因型杉木无性系的选择研究[J]. 林业科学, 2002, 38(6): 53-57
- [4] 梁霞, 刘爱琴, 马祥庆, 等. 磷胁迫对不同杉木无性系酸性磷酸酶活性的影响[J]. 植物生态学报, 2005, 29(1): 54-59
- [5] 梁霞, 刘爱琴, 马祥庆, 等. 不同杉木无性系磷素特性的比较[J]. 植物生态学报, 2006, 30(6): 1005-1011
- [6] 余常兵, 陈防, 万开元. 杨树人工林营养及施肥研究进展[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(3): 67-71
- [7] 薛丹, 陈金林, 于彬, 等. 杨树苗木配方施肥试验[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2009, 33(5): 37-40
- [8] 周志春, 谢钰容, 金国庆, 等. 马尾松种源对磷肥的遗传反应及根际土壤营养差异[J]. 林业科学, 2003, 39(6): 62-67
- [9] 齐明. 林木遗传育种中试验统计法新进展[M]. 北京: 中国林业出版社, 2009: 32-37
- [10] 齐明, 何贵平, 李恭学, 等. 杉木不同水平试验林的遗传参数估算和高世代育种的亲本评选[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(5): 4-8
- [11] 叶培忠, 陈岳武, 陈世彬, 等. 杉木遗传型环境互作和遗传稳定性研究: I. 杉木遗传型地点年份的分析[J]. 南京林产工业学院学报, 1980(3): 35-46
- [12] 张贵云, 胡蕻. 杉木无性系与环境的交互效应及其稳定性研究[J]. 贵州林业科技, 2006, 34(2): 9-14
- [13] 饶显生, 程书建, 刘化桐, 等. 杉木无性系苗期选择可靠性分析[J]. 福建林学院学报, 2002, 22(1): 82-85