

南方红豆杉2年生容器苗多点试验的生长节律家系变异*

肖遥^{1,2}, 楚秀丽^{1**}, 徐肇友³, 王晖⁴, 曾平生⁵, 张雁⁶, 周志春¹

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所,浙江省林木育种技术研究重点实验室,浙江 杭州 311400;
2. 南京林业大学生物与环境学院,江苏 南京 210037; 3. 浙江省龙泉市林业科学研究院,浙江 龙泉 323700;
4. 浙江省淳安县富溪林场,浙江 淳安 311700; 5. 中国林业科学研究院亚热带林业实验中心,江西 分宜 336600;
6. 湖北省太子山林场管理局,湖北 京山 431800)

摘要:[目的]对南方红豆杉家系进行了生长节律变异研究,以选育优良速生的南方红豆杉家系。[方法]在江西分宜、湖北京山、浙江淳安和浙江龙泉4个地点对2年生南方红豆杉家系容器苗进行了苗期遗传测定和苗高生长节律观测,分析了其性状变异的家族效应、地点效应及家系×地点的互作效应。[结果]表明参试的南方红豆杉苗高、地径和苗高生长节律参数在家系间、地点间和家系×地点间均表现出极显著差异。南方红豆杉家系间苗高最大值分别高出最小值76.20%(江西分宜)、52.98%(湖北京山)、55.42%(浙江淳安)和78.10%(浙江龙泉);地径最大值分别高出最小值126.67%、23.68%、37.02%和26.48%。南方红豆杉家系间苗高和地径变异系数在11.81%~26.50%之间。对南方红豆杉2年生容器苗各性状进行遗传力估算,遗传力在0.80~0.97之间。相关性分析认为不同测试点间苗高与苗高生长节律参数具有不同相互关系,江西分宜点苗高与线性生长速率呈负相关,而浙江龙泉点苗高与线性生长速率则呈显著正相关。以苗高作为主要性状指标,从4个测试点中筛选出7个南方红豆杉优良家系。[结论]南方红豆杉家系间,苗高、地径与苗高生长节律具有较丰富的遗传差异,遗传改良潜力较大,家系各性状遗传力较大,受较强的遗传控制,早期选择有一定的可靠性。家系与地点的互作效应显著说明部分家系生长受环境因素影响较强,遗传稳定性较弱;其中闽11和三元06两个优良家系在4个测试点中均被选中,遗传稳定性较强,可在多点进行推广。

关键词:南方红豆杉;家系;生长性状;生长节律;遗传变异

中图分类号:S723.1

文献标识码:A

Family Variation on Growth Rhythm of Two-year-old Container Seedlings of *Taxus wallichiana* var. *mairei* in Multi-location Trials

XIAO Yao^{1,2}, CHU Xiu-li¹, XU Zhao-you³, WANG Hui⁴, ZENG Ping-sheng⁵, ZHANG Yan⁶, ZHOU Zhi-chun¹

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Tree Breeding of Zhejiang Province, Hangzhou 311400, Zhejiang, China; 2. College of Biology and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 3. Longquan Forestry Institute of Zhejiang Province, Longquan 323700, Zhejiang, China; 4. Fuxi Forest Farm of Chun'an County, Zhejiang Province, Chun'an 311700, Zhejiang, China; 5. Experimental Center of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fenyi 336600, Jiangxi, China; 6. Taizishan Forest Management Bureau, Jingshan 431800, Hubei, China)

Abstract:[Objective] To select the excellent fast-growing families of *Taxus wallichiana* var. *mairei* according to

收稿日期:2015-09-23

基金项目:浙江省农业新品种选育重大科技专项竹木育种协作组重点项目(2012C12908-5)

* 浙江省龙泉市林业科学研究院肖纪军,浙江省淳安县富溪林场姜俊马、童建设,中国林业科学研究院亚热带林业实验中心孙建军、潘文婷、李峰卿,湖北省太子山林场管理局柯尊发、刘德彪,在整个试验外业调查中给予大力支持和帮助,特此感谢!

作者简介:肖遥(1990—),男,四川成都人,在读硕士研究生,主要从事珍贵树种遗传育种研究。

** 通讯作者:楚秀丽(1981—),女,河南商丘人,助理研究员,博士,主要从事珍贵树种遗传育种研究。E-mail:xiulic0207@163.com

their growth rhythm. [Method] Genetic traits and height growth rhythm of 2-year-old container seedlings of *Taxus wallichiana* var. *mairei* belonging to different families in 4 sites (Fenyi of Jiangxi Province, Jingshan of Hubei Province, Longquan and Chun'an of Zhejiang Province) were observed. [Result] Extremely significant differences were found in the height, ground diameter and height growth rhythm parameters among the families, sites, and site \times families. The maximum height of families from Fenyi, Jingshan, Chun'an and Longquan were 76.20%, 52.98%, 55.42% and 78.10% higher than the minimum, respectively. For ground diameter, the maximum values were 126.67%, 23.68%, 37.02% and 26.48% higher than the minimum ones, respectively. The height and ground diameter variation coefficients of families ranged from 11.81% to 26.50%. The heritability of traits was between 0.80 and 0.97. According to the results of correlation analysis, there were different relationships between height and parameters of growth rhythm at the different test points. There was a negative correlation between height and linear growth rate in Fenyi site, while they were positively related in Longquan site. [Conclusion] Based on seedling height, 7 elite families were selected from each of the four sites. It indicated that there were large genetic differences and high genetic improvement potentials among the families, and it was controlled by strong heredity. The early selection would be preferable. However, the interaction effect of families with sites significantly indicated that the growth of some families was influenced by environmental factors at more extents, and their genetic stability was weak. Two elite families with higher genetic stability were selected from the four sites, and suitable to be planted extensively.

Keywords: *Taxus wallichiana* var. *mairei*; family; growth traits; growth rhythm; genetic variation

南方红豆杉 (*Taxus wallichiana* var. *mairei* (Lemée et H. Léveillé) L. K. Fu et Nan Li) 是红豆杉科 (*Taxaceae*) 红豆杉属 (*Taxus* Linn.) 常绿大乔木。由于天然更新较缓慢,加之人为的过度砍伐,南方红豆杉已被列为我国一级重点保护植物^[1]。南方红豆杉不仅可作为药用植物进行人工栽培^[2-3],而且因其材质坚硬、木材品质突出,也是优良的珍贵用材树种^[4]。人工栽培可在一定程度上克服南方红豆杉天然林生长缓慢的问题,增加紫杉醇和珍贵用材的产量,但为了进一步加大用材产量,选育优良品种进行人工培育是另一个有效途径。

长期的地理隔离会导致林木种源间在生理或形态上产生不同程度的遗传变异,已有学者对细叶桉 (*Eucalyptus tereticornis* Smith)^[5]、新西兰辐射松 (*Pinus radiata* D. Don)^[6]、乔松 (*P. wallichiana* A. B. Jackson)^[7] 和马尾松 (*P. massoniana* Lamb.)^[8] 等速生用材树种进行了种源试验,试验均表明其种源效应显著。但植物只有在其生长环境相互协调统一时,生产潜力才能得到充分发挥^[9],仅考虑种源差异并不能使选育效果到达最佳。因此,多点的区域试验受到了广泛重视,赵兴堂等^[10] 研究发现水曲柳 (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) 树高、胸径和材积在种源间、地点间、种源和地点交互作用间均存在极显著差异。黄秦军等^[11] 通

过多区域试验发现两个新品种杨树 (*Populus* spp.) 在各试验点均生长优异,表现出优越的速生特性和立地适应能力。有关白杨杂种无性系的研究也表明无性系和地点的交互作用差异达到极显著水平^[12]。此外,林木的生长节律能为良种的早期选择提供有利依据。如 Lukkarinen 等^[13] 对比了落叶松 (*Larix gmelinii* Rupr.) 和新疆落叶松 (*Larix sibirica* Ledeb.) 的生长节律,发现前者比后者更早抽芽生长。而任豆 (*Zenia insignis* Chun) 种源生长节律的研究则发现其苗木的年生长节律呈现出“S”型生长曲线,但不同种源生长节律有所不同^[14]。以上研究也证实了生长节律变异对于遗传改良有较好的指导作用。而关于南方红豆杉种源变异和遗传多样性的研究认为其种源间的变异显著,遗传多样性高^[15-17]。这意味着南方红豆杉具有很大的选择潜力。但以往的研究多集中在其种源层面上,有关其家系变异的规律还有待进一步探究,且南方红豆杉的生长节律还未被充分了解。加之林木的育种周期较长,较早选育出优质速生品种能较好地缓解我国珍贵用材的需求。鉴于此,本文研究了设置在4个地点的2年生南方红豆杉家系容器苗的生长指标和苗高生长节律差异,旨在为南方红豆杉早期选育提供科学理论依据,并初选出一批速生优质的南方红豆杉家系用于生产推广。

1 材料与方法

1.1 试验材料和试验地概况

2012年从江西分宜、浙江龙泉、浙江庆元、福建武夷山、福建明溪、福建三明、福建建宁和福建建瓯8个南方红豆杉产地收集其优树家系种子,2013年在浙江省龙泉市林业科学研究院育苗基地培育成1年生轻基质容器苗,平均苗高18 cm,平均地径4.2 mm,2014年初将培育的1年生家系容器苗在江西分宜(28°08'N,114°51'E)、湖北京山(30°48'N,112°48'E)、浙江淳安(28°01'N,119°05'E)和浙江龙泉(29°37'N,119°01'E)4个地点培育成2年生容器大苗并进行测定。各测试点于当年3月底移栽上盆(规格为高15 cm、直径20 cm的无纺布袋容器)。苗木培育基质配比为45%泥炭+30%谷壳+25%黄泥,每立方米基质添加爱贝施(Apex)缓释肥量2.5 kg(爱贝施缓释肥全氮含量180 g·kg⁻¹,有效磷含量80 g·kg⁻¹,全钾含量80 g·kg⁻¹,肥效9个月)。苗木培育期间,及时进行除草、施肥、浇灌、遮阳(透光率75%)和病虫害防治等。

4个地点均属亚热带季风气候区,其中江西分宜年均气温17.2℃,年均降水量1600 mm,全年无霜期270 d;湖北京山年均气温16.9℃,年均降水量1385.2 mm,全年无霜期263 d;浙江龙泉年均气温17.6℃,年降水量1699.4 mm,无霜期263 d;浙江淳安年均气温为17℃,年降水量1430 mm,全年无霜期263 d。

1.2 试验设计和测定方法

试验在4个测定点同时进行,采用完全随机区组设计,5次重复,10盆小区(1株·盆⁻¹),每个家系50株。江西分宜、湖北京山、浙江龙泉和浙江淳安家系数分别为37、48、60和50个。4个测试点共有的家系数为28个。每个家系选取30株生长正常的苗木,从当年4月10日开始测定其苗高,之后每月10号测定一次,直到11月10日结束,最后一次同时测定其地径。苗高生长节律参数以每个家系10株苗高的均值作为一次重复,共3个重复进行拟合和方差分析。

1.3 模型建立和数据处理

苗高和地径使用单株数据,生长节律参数使用小区平均值进行数据分析。苗高和地径单点方差分析模型为: $Y_{ijk} = u + B_i + F_j + BF_{ij} + e_{ijk}$;生长节律参数模型为: $Y_{ijk} = u + B_i + F_j + e_{ijk}$ 。式中, Y_{ijk} 代表单点

试验第*i*区组第*j*家系第*k*单株的观测值(或第*k*小区平均值); u 为群体平均效应; B_i 为第*i*区组效应; F_j 为第*j*家系的效应; BF_{ij} 为第*i*家系和第*j*区组的互作效应; e_{ijk} 为机误。

多点方差分析模型为: $Y_{ijkl} = u + L_i + B(L)_{j(i)} + F_k + LF_{ik} + B(L)F_{j(i)k} + e_{ijkl}$ 。式中, Y_{ijkl} 为多点试验第*i*地点内(生境内)第*j*区组第*k*家系第*l*单株的观察值(或第*l*小区平均值); u 为群体平均效应; L_i 为第*i*地点效应(生境效应); $B(L)_{j(i)}$ 为第*i*地点内第*j*区组效应; F_k 为第*k*家系效应; LF_{ik} 为第*k*家系和第*i*地点互作效应; $B(L)F_{j(i)k}$ 为第*i*地点内第*j*区组和第*j*家系互作效应; e_{ijkl} 为机误。

采用 Logistic 曲线拟合方程 $y = \frac{k}{1 + ae^{-bt}}$ 对苗高年生长节律进行拟合和参数估算^[18],式中 y 为苗高生长量, t 为生长时间, a 、 b 为待定系数, k 为既定条件下苗高生长可能达到的极限值。家系遗传力(h_f^2)估算: $h_f^2 = (M_f - M_{fb})/M_f = 1 - 1/F$,式中 M_f 为家系间性状均方, M_{fb} 为家系内小区间性状均方, F 为方差分析所得的 F 值。

使用 SAS8.0 软件进行方差分析和 LSD 多重比较,SPSS20.0 软件进行苗高生长节律拟合和性状相关性分析。其余操作在 Excel 2007 软件中完成。

2 结果与分析

2.1 南方红豆杉家系生长和苗高生长节律参数遗传差异

表1方差分析结果显示,在不同测试点上,南方红豆杉苗高和地径在家系间均表现出极显著差异。江西分宜、浙江淳安、浙江龙泉和湖北京山4个测试点内家系苗高和地径变异幅度均较高,4个测试点苗高最大值分别较最小值高出76.20%、55.42%、78.10%和52.98%;地径最大值分别高出最小值126.67%、37.02%、26.48%和23.68%。家系间苗高和地径变异系数分别在13.53%~21.78%和11.81%~26.50%范围间。其中江西分宜测试点家系性状不仅变异系数最大,变异幅度也高于其它地点,可能与该点水热资源相对较丰富有关。参试的南方红豆杉幼苗苗高和地径家系遗传力普遍较高,基本保持在0.8以上,且不同地点苗木性状家系遗传力差异基本不大,说明家系间性状受遗传控制较大。

2年生南方红豆杉容器苗线性生长期、线性生

长量和生长速率等参数在家系间也均存在极显著差异(表2)。4个测试点间苗高的线性生长期、线性生长量和生长速率最大家系平均分别高出最小家系57.02%、88.06%和76.21%。从线性生长期大小分析,江西分宜、浙江龙泉、浙江淳安和湖北京山各点

内速生期最长家系比最短家系分别多出约46、29、22和62 d。其中江西分宜和湖北京山内家系速生时间变异幅度远高于浙江两地点家系,且部分家系的速生期开始于高温时期(7月中旬至8月上旬),这可能影响其最终生长量。

表1 不同测试点南方红豆杉家系生长指标变异及方差分析

性状	测试点	变幅	变异系数	遗传力	F 值		
					重复	家系	家系×重复
苗高/cm	江西分宜	54.07~95.27	21.78%	0.95	5.85***(2)	21.23***(36)	1.41*(72)
	浙江淳安	51.41~79.90	20.06%	0.93	96.83***(2)	13.77***(49)	0.96(98)
	浙江龙泉	52.14~92.86	17.99%	0.96	11.47***(2)	24.72***(59)	0.99(118)
	湖北京山	49.92~76.37	13.53%	0.95	1.67(2)	19.15***(47)	1.65***(94)
地径/mm	江西分宜	2.85~6.46	26.50%	0.97	3.11*(2)	38.71***(36)	1.54***(72)
	浙江淳安	5.97~8.18	15.76%	0.85	3.6*(2)	6.62***(49)	1.03(98)
	浙江龙泉	6.61~8.36	14.09%	0.80	13.82***(2)	4.91***(59)	1.39*(118)
	湖北京山	6.08~7.52	11.81%	0.81	6.84***(2)	5.29***(47)	1.58***(94)

注:**代表1%水平显著差异,*代表5%水平显著差异;括号内数字为自由度,下同。

表2 不同测试点南方红豆杉家系苗高生长节律参数方差分析

测试点	变异来源	均方 MS					
		线性生长始期	线性生长终期	线性生长期	最大生长速率	线性生长速率	线性生长量
江西分宜	重复(2)	13.04	15.88	9.8	0.003 20*	0.002 50*	16.49
	家系(36)	396.27**	1 282.05**	534.14**	0.010 69**	0.008 21**	132.06**
	机误(72)	21.39	61.93	25.88	0.000 87	0.000 66	7.53
湖北京山	重复(2)	20.44	3.54	40.54	5.75E-05	4.07E-05	1.31
	家系(47)	704.11**	2 690.38**	996.74**	0.002 78**	0.002 13**	58.53**
	机误(94)	52.61	145.61	99.54	0.000 72	0.000 55	4.52
浙江淳安	重复(2)	273.67**	1 950.76**	763.33**	0.028 62**	0.022 14**	461.86**
	家系(49)	90.91**	242.67**	84.94**	0.007 34**	0.005 64**	39.67**
	机误(98)	21.08	37.88	20.97	0.000 89	0.000 68	4.37
浙江龙泉	重复(2)	11.72	660.54**	520.08**	0.010 86**	0.008 26**	33.62**
	家系(59)	45.51**	295.52**	176.52**	0.016 06**	0.012 35**	38.43**
	机误(118)	4.6	51.4	35.74	0.001 56	0.001 19	4.11

注:5.75E-05、4.07E-05系采用科学计数法表示。

2.2 南方红豆杉生长的家系与地点互作及地点效应

方差分析结果(表3)显示,各性状家系×地点具有极显著效应,且部分家系的遗传稳定性较弱,随着生长地点的变化生长状况会发生较大的改变。与此同时,南方红豆杉家系苗高、地径以及苗高生长节

律参数在4个地点间均表现出了极显著差异,进一步证实环境因素对南方红豆杉家系的生长具有显著的影响。地点间最大苗高(浙江龙泉)高出最小苗高(湖北京山)13.59%;最大地径(浙江龙泉)高出最小地径(江西分宜)75.61%。江西分宜测试点苗

表3 南方红豆杉家系生长指标和节律参数多点联合方差分析

性状	均方 MS				
	地点(3)	地点/重复(8)	家系(27)	地点×家系(81)	机误(3 215/216)
苗高	25 462.04**	3 349.90**	3 427.06**	1 268.84**	100.82
地径	2 730.15**	5.72**	22.81**	1.56**	0.84
线性生长始期	21 947.81**	55.07*	407.76**	250.87**	22.24
线性生长终期	131 090.83**	359.17**	1 604.26**	1 065.13**	72.02
线性生长期	45 878.32**	191.3**	623.62**	440.24**	41.27
最大生长速率	0.664 53**	0.006 61**	0.017 15**	0.008 30**	0.001 01
线性生长速率	0.510 87**	0.005 08**	0.013 18**	0.006 38**	0.000 78
线性生长量	334.15**	80.02**	100.14**	61.66**	5.03

注:其中3 215为苗高和地径的机误自由度,216为苗高生长参数的机误自由度。

木地径生长虽然较慢,但苗高生长相对较好,仅次于浙江龙泉(图1)。地点效应也影响了苗木速生期的时间(图2),浙江龙泉点家系约在5月初进入速生期,早于其它测试点,持续约74 d;湖北京山测试点家系则较晚,约在6月末开始速生期,且其生长期持续约124 d,是浙江龙泉家系的1.68倍。多重比较显示浙江龙泉点生长速率最大,高出生长速率最小的湖北京山点69.33%;江西分宜点线性生长量显著大于其它测试点,较线性生长量最小的浙江淳安点高出19%。以上结果均说明环境或立地条件对南方红豆杉家系幼苗生长产生了较大影响。

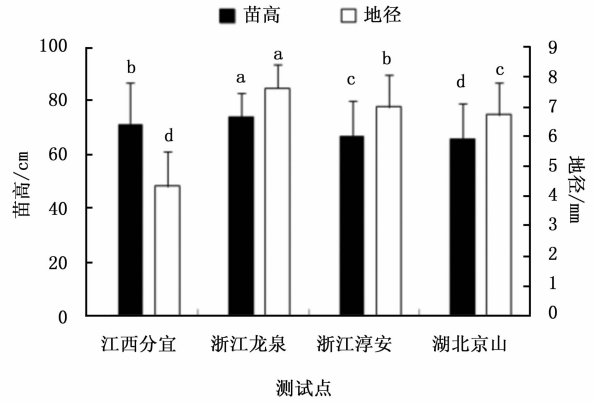


图1 4个测试点南方红豆杉家系苗高和地径差异

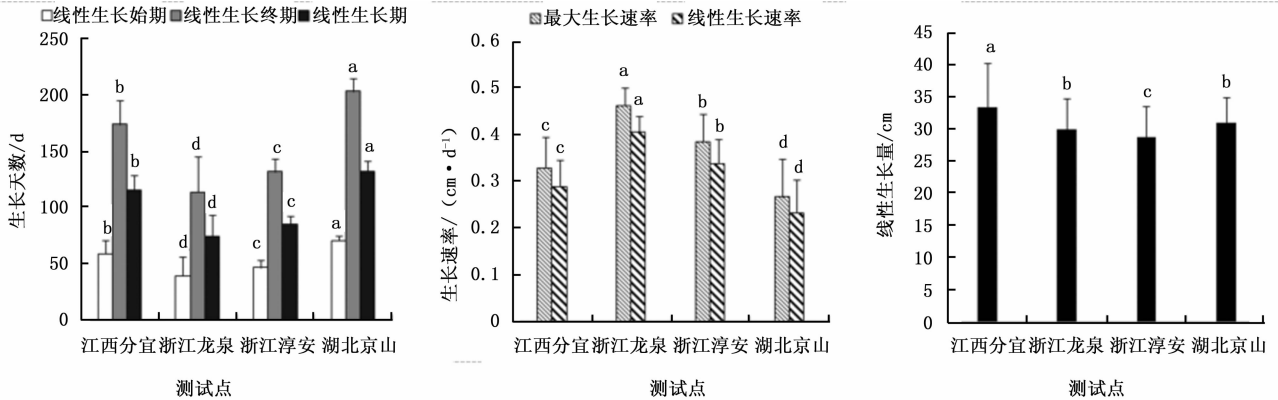


图2 4个测试点南方红豆杉家系苗高生长节律参数

2.3 不同地点南方红豆杉家系苗高和苗高生长节律相关分析

相关性分析(表4)表明,不同地点南方红豆杉家系苗高和苗高生长节律参数相关性表现出明显差异。其中江西分宜苗高与线性生长速率呈微弱的负相关,其余3个地点苗高与线性生长速率呈正相关,且浙江龙泉点达到极显著相关。而苗高与线性生长期在江西分宜和浙江淳安两点呈较弱正相关,但在湖北京山和浙江龙泉两点呈较弱的负相关。4个地点苗木线性生长量与线性生长期均呈现出显著正相

关,但正相关程度不同,除湖北京山点外其余3个地点均表现出极显著正相关。此外,只有浙江龙泉点苗木线性生长量与苗高呈极显著正相关。由此看来,在所设置的4个地点,南方红豆杉家系幼苗线性生长期持续时间若较长或线性生长速率较大都有助于其线性生长量的增加,但线性生长量的增加并不能完全决定苗高的最终生长量。总体分析,苗高生长量受线性生长速率影响较大,因此,生长速率快的家系最终高生长量通常会较大。

表4 不同地点苗高和苗高生长节律参数的相关性

性状	苗高	线性生长始期	线性生长终期	线性生长量	线性生长期	线性生长速率	性状	苗高	线性生长始期	线性生长终期	线性生长量	线性生长期	线性生长速率
湖北京山							浙江淳安						
苗高		-0.037	-0.066	0.108	-0.076	0.236	苗高		-0.060	-0.023	0.133	0.020	0.127
线性生长始期	0.078		0.872**	0.250	0.591**	-0.532**	线性生长始期	0.085		0.841**	-0.170	0.387**	-0.396**
线性生长终期	0.104	0.803**		0.589**	0.910**	-0.525**	线性生长终期	-0.078	0.711**		0.091	0.823**	-0.359**
线性生长量	-0.025	0.585**	0.699**		0.761**	0.272	线性生长量	0.795**	0.286*	0.367**		0.335*	0.856**
线性生长期	0.092	0.384*	0.858**	0.580**		-0.414**	线性生长期	-0.142	0.410**	0.932**	0.333**		-0.197
线性生长速率	-0.113	0.381*	0.129	0.729**	-0.128		线性生长速率	0.807**	-0.154	-0.562**	0.457**	-0.647**	
江西分宜							浙江龙泉						

2.4 南方红豆杉优良家系筛选

以苗高作为家系选择的主要性状指标,按其较均值高出10%以上的标准,从4个测试点中分别选出了7个优良家系(表5)。其中闽11和三元06在4个地点都被纳入了优良家系范围内,说明这两个家系与仅在单个测试点入选的家系相比遗传稳定性更强,但他们在不同测试点的苗高生长总量和排名都有较大差异,所以仍具有一定的不稳定性。从百分比增量上看,所选家系苗高平均高出均值17.38%以上,部分家系苗高高出均值30%以上,表现较突出,可见家系优选所带来的潜在效益非常明显。综上所述,对优良家系的推广应考虑当地的环境条件和立地因素,选择适合所在地自身条件的优良家系才能发挥其生长的最大潜力。

表5 入选的南方红豆杉优良家系及其苗高

测试点	家系	苗高/cm	大于均值比例/%	测试点	家系	苗高/cm	大于均值比例/%
浙江龙泉	fy26	83.07	12.37	江西分宜	三元06	79.85	12.43
	三元09	83.73	13.28		山02	80.59	13.47
	龙03	85.20	15.26		安南02	80.62	13.52
	明溪12	86.87	17.51		闽11	81.63	14.94
	闽11	88.49	19.71		闽07	87.87	23.72
	闽06	89.67	21.30		闽04	94.37	32.87
	三元06	96.87	31.05		龙珠湾	95.33	34.23
测试点	家系	苗高/cm	大于均值比例/%	测试点	家系	苗高/cm	大于均值比例/%
浙江淳安	山01	73.64	10.74	湖北京山	闽07	71.63	10.09
	三元06	76.70	15.34		三元06	72.73	11.78
	明溪18	77.17	16.04		左溪02	73.27	12.60
	龙03	77.93	17.19		张村	73.80	13.42
	明溪12	78.20	17.59		三元04	74.33	14.24
	闽11	79.37	19.35		闽08	74.63	14.70
	龙11	79.77	19.95		闽11	76.37	17.36

3 结论与讨论

南方红豆杉具有天然生长缓慢、自然更新能力较弱的生物学特性。与此同时,乱砍滥伐也对其天然资源造成了严重破坏。为了保护南方红豆杉天然资源,并满足日益增加的资源需求,选育优良品种进行人工林高效培育是解决此难题的有效途径之一^[19]。本研究4个测试点南方红豆杉家系苗高、地径和苗高生长节律在家系间、地点间以及家系和地点的互作效应间均存在极显著差异。而各测试点内家系苗高和地径变异系数范围部分高达20%以上。相关研究也佐证了南方红豆杉种源间具有丰富的遗

传变异^[15,17,20]。南方红豆杉2年生容器苗各性状家系遗传力基本在0.8以上,说明其生长受到较高的家系遗传控制。曾志光^[21]等研究对木荷(*Schima superb Gardn. et Champ.*)的研究也认为其苗期性状为高度遗传,苗期对优良种源进行选择具有一定的可靠性。而家系与地点的互作效应呈极显著差异反应出环境因素对部分家系生长造成了较大影响,虽然其苗高和地径生长较突出,但遗传稳定性相对较弱,生长环境一旦改变,生长状况可能达不到理想状态。有关麻栎(*Quercus acutissima Carruth.*)苗期选择的研究也认为不同育苗地点苗木生长的遗传稳定性会有差异,某一性状表现好的种源,该性状的遗传稳定性不一定好^[22]。从选育手段和方法上看,有研究表明生长节律参数可作为选育优良品种的辅助指标^[23-25],本试验南方红豆杉2年生容器苗苗高生长节律上也表现出较丰富的家系遗传变异。综上所述,南方红豆杉家系间具有较大的遗传改良潜力,依据家系的变异进行早期选择,同时注重考虑适宜生境条件,以达到最佳选择效果。

南方红豆杉苗高生长节律参数分析显示,各测试点家系进入线性生长期时间及线性生长期持续时间不同。浙江两测试点苗高线性生长期开始较早,且其线性生长期较短,约从5月末到8月初。这与焦月玲等^[26]早期研究报道南方红豆杉生长速生期在4月到7月有一定差异,可能与所选材料种源不同有一定关系。李苏珍等^[27]则运用不同的模型分析了南方红豆杉1年生苗生长规律,认为其拥有2次生长高峰期,第1次出现在4—6月,第二次在10—11月。而本试验江西分宜和湖北京山两测试点家系均相对较晚进入速生期,且线性生长时间较长,大约从6月中旬到10月初。可能原因是浙江地区6、7月份降雨相对较多,月平均气温25~30℃,适合苗木快速生长。其中江西分宜点家系地径显著小于其它测试点,而苗高却较高。初步分析,该测试点苗木可能出现了徒长趋势。且江西分宜点苗高与苗高生长节律相关性与其余3点几乎呈相反趋势,可能由于其徒长原因打乱了正常的生长节律。鉴于苗木徒长等生长紊乱的状况,应根据各地实际情况加强苗木人工管理,如江西分宜降雨较多,夏季多雨时应减少灌溉,避免过度遮荫,整体上满足速生期苗木快速生长所必需的水、肥和光照等条件。后期则减少灌溉和施肥,促使苗木硬化,避免徒长现象出现。

最终从 4 个测试点初步筛选出了 7 个南方红豆杉家系作为本次试验的优良家系。其中三元 06 和闽 11 两个优良家系在各测试点中均被选中,表明这两个家系不仅生长较快,且相对较稳定,可优先进行推广。而龙 03 和明溪 12 两个家系则适合在浙江地区种植。本文仅针对南方红豆杉苗期速生特点进行了初步选择,有关南方红豆杉苗期耐寒性、抗病性和紫杉醇产量等特性有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 洪伟,王新功,吴承祯,等. 濒危植物南方红豆杉种群生命表及谱分析[J]. 应用生态学报,2004,15(6):1109-1112.
- [2] 周志春,余能健. 栽培措施对南方红豆杉紫杉醇含量的影响[J]. 林业科学研究,2010,23(1):120-124.
- [3] 王昌伟,仝川,李文建,等. 遮光对南方红豆杉生长及紫杉醇含量的影响[J]. 生态学杂志,2008,27(8):1269-1273.
- [4] 周志春,刘青华,胡根长,等. 3 种珍贵用材树种轻基质网袋容器育苗方案优选[J]. 林业科学,2011,47(10):172-178.
- [5] Ginwal H S. Provenance and family variation in growth performance of *Eucalyptus tereticornis* (Sm.) in a provenance cum progeny trial in Midnapore, India [J]. *Forest Ecology and Management*, 2009, 258(11): 2529-2534.
- [6] Gapare W J, Ivkovi M, Dutkowski G W, et al. Genetic parameters and provenance variation of *Pinus radiata* D. Don. 'Eldridge collection' in Australia: growth and form traits [J]. *Tree Genetics & Genomes*, 2012, 8(2): 391-407.
- [7] Rawat K, Bakshi M. Provenance variation in cone, seed and seedling characteristics in natural populations of *Pinus wallichiana* A. B. Jacks (blue pine) in India [J]. *Annals of Forest Research*, 2011, 54(1): 39-55.
- [8] 刘青华,金国庆,张蕊,等. 24 年生马尾松生长、形质和木材基本密度的种源变异与种源区划[J]. 林业科学,2009,45(10):55-61.
- [9] 苏晓华,丁昌俊,马常耕. 我国杨树育种的研究进展及对策[J]. 林业科学研究,2010,23(1):31-37.
- [10] 赵兴堂,夏德安,曾凡锁,等. 水曲柳生长性状种源与地点互作及优良种源选择[J]. 林业科学,2015,51(3):140-147.
- [11] 黄秦军,苏晓华,王胜东,等. 杨树新品种'渤丰 1 号'杨和'渤丰 2 号'杨的综合评价[J]. 林业科学,2014,50(5):75-81.
- [12] 赵曦阳,李颖,赵丽,等. 不同地点白杨杂种无性系生长和

适应性表现分析和评价[J]. 北京林业大学学报,2013,35(6):7-14.

- [13] Lukkariinen A J, Ruotsalainen S, Peltola H, et al. Annual growth rhythm of *Larix sibirica* and *Larix gmelinii* provenances in a field trial in southern Finland [J]. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2013, 28(6): 518-532.
- [14] 邝雷,邓小梅,陈思,等. 4 个任豆种源苗期生长节律的研究[J]. 华南农业大学学报,2014,35(5):98-101.
- [15] 王艺,张蕊,冯建国,等. 不同种源南方红豆杉生长差异分析及早期速生优良种源筛选[J]. 植物资源与环境学报,2012,21(4):41-47.
- [16] 郑超,别庆铃,夏冰,等. 4 种红豆杉属植物遗传多样性和遗传关系的 RAPD 分析[J]. 植物资源与环境学报,2013,22(3):58-62.
- [17] 张蕊,周志春,余能健,等. 不同种源南方红豆杉幼林生长和紫杉醇含量的研究[J]. 林业科学研究,2011,24(1):56-62.
- [18] 李春喜,王志和,王文林,等. 生物统计学[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [19] 茹文明,张金屯,张峰,等. 濒危植物南方红豆杉濒危原因分析[J]. 植物研究,2006,26(5):624-628.
- [20] 焦月玲,周志春,余能健,等. 南方红豆杉苗木性状种源分化和育苗环境对苗木生长的影响[J]. 林业科学研究,2007,20(3):363-369.
- [21] 曾志光,肖复明,包国华,等. 木荷地理种源苗期性状遗传变异研究[J]. 林业科学研究,2005,18(1):27-30.
- [22] 刘志龙,方升佐,虞木奎. 麻栎种源间苗期生长性状及遗传稳定性差异分析[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2012,36(5):26-30.
- [23] Notivol E, Garcia - Gil M R, Alia R, et al. Genetic variation of growth rhythm traits in the limits of a latitudinal cline in Scots pine [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2007, 37(3): 540-551.
- [24] 潘青华,宋婉,鲁韧强,等. 扶芳藤种质资源及变异研究[J]. 北京林业大学学报,2004,26(2):58-62.
- [25] 赖猛,孙晓梅,张守攻,等. 日本落叶松×长白落叶松杂种幼林生长节律[J]. 东北林业大学学报,2014,42(4):11-15.
- [26] 焦月玲,周志春,金国庆,等. 6 个南方红豆杉种源苗期和幼龄生长差异[J]. 林业科学研究,2005,18(5):636-640.
- [27] 李苏珍,温莉娜. 南方红豆杉一年生苗木生长规律及相关关系研究[J]. 浙江林业科技,2014,34(4):76-78.

(责任编辑:金立新)