

文章编号: 1001-1498(2000)06-0667-06

# 马尾松优良种源树高生长对不同磷投入水平的反应\*

周志春<sup>1</sup>, 吴吉富<sup>2</sup>, 兰永兆<sup>2</sup>, 戴德升<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 福建省武平县林业局, 福建 武平 364300)

**摘要:** 利用 5 个马尾松优良种源, 在肥力较低的缺磷立地上布设种源与磷肥互作试验林, 研究优良种源对不同磷投入水平的树高生长反应。结果显示: 5 个优良种源对磷肥量的反应式样差异很大, 有的种源对磷投入非常敏感, 有的不敏感。不同种源对磷肥量的反应以及磷的时效性也很不相同。依据各种源对磷投入的不同反应初步制定了相应的幼林施肥原则。研究发现树高生长在种源间的遗传差异与磷环境有关, 适当施以磷肥就可显著提高马尾松种源试验效果。与种源效应和磷肥效应相比, 虽然种源与磷肥互作效应较小, 但不能忽略它的存在。

**关键词:** 马尾松; 种源; 磷投入水平; 树高生长反应

中图分类号: S722.7

文献标识码: A

南方集体林区是我国商品材的主要产区, 马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.) 则是该区域内重要的工业用材树种。因该地区森林土壤中的磷多以难溶性闭蓄态的磷酸铁铝存在而大部分被固定, 有效磷含量极低, 加之长期以来传统不合理的耕作制度, 林地严重缺磷, 施用磷肥可显著促进马尾松的生长尤其是幼林的生长<sup>[1]</sup>。虽然近 10 a 来在马尾松基地造林中广泛应用优良种源并配以施用磷肥, 但针对不同优良种源未制定相应的施肥原则, 忽视基因型与肥料的互作效应, 林木施肥往往难以达到预期的效果, 这在我国人工林建设中未予足够的重视。本文利用设置在闽西地区的马尾松优良种源与磷肥互作试验林测定材料, 首次研究不同优良种源树高生长对磷不同投入水平的反应式样, 为不同马尾松优良种源制定相应的施肥原则。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

优良种源与磷肥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 °C, 1 月均温 9.4 °C, ≥10 °C 的积温 6 263 °C, 年均降水量 1 625 mm。试验林海拔 180 m 左右, 土壤为山地红壤, 厚 100 cm 以上, 肥力中等偏低, 土壤缺磷严重, 而钾则相对丰富(表 1)。前茬为经择伐的杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.] 低产林。

收稿日期: 2000-01-04

基金项目: “九五”国家科技攻关“马尾松优质纸浆用材树种良种选育及培育技术研究”专题(96-011-01-01)及中国林科院亚林所和福建省武平县人民政府科技合作项目

作者简介: 周志春(1963), 男, 江苏丹阳人, 副研究员, 博士。

\* 福建省武平县林业局林荣联、谢晓明、饶大华等参加部分试验工作, 谨致谢忱。

表1 供试区表层土壤(0~20 cm)化学性质

项 目	试 验 重 复			
	1	2	3	4
pH 值	4.18	4.20	4.34	4.24
有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )	44.00	14.69	42.78	32.35
全 N/(g·kg <sup>-1</sup> )	1.69	1.75	2.07	1.54
全 P/(g·kg <sup>-1</sup> )	1.49	1.28	0.74	1.83
水解性 N/(mg·kg <sup>-1</sup> )	128.94	124.98	142.32	100.94
速效 P/(mg·kg <sup>-1</sup> )	1.57	1.52	2.20	1.27
速效 K/(mg·kg <sup>-1</sup> )	70.5	60.5	119.5	81.0
交换性盐基/(cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	11.50	11.86	8.43	8.68

## 1.2 试验设计

试验林按种源与磷肥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)、福建武平(A4)和江西崇义(A5)5个优良种源参试,除江西崇义种源的种子采自优良林分外,其它种源的种子都采自母树林。设置磷不投入(P<sub>0</sub>)、磷低投入(P<sub>1</sub>)(100 g·株<sup>-1</sup>钙镁磷肥)和磷高投入(P<sub>2</sub>)(400 g·株<sup>-1</sup>钙镁磷肥)3种磷肥处理,4次重复,4列7行28株小区,株行距2 m×2 m,块状整地,穴规40 cm×40 cm×30 cm。1997年4月1日利用半年生容器苗上山定植,植苗前在穴底均匀施入磷肥,所施用磷肥为福建漳平产,w(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)12.4%。栽植时上述5个种源容器苗的平均高分别为18.37 cm、18.60 cm、18.60 cm、15.5 cm和16.40 cm。

## 1.3 数据采集和统计分析

在苗木定植后的头3 a冬季采集试验数据,第1年年末调查试验小区内所有28株树木的高生长,而在第2、第3年年末仅量测每试验小区中间部分10株树木的树高值,以避免小区边缘效应对肥效的影响。

以试验小区内单株测定值为单位,分别按种源、磷肥单因素和种源/磷肥两因素进行方差分析,以检验种源、磷肥、种源×磷肥互作等对树高生长的影响。因试验有缺株,单因素和两因素方差分析均采用SAS软件包中的GLM程序。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同种源对磷投入水平的树高生长反应

磷投入水平的单因素方差分析表明(表2),不同种源对施用磷肥的反应各不相同。广西岑溪、广东高州和江西崇义3个种源的树高生长在不同磷投入水平间差异显著,而广东信宜(除植苗当年外)和福建武平2个种源的树高生长在不同磷肥量间则差异不大。下面就不同磷投入水平下种源树高生长进行比较分析,以具体说明5个参试种源对磷投入的反应式样及磷肥的时效性,为每一种源初步制定相应的幼林磷肥施用原则。

广西岑溪种源地处云开大山中部,是一个非常值得推广的优良种源<sup>[2]</sup>。从试验结果(表3)来看,该种源对磷投入非常敏感,从植苗当年至第3年磷效应逐渐增大,低磷投入较磷不投入分别增高5.08%、16.08%和23.21%。在磷高投入下虽也有相同的趋势,但除植苗当年外,提高磷投入水平不会显著地促进岑溪种源的树高生长,也就是说,在肥力中等或中等偏低的缺磷立地上,造林前适当施以磷肥就可达到早期速生之目的,而大量施用磷肥则是不经济的。

表2 磷投入水平的单因素方差分析结果

树龄/a	种源	变异来源			
		区组	磷肥	区组×磷肥	机误
1	广西岑溪(A1)	0.045 9	0.174 6	0.106 3 <sup>*</sup>	0.020 3
	广东高州(A2)	0.035 4	0.374 0 <sup>*</sup>	0.049 2 <sup>*</sup>	0.018 3
	广东信宜(A3)	0.033 4	0.146 2 <sup>**</sup>	0.010 5	0.017 4
	福建武平(A4)	0.141 5	0.047 5	0.111 7 <sup>**</sup>	0.016 5
	江西崇义(A5)	0.097 6	0.000 2	0.215 4 <sup>**</sup>	0.021 5
2	广西岑溪(A1)	0.184 1	0.773 3 <sup>*</sup>	0.101 0	0.074 5
	广东高州(A2)	0.189 2	1.205 2 <sup>*</sup>	0.129 7	0.074 3
	广东信宜(A3)	0.122 5	0.028 2	0.064 7	0.089 9
	福建武平(A4)	0.025 6	0.166 4	0.103 2	0.093 5
	江西崇义(A5)	0.042 7	0.839 0 <sup>*</sup>	0.091 0	0.073 3
3	广西岑溪(A1)	0.076 4	4.035 5 <sup>**</sup>	0.122 3	0.188 0
	广东高州(A2)	0.954 2	3.569 8 <sup>*</sup>	0.471 5 <sup>*</sup>	0.180 8
	广东信宜(A3)	0.603 6	1.794 1	1.722 6 <sup>**</sup>	0.221 2
	福建武平(A4)	0.483 2	0.138 0	0.443 4 <sup>*</sup>	0.200 6
	江西崇义(A5)	1.078 3	1.544 1 <sup>*</sup>	0.187 8	0.245 5

注: 表内数据均为方差。\* \* ——1% 差异显著水平; \* ——5% 差异显著水平; + ——10% 差异显著水平(下同)。

表3 5个优良种源在不同磷投入水平下的树高生长

树龄/a	种源	磷不投入(P <sub>0</sub> )		磷低投入(P <sub>1</sub> )		磷高投入(P <sub>2</sub> )	
		均值/m	①	均值/m	> P <sub>0</sub> /%	均值/m	> P <sub>0</sub> /%
1	广西岑溪(A1)	0.59 (0.13)	①	0.62 (0.15)	5.08	0.67 (0.16)	13.51
	广东高州(A2)	0.52 (0.14)		0.58 (0.12)	11.54	0.64 (0.15)	23.08
	广东信宜(A3)	0.56 (0.14)		0.63 (0.13)	12.50	0.60 (0.12)	7.14
	福建武平(A4)	0.48 (0.14)		0.52 (0.14)	8.33	0.52 (0.15)	8.33
	江西崇义(A5)	0.62 (0.15)		0.62 (0.16)	0	0.63 (0.18)	1.61
2	广西岑溪(A1)	1.43 (0.24)		1.66 (0.31)	16.08	1.68 (0.29)	17.48
	广东高州(A2)	1.26 (0.33)		1.47 (0.26)	16.67	1.61 (0.25)	27.78
	广东信宜(A3)	1.56 (0.28)		1.61 (0.31)	3.21	1.57 (0.31)	0.64
	福建武平(A4)	1.15 (0.20)		1.27 (0.22)	10.43	1.23 (0.26)	6.96
	江西崇义(A5)	1.41 (0.23)		1.64 (0.28)	16.31	1.68 (0.30)	19.15
3	广西岑溪(A1)	2.24 (0.40)		2.76 (0.45)	23.21	2.80 (0.42)	25.00
	广东高州(A2)	2.08 (0.50)		2.51 (0.46)	20.67	2.66 (0.43)	27.88
	广东信宜(A3)	2.38 (0.65)		2.79 (0.54)	17.23	2.68 (0.46)	12.61
	福建武平(A4)	1.94 (0.50)		1.96 (0.43)	1.03	2.05 (0.47)	5.67
	江西崇义(A5)	2.61 (0.53)		2.58 (0.58)	- 1.25	2.94 (0.41)	12.64

①括号内数据为“标准误”。

广东高州种源地处马尾松分布区的最南端, 水热资源丰富, 长期的自然选择使其能在良好的立地上形成高产林分。在缺磷的立地上, 对磷的投入也非常敏感。树高生长与磷投入水平有关, 在磷低投入水平下 1~3 年生树高生长分别较磷不投入提高 11.54%、16.67% 和 20.67%, 这一增长幅度是非常大的, 而在磷高投入水平下树高生长又分别较磷低投入增长 10.34%、9.52% 和 5.98%, 但从经济学角度确定适宜的磷肥使用量值得进一步研究。

福建武平和江西崇义属中亚热带或中南亚热带的种源, 适应性较好。研究发现, 不管是磷低投入还是磷高投入, 对福建武平种源树高生长来说, 磷肥效应只在头 2 a 显著, 第 3 年已不

明显。对于江西崇义种源,低投入时的磷肥效应仅在植苗后的第2年显著,而第1年和第3年效果都不大。在磷高投入水平下,江西崇义种源树高生长对磷的反应在第2年才开始显示。

与上述4个种源相比,广东信宜种源对磷肥的反应式样又有不同,其磷肥效应在植苗当年和第3年显著,而在第2年不明显。在磷低投入水平下信宜种源的树高生长较好,磷高投入的效果反而不如磷低投入,在缺磷的立地上磷低投入就可达到高产效果。

## 2.2 种源树高生长的遗传差异与磷投入水平

林木性状的遗传表达与营养环境有关,近来已为许多研究证实<sup>[3~6]</sup>。虽然已有的林木遗传测定都考虑立地条件对试验结果的影响,但未具体涉及营养环境的作用,致使优良基因型的选择可能存在偏差,遗传参数的估算值也可能有偏。种源单因素的方差分析结果见表4,结果显示树高生长在种源间的遗传差异与磷投入水平有关,这是因为施用磷肥后种源树高生长的遗传潜力得到发挥,但这一现象不在植苗当年而在第2年和第3年显示出来。从表4结果来看,第2年和第3年树高生长的种源效应 $F$ 检验值在低磷和高磷投入水平下都大于11,而在作为对照的磷不投入水平下其种源效应的 $F$ 检验值则分别为7.59和2.57。对比分析还发现磷投入水平的高低对种源树高生长的遗传差异似乎影响不大,意味着在建立种源试验林时适当施以磷肥,可以提高马尾松种源试验效果,较好地鉴别种源间的遗传差异。

表4 种源单因素方差分析结果

树龄/a	磷水平	变异来源			
		区组	种源	区组×种源	机误
		MS	MS(F值)	MS(F值)	MS(F值)
1	不投入(P <sub>0</sub> )	0.049 1	0.332 8 (2.94 <sup>+</sup> )	0.113 3 (6.55 <sup>**</sup> )	0.017 3
	低投入(P <sub>1</sub> )	0.062 4	0.222 3 (2.52 <sup>+</sup> )	0.088 1 (4.92 <sup>**</sup> )	0.017 9
	高投入(P <sub>2</sub> )	0.029 7	0.357 8 (3.59 <sup>*</sup> )	0.099 8 (4.69 <sup>**</sup> )	0.021 3
2	不投入(P <sub>0</sub> )	0.029 7	0.967 9 (7.59 <sup>**</sup> )	0.127 6 (2.00 <sup>*</sup> )	0.063 8
	低投入(P <sub>1</sub> )	0.137 7	0.972 4 (11.76 <sup>**</sup> )	0.082 7 (1.09)	0.076 0
	高投入(P <sub>2</sub> )	0.123 5	1.422 8 (12.92 <sup>**</sup> )	0.110 1 (1.42)	0.077 8
3	不投入(P <sub>0</sub> )	0.560 9	2.713 0 (2.57 <sup>+</sup> )	1.054 3 (4.87 <sup>**</sup> )	0.216 3
	低投入(P <sub>1</sub> )	0.938 5	4.377 7 (11.68 <sup>**</sup> )	0.374 7 (1.64 <sup>+</sup> )	0.227 9
	高投入(P <sub>2</sub> )	0.291 9	4.633 4 (11.77 <sup>**</sup> )	0.393 5 (2.21 <sup>*</sup> )	0.178 0

## 2.3 树高生长的种源与磷投入水平的互作效应

上述是分别按种源和磷投入水平具体研究不同种源对磷肥的反应式样,而这里(表5)则是通过种源和磷肥两因素方差分析以比较种源、磷肥和种源×磷肥互作等效应的相对大小。从表5可以看出头3a的试验结果基本一致,马尾松种源效应和磷肥效应都达到1%或5%显著水平。虽然植苗当年未发现显著的种源与磷肥互作效应,但在第2年和第3年种源与磷肥互作达到10%显著水平。

表5 种源和磷肥两因素方差分析

变异来源	1年生	2年生	3年生
区组	0.045 5	0.092 7	0.146 5
种源	0.753 0 <sup>**</sup>	2.983 7 <sup>**</sup>	9.977 5 <sup>**</sup>
磷肥	0.413 9 <sup>*</sup>	2.208 4 <sup>**</sup>	7.568 0 <sup>*</sup>
区组×种源	0.078 6	0.119 5	0.760 2
区组×磷肥	0.046 7	0.084 4	0.841 2
种源×磷肥	0.082 2	0.196 8 <sup>+</sup>	0.883 0 <sup>+</sup>
区组×种源×磷肥	0.111 2 <sup>**</sup>	0.101 2 <sup>+</sup>	0.527 2 <sup>**</sup>
机误	0.018 8	0.072 6	0.207 3

注:表中数据为均方。

比较发现,虽然种源效应和磷肥效应相对较大,但不能忽略种源×磷肥互作效应的存在。种源与磷肥互作的存在意味着要为不同的种源制定不同的施肥原则。另外,这里未发现明显的区

组、区组×种源、区组×磷肥等效应, 而区组×种源×磷肥互作则较为显著。

### 3 讨论

有关磷肥对马尾松生长效应的研究近年来已有一些报道, 认为施用磷肥可促进马尾松的幼林生长, 施用基肥的效果明显优于追肥<sup>[1, 7]</sup>。然而这些研究未考虑到不同种源对使用磷肥和磷肥量的反应, 难以正确指导马尾松人工林的施肥。不同林木基因型对施肥的反应是不相同的, 概缘因其营养利用效率(NUE)上的遗传差异。Theodorou等<sup>[8]</sup>利用10个辐射松(*Pinus radiata* D. Don)家系研究苗木生长和根形态及与磷、氮吸收的关系, 发现根、茎生长随家系和土壤变化显著, 从不同土壤吸收的磷和氮量及其利用效率在家系间存在巨大的差异。据Li等<sup>[3]</sup>报道, 火炬松(*Pinus taeda* L.)苗木N的利用效率在家系间差异显著, 受中等至强度的遗传控制。Jonsson等<sup>[4]</sup>发现欧洲赤松(*Pinus sylvestris* Linn.)在不同氮水平地上生物量和氮生产力受适度的遗传控制, 两者遗传力分别变化在0.22~0.43和0.24~0.47之间。本文利用5个马尾松优良种源, 在马尾松主产区之一闽西地区, 选择肥力中等偏低的缺磷立地首次布设种源与磷肥互作试验林。造林后头3a的结果显示, 5个马尾松优良种源对磷不同投入水平的反应式样差异很大。有的种源对磷投入非常敏感, 有的则不敏感。有的种源通过磷低投入就能达到磷高投入的效果, 而有的种源的树高生长与磷投入水平有关, 磷高投入效果更好。马尾松不同种源对不同磷投入水平的反应, 可从其对自然环境长期适应性的角度加以解释。如广西岑溪等云开大山和南岭山脉的南部种源因其自然环境条件优越, 其结果稳定性低、遗传可塑性大<sup>[2]</sup>, 对磷肥投入敏感是不难想象的。而分布于中部的马尾松种源如福建武平等, 适应性好, 稳定性高, 从理论上讲应属耐低磷种源一族。但不同种源对磷投入水平的反应机理还有待从营养遗传学角度深入研究。

施肥水平或营养环境不仅与林木基因型的生长有关, 而且影响林木性状的遗传表达和遗传参数的估算。如Li等<sup>[3]</sup>利用23个火炬松自由授粉家系设计高氮和低氮两种环境, 结果苗木的吸收效率和利用效率对NUE变异的贡献是不同的。Lascoux等<sup>[5]</sup>设计6种氮相对添加速率发现欧洲赤松的苗木抽梢机理与氮环境有关。研究性状遗传表达与营养环境的关系对于正确布设林木遗传测定林, 较精确地估算性状的遗传参数具有重要的理论指导意义。本文通过对比研究证实, 参试的5个马尾松种源间的遗传差异与磷投入水平有关。施以磷肥可显著提高试验重复内立地条件(这里主要指肥力)的一致性, 减小环境方差分量, 提高遗传方差分量。然而研究认为磷投入水平的高低其效果相差不大, 磷低投入就可达到提高马尾松种源试验效果之目的。鉴于我国南方林区普遍缺磷, 在建立遗传测定林时要考虑施用磷肥。

当今许多林木育种学家都强调基因型与环境互作(GEI)的研究和利用, GEI不仅包括基因型与立地的互作, 还包括基因型与施肥、造林密度、整地方式、林地准备和其它人类干扰的互作。基因型与立地的互作大多与林木基因型的营养利用效率有关, 如Burdon<sup>[9]</sup>将辐射松生长势方面的无性系×立地互作大部分归因于无性系耐低磷能力的差异。虽然本文发现马尾松的种源效应和磷肥效应相对较大, 而种源与磷肥的互作效应相对较小, 但不能忽视它的存在, 应继续进行跟踪观测。

## 参考文献:

- [1] 周运超, 梁瑞龙, 蒙福祥, 等. 马尾松中幼林施肥试验研究[J]. 贵州农学院丛刊, 1997, (总 36): 72~ 78.
- [2] 周志春, 黄光霖, 金国庆. 马尾松不同种源对环境的反应函数和优良种源的合理布局[J]. 林业科学研究, 1999, 12(3): 229~ 236.
- [3] Li B, Mckeand S E, Allen H L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings[J]. Forest Science, 1991, 37(2): 613~ 626.
- [4] Jonsson A, Ericsson T, Eriksson G, et al. Interfamily variation in nitrogen productivity of *Pinus sylvestris* seedlings[J]. Scan J For Res, 1997, 12(1): 1~ 10.
- [5] Lascoux M, Kang H, Lundkvist K. Growth of 24 full sib families of *Pinus sylvestris* L. at six relative nutrient addition rates [J]. Scan J For Res, 1994, 9(2): 115~ 123.
- [6] Eriksson G, Jonsson A, Dormiling I, et al. Retrospective early tests of *Pinus sylvestris* L. seedlings grown under five nutrient regimes[J]. Forest Science, 1993, 39(1): 95~ 117.
- [7] 胡炳堂, 洪顺山, 关志山, 等. 马尾松造林施肥两年生长反应[J]. 林业科学研究, 1996, 9(2): 215~ 220.
- [8] Theodorou C, Bowen G D. Root morphology, growth and uptake of phosphorus and nitrogen of *Pinus radiata* families in different soils[J]. Forest Ecology and Management, 1993, 56(1~ 4): 43~ 56.
- [9] Burdon R. Clonal repeatabilities and clone site interactions in *Pinus radiata*[J]. Silvae Genetica, 1971, 20(1/2): 33~ 39.

## Height Growth Response of Superior Provenance of Masson Pine to Different Phosphorus Supply

ZHOU Zhi-chun<sup>1</sup>, WU Ji-fu<sup>2</sup>, LAN Yong-zhao<sup>2</sup>, DAI De-sheng<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang China;

2 Wuping Forestry Bureau, Wuping 364300, Fujian, China)

**Abstract:** Five *Pinus massoniana* superior provenances were used to test the interaction of *P. massoniana* and phosphorus fertilizer on low fertility and phosphorus deficient site, and to study the response of height growth to different phosphorus supply. The results showed that the response pattern of height growth varied with the provenances tested. Some provenances were more sensitive than the others. There existed significant differences among provenances in the response and the effectiveness for a given period of time. The fertilization principles for young stand of different provenances were made according to various response of each provenance to phosphorus supply. It was found that the genetic variation of height growth among provenances was correlated with the phosphorus condition. Proper phosphorus supply could improve the preciseness of provenance test significantly. For the high-yielding plantation, the interaction of provenance and phosphorus could not be ignored, in spite of its less importance as compared with provenance effect and phosphorus effect.

**Key words:** *Pinus massoniana*; provenance; phosphorus supply; height growth response