

## 马尾松 3 代种质苗高生长参数的配合力分析

谭小梅<sup>1,2</sup>, 金国庆<sup>1</sup>, 周志春<sup>1\*</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. 重庆市林业科学研究院, 重庆 400036)

关键词: 马尾松; 苗高; 生长参数; 配合力

中图分类号: S791.248

文献标识码: A

### Combining Ability Analysis on Seedling Shoot Elongation and Growth Parameters for the Third Generation Germplasm of *Pinus massoniana*

TAN Xiao-mei<sup>1,2</sup>, JIN Guo-qing<sup>1</sup>, ZHOU Zhi-chun<sup>1</sup>

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

2. Chongqing Academy of Forestry, Chongqing 400036, China)

**Abstract:** Combining ability of seedling height and shoot elongation parameters for the third generation germplasm of *Pinus massoniana* were investigated with a 6 × 6 half diallel cross design, and the parents were selected from the second generation breeding population. The result showed that the net increment of initiation phase, linear phase and later phase of seedling height took 22.82%, 59.05% and 18.13% of the total increment respectively, the increment at linear growth stage played a decisive role in the total increment of seedling height. The result of combining ability showed that, except for total linear growth (TLG), there were not significant differences in general combining ability (GCA) of seedling height, maximum growth rate (MGR), linear growth day (LGD) and linear growth rate (LGR), but for specific combining ability (SCA), except for LGD, there existed significant differences in seedling height, MGR, TLG and LGR, and the dominant gene effect was predominant over the additive gene effect. The reason for this seemed to be that the indirect selection of GCA had been made on mating parents. Compared to the second generation germplasm, which the mating parents had been indirect selected on GCA, the change was little for genetic control model of this trait in the third generation germplasm, and only the variance component of SCA increased to a certain extent.

**Key words:** *Pinus massoniana*; seedling shoot elongation; growth parameter; combining ability

自从 Sprague 等<sup>[1]</sup>在玉米 (*Zea mays* L.) 杂交育种研究中首次提出两类配合力概念以来, 配合力育种在林木遗传改良中得到了广泛应用。配合力分析不仅可用以评价育种亲本, 而且可了解林木重要经济性状所受的遗传控制式样, 从而为科学制定林木遗传改良策略提供重要理论依据<sup>[2-4]</sup>。如齐明<sup>[5]</sup>和

李力等<sup>[6]</sup>对杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 的研究认为, 在交配亲本未经过一般配合力 (GCA) 测定的材料中, 树高、胸径和材积生长主要受 GCA 效应控制, 通过对亲本的直接选择即可达到对子代生长的改良; 而在交配亲本已经过 GCA 测定的材料中, 树高、胸径和材积则主要受特殊配合力

收稿日期: 2010-08-19

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目专题“高产优质多抗马尾松新品种选育”(2006BAD01A1403); 浙江省重点科技创新团队项目(2011R09035-03)

作者简介: 谭小梅(1980—), 女, 四川眉山人, 博士, 主要从事林木遗传改良技术研究。

\* 通讯作者: E-mail: zczhou@fy.hz.zj.cn, zczhou-risf@163.com

(SCA)效应控制,其改良应侧重于亲本特殊组配能力的筛选。周志春等<sup>[7]</sup>和金国庆等<sup>[8]</sup>对马尾松(*Pinus massoniana* Linn.)树高、胸径和木材基本密度等生长和材性性状的研究也获得了类似的结果。然而作为林木遗传改良的主要目标性状,树木高、径生长的相关遗传变异研究虽已较多<sup>[9-11]</sup>,但皆未从影响高、径生长构成组分等深层次角度揭示其所受的遗传控制。如已有研究主要围绕最大生长速率(MGR)、线性生长速率(LGR)、线性生长量(TLG)和线性生长期(LGD)等苗高生长参数在不同种源或家系间的遗传变异规律展开<sup>[12-14]</sup>,而对其所受的遗传控制式样研究鲜有涉及。

马尾松是我国松科(Pinaceae)植物中分布最广泛、人工林面积最大的南方主要造林树种,广泛用于制浆造纸、建筑、松香原料等。我国马尾松遗传改良的系统研究始于20世纪80年代初,现已进入第2代育种并向第3代育种过渡的新阶段。近年来,作者所在研究组利用已达1/2轮伐期的全双列、测交和巢式等不同遗传交配设计的马尾松子代测定林,系统开展其生长和木材密度等GCA/SCA、加性/显性/上位基因效应、父本/母本效应、杂种优势和近交衰退等遗传分析,揭示了马尾松生长和木材密度等所受的遗传控制式样和大小,并从优良杂交组合中优选出一批2代育种亲本用于构建2代育种群体和2代无性系种子园<sup>[8,15-17]</sup>。本文选用2代育种亲本并采用6×6半双列交配设计创制的双亲控制授粉子代苗期测定材料,开展苗高生长及其生长参数的配合力分析,以揭示马尾松3代种质苗木生长及苗高生长参数所受的遗传控制及基因作用方式,为科学制定相应的育种策略以有效改良马尾松高生长提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

2007年在浙江省淳安县姥山林场马尾松2代育种群体中选择6个2代育种亲本无性系33(1145×1126)、20(1003×3412)、40(5163×5907)、22(6627×3412)、56(3412×5907)和44(种源1123),其中,1003来自广东产地,1123、1126和1145来自广西产地,3412来自安徽产地,5907和5163来自浙江产地,6627来自江西产地,试验按照6×6半双列遗传交配设计进行控制授粉(表1)。2008年底收获试验种子,2009年3月中旬在淳安县富溪林场龙门

里苗圃结合轻基质无纺布网袋容器苗培育进行苗期遗传测定。试验采用完全随机区组设计,3次重复,90株小区。播种时每容器袋点播1~2粒种子,出苗后每袋保留1株苗木。苗期除草、施肥、灌溉及病虫害防治等按正常生产进行管理。

表1 6×6半双列遗传交配设计

母本	父本					
	33	20	40	22	56	44
33		×	×	×	×	×
20			×	×	×	×
40				×	×	×
22					×	×
56						×
44						

### 1.2 性状调查方法

由于马尾松刚出苗时生长缓慢(5月份前苗高2~3cm),自4月28日起,每小区随机选择生长正常的10株苗,每15d定株观测记录其苗高,直至11月底苗木生长停止,共计调查15次,调查期251d,并于12月底在每小区中再随机选择20株生长正常且表现中上的苗测定苗高。

### 1.3 统计分析

利用Excel 2003和SPSS 13.0软件对定株观测的每株马尾松苗的苗高生长动态进行Logistic方程拟合,以求算其最大生长速率(MGR)、线性生长速率(LGR)、线性生长量(TLG)和线性生长期(LGD)4个苗高生长参数,具体求算方法详见崔觉群等<sup>[18]</sup>和张萍等<sup>[14]</sup>。以小区单株测定值为单元,采用SAS/STAT软件中的GLM程序进行方差分析,以检验不同杂交组合间苗高及其生长参数的遗传差异显著性。方差分析的线性模型为: $Y_{ijkl} = \mu + x_{ij} + b_k + (xb)_{ijk} + e_{ijkl}$ ,式中: $\mu$ 为总平均值; $x_{ij}$ 为第*i*亲本与第*j*亲本杂交组合效应; $b_k$ 为第*k*个区组效应; $(xb)_{ijk}$ 为杂交组合与区组的交互效应; $e_{ijkl}$ 为随机误差<sup>[19]</sup>。方差分析时LGD经平方根数据转换。若杂交组合间差异显著,按Griffing双列杂交方法IV,按模型II(随机模型)以小区平均值进行配合力方差分析,并按随机模型估算GCA、SCA效应及其遗传方差分量等(表2)<sup>[20]</sup>。本试验中部分亲本为半同胞杂交子代,其近交系数(*F*)介于0~1/8间,为便于统计分析,本文中假设上位作用不存在,亲本间的近交系数(*F*)为1/8,加性/显性方差分量( $V_A$ 和 $V_D$ )按 $\sigma_g^2 \approx [(1+F)/4] V_A$ ,  $\sigma_s^2 \approx [(1+F)^2/4] V_D$ 公式

计算<sup>[20]</sup>。

表2 半双列交配设计子代配合力方差分析模型

变异来源	自由度	均方	期望均方
			模型 II
一般配合力(GCA)	$p-1$	$MS_g$	$\sigma_e^2 + \sigma_s^2 + (p-2)\sigma_g^2$
特殊配合力(SCA)	$p(p-3)/2$	$MS_s$	$\sigma_e^2 + \sigma_s^2$
机误	$(a-1)(b-1)$	$MS_e$	$\sigma_e^2$

注: $p$ 表示亲本数, $a$ 表示组合数, $b$ 表示区组数; $g_i^2$ ( $\sigma_g^2$ )和 $s_{ij}^2$ ( $\sigma_s^2$ )分别表示一般配合力、特殊配合力效应的方差分量,下同。

## 2 结果与分析

### 2.1 苗高年生长动态及其影响苗高生长的主要生长参数

利用 Logistic 方程对定株观测的每株马尾松苗

进行高生长拟合,结果表明:每株苗的苗高生长拟合性均很好,其决定系数变化在 0.874 ~ 0.994。马尾松苗高生长初期、线性生长期(速生期)和生长后期 3 个阶段的净生长量分别占苗高总生长量的 22.82%、59.05% 和 18.13%,苗高在线性生长期的生长对年总生长量起着决定性作用。苗高及苗高生长参数的相关性分析表明(表 3):苗高与 *MGR*、*LGR* 和 *TLG* 均极显著正相关,其中,苗高与 *TLG* 的相关性最大,这也意味着 *TLG* 是影响苗高最重要的生长参数。*TLG* 与 *MGR* 和 *LGR* 呈极显著的正相关,*LGD* 与 *MGR* 和 *LGR* 呈极显著的负相关,而 *LGD* 与苗高和 *TLG* 的相关性则不显著,说明苗高生长量的增加主要因为 *LGR* 和 *MGR* 的提高而增加了 *TLG*。

表3 马尾松苗高及其生长参数的相关性分析

性状	苗高	最大生长速率( <i>MGR</i> )	线性生长量( <i>TLG</i> )	线性生长期( <i>LGD</i> )	线性生长速率( <i>LGR</i> )
苗高	-	0.740 3**	0.980 8**	-0.224 5	0.761 9**
最大生长速率( <i>MGR</i> )	0.740 3**	-	0.691 0**	-0.621 9**	0.998 0**
线性生长量( <i>TLG</i> )	0.980 8**	0.691 0**	-	-0.069 9	0.710 2**
线性生长期( <i>LGD</i> )	-0.224 5	-0.621 9**	-0.069 9	-	-0.630 2**
线性生长速率( <i>LGR</i> )	0.761 9**	0.710 2**	0.710 2**	-0.630 2**	-

注:\*\*表示显著性概率为 0.01。

### 2.2 杂交组间苗高及其生长参数遗传差异

表 4 方差分析结果显示:马尾松苗高及 4 个苗高生长参数在不同杂交组间皆存在极显著遗传差异。在 15 个杂交组合中,以苗高生长差异最大,其遗传变异系数为 15.65%,变幅在 20.30 ~ 39.00 cm 间,最大杂交组合为最小杂交组合的 1.92 倍。

*MGR*、*TLG* 和 *LGR* 遗传变异也较大,遗传变异系数在 9.30% ~ 11.90% 间。相对于 *MGR*、*TLG* 和 *LGR* 3 个苗高生长参数,*LGD* 在不同杂交组间的差异略小,其遗传变异系数仅为 3.11%,这一结果说明了不同杂交组合苗高生长量的差异可能并非是因 *LGD* 的差异造成。

表4 马尾松苗高及其生长参数方差分析

变异来源	苗高/cm	<i>MGR</i> /(cm · d <sup>-1</sup> )	<i>TLG</i> /cm	<i>LGD</i> /d	<i>LGR</i> /(cm · d <sup>-1</sup> )
区组	18.781 5	0.013 7 <sup>+</sup>	40.391 3 <sup>+</sup>	0.980 2	0.010 8 <sup>+</sup>
组合	1 431.649 7**	0.075 8**	111.440 4**	5.051 3**	0.059 9**
区组 × 组合	101.661 0**	0.041 7**	37.513 1**	4.802 1**	0.033 0**
机误	22.297 7	0.005 9	13.574 8	0.951 1	0.004 7
均值	30.10	0.28	16.88	72.56	0.25
变幅	20.30 ~ 39.00	0.17 ~ 0.37	12.63 ~ 20.02	60.04 ~ 84.13	0.15 ~ 0.33
遗传变异系数/%	15.65	11.90	9.30	3.11	11.88

注:苗高性状对应的区组、组合、区组 × 组合和机误的自由度分别为 2、14、28 和 855,*MGR*、*TLG*、*LGD* 和 *LGR* 参数的区组、组合、区组 × 组合和机误的自由度分别为 2、14、28 和 405。

### 2.3 苗高及其生长参数 GCA、SCA 及相对重要性

配合力方差分析结果(表 5)表明:对于 GCA 效应,除 *TLG* 在杂交亲本间的差异达 0.1 显著水平外,马尾松苗高、*MGR*、*LGD* 和 *LGR* 在杂交亲本间的差异均不显著;而对于 SCA 效应,除 *LGD* 外,苗高及其

余 3 个苗高生长参数的 SCA 效应均达显著或极显著水平。通过比较 GCA 和 SCA 效应差异发现,除 *TLG* 的差异较小外,苗高、*MGR*、*LGD* 和 *LGR* 的 SCA 方差分量( $\sigma_s^2$ )均明显地高于 GCA 的方差分量( $\sigma_g^2$ ), $\sigma_s^2$ 均约为  $\sigma_g^2$  的 4.25 倍以上。表 5 还对加

性/显性方差分量( $V_A$  和  $V_D$ )进行了估算。根据  $V_A$  和  $V_D$  的估算结果可发现,马尾松苗高及其4个生长

参数均以显性基因效应起主导作用,加性基因效应次之。

表5 马尾松苗高及其生长参数配合力的方差分析和方差分量

变异来源	苗高	MGR	TLG	LGD	LGR
GCA	25.932 9	0.003 7	6.060 7 <sup>+</sup>	0.198 9	0.002 9
SCA	15.511 9 <sup>**</sup>	0.002 2 <sup>*</sup>	2.039 0 <sup>*</sup>	0.180 5	0.001 7 <sup>*</sup>
机误	2.344 3	0.000 5	0.662 6	0.099 4	0.000 4
$\sigma_g^2$	2.605 2(16.5)	0.000 4(17.8)	1.005 0(42.2)	0.004 6(5.4)	0.000 3(18.4)
$\sigma_s^2$	13.167 6(83.5)	0.001 7(82.2)	1.376 5(57.8)	0.081 1(94.6)	0.001 3(81.6)
$V_A$	9.263 1(18.2)	0.001 3(19.6)	3.574 8(45.1)	0.016 4(6.0)	0.001 1(20.2)
$V_D$	41.616 2(81.8)	0.005 5(80.4)	4.350 3(54.9)	0.256 2(94.0)	0.004 2(79.8)

注:GCA、SCA 和机误项的自由度分别为5、9 和28,括号内为方差分量百分数(%)。+、\*、\*\*表示显著性概率分别为0.10、0.05 和0.01。

## 2.4 亲本一般配合力效应分析

在研究的马尾松苗高及其4个生长参数中,仅TLG在6个杂交亲本无性系间的GCA效应差异达显著水平,因此这里只对TLG的GCA效应进行了分析。在6个杂交亲本中,44、33和22无性系的GCA最高,均高于0.463 3,且两两间差异不显著;20无性系次之,其GCA为0.118 3;40和56亲本无性系最差,其GCA均低于-1.145 0。因上文得出TLG是影响苗高最重要的生长参数,可作为苗高生长表现的一个间接选择指标,故在6个杂交亲本中以44、33和22亲本无性系的苗高生长表现最佳。

## 2.5 杂交组合特殊配合力效应分析

表6结果表明:15个杂交组合其苗高生长及MGR、LGR和TLG3个苗高生长参数的SCA效应变化规律基本一致。如对于苗高,33×22、22×44、40×44和20×40杂交组合的SCA效应值最大,其SCA效应值均在3.283以上,这与其MGR、TLG和

LGR的SCA均具有最大的正向效应值且明显高于其它杂交组合有关;20×22和22×56组合的苗高SCA效应值次之,而33×20、56×44、20×44和40×22组合的苗高SCA效应值最小,皆低于-3.032 1,这缘于其MGR、TLG和LGR具有较大的负向SCA效应值。

## 3 结论与讨论

GCA和SCA的相对重要性受性状、测试材料、地点和年龄等因素的影响。一般认为经过GCA测定的材料,则需要进行SCA的选择和测定,而未经过GCA测定与选择的材料,则其GCA的选择较SCA更为重要<sup>[1]</sup>。杉木生长性状的配合力研究结果<sup>[5-6]</sup>支持了Sprague等<sup>[1]</sup>的观点。本文对马尾松3代种质的苗木生长及苗高生长参数的GCA/SCA进行了分析,其用于杂交制种的6个2代亲本无性系未经过GCA的测定,但除TLG外,苗高、MGR、LGD和LGR的SCA效应均明显地大于GCA效应。推测可能的原因是,试验的6个杂交亲本均来自马尾松双亲控制授粉测定林(2代种质)中选出的优树或优良个体,其1代杂交亲本已分别在开花习性和生长性状上进行过GCA初步测定,这也意味着对2代杂交亲本的GCA作过间接选择。马尾松苗高生长性状所受遗传控制式样虽与赵颖等<sup>[21]</sup>、金国庆等<sup>[8]</sup>和李力等<sup>[6]</sup>研究结果类似,但其SCA相对于GCA的重要性却有一定的提高,如苗高的显性基因效应方差分量占总基因效应方差分量的81.8%。另外,通过对杂交组合SCA效应分析发现,15个杂交组合中,亲本间具有亲缘关系的4个半同胞杂交组合的SCA并未表现最高或最低,而是趋于中等表现,故初步认为对马尾松高世代进行遗传改良时,利用具有

表6 马尾松苗高及其生长参数的SCA效应值分析

杂交组合	苗高	MGR	TLG	LGR
33×20	-3.032 1	-0.032 2	-0.373 2	-0.029 1
33×40	0.501 3	0.013 4	0.421 0	0.011 0
33×22	6.551 3	0.092 8	2.754 1	0.081 5
33×56	0.538 0	-0.015 3	-0.612 3	-0.012 7
33×44	-0.172 9	-0.008 1	-0.076 4	-0.007 0
20×40	3.283 0	0.061 9	1.171 9	0.053 8
20×22	1.223 8	-0.006 1	0.226 0	-0.005 8
20×56	-0.838 7	0.005 6	0.184 9	0.005 6
20×44	-4.232 8	-0.027 7	-1.209 1	-0.024 7
40×22	-8.232 8	-0.094 9	-3.064 5	-0.085 2
40×56	-0.230 3	0.009 1	0.267 1	0.008 1
40×44	4.828 8	0.014 1	1.207 4	0.012 0
22×56	1.960 5	0.016 9	1.144 3	0.016 0
22×44	5.966 4	0.040 8	1.057 2	0.036 6
56×44	-3.462 8	-0.020 7	-0.983 3	-0.017 1

亲缘关系的亲本进行杂交并不会明显降低杂交组合的SCA效应,但要获得较高SCA的杂交组合,选择具有较远亲缘关系的2代亲本进行杂交仍是创制优良杂交组合最有效的途径。

构建林木生长模型估算相关的生长参数,可较好地揭示不同林木基因型的生长特性差异。如MGR、LGR、TLG和LGD是说明苗高生长过程的4个生长参数。在研究的15个半双列杂交组合中,20×22、33×44、22×44、33×22和40×44组合的苗高生长量最大,虽然其LGD较群体平均缩短了3d,但其苗高和TLG却分别提高16.68%和10.67%,主要由于这5个组合具有较大的MGR和LGR;40×22、40×56、56×44和20×56杂交组合的苗高生长量最小,其LGD虽较群体均值平均延长8d,但因MGR和LGR较低(较群体均值低20%以上),其苗高和TLG较群体分别降低了20.57%和13.05%。这一试验结果说明马尾松苗高生长量的增加并非是由于LGD的延长,而是因为LGR和MGR的提高增加了TLG,这与木荷(*Schima superba* Gardn et Champ)苗高生长参数的种源变异研究结果一致<sup>[14]</sup>。研究还发现,马尾松苗高的4个生长参数所受的遗传控制式样与苗高完全一致,由于LGD与苗高生长相关性不显著,故可依据最大生长速率(MGR)尤其是线性生长速率(LGR)对线性生长量(TLG)进行选择,从而间接达到对苗高总生长量强优势组合的筛选。本文基于对1年生马尾松3代种质苗高生长参数的配合力研究,虽然其结论是一个阶段性结果,但1年生苗木材料是研究高生长参数变化规律的很好材料,相对于定植在造林地的幼林或成熟林,利用圃地苗期材料可以排除因立地等环境因子对研究结果的干扰,从而更准确地反映苗高线性生长动态的真实规律,以便为后续的研究奠定较好的理论基础。此外,本试验已在圃地建立了该材料15个杂交组合的测定林,下一步将继续开展幼林期的树高在线性生长期的光合特性及其树高生长参数的配合力相关研究,以期有效改良马尾松高生长提供理论与实践指导。

## 参考文献:

[1] Sprague G F, Tatum L A. General and specific combining ability in single crosses of corn[J]. Journal of the American Society of Agronomy, 1942, 34(4): 923-932

- [2] Baril C P, Verhaegen D, Vignern P H, et al. Structure of the specific combining ability between two species of *Eucalyptus* [J]. Theoretical and Applied Genetics, 1997, 94(4): 796-803
- [3] Yanchuk A D. General and specific combining ability from disconnected partial diallels of coastal douglas-fir [J]. Silvae Genetica, 1996, 45(1): 37-45
- [4] Foster G S, Bridgwater F E. Genetic analysis of fifth-year data from a seventeen parent partial diallel of loblolly pine [J]. Silvae Genetica, 1986, 35(2-3): 118-122
- [5] 齐明. 杉木育种中GCA与SCA的相对重要性[J]. 林业科学研究, 1996, 9(5): 498-503
- [6] 李力, 施季森, 陈孝丑, 等. 杉木两水平双列杂交亲本配合力分析[J]. 南京林业大学学报, 2000, 24(5): 9-13
- [7] 周志春, 金国庆, 秦国峰, 等. 马尾松纸浆材重要经济性状配合力及杂种优势分析[J]. 林业科学, 2004, 40(4): 52-57
- [8] 金国庆, 秦国峰, 周志春, 等. 马尾松生长性状的交配效应的遗传分析及杂交组合选择[J]. 林业科学, 2008, 44(6): 28-33
- [9] John F K. Estimates of general and specific combining ability for height and rust resistance from single-crosses of slash pine [J]. Silvae Genetica, 1973, 22(4): 121-124
- [10] Sharma M, Zhang S Y. Height-diameter models using stand characteristics for *Pinus banksiana* and *Picea mariana* [J]. Scandinavian Journal of Forest Research, 2004, 19(5): 442-451
- [11] Weng Y H, Kershaw J, Tosh K, et al. Height diameter relationships for Jack pine seedlots of different genetic improvement levels [J]. Silvae Genetica, 2008, 57(4): 276-282
- [12] Balocchi C E, Bridgwater F E, Zobel B J, et al. Age trends in genetic parameters for tree height in a nonselected population of loblolly pine [J]. Forestry Science, 1993, 39(2): 231-251
- [13] 李开隆, 姜静, 姜莹, 等. 白桦5×5完全双列杂交种苗木性状的遗传效应分析[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(4): 82-87
- [14] 张萍, 周志春, 金国庆, 等. 木荷种源苗高生长参数变异研究[J]. 林业科学研究, 2006, 19(1): 61-65
- [15] 金国庆, 秦国峰, 储德裕, 等. 马尾松测交系杂交子代生长性状遗传分析[J]. 林业科学, 2008, 44(1): 70-76
- [16] 刘青华, 金国庆, 储德裕, 等. 基于马尾松测交系子代的生长、干形和木材密度的配合力分析[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2011, 35(2): 8-14
- [17] 谭小梅, 金国庆, 邵纪清, 等. 马尾松巢式交配子代生长和木材基本密度遗传分析[J]. 林业科学, 2011, 47(6): 30-35
- [18] 崔党群. Logistic曲线方程的解析与拟合优度测验[J]. 数理统计与管理, 2005, 24(1): 112-115
- [19] 续九如. 林木数量遗传学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006
- [20] 孔繁玲. 植物数量遗传学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 271-285
- [21] 赵颖, 金国庆, 周志春. 马尾松苗木生长和根系性状的GCA/SCA及磷素环境影响[J]. 林业科学, 2009, 45(6): 27-33