

## 杉木半同胞家系生长性状遗传分析及优良家系选择\*

聂林芽,曾素平,厉月桥,曾平生,何平,喻龙华

(中国林业科学研究院亚热带林业实验中心,江西 新余 336600)

**摘要:**为了给杉木(*Cunninghamia lanceolata*)高效培育和优良种质筛选提供参考依据,加快杉木良种的推广,本研究以中国林业科学研究院亚热带林业实验中心杉木半同胞家系子代试验林为试验对象,通过测定40个家系和2个对照的保存率、树高、地径,分析各生长性状的遗传变异规律及不同家系间的显著性差异,以地径为主要评估指标,兼顾树高、保存率及性状遗传增益,对家系进行等级划分,并筛选出优良无性系。结果表明,大部分家系保存率大于90%,部分家系间保存率存在显著差异,34、163、127号家系保存率最大(96%),141号(44%)显著低于其他家系。杉木家系树高、地径在家系间、重复间以及家系、重复交互效应上均存在显著性差异( $P < 0.05$ ),树高和地径超过对照平均值的家系分别有12个、22个,其中地径超过对照的占比超过50%。杉木家系遗传力均大于单株遗传力,家系的地径和树高遗传力分别为57.70%、59.60%。经过分析,将家系划分为优、良、差三个等级,初步筛选出15号、101号、67号、43号、21号、13号共6个优良家系,优良家系地径比对照提高了21.96%~32.99%,遗传增益为10.17%~16.46%,家系增产效果相对显著。3年生杉木半同胞子代试验林生长性状受中等偏上的遗传控制,大部分优良性状可传递给子代,选择的优良家系具有明显的遗传改良潜力,可为杉木良种选育打下坚实的理论基础和科学指导。

**关键词:**杉木;*Cunninghamia lanceolata*;生长性状;遗传增益;优良家系

中图分类号:S791.27

文献标识号:A

文章编号:2097-0285(2022)10-0003-07

DOI:10.13456/j.cnki.lykt.2022.01.14.0004

## Genetic Analysis of Growth Traits and Selection of Excellent Families in Half Sib Families of *Cunninghamia lanceolata*

**Abstract:** In order to provide reference basis for efficient cultivation and excellent germplasm screening of *C. lanceolata*, and can speed up the popularization of improved varieties of *Cunninghamia lanceolata*. In this study, the progeny experimental forest of *C. lanceolata* half sib families in Experimental center of subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry was taken as the experimental object. By measuring the preservation rate, tree height and ground diameter of 40 families and 2 controls, the genetic variation law of various growth traits and the significant differences among different families were analyzed. Taking ground diameter as the main evaluation index, considering tree height, preservation rate and genetic gain of traits, the families were classified, and excellent clones were selected. The results showed that the preservation rate of most families was more than 90%, and there were significant differences among some families. The preservation rate of families 34, 163 and 127 was the highest (96%), and that of families 141 (44%) was significantly lower than that of other families. There were significant differences in tree height and ground diameter among families, repetitions and interaction effects between families and repetitions ( $P < 0.05$ ). There were 12 and 22 families whose tree height and ground diameter exceeded the average value of the control respectively, of which the ground diameter exceeded the control accounted for more than 50%. The heritability of *C. lanceolata* family was greater than that of single plant. The heritability of ground diameter and tree height were 57.70% and 59.60% respectively. After analysis, the families were divided into three grades: excellent, good and poor. Six excellent families of No. 15, No. 101, No. 67, No. 43, No. 21 and No. 13 were preliminarily screened. The ground diameter of the excellent families was 21.96% ~ 32.99% higher than that of the control, and the genetic gain was 10.17% ~ 16.46%. The growth characters of 3-year-old *C. lanceolata* half sib progeny experimental forest are controlled by medium to upper heredity, and most excellent characters can be transmitted to the progeny. The selected families have obvious genetic improvement potential, which can

lay a solid theoretical foundation and scientific guidance for the breeding of improved varieties of *C. lanceolata*.

**Key words:** *Cunninghamia lanceolata*; growth traits; genetic gain; excellent family

杉木(*Cunninghamia lanceolata*)为常绿针叶树种,广泛分布于我国亚热带地区,是中国特有的速生商品材树种,其木材是优良的建筑和装饰用材,具有较高的经济及生态价值<sup>[1-4]</sup>。杉木人工林面积占全球人工林总面积的6.5%,在造林培育和森林生态系统平衡方面发挥重要作用<sup>[5]</sup>。因此当前研究杉木半同胞家系生长性状的遗传变异特征,开展杉木优良家系筛选,可为林木培育提供优良种质,为良种选育提供科学指导。

林木种子园是由具有优良遗传特性林木组成的人工林,主要是为了生产大量的优质种子而营建<sup>[6]</sup>。在林木遗传改良中,优树选择是指按照育种目标在种内群体中留优去劣,不仅是林木育种的重要步骤,而且是得到优良品种和生产群体的重要途径<sup>[7-8]</sup>。现有研究主要通过家系的生长性状及遗传变异潜力筛选优良家系,其中生长性状的遗传增益可以估算在一定的选择强度下子代相对于亲代可能增加的数值,是林木育种中衡量选择效果的主要指标之一<sup>[9-10]</sup>。现有研究在松树类<sup>[11-13]</sup>、尾叶桉<sup>[7, 14]</sup>、红心杉半同胞家系<sup>[15]</sup>、杉木全同胞家系<sup>[16]</sup>等方面进行了优良家系的筛选,基本是以林木的胸径、树高、材积等生长指标及其遗传潜力等作为评价指标,筛选出生长性状或形质性状等优于对照或群体平均值,遗传增益及现实增益也较大的家系或优树。例如,黄凌珊<sup>[17]</sup>以杉木第3代家系材积为主要指标,兼顾树高、胸径及其遗传病增益,筛选出2个造林效果较好的家系;陈鹏等<sup>[13]</sup>通过对思茅松半同胞家系树高、胸径和材积的遗传力进行估算,筛选出16个优良家系。李光友等<sup>[14]</sup>通过对尾叶桉二代种子园家系的生长性状(树高、胸径、材积、保存率等)及其遗传增益进行分析,初步筛选出8个优良家系。徐建民等<sup>[7]</sup>通过对尾叶桉2个优良种源44个家系进行生长性状和木材密度等进行遗传分析,初步筛选出25个树高、地径、材积、木材基本密度等指标均优于对照的优良家系。然而以往研究多集中

于通过生长性状分析及遗传潜力估算结果筛选出数个优良家系,并未对不同家系进行等级划分。

为从杉木基因库内自由授粉的种质中筛选优良家系,同时挖掘可用于良种生产的亲本,本研究通过对江西省新余市年珠实验林场内的3年生家系进行生长性状分析和遗传潜力估算,将家系划分不同等级,筛选出最优家系用于指导林木育种,可有效推动区域内良种推广,为国家良种基地建设提供技术支撑和科学指导。

## 1 研究区概况

研究区位于江西省新余市中国林业科学研究院亚热带林业实验中心年珠实验林场(27°34'21"N、114°34'22"E),区域内海拔大部分在200~500 m之间,地形起伏较大,最高海拔超过1 000 m。全境位于亚热带季风性气候区,属亚热带湿润大陆性季风气候。境内光热充足、四季分明、雨水天气较多,年平均降水量多于1 600 mm,年平均蒸发量超过1 500 mm,多数月份年均相对湿度大于80%,年均无霜期270 d;年均温为17.2℃,7月最热时的温度为39.9℃,平均气温为28.8℃;最冷的月份1月平均温度为5℃左右,极端最低温度-8.3℃<sup>[18-19]</sup>。研究区内土壤肥沃,土壤类型主要为红壤<sup>[20]</sup>。植物种类丰富,郁闭度大,乔木主要以杉木、马尾松(*Pinus massoniana*)、木荷(*Schima superba*)、枫香(*Liquidambar formosana*)等树种为主,灌木主要为杜鹃(*Rhododendron simsii*)、牡荆(*Vitex negundo*)、杜茎山(*Maesa japonica*)等,草本主要为狗脊蕨(*Woodwardia japonica*)、斑茅(*Saccharum arundinaceum*)等。

## 2 材料与方法

### 2.1 实验材料

试验材料来自江西省新余市中国林业科学研究院亚热带林业实验山下实验林场杉木基因库,参试家系共40个,2017年在年珠实验林场造林,以同批培育的安福(CK1)和杉木二代种子园混合种(CK2)作为对照,共计1 818株,2019年11月测定苗木的地径、树高及保存率,平均苗高118.96 cm,平均地径20.03 mm,具体见表1。

### 2.2 造林试验设计

试验采用完全随机区组设计,组内重复5次,每个重复10株,采用穴状整地方式,株行距2 m×2 m,

\* 中国林科院亚林中心杉木马尾松省级重点林木良种基地建设  
项目。

第一作者:聂林芽(1968—),大学本科,实验师,主要从事林木育种和森林培育研究。E-mail: 1305348940@qq.com

通讯作者:曾素平(1994—),硕士研究生,主要从事森林保护和森林经理方面的研究。E-mail: 948266173@qq.com

表 1 杉木不同家系株数

家系号	数量/株	家系号	数量/株	家系号	数量/株
CK1	48	203	44	96	41
CK2	47	28	44	80	43
15	45	169	41	102	45
13	46	183	45	56	41
43	39	143	45	44	45
171	46	98	41	168	42
165	44	101	45	48	37
67	47	34	48	54	43
17	43	2	45	38	45
47	44	181	42	202	41
114	46	141	22	50	40
21	43	40	43	129	44
62	47	32	44	127	48
158	41	163	48	60	40

穴规 0.4 m×0.4 m×0.3 m;每个家系每个重复由上坡到下坡依次排列,42 个家系沿山坡水平方向(横坡)排列,造林地的土壤理化性质、人工管理措施及生态环境因素基本保持一致。

2.3 统计分析

采用 Excel 软件对杉木保存率、树高、地径数据进行统计分析,利用 SPSS 软件进行单因素方差分析、Fisher LSD 检验和多重比较(P<0.05),图表中数据为平均值±标准差。

遗传变异系数:

$$CV = S/X \times 100\%$$

式中:S 为树高或地径的遗传标准差,X 为性状的群体平均值。

单株遗传力:

$$h^2 = \frac{4 \delta_f^2}{\delta_e^2 + \delta_{fb}^2 + \delta_f^2}$$

式中: $\delta_f^2$  为家系方差, $\delta_{fb}^2$  为家系 \* 区组效应方差, $\delta_e^2$  为误差的方差分量<sup>[21]</sup>。

家系遗传力:

$$H^2 = (M_f - M_e) / M_f \times 100\%$$

式中: $M_f$  为家系均方, $M_e$  为环境均方<sup>[22]</sup>。

遗传增益<sup>[23]</sup>:

$$G = (X_i - X)H^2 / X \times 100\%$$

现实增益<sup>[24]</sup>:

$$G = (X_i - X) / X \times 100\%$$

式中: $H^2$  为家系遗传力, $X_i$  为家系地径或树高性状平均

值,X 为地径或树高的群体平均值。

3 结果与分析

3.1 不同家系保存率分析

杉木优树半同胞家系子代测定林保存率整体为 86.15%,造林成活率较高,适合在江西地区推广种植。由图 1 可知,杉木不同家系间保存率存在一定差异,其中 CK1、34 号、163 号、127 号家系的保存率(96%)最高,与保存率较低的 50 号(80.00%)、60 号(80.00%)、43 号(78.00%)、48 号(74.00%)、141 号(44.00%)家系之间均存在显著性差异。141 号家系的保存率最低,与其他家系间均存在显著性差异(P<0.05)。方差分析结果表明(表 2),杉木不同家系间的保存率差异显著(F=2.263,P=0.000 1<0.05)。

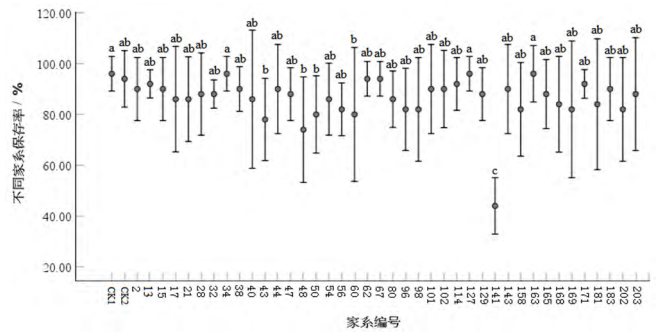


图 1 不同家系间保存率显著性差异(P<0.05)

表 2 杉木不同家系保存率方差分析

变异来源	SS	Df	MS	F 值	Sig.
家系间	1.508	42	0.036	2.263	0.000 1*
家系内	2.728	172	0.016		
总数	4.236	214			

注:\* 表示家系间具有显著性差异。

3.2 不同家系生长方差分析及遗传力估算

如表 3 所示,对 42 个家系生长状况进行方差分析发现树高、地径在家系间、重复间以及家系、重复交互效应上均存在显著性差异(P<0.05)。在家系遗传力和单株遗传力方面,杉木家系遗传力均大于单株遗传力,树高的家系遗传力(57.70%)小于地径的家系遗传力(59.60%),而树高的单株遗传力(24.11%)则大于地径(21.70%)。

3.3 杉木不同家系树高生长差异分析

由表 4 可知,42 个家系的树高生长差异较为显著(P<0.05)。杉木家系的平均树高为 118.96 cm,超过总平均值家系有 21 个,占比为 50%;树高超过 CK1

表 3 杉木不同家系生长方差分析

生长指标	变异来源	SS	Df	MS	F 值	Sig.	家系遗传力/%	单株遗传力/%
树高	家系	251 590.770	42	5 990.256	2.384	0.000*	57.70	24.11
	重复	333 882.291	4	83 470.573	33.506	0.000*		
	家系×重复	425 666.017	168	2 533.726	2.281	0.000*		
	误差	1 831 955.320	1 649	1 110.949				
	总数	29 237 097.24	1 863					
地径	家系	15 538.789	42	369.971	2.492	0.000*	59.60	21.70
	重复	20 290.933	4	5 072.733	34.395	0.000*		
	家系×重复	25 110.321	168	149.466	1.798	0.000*		
	误差	137 089.224	1 649	83.135				
	总数	946 804.510	1 863					

注：\* 代表具有显著性差异。

和 CK2 的家系有 12 个,占比为 28.57%。其中,生长状况较佳的家系有 15 号、13 号和 43 号,家系 15 号的树高最大 $[(142.98 \pm 40.16) \text{ cm}]$ ,显著大于比 CK1 $[(124.48 \pm 34.71) \text{ cm}]$ 小的其他 28 个家系;生长较差的家系有 129 号、127 号和 60 号,家系 60 号的树高最小 $[(91.15 \pm 34.82) \text{ cm}]$ ,显著小于树高 $>107.05 \text{ cm}$ 的其他 34 个家系,为最高家系的 63.75%。

42 个家系的树高变异系数均较大,平均值为 32.92%,种内存在丰富的树高遗传变异,适合选择利用。其中,家系 48 号变异系数最大,变异系数高达 41.48%,其次是家系 163 号(41.03%),而变异系数最小的家系为 67 号(23.15%)。变异系数在 30%~40%的家系有 27 个,占比 64.29%;变异系数在 20%~30%的家系有 13 个,占比 30.95%,变异系数大于对照的家系有 29 个。

42 个家系的树高单株遗传力范围为 4.22%~5.19%,不同家系间单株遗传力差异较小,其中家系 43 号单株遗传力最大(5.19)。遗传增益可用于预算在一定的选择强度下树种子代比亲代可能增加的数值,是林木育种中衡量选择潜力的重要指标之一。在 42 个家系的遗传增益差异较大,两极分化较为显著,树高增益为正数和负数的家系均为 21 个,占比为 50.00%;大于对照的家系有 12 个。家系 15 号的遗传增益最大(11.65%),是仅次于其遗传增益家系 13 号的 1.55 倍。而家系 129 号、127 号和 60 号的遗传增益较小,分别为-10.42%、-11.65%和-13.49%。家系的现实增益与遗传增益趋势基本一致,家系树高现实增益大于对照的有 12 个。家系 15 号的树高现实增益最大(20.19%);家系 129 号、127 号和 60 号的现

实增益较小,分别为-18.04%、-20.20%和-23.38%,现实增益最小家系 60 号比最大家系 15 号的值要小 43.57%。

### 3.4 杉木不同家系地径生长差异分析

由表 5 可知,42 个家系的地径差异较为显著( $P < 0.05$ )。42 个杉木家系的平均地径为 $(20.03 \pm 10.34) \text{ mm}$ ,超过总平均值的家系有 18 个,占比为 42.86%。地径高于对照的家系有 22 个,占比超过 50%。家系 15 号、101 号、67 号、43 号、21 号显著大于对照,地径最大的家系为 15 号 $(25.56 \pm 10.22) \text{ mm}$ ,显著大于地径 $<21.23 \text{ mm}$ 的其他 27 个家系。地径较小的家系有 7 个,分别为 44 号、50 号、202 号、38 号、127 号、129 号、60 号,其中 127 号、129 号、60 号显著小于对照( $P < 0.05$ ),分别为对照平均值的 75.18%、73.78%、68.31%。家系 60 号地径最小 $(13.13 \pm 5.94) \text{ mm}$ ,显著小于地径 $>17.39 \text{ mm}$ 的其他 35 个家系,为地径最大家系 15 号的 51.37%。

家系地径的变异系数较大,平均值为 51.64%,地径在种内存在丰富的遗传变异,可用于造林培育。变异系数大于对照的家系有 19 个,变异系数 $>50.00\%$ 的家系共 11 个;大部分家系变异系数为 40.00%~50.00%,占比 57.14%,变异系数 $<40.00\%$ 的家系占比为 19.05%。家系 101 号变异系数最大(79.04%),分别为 CK1、CK2 的 1.73 倍和 1.93 倍。其次是家系 48 号和 2 号,变异系数最小的家系为 171 号(36.89%),为最大值的 46.67%。

42 个家系的地径单株遗传力范围为 3.97%~8.65%,部分家系间单株遗传力差异较大,37 个家系地径大于对照,其中家系 141 号的地径单株遗传力最



表 4 不同家系树高生长差异及遗传参数估值

家系编号	株高/cm	变异系数 /%	单株遗传力 /%	遗传增益 /%	现实增益 /%
15	142.98±40.16a	28.09	4.50	11.65	20.19
13	134.48±43.92ab	32.66	4.40	7.53	13.04
43	132.41±43.94abc	33.19	5.19	6.52	11.30
67	131.57±30.46abc	23.15	4.31	6.12	10.60
21	131.30±32.64abc	24.86	4.71	5.98	10.37
47	131.20±40.90abc	31.17	4.60	5.94	10.29
171	131.00±36.66bcdefgh	27.98	4.40	5.84	10.12
114	130.82±40.50abc	30.96	4.40	5.75	9.97
165	129.64±39.47abc	30.45	4.60	5.18	8.97
62	128.30±34.36abcd	26.78	4.31	4.53	7.85
169	128.22±39.46bcdefg	30.77	4.94	4.49	7.78
17	127.28±35.31abc	27.74	4.71	4.03	6.99
CK2	125.51±37.01abcde	29.49	4.31	3.18	5.50
158	125.15±48.39abcdef	38.67	4.94	3.00	5.20
CK1	124.48±34.71bcdefg	27.88	4.22	2.68	4.64
28	123.93±37.92bcdefg	30.60	4.60	2.41	4.18
98	123.29±37.02bcdefghi	30.02	4.94	2.10	3.64
183	122.89±39.20bcdefgh	31.90	4.50	1.90	3.30
143	122.31±43.36bcdefgh	35.45	4.50	1.62	2.81
181	121.48±30.21cdefghijkl	24.87	4.56	1.22	2.11
101	120.18±46.73bcdefghij	38.89	4.58	0.59	1.02
203	118.93±35.00bcdefg	29.43	4.60	-0.02	-0.03
34	117.79±33.67bcdefghijk	28.59	4.58	-0.57	-0.98
2	117.02±37.42cdefghijk	31.98	4.59	-0.94	-1.63
40	116.72±35.24cdefghijklm	30.19	4.57	-1.09	-1.89
141	115.91±42.17cdefghijkl	36.39	4.57	-1.48	-2.57
80	113.05±34.20defghijklm	30.25	4.58	-2.87	-4.97
163	112.88±46.32defghijklm	41.03	4.57	-2.95	-5.12
56	112.49±38.62fghijklm	34.33	4.58	-3.14	-5.44
96	112.46±38.11defghijklm	33.89	4.57	-3.15	-5.46
32	112.43±41.98defghijklm	37.34	4.58	-3.17	-5.49
168	111.60±32.45hijklmno	29.08	4.58	-3.57	-6.19
102	111.42±34.15efghijklm	30.65	4.57	-3.66	-6.34
44	107.87±35.69ghijklm	33.09	4.60	-5.38	-9.33
48	107.05±44.40hijklmno	41.48	4.60	-5.78	-10.01
202	105.59±37.92klmno	35.91	4.58	-6.49	-11.25
54	105.05±38.60ijklmno	36.75	4.60	-6.75	-11.70
38	104.07±34.66ijklmno	33.31	4.60	-7.23	-12.52
50	101.53±34.45lmno	33.94	4.59	-8.46	-14.66
129	97.50±36.75mno	37.70	4.59	-10.41	-18.04
127	94.94±23.21no	24.45	4.60	-11.65	-20.20
60	91.15±34.82o	38.20	4.58	-13.49	-23.38
均值	118.96±39.16	32.92			

注:相同小写字母表示不同家系树高无显著差异。

表 5 不同家系地径生长差异及遗传参数估值

家系编号	地径/mm	变异系数 /%	单株遗传力 /%	遗传增益 /%	现实增益 /%
15	25.56±10.22a	39.97	4.23	16.46	27.62
101	24.81±19.61ab	79.04	4.23	14.23	23.88
67	24.00±9.40abc	39.18	4.05	11.81	19.82
43	23.94±11.31abcd	47.25	4.88	11.66	19.56
21	23.77±9.26abcde	38.94	4.43	11.15	18.71
13	23.44±10.18abcdef	43.43	4.14	10.17	17.07
114	23.33±8.80abcdefg	37.73	4.14	9.83	16.49
28	23.22±10.05abcdefg	43.29	4.33	9.51	15.96
96	23.13±10.03abcdefgh	43.38	4.64	9.23	15.48
165	22.78±10.55abcdefghi	46.32	4.33	8.20	13.76
47	22.27±10.25abcdefghij	46.05	4.33	6.68	11.21
183	22.23±9.45abcdefghij	42.49	4.23	6.56	11.01
158	22.08±11.44abcdefghij	51.83	4.64	6.11	10.26
62	21.79±8.21abcdefghij	37.67	4.05	5.26	8.83
169	21.36±9.91abcdefghijk	46.41	4.64	3.96	6.64
17	21.23±7.92cdefghijkl	37.32	4.43	3.59	6.02
171	20.80±7.67cdefghijkl	36.89	4.14	2.29	3.84
141	20.12±8.61bcdefghijklm	42.79	8.65	0.27	0.46
40	19.85±8.67cdefghijklm	43.66	4.43	-0.51	-0.86
203	19.71±8.81defghijklm	44.68	4.33	-0.93	-1.56
34	19.69±9.63efghijklm	48.92	3.97	-1.00	-1.67
32	19.67±10.46efghijklm	53.2	4.33	-1.06	-1.78
CK2	19.49±7.98fghijklm	40.95	4.05	-1.60	-2.69
168	19.47±8.17fghijklm	41.95	4.53	-1.64	-2.76
98	19.45±8.08fghijklm	41.55	4.64	-1.73	-2.89
143	19.24±9.24ghijklm	48.01	4.23	-2.33	-3.90
CK1	18.95±8.68ghijklm	45.77	3.97	-3.19	-5.35
181	18.90±7.95hijklm	42.08	4.53	-3.34	-5.61
2	18.78±11.17ijklm	59.5	4.23	-3.71	-6.22
80	18.73±8.49ijklm	45.32	4.43	-3.85	-6.46
56	18.48±8.52ijklm	46.10	4.64	-4.61	-7.73
102	18.18±7.92jklmno	43.55	4.23	-5.51	-9.24
48	18.06±10.80jklmno	59.80	5.15	-5.84	-9.79
54	17.48±10.10klmno	57.78	4.43	-7.59	-12.73
163	17.39±8.82klmno	50.76	3.97	-7.86	-13.19
44	17.16±8.62klmnop	50.20	4.23	-8.52	-14.30
50	16.81±8.26lmnop	49.14	4.76	-9.59	-16.08
202	16.65±8.65lmnop	51.95	4.64	-10.04	-16.85
38	15.94±7.67mnop	48.13	4.23	-12.17	-20.41
127	14.45±5.65nop	39.09	3.97	-16.61	-27.86
129	14.18±7.58op	53.49	4.33	-17.41	-29.21
60	13.13±5.94p	45.23	4.76	-20.52	-34.42
平均	20.03±10.34	51.64			

注:相同小写字母表示不同家系地径无显著差异。

大(8.65%),为CK1和CK2的2.17倍和2.14倍;家系34号、163号和127号的地径单株遗传力最小(3.97%)。42个家系的遗传增益差异较大,家系遗传增益最大的为15号(16.46%),最小的为60号(-20.52%),18个家系遗传增益>0,其他均小于0。家系的地径现实增益与遗传增益趋势基本一致,家系地径现实增益大于对照的有22个。家系15号的地径现实增益最大(27.62%);家系129号、127号和60号的现实增益较小,分别为-27.86%、-29.21%和-34.42%,地径现实增益最小家系60号比最大家系15号的值要小62.04%。

### 3.5 优良家系选择

林木育种的第一步工作是选择优良家系,树种遗传增益的大小主要由性状的遗传力决定,而且也是评价选择效果的主要指标。由于环境及人为因素等对树高具有重要影响,因此家系选取时可首先考虑地径。本研究以家系地径为主要指标兼顾树高、保存率进行综合选择,将42个家系分为I、II、III等3类;遗传增益划分为优、良、差3个等级,遗传增益I>II>III,结果见表6。根据树高和地径的遗传增益状况(表5),杉木家系的划分情况见表7。

表6 杉木优良家系初步选择与遗传增益估算

家系等级	家系数量	入选率/%	树高		地径	
			均值/cm	遗传增益/%	均值/mm	遗传增益/%
I	6	14.29	132.15	6.4	24.25	12.58
II	12	28.57	125.57	3.2	22.03	5.96
III	24	57.14	111.51	-3.62	17.91	-6.3

表7 杉木家系等级划分情况

杉木等级	家系号
I	15号、101号、67号、43号、21号、13号
II	47号、171号、114号、165号、62号、169号、17号、158号、28号、183号、141号、96号
III	CK2、CK1、98号、143号、181号、203号、34号、2号、40号、80号、163号、56号、32号、168号、102号、44号、48号、202号、54号、38号、50号、129号、127号、60号

I类家系6个,入选率为14.29%,分别为15号、101号、67号、43号、21号、13号;II类家系12个(入选率28.57%),III类家系24个(57.14%)。I类家系地径和树高分别为23.44~25.56mm、120.18~142.98cm,分别比对照提高了21.96%~32.99%、5.04%~14.39%,具有较强的适应能力;地径和树高的遗传增益分别为10.17%~16.46%、2.98%~11.65%,地径家系增产显著。因此,初步选择15号、

101号、67号、43号、21号、13号为优良家系。

## 4 结论与讨论

保存率是评估家系稳定性的关键指标之一,也是家系选择时一个重要的评价指标<sup>[25]</sup>。本研究发现大部分家系保存率大于90%,说明各家系在江西新余地区整体具有较强的适应性。现有研究主要结合保存率等指标探究杉木家系引种到亚热带不同地区后生长状况、遗传变异及优良家系的选择<sup>[3, 15-16, 26]</sup>。盛世红等<sup>[3]</sup>研究发现从江西引种到湖南岳阳的杉木家系平均保存率超过90%,与本研究基本一致,说明这些杉木家系具有较强的适应性。

树高和地径是树种早期生长状况具有代表性的指标,可用于评估树种生产力的高低<sup>[27]</sup>。本研究发现杉木树高、地径在家系间、重复间以及家系、重复交互效应上均存在显著性差异,部分家系的树高、地径高于对照,且地径的家系遗传力大于树高,说明家系间生长状况及适应性具有一定差异,杉木家系遗传变异较为多样。现有大部分研究发现杉木不同家系的树高和地径均存在显著差异<sup>[3, 15-17, 26]</sup>。齐明等<sup>[16]</sup>研究发现杉木全同胞家系间在生长性状(树高、地径、材积)方面存在显著差异,这与本研究发现的杉木半同胞家系间保存率、地径、树高间存在显著差异基本一致;邱凤英等<sup>[15]</sup>通过分析陈山红心杉1代种子园41个半同胞家系的生长状况发现不同家系在树高和材积间存在显著差异,这与本研究部分一致,说明杉木在不同家系间生产力存在显著差异。玉首杰等<sup>[28]</sup>通过分析巨桉第二代家系遗传变异发现巨桉生长性状的家系遗传力均大于单株遗传力,这与本研究结果一致。

对优良家系进行选择是林木育种及造林的关键一步,现有研究主要通过评价家系的生长性状和估算遗传潜力来筛选优良家系<sup>[26, 29-30]</sup>。本研究以造林3年杉木家系地径为主要指标兼顾树高、保存率进行综合选择,初步筛选出6个I类优良家系(15号、101号、67号、43号、21号、13号),树高、地径、遗传增益较大,I类家系地径比对照提高了21.96%~32.99%,遗传增益为10.17%~16.46%,家系增产效果相对显著,说明这些家系适合在该地区生长。现有研究已对华北落叶松<sup>[11]</sup>、红松<sup>[12]</sup>、思茅松半同胞家系<sup>[13]</sup>、红心杉半同胞家系<sup>[15]</sup>、杉木全同胞家系<sup>[16]</sup>等进行了优良家系的筛选,基本是以林木的胸径、树高、材积及其遗传潜力等为评价指标。例如,黄凌珊<sup>[17]</sup>以杉木第3代家系材积为主要指标,兼顾树高、胸径,筛选

出2个造林效果较好的家系;陈鹏等<sup>[13]</sup>通过对树高、胸径和材积的遗传力和增传增益进行估算,筛选出16个优良家系,说明通过树高、地径等生长指标及遗传增益筛选出优良家系具有科学依据,选择的家系具有明显的遗传改良潜力,可为杉木良种选育打下坚实的理论基础和科学指导。由于本研究中杉木半同胞家系尚处幼龄林阶段,生产潜力暂未完全凸显,后续还需追踪调查杉木树高、胸径、材积及出材量等生长指标,结合多龄组、多区域试验结果筛选杉木良种。

### 参考文献:

- [1] YANG Q P, ZHANG W D, LI R S, et al. Different responses of non-structural carbohydrates in above-ground tissues/organs and root to extreme drought and re-watering in chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) saplings[J]. *Trees*, 2016, 30(5):1863-1871.
- [2] 陈代喜,程琳,黄开勇,等.30年生杉木半同胞子代遗传特性测定及优良家系和单株选择[J].南方农业学报,2018,49(2):307-312.
- [3] 盛世红,陆日惠,许琪,等.杉木半同胞家系子代生长指标测定及早期选择[J].湖南林业科技,2021,48(5):28-33.
- [4] 王娇,关欣,张伟东,等.杉木幼苗生物量分配格局对氮添加的响应[J].植物生态学报,2021,45(11):1231-1240.
- [5] 闫丽飞,杨庆朋,郑文辉,等.杉木幼苗非结构性碳水化合物对遮阴及恢复光照的响应[J].西北植物学报,2020,40(2):311-318.
- [6] 王昊.林木种子园研究现状与发展趋势[J].世界林业研究,2013,26(4):32-37.
- [7] 徐建民,白嘉雨,甘四明.尾叶桉家系综合选择的研究[J].林业科学研究,1996(6):4-10.
- [8] 王明麻.林木育种学概论[M].北京:中国林业出版社,1989.
- [9] 毛桃.马尾松优树子代测定林生长和材质的遗传分析及联合选择[D].南京:南京林业大学,2007.
- [10] 王德源.林木半同胞子代测定遗传模型统计分析及软件开发[D].南京:南京林业大学,2015.
- [11] 白玉茹,陆昕,赵明月,等.大兴安岭南麓华北落叶松优良家系和单株选择[J].内蒙古林业科技,2021,47(3):35-38.
- [12] 刘晓婷,李嘉琪,李峪曦,等.红松半同胞家系变异分析及优良家系选择[J].分子植物育种,2020,18(13):4473-4482.
- [13] 陈鹏,付强,范林元,等.思茅松半同胞家系子代测定与优良家系选择[J].林业科技通讯,2019(6):13-15.
- [14] 李光友,徐建民,陆钊华,等.尾叶桉二代种子园家系选择及遗传评估[J].南京林业大学学报(自然科学版),2005(6):40-44.
- [15] 邱凤英,孙世武,肖复明,等.陈山红心杉1代种子园半同胞子代测定林生长分析[J].南方林业科学,2016,44(2):1-4.
- [16] 齐明,王海蓉,叶金俊,等.杉木全同胞家系的遗传分析及重要树冠因子的筛选[J].西北林学院学报,2020,35(3):68-74+89.
- [17] 黄凌珊.杉木第3代家系幼林期生长表现[J].福建林业,2020(6):40-42.
- [18] 肖遥,楚秀丽,徐肇友,等.南方红豆杉2年生容器苗多点试验的生长节律家系变异[J].林业科学研究,2016,29(2):238-244.
- [19] 罗芊芊,楚秀丽,李峰卿,等.5年生南方红豆杉生长和分枝性状家系变异与选择[J].林业科学研究,2020,33(1):136-143.
- [20] 孙启武,杨承栋,焦如珍.江西大岗山连栽杉木人工林土壤性质的变化[J].林业科学,2003(3):1-5.
- [21] 林文.柳杉一代种子园半同胞子代幼龄期的生长变异[J].亚热带农业研究,2020,16(4):237-241.
- [22] 陈晓阳,沈熙环.林木育种学[M].北京:高等教育出版社,2005.
- [23] 方碧江.红锥种源/家系生长性状遗传变异分析及选择[J].亚热带农业研究,2021,17(1):22-29.
- [24] 赵承开.杉木优良无性系早期选择年龄和增益[J].林业科学,2002(4):53-60.
- [25] 何霞,李景剑,王芳,等.苦楝种源/家系幼林的性状变异及选择[J].东北林业大学学报,2019,47(6):1-7.
- [26] 赵林峰,高建亮,刘得花,等.25a杉木优良无性系生长评价和遗传潜力估算[J].分子植物育种,2017,15(7):2755-2761.
- [27] 余诚棋,杨万霞,方升佐,等.青钱柳种源间苗期性状变异分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2010,34(1):34-38.
- [28] 玉首杰,马忠才,蓝雄彬,等.巨桉第二代家系遗传变异及优良家系选择[J].桉树科技,2021,38(3):28-33.
- [29] 翁玉榛.杉木第二代种子园自由授粉子代遗传变异及优良家系选择[J].南京林业大学学报(自然科学版),2008(1):15-18.
- [30] 彭洋,陆跃堂,赵杨,等.棕榈半同胞子代家系苗期测定及优良家系选择[J].南京林业大学学报(自然科学版),2020,44(5):78-84.★