

文章编号: 1001-1498(2008)01-0007-06

马尾松优良种源对初植密度的早期生长反应

赵颖^{1,2}, 杨水平^{1*}, 周志春², 吴吉富³, 兰永兆³

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 2. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400;
3. 福建省武平县林业局, 福建 武平 364300)

摘要:在马尾松中心产区之一的闽西地区,利用5个马尾松优良种源在肥力中等立地上设置的种源与密度互作9年生试验林测定材料,初步研究优良种源生长对初植密度的反应式样和互作效应。结果表明,5个参试优良种源对初植密度的反应差异很大,江西崇义和福建武平种源生长对初植密度反应敏感,广西岑溪和广东高州种源生长对初植密度反应较小,而广东信宜种源的生长反应则一般。比较分析发现,广西岑溪、广东高州、广东信宜3个南部种源在1.5 m × 2.0 m初植密度下树高和胸径生长量大、单位面积蓄积量高,适宜较高初植密度短周期经营,但也可在2.0 m × 2.5 m较稀初植密度下实现大径材培育目标。江西崇义和福建武平两个中部种源在2.0 m × 2.0 m中等初植密度下生长表现最好。马尾松种源生长分化与初植密度有关,在较密和较稀初植密度下种源生长分化较大,密植似可提高早期选择效果。研究还发现,种源 × 初植密度、区组 × 种源 × 密度互作显著,应针对不同立地和种源设计不同的初植密度,实现优良种源与初植密度的优化配置。

关键词:马尾松;种源;初植密度;生长反应;种源与密度互作

中图分类号: S791.248

文献标识码: A

Early Growth Response of Superior Provenance of Masson Pine to Different Planting Densities

ZHAO Ying^{1,2}, YANG Shui-ping¹, ZHOU Zhi-chun², WU Ji-fu³, LAN Yong-zhao³

(1. College of Resource and Environment, Southwest China University, Chongqing 400716, China; 2. Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China; 3. Forestry Bureau of Wuping County, Fujian Province, Wuping 364300, Fujian, China)

Abstract: A provenance-by-planting density-interaction trial of masson pine at age nine on mid-fertility field in Wuping of Fujian was used to investigate growth response pattern of five superior provenances to initial planting density. Results showed that the growth response to planting density varied largely with provenances tested. Chongyi of Jiangxi and Wuping of Fujian were the provenances with higher sensitivity to planting density, while Cenxi of Guangxi and Gaozhou of Guangdong were the provenances with less sensitivity to planting density, and the growth sensitivity of Xinyi of Guangdong to planting density was found to be moderate. Analysis indicated that three south provenances including Cenxi of Guangxi, Gaozhou and Xinyi of Guangdong were suitable for short rotation management under high planting density of 1.5 m × 2.0 m with high growth increment of height, DBH and timber volume per area, and were also fit for low planting density of 2.0 m × 2.5 m to cultivate big-diameter timber. Both provenances of Chongyi of Jiangxi and Wuping of Fujian exhibited well at moderate planting density of 2.0 m × 2.0 m. Growth dif-

收稿日期: 2006-12-08

基金项目: “十一五”国家科技支撑课题“高产优质多抗松杉新品种选育”之“高产优质多抗马尾松新品种选育”专题(2006BAD01A1403)、国家林业局“948”引进项目“林木营养遗传改良技术引进”(2006-4-59)、国家林业局重点科技推广项目“马尾松优良种源及育林技术推广”(〔2004〕7-1号)

作者简介: 赵颖(1981—),女,辽宁锦州人,硕士。

*通讯作者。

ferentiation among provenances was found to be related to initial planting density and to be great under high or low planting density. Early selection of provenances seemed to have great efficiency under higher planting density. It was also showed that provenance \times density interaction and block \times provenance \times density interaction were remarkable, thus different planting densities were needed according to different soils and different provenances for optimizing the layout of superior provenances and planting density.

Key words: *Pinus massoniana*; provenance; initial planting density; growth response; provenance by planting density interaction

在林木培育中,基因型与环境互作是个潜在的问题,已为林木育种学家所重视^[1-3]。许多研究发现林木良种的表现往往与栽植地的环境条件有关,一个良种在某一立地上表现最佳,在另一立地上可能并不适宜。除立地等环境因素外,林木基因型对栽植密度、施肥、林地准备等育林措施反应显著,并存在互作效应,育成的林木良种需匹配适宜的育林措施才能优质、高产。选择适宜的林木良种,确定适应的栽植密度有利于促进林分早期生长和优质干材形成^[4]。

马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb) 是我国南方最重要的造林树种之一,广泛用于制浆造纸、建筑、各种板材生产和采脂等。近 20 a 来,马尾松良种选育取得了重要进展,已选育出一批优良种源、家系和种子园混系供各地生产应用^[5-6]。虽然马尾松基因型与环境互作研究较多^[7-9],但较少涉及育成良种对育林措施的反应和互作。项目组基于 3~5 年生马尾松与磷肥互作试验林的研究,发现不同种源对磷肥的遗传反应式样差异较大,且存在显著的种源与磷肥互作^[10-11]。本文利用 1997 年营造的马尾松优良种源与初植密度互作试验林,研究优良种源对不同初植密度的生长反应差异、交互作用及年龄效应,以期为马尾松不同优良种源确定适宜的栽植密度,实现优良种源与育林措施的优化配置。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

马尾松优良种源与初植密度互作试验林设置在福建省武平县九进塘林业科技试验示范区,该试验示范区位于马尾松优良种源区和中心产区之一的武夷山脉南端,116°21' E, 25°41' N, 年均温 19.5℃, 1 月均温 9.4℃, 10 月的积温 6 263℃, 年均降水量 1 625 mm。试验林海拔 180 m 左右,坡度平缓,土壤为山地红壤,土层厚度 100 cm 以上,肥力中等^[13]。前茬为经择伐的杉木 (*Cunninghamia lanceolata*

(Lamb) Hook) 低产林。

1.2 试验设计

试验林按种源与初植密度两因素完全随机区组设计,有广西岑溪 (A1)、广东高州 (A2)、广东信宜 (A3)、江西崇义 (A4) 和福建武平 (A5) 5 个优良种源参试,除江西崇义种源种子采自优良天然林分外,其他种源种子都采自当地马尾松母树林。设置 1.5 m \times 2.0 m (B1)、2.0 m \times 2.0 m (B2) 和 2.0 m \times 2.5 m (B3) 的 3 种初植密度处理,5 次试验重复,16 m \times 10 m 小区 (3 种密度处理的小区株数为 54、45 和 36)。穴状整地,穴规 40 cm \times 40 cm \times 30 cm。1997 年 4 月 1 日利用半年生容器苗上山定植,栽植时上述 5 个种源容器苗的平均高度分别为 18.37、18.60、18.60、15.5、16.40 cm。造林当年 8 月全面除草劈灌 1 次,第 2、3 年则分别于 4 月和 8 月除草劈灌 2 次。在造林当年 5 个种源 3 种初植密度处理的造林保存率均在 95% 以上,9 年生时因自然稀疏,保存率在 85%~90% 间。

1.3 数据采集和统计分析

在造林后的第 5、7 和 9 个生长季末,测量每试验小区中间部分 14 株树木的树高和胸径值,以避免小区边缘效应对试验结果的影响。以试验小区内单株测定值为单元,分别按种源、初植密度单因素完全随机区组设计和种源/初植密度双因素完全随机区组设计进行方差分析,以检验种源、初植密度、种源 \times 初植密度互作对树高和胸径生长的影响。性状方差分析采用 SAS/GLM 软件。

2 结果与分析

2.1 不同栽植密度下马尾松种源生长的遗传分化

虽然参试的 5 个马尾松种源皆为速生、优质、高产的纸浆材优良种源,但种源单因素方差分析结果显示 (表 1),马尾松种源生长的遗传分化较大,且与初植密度有一定的关系。对于树高生长,1.5 m \times 2.0 m 密度下种源分化最大,2.0 m \times 2.5 m 密度下

次之,而在 2.0 m × 2.0 m 中等栽植密度下种源分化则较小。2.0 m × 2.0 m 密度下仅 5 年生树高种源效应达到 5% 显著性水平,7 年生和 9 年生时则未观测到显著的种源效应。与树高生长类似,在较高(1.5 m × 2.0 m)和较低(2.0 m × 2.5 m)密度下胸径的种源分化较大,但这种显著的种源分化只发生在 5 年生和 7 年生,在 9 年生时胸径种源效应未达到显著水平。不同初植密度下马尾松种源生长遗传分化差异与其生物学特性有关。较高初植密度下马

尾松竞争性特点充分显现,种源间生长分化明显;在较低初植密度下杂灌相对较多,这种情况下马尾松主要通过和杂灌的竞争而表现出显著的竞争性特点,从而促进种源间的生长分化。总的来看,初植密度对树高种源分化较对胸径种源分化的作用显著。在较密植条件下种源生长更易分化,更有利于有效鉴别马尾松树高生长的种源差异,意味着宜设计较高的初植密度开展马尾松种源等遗传测定,以提高选择效率。

表 1 不同年龄时 3 种初植密度下种源单因素方差分析

初植密度	性状	变异来源			
		区组	种源	区组 × 种源	机误
1.5 m × 2.0 m (B1)	5H	5.901 5 (4.24)	12.573 9 (9.02 ^{**})	1.393 4 (2.59 ^{**})	0.538 8
	7H	5.948 9 (3.83)	12.622 5 (8.12 ^{**})	1.555 2 (2.72 ^{**})	0.571 1
	9H	30.461 4 (8.83)	21.490 2 (6.23 ^{**})	3.448 3 (3.09 ^{**})	1.115 6
	5D	10.815 4 (4.75)	14.416 2 (6.33 ^{**})	2.278 8 (1.27)	1.791 0
	7D	21.389 9 (6.15)	8.194 0 (2.36 ⁺)	3.475 6 (1.48)	2.343 2
	9D	52.673 7 (6.11)	8.897 0 (1.03)	8.618 8 (1.79 [*])	4.811 2
2.0 m × 2.0 m (B2)	5H	5.316 7 (4.77)	3.662 5 (3.28 [*])	1.115 6 (2.40 ^{**})	0.464 1
	7H	8.309 5 (4.54)	2.973 1 (1.62)	1.829 8 (2.75 ^{**})	0.664 4
	9H	18.582 5 (3.97)	4.414 0 (0.94)	4.676 8 (4.30 ^{**})	1.087 1
	5D	18.332 8 (4.63)	4.313 5 (1.09)	3.963 5 (2.42 ^{**})	1.640 1
	7D	28.407 4 (8.29)	3.124 0 (0.91)	3.428 1 (1.41)	2.438 8
	9D	39.220 0 (4.26)	14.859 9 (1.61)	9.207 8 (1.94 [*])	4.756 0
2.0 m × 2.5 m (B3)	5H	2.364 2 (1.89)	12.195 4 (9.74 ^{**})	1.252 1 (2.32 ^{**})	0.540 7
	7H	1.837 1 (1.36)	4.990 9 (3.68 [*])	1.354 7 (2.22 ^{**})	0.610 6
	9H	24.849 6 (8.40)	10.752 4 (3.64 [*])	2.957 5 (2.66 ^{**})	1.111 2
	5D	10.171 7 (3.09)	13.992 2 (4.25 [*])	3.288 8 (1.81 [*])	1.817 6
	7D	33.196 5 (2.57)	12.849 7 (1.00)	12.906 3 (0.87)	14.825 4
	9D	55.569 3 (5.39)	7.325 0 (0.71)	10.304 5 (1.96 [*])	5.269 1

注:5H 表示为 5 年生树高,5D 表示为 5 年生胸径,其余类同。括号内数据为 F 值。区组、种源、区组 × 种源和机误的自由度分别为 4、4、16 和 844。+、*、** 表示显著性概率分别为 0.10、0.05 和 0.01,下同。

表 2 3 种初植密度下种源生长性状早晚的简单相关系数

初植密度	树龄	树高		胸径	
		7 a	9 a	7 a	9 a
1.5 m × 2.0 m	5 a	0.985 0 ^{**}	0.931 6 ^{**}	0.948 0 ^{**}	0.844 5 [*]
	7 a		0.960 4 ^{**}		0.902 6 [*]
2.0 m × 2.0 m	5 a	0.503 3	0.642 0	0.500 4	0.347 1
	7 a		0.906 4 [*]		0.980 8 ^{**}
2.0 m × 2.5 m	5 a	0.817 3 [*]	0.956 7 ^{**}	0.574 9	0.973 5 ^{**}
	7 a		0.850 9 [*]		0.385 3

表 2 给出了 3 种初植密度下种源树高和胸径生长的早晚相关系数。由表 2 可以看出,在 1.5 m × 2.0 m 栽植密度下,无论是树高还是胸径,5 年生、7 年生和 9 年生相互间的相关系数都达到了显著和极显著水平。在 2.0 m × 2.0 m 栽植密度下,5 年生与 9 年生树高和胸径间相关性较小,而随着时间的推移,7 年生和 9 年生树高和胸径间的相关系数达到了显著和极显著水平。在 2.0 m × 2.5 m 栽植密度下,种源树高的早晚相关密切,而胸径早晚相关较弱。通过不同初

植密度下种源生长性状的早晚相关比较可初步认为,在 1.5 m × 2.0 m 栽植密度下各种源生长性状的早晚相关最为密切,意味着适当密植可提早早期选择的年龄,与 R. K Campbell 等对花旗松 (*Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco) 的研究结果较为一致^[12]。

2.2 马尾松种源对初植密度的遗传反应差异

试验林在造林第 3 年就开始郁闭,第 5 年植株间开始发生竞争,密度效应显现,第 7 年起植株间竞争加剧、分化强烈。5 年生、7 年生和 9 年生时分别种源的初植密度单因素方差分析表明(表 3),来自不同产地的马尾松优良种源对初植密度的遗传反应存在较大差异,并因性状而异。就早期树高生长来说,广西岑溪和广东信宜两个地处云开大山中部的种源及广东高州这一地处马尾松分布区最南端的种源其密度效应较小。江西崇义和福建武平是两个地处中亚热带和中南亚热带种源,江西崇义种源的树高密度效应在 5—9 年生时都达到 5% 或 1% 显著性概率水平,

而福建武平种源早期生长相对较慢,后期生长较快,在 9 年生时树高密度效应开始显现。与树高比较,马尾松种源胸径早期生长的密度效应相对较大,符合林分生长的密度效应规律。同样,江西崇义种源胸径生长在 5—9 年生时密度效应都达到极显著水平,而福建武平、广东信宜种源在 9 年生时胸径生长密度效应开始显现,但广西岑溪和广东高州两种源的胸径密度

效应在 9 年生时则不显著。综合树高和胸径密度效应表明,5 个马尾松参试优良种源对初植密度的早期生长反应敏感性差异很大,江西崇义和福建武平属于对栽植密度较敏感的种源,广西岑溪和广东高州属于敏感性较弱的种源,而广东信宜种源对初植密度的反应敏感性则属一般。

表 3 不同年龄时分别种源的初植密度单因素方差分析

种源	变异	树高			胸径		
		5 a	7 a	9 a	5 a	7 a	9 a
广西岑溪 (A1)	区组	7.242 2	4.487 5	35.256 8	12.931 9	14.198 6	54.011 3
	密度	1.764 6	0.135 1	2.158 3	4.601 0	8.870 3 ⁺	13.237 0
	区组 × 密度	1.233 2 ⁺	0.969 6	2.159 7	2.256 3	1.572 3	9.937 8
	机误	0.637 5	0.664 6	1.385 8	1.897 9	3.017 1	6.019 8
广东高州 (A2)	区组	0.443 1	0.970 0	10.165 0	1.629 5	5.445 6	12.819 8
	密度	2.225 5	4.727 8	7.714 6	3.610 3	12.203 0	14.307 2
	区组 × 密度	1.883 9 ^{**}	2.330 2 ^{**}	7.768 1 ^{**}	4.311 8 [*]	4.415 8 [*]	4.927 6
	机误	0.536 9	0.546 4	1.179 2	1.681 8	2.030 1	4.307 5
广东信宜 (A3)	区组	5.123 8	2.653 4	17.667 2	19.086 2	27.520 1	55.786 6
	密度	1.936 6	4.436 2	5.433 0	6.897 7 ⁺	4.736 1	40.432 6 [*]
	区组 × 密度	1.003 2 ⁺	1.606 2 ^{**}	2.905 3 ^{**}	1.870 4	2.524 3	7.112 7
	机误	0.514 1	0.599 5	1.091 9	1.971 7	2.172 9	4.531 9
江西崇义 (A4)	区组	2.877 9	3.796 2	9.998 4	11.126 0	19.224 6	46.087 8
	密度	3.010 6 ^{**}	5.433 6 [*]	12.890 8 ^{**}	10.442 3 ^{**}	22.796 5 ^{**}	33.388 3 [*]
	区组 × 密度	0.137 3	0.903 1 ⁺	1.351 7	0.545 0	1.348 2	7.479 6
	机误	0.455 7	0.515 0	0.832 7	1.629 0	2.787 3	4.641 6
福建武平 (A5)	区组	0.790 3	6.721 4	14.137 9	9.093 7	39.650 2	35.341 0
	密度	2.095 7	1.439 4	7.712 2 ⁺	17.272 3 [*]	45.382 3	42.936 0 ^{**}
	区组 × 密度	1.791 9 ^{**}	2.110 9 ^{**}	2.425 3 ⁺	3.396 1 [*]	19.197 6	4.993 2
	机误	0.429 9	0.746 0	1.018 3	1.572 8	21.668 7	5.088 3

注:表内数据为均方,区组、密度、区组 × 密度和机误的自由度分别为 4、2、8 和 844。

2.3 马尾松种源与栽植密度的交互作用

上述是分别种源和初植密度进行单因素方差分析的结果,进一步分析种源与初植密度的互作效应见表 4。其结果显示,在开展种源和密度双因素方差分析时,除 5 年生树高种源效应达到 5% 显著性水平外,树高和胸径种源效应和密度效应都较小。研究发现,5—9 年生树高的种源 × 初植密度的互作效应均达到 5% 显著性水平,这意味着不同的优良种

源须设计不同的初植密度,以实现优良种源与初植密度的优化配置。相对于树高,胸径的种源与初植密度的互作效应较小,仅 5 年生胸径存在显著的种源与密度互作。另外,还发现树高和胸径两性状的区组 × 种源 × 密度互作效应显著,这说明不仅种源和密度两者存在显著的互作效应,而且种源、密度和立地环境三者间也存在显著的互作效应。

表 4 种源和密度双因素方差分析

变异来源	树高			胸径		
	5 a	7 a	9 a	5 a	7 a	9 a
区组	10.237 0	12.708 1	65.956 3	33.753 7	73.860 3	136.243 2
种源	24.319 6 [*]	12.988 0	20.344 7	21.472 9	9.869 2	3.819 3
密度	1.258 9	0.492 6	0.172 7	17.724 8	62.706 8	81.580 5
区组 × 种源	1.624 8	1.557 4	4.507 5	4.898 9 [*]	7.554 3	13.767 2 ⁺
区组 × 密度	1.571 1	1.616 5	3.543 9	2.664 3	4.803 4	3.763 8
种源 × 密度	2.427 4 [*]	3.940 2 [*]	8.877 4 [*]	6.068 3 [*]	7.257 3	14.549 0
区组 × 种源 × 密度	1.060 2 ^{**}	1.567 1 ^{**}	3.300 0 ^{**}	2.370 1 ⁺	5.970 7	7.549 7 [*]
机误	0.513 8	0.616 0	1.116 8	1.747 8	6.455 2	4.998 5

注:表中数据为均方。

2.4 不同初植密度下马尾松种源的生长表现

就不同初植密度条件下种源 9 年生树高和胸径生长进行比较,以具体说明各种源适宜的初植密度。从表 5 数据可以看出,广西岑溪、广东高州、广东信宜 3 个来自马尾松自然分布区南部的种源在 1.5 m × 2.0 m 初植密度下生长表现较好,树高和胸径年均生长量分别达到 1 m 和 1 cm 左右,在该初植密度下又由于单位面积植株数较多,3 个种源每公顷蓄积量分别高达 83.21、92.74 和 89.88 m³,较 2.0 m × 2.0 m 初植密度分别提高 10.43%、57.91% 和 46.86%,较 2.0 m × 2.5 m 初植密度分别提高 39.57%、54.59% 和 32.12%,适宜较高初植密度短周期经营。广西岑溪和广东高州、广东信宜 3 个种源在 2.0 m × 2.0 m 密度下树高和胸径生长不及 1.5 m × 2.0 m 密度下的生长,或与之相近,然而在 2.0 m × 2.5 m 栽植密度下胸径生长量较大,尤其是广西

岑溪和广东信宜两个种源胸径生长表现突出,分别较 1.5 m × 2.0 m 密度下高出 11.47% 和 15.11%,可实现大径材培育目标。江西崇义和福建武平两个中南部的马尾松种源虽然早期生长略慢,但后期生长强劲,在 3 种栽植密度下的生长变化趋势相同,2.0 m × 2.0 m 密度下的树高和胸径生长显著地高于 1.5 m × 2.0 m 密度。2.0 m × 2.0 m 密度下江西崇义种源的树高、胸径和单位面积蓄积量分别较 1.5 m × 2.0 m 密度提高 12.43%、18.40% 和 14.79%,福建武平种源分别提高 9.20%、17.72% 和 23.52%。随着初植密度由 2.0 m × 2.0 m 降低至 2.0 m × 2.5 m,江西崇义种源树高、胸径和单位面积蓄积量分别降低了 10.33%、4.30% 和 48.48%,福建武平种源树高和胸径生长变化不大,但单位面积蓄积量降低了 36.79%。

表 5 不同年龄时 3 种初植密度条件下马尾松种源 9 年生树高、胸径和每公顷蓄积量均值

种源	性状	1.5 m × 2.0 m (B1)		2.0 m × 2.0 m (B2)		2.0 m × 2.5 m (B3)	
		均值	>B1/%	均值	>B1/%	均值	>B1/%
广西岑溪 (A1)	H/m	8.02		8.24	2.74	7.82	-2.49
	D/cm	8.63		9.42	9.15	9.62	11.47
	V/(m ³ · hm ⁻²)	83.21		75.35	-9.44	59.62	-28.35
广东高州 (A2)	H/m	8.28		7.51	-9.31	7.95	-3.99
	D/cm	9.00		8.64	-4.00	9.57	6.33
	V/(m ³ · hm ⁻²)	92.74		58.73	-36.67	59.99	-35.32
广东信宜 (A3)	H/m	8.37		7.77	-7.17	8.12	-2.99
	D/cm	8.80		8.68	-1.36	10.13	15.11
	V/(m ³ · hm ⁻²)	89.88		61.20	-31.90	68.03	-24.31
江西崇义 (A4)	H/m	6.84		7.69	12.43	6.97	1.90
	D/cm	7.99		9.46	18.40	9.07	13.52
	V/(m ³ · hm ⁻²)	61.93		71.09	14.79	47.88	-22.69
福建武平 (A5)	H/m	7.39		8.07	9.20	8.06	9.07
	D/cm	8.24		9.70	17.72	9.82	19.17
	V/(m ³ · hm ⁻²)	70.61		87.22	23.52	63.76	-9.70

注:每公顷蓄积量估算公式 $V = 0.000062341803D^{1.8561497}H^{0.9568492}N$, N 为每公顷实际株数。

3 结论与讨论

密度控制与遗传控制、立地控制一起构成人工林培育的三大关键技术。树种和品种以及培育目标不同,适宜的栽植密度也不同。本文利用设置在福建武平(马尾松中心产区之一)的 9 年生马尾松优良种源与初植密度互作试验林,以初步揭示马尾松优良种源对栽植密度的生长反应差异和互作效应。结果表明,5 个优良种源对初植密度的遗传反应式样存在明显差异,存在显著的种源 × 初植密度、区组 ×

种源 × 初植密度互作,在不同立地上应依种源和培育目标的不同设计适宜的初植密度,实现种源与栽植密度的优化配置。研究发现,广西岑溪和广东高州种源生长对初植密度反应较小,广东信宜种源的生长反应则一般,而江西崇义和福建武平 2 个中部种源对初植密度生长反应较敏感。这一研究结果与扭叶松 (*Pinus contorta* Dougl. ex Loud. var. *contorta*) 有异。据 C. Y. Xie 等报道,扭叶松 6 个不同种源对 7 种空间密度的反应是同质的^[4]。马尾松优良种源与初植密度互作试验林所处地块平缓,立地条

件较为一致。马尾松优良种源对初植密度的生长反应差异不是由于林地土壤异质性等引起的,应缘由各参试种源生长遗传特性的不同。广西岑溪和广东信宜两个种源地处云开大山中部,广东高州地处马尾松分布区的最南端,这 3 个种源都具有早期速生性极其显著的特点,在一定的初植密度范围内树高和胸径的早期速生性受栽植密度影响较小。但比较发现,这 3 个南部优良种源在 $1.5\text{ m} \times 2.0\text{ m}$ 初植密度下树高和胸径生长量较大、单位面积蓄积量较高,适宜较高初植密度短周期经营,同时因在 $2.0\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ 较稀初植密度下胸径生长量很大,也可进行大径材培育。江西崇义和福建武平种源是两个中亚热带或中南亚热带的适应性较强的优良种源,较之于广西岑溪等南部种源其造林头 2 a 的树高和胸径生长略慢,但后期生长较快。较之于 $1.5\text{ m} \times 2.0\text{ m}$ 较高的初植密度,这两个种源在 $2.0\text{ m} \times 2.0\text{ m}$ 中等和 $2.0\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ 较稀初植密度下郁闭较迟,林木早期生长营养空间较大,有利于个体树高和胸径生长,其中以 $2.0\text{ m} \times 2.0\text{ m}$ 中等初植密度生长表现最好,树高和胸径生长量大,单位面积蓄积量高。

此外研究还发现,马尾松种源间的生长分化与初植密度存在一定的关系。在较高 ($1.5\text{ m} \times 2.0\text{ m}$) 和较稀 ($2.0\text{ m} \times 2.5\text{ m}$) 初植密度下种源树高和胸径早期生长分化较大,在中等密度 ($2.0\text{ m} \times 2.0\text{ m}$) 下分化较小,这与马尾松早期生长竞争性强特性有关。在较高初植密度下马尾松竞争性特点充分显现,优良种源生长的遗传潜力充分表达,种源间生长分化明显;在较低初植密度下杂灌相对较多,马尾松则通过与杂灌的竞争而表现出显著的竞争性特点,促进了种源间的生长分化。综合比较表明,在较高的初植密度下马尾松种源生长分化最大,有利于有效地鉴别种源间的差异,可提早早期选择的年龄。

本文涉及的马尾松种源与初植密度互作试验林为 9 年生,已近 $1/2$ 轮伐期,到了第 1 次间伐的年龄。虽然本文是阶段性的研究结果,但已能初步说明马尾松优良种源对初植密度的反应差异及互作效应。随着时间的推移,不同种源的生长特性会发生

变化,植株间竞争更加强烈,马尾松种源对密度的生长反应式样也会发生变化。项目组将跟踪观测,进一步研究栽植密度对优良种源树高、胸径和材积生长、材质材性、优质干材形成、林分结构、竞争性死亡以及生态系统维持能力等影响及互作,根据不同优良种源密度效应的时间变化规律,依培育目标不同制定科学的林分密度控制模型。

参考文献:

- [1] Bames R D, Burley J, Gibson L, *et al* Genotype-environment interactions in tropical pines and their effects on the structure of breeding populations[J]. *Silvae Genetica*, 1984, 33(6): 186 - 198
- [2] Matheson A C, Raymond C A. A review of provenance \times environment interaction: its practical importance and use with particular reference to the tropics[J]. *Commonwealth Forestry Review*, 1986, 65(4): 283 - 302
- [3] Westfall R D. Developing seed transfer zones[M]// Fins L, Friedman S T, Brutschol J V. *Handbook of Quantitative Forest Genetics*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1992: 141 - 194
- [4] Xie C Y, Johnstone W D, Ying C C. Spacing and provenance effects on the performance of shore pine (*Pinus contorta* var *contorta*): 20-year test results[J]. *Can J For Res*, 1995, 25(4): 567 - 576
- [5] 周志春, 秦国峰, 李光荣, 等. 马尾松遗传改良的成就、问题和思考[J]. *林业科学研究*, 1997, 10(4): 435 - 442
- [6] 丁贵杰, 周志春, 王章荣. 马尾松纸浆用材林培育与利用[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006
- [7] 李建民. 马尾松自由授粉家系与环境互作的分析[J]. *南京林业大学学报*, 1992, 16(2): 63 - 70
- [8] 周志春, 秦国峰, 洪杏春, 等. 马尾松生长和木材密度的种源与地点互作效应[J]. *林业科学研究*, 1994, 7(专刊): 81 - 88
- [9] 陈天华, 徐立安, 王章荣. 马尾松种源试验试点效应与稳定性分析[J]. *南京林业大学学报*, 1994, 18(3): 19 - 26
- [10] 周志春, 吴吉富, 兰永兆, 等. 马尾松优良种源树高生长对不同磷投入水平的反应[J]. *林业科学研究*, 2000, 13(6): 667 - 672
- [11] 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
- [12] Campbell R K, Echols R M, Stonecypher R W. Genetic variance and interactions in 9-year-old Douglas-fir at narrow spacings[J]. *Silvae Genetica*, 1986, 35(1): 242 - 232