

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*

周志春¹⁾ 黄光霖²⁾ 金国庆¹⁾

(1) 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 311400, 浙江富阳; 2) 福建省南平造纸营林总公司,
353000, 福建南平; 第一作者 36 岁, 男, 副研究员)

摘要 利用 9 个生长较好的马尾松种源区域试验点测定材料, 建立 24 个种源在不同纬度上 9 年生树高的 Gaussian 反应函数, 发现 3 个反应函数参数(模式纬度、内稳定性参数和尺度参数)具有显著的地理变异模式。北部种源大多在其原产地以南 3~6 个纬度的区域内生长表现最佳, 而南部种源的原产地大致也是其生长的最适地。一般来讲, 南部种源较北部种源具有较高的内稳定性和遗传可塑性, 适宜栽植的区域较广。根据优良种源在不同纬度上的生长优势, 并考虑到气候等安全因素, 为几个马尾松优良种源确定了适合的推广栽植范围。

关键词 马尾松; 种源; 环境; 反应函数; 种子调拨

分类号 S722.7

由于存在显著的遗传型 × 环境互作效应, 当推广应用育成的林木品种时, 育种学家将遇到遗传型与环境如何匹配而使产量最高的问题, 包括确定不同品种对环境的反应式样、最佳表现地点和适宜栽植范围等。为了解决这些问题, Mangold 等^[1] 基于如下思想提出可塑性概念模型: 每一种源营养生长都有其最适环境, 最适环境可能不同于其原产地。当栽植在最适环境周围的一维环境梯度上时, 其表现将与最适环境的距离呈曲线关系。Raymond 等^[2] 利用二次多项式和 Cauchy 函数, 研究一种源在系列栽植地上和系列种源在给定栽植地上的行为, 举例说明瑞典欧洲赤松(*Pinus sylvestris* L.) 和美国白蜡(*Fraxinus americana* L.) 不同种源对栽植地的相对可塑性和最适栽植区域, 给定环境区域确定最适栽植种源。而 Roberds 等^[3] 则利用 Gaussian 函数建立美国白蜡种源在不同纬度上的树高反应函数和最适环境区域, 利用最优化理论确定使整个栽植区内产量达到最大时的种源数目和每种源最适的推广区域。

作者在利用马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.) 种源区域试验研究种源 × 地点互作的基础上, 划分了马尾松育种区, 确定了区域试验林布设原则^[4]; 采用几种单变量和多变量法估算不同种源的遗传稳定性, 探究种源遗传稳定性形成的生态学基础^[5]。本文将描述马尾松反应函数参数在种源间的变异模式, 研究不同种源对环境的相对可塑性, 利用反应函数确定优良种源的最适栽植地和推广应用时的合理布局。

* 本文由浙江省自然科学基金(学科组编号 396205)资助, 研究中得到南京林业大学王章荣教授、陈天华教授和中国林科院亚林所陈益泰研究员的指导, 谨致谢忱。

1998-10-06 收稿。

1 材料与方法

1.1 试验数据来源和数据筛选

试验数据来源于马尾松第一次全分区种源区域试验林测定材料。区试林布设在14个省(区)的20多个点,覆盖了马尾松主要分布区。各试点参试种源(产地)数不等,从64个至123个。区试林为完全随机区组设计,5株单列小区,9~10次重复。本研究收集了20个试点的9年生树高测定数据,在这20个试点中,有相当部分的地点立地较差,不能代表相应区域内的森林立地条件。作为速生丰产林或工业用材林,选择较好立地条件的林地造林是起码要求,因此本文从20个区试点中选择其中9个生长较好地点的测定数据,建立24个种源的反应函数(表1)。

表1 24个马尾松种源在9个生长较好地点的9年生树高均值

种源 (省、县)	产地纬度 /(°N)	m								
		广西南宁 (24.08) ^①	广东韶关 (24.80)	福建大田 (25.75)	福建邵武 (27.08)	江西弋阳 (28.07)	四川涪陵 (29.75)	四川仁寿 (30.25)	安徽六安 (31.67)	河南桐柏 (32.67)
01 广东高州	21.09	8.10	8.34	7.61	7.26	6.52	5.66	5.37	3.89	3.86
02 广西宁明	22.13	7.90	8.54	7.48	7.41	6.31	—	5.16	—	4.06
03 广东信宜	22.35	8.22	8.50	7.74	7.55	6.29	5.25	4.88	3.76	3.97
04 广西岑溪	22.94	8.40	8.59	8.08	8.06	6.70	—	5.35	—	3.74
05 广西忻城	24.05	8.38	8.98	7.49	7.37	6.73	5.80	5.34	3.58	3.88
06 广东英德	24.17	8.09	8.22	7.87	7.88	7.00	—	—	—	4.12
07 广西恭城	24.83	7.49	7.91	7.25	7.33	6.73	5.02	4.91	3.96	4.11
08 福建永定	24.85	6.36	6.85	6.95	7.53	6.55	4.93	4.49	3.98	4.09
09 江西崇义	25.70	—	7.41	7.57	7.76	6.43	5.71	4.78	4.08	3.87
10 贵州黎平	26.23	—	6.30	6.85	6.89	6.68	5.53	4.54	3.76	4.21
11 贵州都匀	26.27	6.15	7.69	6.79	7.13	6.16	5.68	4.54	4.55	4.25
12 福建邵武	27.08	6.38	6.35	7.37	7.74	—	5.69	4.69	3.68	4.23
13 江西吉安	27.08	5.93	6.71	6.51	6.69	6.35	4.96	4.83	3.71	4.01
14 浙江庆元	27.82	6.03	6.14	6.80	6.86	6.32	4.85	4.39	4.46	4.11
15 湖南安化	28.47	5.89	6.53	6.13	6.68	6.04	5.86	4.35	4.48	4.05
16 浙江永康	28.90	5.13	5.90	6.37	6.63	6.10	4.98	4.19	4.22	3.69
17 湖南慈利	29.50	5.40	6.46	5.85	6.60	6.04	5.12	4.49	4.34	3.93
18 四川涪陵	29.75	5.90	6.40	6.62	7.22	—	6.17	4.69	4.08	4.03
19 四川蒲江	30.25	6.29	6.86	6.85	6.61	6.34	5.88	4.30	3.97	3.95
20 安徽太平	30.28	5.13	5.45	6.05	6.43	5.90	4.35	3.87	3.93	3.81
21 安徽潜山	30.63	4.36	5.45	5.36	5.76	5.69	4.63	3.44	3.89	3.35
22 湖北远安	31.07	4.95	5.82	5.92	6.63	6.18	5.46	4.50	3.90	4.09
23 陕西固始	32.22	4.20	5.64	5.34	6.15	5.94	4.13	3.26	4.49	3.49
24 陕西城固	33.32	4.24	5.49	5.32	6.20	5.50	5.04	3.87	4.15	3.57
平均		6.31	6.64	6.76	7.01	6.30	5.27	4.53	4.04	3.94

①括号内为区域试验点所处的地理纬度/(°N)。

1.2 种源对环境反应函数的建立

所选反应函数要求具备如下特性:参数具有直接的生物学含义。最大值应相对平稳。在温和气候条件下,函数值应渐近于零,生长量虽会下降,但成活率影响不大,总产量不会等于零。但在较劣气候下,函数值应渐近或以线性方式趋于零,但陡度不太大,这时成活率和生长都将受影响,树木可能会全部死亡,产量等于零。曲线外观对最适立地处的数据敏感,而对低值数值不敏感。基于这些要求,本文选择 Gaussian 函数建立不同种源对环境的反应函数,估算相关反应函数参数。

建立反应函数时,应首先确定一个适合的一维环境梯度。Raymond 等^[2]在研究瑞典欧洲赤松种源的反应函数时,利用种源原产地或试验地的纬度和海拔构建一维环境梯度, Kung^[6]和 Roberds 等^[3]直接利用产地或试验地纬度作为一维环境梯度。对马尾松来讲,研究表明纬度是一个较好反映水热条件的综合地理信息因子,不仅决定性状的地理遗传变异模式^[7],而且是影响林分生产力的最主要因素^[8],因此本文选择纬度作为一维环境梯度建立反应函数。

本文所用 Gaussian 反应函数为 $f_i(x) = \{k_i / (2\pi\eta_i)\}^{1/2} e^{-(x-\mu_i)^2/2\eta_i}$, 式中 $f_i(x)$ 为第 i 种源生长在北纬 x 的平均树高, k_i 为尺度参数(Scale Parameter), 说明种源函数值大小, 表示种源的相对优劣性。 η_i 为内稳定性参数(Homeostatic Parameter), 类似于 Raymond 等文中的遗传可塑性参数(Genetic Flexibility)^[12], 是测试种源在栽植纬度范围内的反应一致性, η 值小说明种源仅能种植在非常有限的范围内, 或只适应与其原产地相类似的地区, η 值大意味着种源对环境的变化不敏感, 可塑性大, 适宜栽植的区域广。 μ_i 为种源 i 的模式纬度(Mode Latitude), 在模式纬度上种源表现最佳, 即使种源不在该地上种植也能确定。在建立种源 Gaussian 反应函数时, 将每一种源的树高值作自然对数转换, 使 Gaussian 反应函数线性化, 计算其复相关系数 R 值或决定系数 R^2 值以说明对数数据对线性模型的拟合性。

2 结果与分析

2.1 反应函数的变异性

每一种源 Gaussian 反应函数的参数估算值和对数线性模型的 R^2 值列于表2。可以发现,

表2 Gaussian 反应函数的参数估算

种源 (省、县)	产地纬度 l (°N)	模式纬度 μ_i (°N)	内稳定性 参数 η	尺度参数 k_i	R^2	在模式纬度的 反应 $f_i(x)/m$
01 广东高州	21.09	22.73	59.52	162.06	0.977 5	8.38
02 广西南明	22.13	21.18	86.45	201.72	0.975 0	8.66
03 广东信宜	22.35	18.64	96.31	247.74	0.962 3	10.07
04 广西岑溪	22.94	23.52	49.63	151.74	0.988 0	8.59
05 广西忻城	24.05	22.31	58.88	170.07	0.945 1	8.84
06 广东英德	24.17	24.53	48.46	142.09	0.994 0	8.14
07 广西恭城	24.83	21.96	74.07	175.15	0.941 1	8.12
08 福建永定	24.85	24.91	47.40	118.43	0.861 1	6.86
09 江西崇义	25.70	23.77	51.84	141.10	0.953 1	7.82
10 贵州黎平	26.23	25.20	46.57	115.14	0.841 9	6.73
11 贵州都匀	26.27	24.55	60.92	134.98	0.840 0	6.90
12 福建邵武	27.08	25.86	35.83	103.55	0.815 3	6.90
13 江西吉安	27.08	25.46	43.61	107.34	0.892 8	6.48
14 浙江庆元	27.82	25.16	55.36	119.34	0.830 6	6.40
15 湖南安化	28.47	25.81	48.55	110.57	0.834 8	6.33
16 浙江永康	28.90	26.52	33.78	88.51	0.846 3	6.08
17 湖南慈利	29.50	26.13	43.95	101.38	0.860 8	6.10
18 四川涪陵	29.75	26.54	31.53	94.31	0.870 1	6.70
19 四川蒲江	30.25	25.21	45.27	113.23	0.882 5	6.71
20 安徽太平	30.28	25.88	45.68	96.52	0.744 1	5.70
21 安徽潜山	30.63	26.67	33.77	77.97	0.722 3	5.35
22 湖北远安	31.07	26.99	31.71	85.55	0.806 2	6.06
23 陕西固始	32.22	26.61	39.04	83.38	0.484 6	5.32
24 陕西城固	33.32	29.17	30.66	76.70	0.724 2	5.19

对于线性化的反应函数,南部种源的试验数据拟合性最好,26°N以南种源除福建永定外, R^2 值都在0.94以上。26°N以北和30°N以南的种源 R^2 值在0.81~0.89之间,而30°N以北5个北部种源的试验数据拟合性较差, R^2 低于0.80,特别是陕西固始种源的 R^2 仅为0.48。

不同种源树高生长最大值所表现的地点(模式纬度)有异于种源的原产地纬度。北部种源的模式纬度和产地纬度有较大的差异,28°N以北种源的生长最适地在其产地以南3~6个纬度范围内。人们通常认为,北部种源在长期的自然选择压力下,抗寒和耐旱等抗逆性状得到了发展,适应于北部较恶劣的环境条件,但这并不意味着目前的生境就是其最适生长地,北部种源的生长最佳地一般在目前分布区以南330~660 km的范围内。南部种源的模式纬度较接近其原产地,大多在原产地以北或以南1个纬度左右的地区,这说明南部种源的原产地也是其最适生长地和栽植地。丰富的水热资源不仅使马尾松分布区南部成为优良种源区,而且还是高产的中心产区。这里南部广西恭城和广东信宜种源较特别,两者的模式纬度都在其原产地以南3个纬度左右,广东信宜的模式纬度在马尾松自然分布区之外。本文仅观察到福建永定这一种源在其原产地附近生长表现最佳。以上可知不同种源的模式纬度是不同的,但模式纬度和产地纬度却呈显著的正相关,利用表3给出的回归方程可根据产地纬度精确地预测模式纬度。

不同种源的内稳定性参数变异式样与模式纬度不同,内稳定性参数与产地纬度呈显著负相关($r = -0.7398$)。南部种源的内稳定性大而北部种源内稳定性小,发现广东信宜(96.31)和广西南明种源(86.45)具有最大的内稳定性参数,陕西城固种源(30.66)内稳定性参数最小。与北部种源相比,南部种源遗传多样性丰富^[9],具有较高的遗传可塑性,能应付突然的环境改变。当假设立地条件较好,不发生雪折和冻害等生态灾害时,南部种源在南北不同纬度上适宜栽植的范围较广。北部种源遗传多样性不足,适应的栽植区域有限。

尺度参数表现出与内稳定性参数相似的变异模式。随产地纬度增加,种源尺度参数逐渐变小,尺度参数和产地纬度的相关系数为-0.8510。同样发现南部的广东信宜(247.74)和广西南明种源(201.72)具有最大的尺度参数,而北部的陕西城固种源(76.70)具有最小尺度参数。

拟合的树高生长反应函数曲线见图1,可清楚地看到在21°N至27°N这个地理区域内种源间树高差异最大,而从这个区域向北,种源间差异逐渐减小,特别是在30°N以北进行种源试验,种源树高生长变异就变得很小,几乎在相同的水平上,在这个区域进行种源选择效果不大。图1显示,随纬度升高,反应函数的式样是不同的,在模式纬度上的树高生长随纬度增加而下降,两者相关系数为-0.9053。相关分析发现,内稳定性参数、尺度参数与模式纬度也呈极显著的负相关(表3),利用模式纬度可很精确地预测这两个参数。

表3 反应函数参数与产地纬度的相关系数和回归方程

相关系数	产地纬度 x	μ_i	η_i	k_i
μ_i	0.8603**			
η_i	-0.7398**	-0.9325**		
k_i	-0.8510**	-0.9774**	0.9473**	
$f_i(x)$	-0.9053**	-0.9284**	0.7969**	0.9443**
线性回归方程		$\mu = 9.3917 + 0.5682x^{**}$	$\eta = 148.8900 - 3.6477x^{**}$	$k = 413.5215 - 10.6085x^{**}$

注: ** 示在1%水平上差异显著。

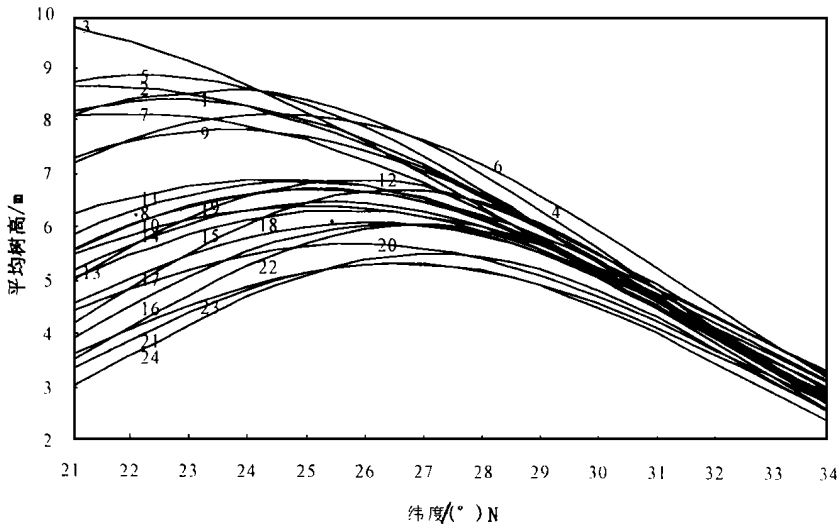


图 1 24 个种源的拟合反应函数曲线

2.2 优良种源的推广与合理布局

云开大山、南岭山地和武夷山脉是 3 个最优良的马尾松种源区, 区内优良种源具有巨大的生长优势, 已在南方 10 省(区)的主要商品材产区得到不同程度的推广。主要商品材产区大致分布在 21°N 以北至 30°N 以南的广阔区域, 该区域可根据气候条件分为两部分: 第一部分从 21°N 至 27°N, 水热资源丰富, 冻害和雪压等生态灾害较少; 第二部分从 27°N 至 30°N, 降雨量虽充足, 但经常发生霜冻和雪折等灾害, 对南部种源特别是在其幼龄期极易造成伤害, 影响林分的长期生产力。本文将重点考虑优良种源在这两个区域内的推广应用效果和合理布局。

作为对比分析, 首先确定不同纬度上当地种源的生长表现。由于模式纬度、内稳定性参数和尺度参数与产地纬度呈显著的相关关系, 因此可按表 3 给出的线性回归方程较精确地估算不同纬度上当地种源的反应函数参数, 建立反应函数方程, 获得不同纬度当地种源树高模拟值(表 4)。

表 4 优良种源在不同纬度 9 年生树高生长优势(与当地种源比较)

优良种源	产地纬度 /(°N)	优良种源推广地的纬度/(°N)								
		22	23	24	25	26	27	28	29	30
01 广东高州	21.09	- 1.30	0.12	2.99	4.83	5.80	5.89	5.56	5.05	4.47
02 广西南明	22.13	2.01	1.43	2.99	3.92	4.56	4.86	5.25	5.92	7.18
03 广东信宜	22.35	12.43	8.96	8.09	6.53	4.97	3.24	1.59	0.52	0
04 广西岑溪	22.94		2.39	6.72	9.79	11.60	12.08	11.61	10.63	9.32
05 广西忻城	24.05	4.62	5.26	7.47	8.62	8.84	8.10	6.84	5.40	3.88
06 广东英德	24.17				6.01	9.94	12.67	14.31	15.51	16.12
09 江西崇义	25.70					2.90	4.12	4.61	4.53	4.47
12 福建邵武	27.08							2.86	4.70	5.44
当地种源树高/m		8.45	8.37	8.03	7.66	7.24	6.79	6.29	5.74	5.15

注: 表中数据下划线部分表示各种源适合的种子布局范围。

这里列出了 8 个种源在不同纬度上推广应用所表现的生长优势。近 10 a 来人们普遍认为

广西宁明是生长势极强的种源,这一结论乃是当时根据苗期和幼龄期生长表现获得的。本试验及作者近年来的观察却发现,宁明种源在各地的表现远较处于相似纬度上的广东信宜种源逊色。广东高州种源地处马尾松分布区的最南端,其表现与广西宁明种源相近。这两个种源在偏北地区(27~30°N)虽有一定的生长优势,但所获增益恐怕难抵因生态灾害引起的直接或潜在损失。根据本文结果,广西宁明和广东高州两个种源似不值得推广,而同处于热带的广东信宜和广西岑溪种源看来非常优异,两者适合的推广栽植范围是不同的。信宜种源可向北推广4个纬度至26°N,在26°N以北地区生长优势已不明显。岑溪种源不仅可向北推广4个纬度,而且在较北的地区(27~30°N)也还表现出极大的生长优势,这也许能弥补因气候不适造成的损失。广西忻城种源向北推移4个纬度似不成问题。广东英德种源地处粤北山区,适应性性状得到了一定的发展,是值得向北推广的一个种源,在27~30°N的区域内比当地种源的树高生长高出12.67%~16.12%。江西崇义和福建邵武属于中亚热带和中北亚热带种源,适应性较好,在较北地区(28~30°N)营造马尾松速丰林时可选用这两个种源。

一般来讲,南部种源向北一定距离内推广能获得较大的增益,然而有些种源向南推移也能取得较好的效益。如表4列出的广西宁明、忻城和广东信宜种源,特别是广东信宜种源向南推广效果很好。8个优良种源适合的推广区域见表4中数据下划线部分。

3 讨论

研究种源对环境的反应有好几种方法。Kung等^[10]利用等高线作图法(Coutour Plot Procedure)将种源相对表现与环境梯度结合起来,用多维反应面进行数据拟合,作等高线阴影图,说明给定栽植地上适合的种源范围,对种子正确调拨有指导意义。但该法不能比较不同种源的相对可塑性,难以确定何时由一种源更换至另一种源。Raymond等^[2]利用二次多项式和Cauchy函数建立欧洲赤松和美国白蜡种源在一维环境梯度上的反应函数,发现利用Cauchy函数,数据拟合性优于二次多项式。Roberds等^[3,11,12]假设种源分布服从Gaussian分布,每一种源具有相等的方差,利用Gaussian函数建立种源在一环境梯度上的反应函数。Raymond等^[13]并就Cauchy函数和Gaussian函数建模两种方法作了比较和讨论。两种反应函数的参数都具有生物学意义,能确定每一种源的最佳生长地和适合的栽植区域,说明各种源的相对可塑性或内稳定性。然而与Gaussian分布比较,Cauchy分布的曲线接近轴线时非常缓慢,不存在密度函数期望值。Cauchy函数的特征方程不可微,因而Cauchy分布不存在距(Moment)。

本文选择9个生长较好的马尾松种源区试点9年生树高测定材料,利用数学性质已知的Gaussian函数建立24个种源在纬度这个一维环境梯度上的反应函数。发现3个反应函数参数具有明显的地理变异模式。北部种源大多在目前生境以南3~6个纬度的区域内生长表现最佳,而南部种源的原产地大致也是其生长的最适地。在前文中^[5],作者研究了马尾松种源遗传稳定性的问题,观察到南部种源适应于较好的立地条件,而对差的立地反应不良。作为丰产林,这里仅考虑好的立地条件,这时发现南部种源较北部种源具有高的内稳定性和遗传可塑性,适合较广的栽植范围。解荷峰^[9]曾利用3个同工酶系统12个位点研究6个马尾松天然群体的遗传结构,与贵州和福建天然群体相比较,发现广西天然群体杂合率高、遗传多样性丰富,这也许能解释为什么南部种源在较好立地上树高生长具有较高内稳定性。Oleksyn^[14]对欧洲赤松种源和DeHayes等^[15]对美国红云杉(*Picea rubens* Sarg.)遗传多样性的研究支持这样的假设,即

遗传多样性高的种和种源对环境条件变化的适应性较好, 遭受逆境的危害较小。

已有研究虽然为不同造林区评选了相应的适用种源, 但对每一优良种源的推广应用范围缺乏系统的研究, 仅有笼统描述^[16, 17]。在生产中优良种源的推广带有一定任意性甚至盲目性, 有些地方的工程造林和基地造林因利用不适种源造成的后果已逐渐显露出来, 如成活率降低、早期发生不同程度冻害和后期生长缓慢等。本文基于种源树高生长不同纬度上的反应函数, 研究优良种源在马尾松主要商品材产区的生长优势, 并考虑气候等安全因素, 为一些优良种源确定了适合的栽植范围和推广区域, 对于种子的合理调拨具有较大的指导意义。

参 考 文 献

- 1 Mangold R D, Libby W J. A model for reforestation with optimal and suboptimal tree populations. *Silvae Genetica*, 1978, 27(1): 66 ~ 68.
- 2 Raymond C A, Lindgren D. Genetic flexibility —— a model for determining the range of suitable environments for a seed source. *Silvae Genetica*, 1990, 39(3 ~ 4): 112 ~ 120.
- 3 Roberds J H, Hyun J O, Namkoong G, et al. Height response functions for white ash provenances grown at different latitudes. *Silvae Genetica*, 1990, 39(3 ~ 4): 121 ~ 129.
- 4 周志春, 荣文琛. 马尾松优良遗传型推广应用的生态遗传学研究 I. 育种区的划分和区域试验点的选择. 两岸林木种源交流研讨会论文集(台湾省林业试验所林业丛刊第88号), 1998. 113 ~ 123.
- 5 周志春, 金国庆. 马尾松不同产地的遗传稳定性和生态学基础. *南京林业大学学报*, 1998, 22(3): 75 ~ 80.
- 6 Kung F H. Delineating seed collection zones based on multiplantation provenance tests. *Proceedings 16th Southern Forest Tree Improvement Conference, Virginia USA, May 27 ~ 28, 1981.*
- 7 全国马尾松种源试验协作组. 马尾松种源变异及种源区划的研究. *亚热带林业科技*, 1987, 15(2): 81 ~ 89.
- 8 周志春, 秦国峰, 李光荣, 等. 马尾松天然林木材化学组分和浆纸性能的地理模式. *林业科学研究*, 1995, 8(1): 1 ~ 6.
- 9 解荷峰. 马尾松天然群体的遗传结构. *南京林业大学学报*, 1990, 14(4): 36 ~ 43.
- 10 Kung F H, Clausen H E. Graphic solution in relating seed sources and planting sites for white ash plantations. *Silvae Genetica*, 1984, 33: 46 ~ 53.
- 11 Roberds J H, Namkoong G. Maximization of expected value for a trait in an environmental gradient. *Proceedings 9th North American Forest Biology Workshop, Oklahoma State University, June 1986.*
- 12 Roberds J H, Namkoong G. Population selection to maximize value in an environmental gradient. *Theoretical and Applied Genetics*, 1988, 77: 128 ~ 134.
- 13 Raymond C A, Namkoong G. Optimizing breeding zones: genetic flexibility or maximum value? *Silvae Genetica*, 1990, 39(3/4): 110 ~ 112.
- 14 Oleksyn J, Prus-Glowacki W, Giertych M, et al. Relation between genetic diversity and pollution impact in a 1921 experiment with east European *Pinus sylvestris* provenances. *Can. J. For. Res.*, 1994, 24(12): 2390 ~ 2394.
- 15 DeHayes D H, Hawley G J, Cox R M, et al. Genetic implications in the decline of red spruce. *Water, Air and Soil Pollution*, 1992, 62(3/4): 233 ~ 248.
- 16 荣文琛, 岳水林, 赵世远, 等. 马尾松造林区优良种源选择. *林业科学研究*, 1994, 7(5): 542 ~ 549.
- 17 徐立安, 陈天华, 王章荣, 等. 马尾松种源子代材性变异与制浆材优良种源选择. *南京林业大学学报*, 1997, 21(2): 1 ~ 8.

Response Functions of Masson Pine Provenances to Different Environment and Suitable Range for Superior Provenances

Zhou Zhichun¹⁾ Huang Guanglin²⁾ Jin Guoqing¹⁾

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

2) The General Company of Afforestation, Nanping Paper Mill, 353000, Nanping, Fujian, China)

Abstract The set of 9-year-old-height data of 24 provenances of masson pine (*Pinus massoniana* Lamb,) from 9 regional trial locations with good growth was used to establish height response function for each provenance grown at different latitudes. It was observed that three response function parameters including mode latitude, homeostatic parameter and scale parameter were strongly related to provenance latitude. For the northern seed sources, mode latitudes were more than 3 ~ 6 °below latitudes of origin, whereas the southern seed sources attained best growth at latitudes near their origin. In general, larger estimate for a homeostatic parameter and scale parameter was obtained for the southern seed source, compared with the northern seed source. The southern provenances were less sensitive to environmental changes if planted over good sites. Considered the vigours in height growth of various provenances extended in different latitudes and the safe factors in seed transfer, the range of suitable planting site was determined for several famous superior provenances of masson pine.

Key words *Pinus massoniana*; provenance; environment; response function; seed transfer