

文章编号:1001-1498(2013)06-0686-06

## 马尾松产脂力与生长性状的家系变异及 优良家系早期选择

刘青华<sup>1</sup>, 周志春<sup>1\*</sup>, 范辉华<sup>2</sup>, 刘月荣<sup>2</sup>, 沈丹玉<sup>1</sup>, 陈文荣<sup>3</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. 福建省林业科学研究院, 福建 福州 311700;  
3. 福建省国有来舟林业试验场, 福建 南平 353004)

**摘要:**利用设置在福建南平国有来舟林业试验场马尾松高产脂半同胞家系测定林, 研究其产脂力与生长、树冠性状在家系间的遗传变异以及它们之间的遗传相关性, 并进行脂用马尾松优良家系及优良单株选择。结果表明, 马尾松产脂力与生长、树冠性状皆存在显著的家系差异, 相对于生长、树冠性状, 产脂力变异较大, 变异系数高达 61.91%, 具有丰富的选择基础。产脂力受中度遗传控制, 家系遗传力和单株遗传力分别为 0.42 和 0.31, 表明对马尾松产脂力通过家系和单株选择可取得较好的改良效果。性状遗传相关分析结果显示, 马尾松家系产脂力与胸径、树高和材积呈较高的正遗传相关, 表明在遗传育种进程中可同时对生长性状和产脂力进行改良。此外, 产脂力与冠幅、冠高、轮盘数、活枝数也呈较高的正遗传相关。综合生长、树冠性状的遗传力以及与产脂力相关程度, 认为胸径是高产脂优树间接选择的最佳指标。以单株产脂量和单株材积生长作为综合选择指标, 共选出 20 个优良家系和 16 株优良单株, 选出的优良单株产脂力遗传增益在 52.54%~154.40%, 单株材积遗传增益在 0.22%~31.85%。

**关键词:**马尾松; 半同胞家系; 产脂力; 生长; 早期选择

中图分类号: S718.46

文献标识码: A

## Variation for Oleoresin Yielding Capability and Growth among Families and Early Selection for Superior Families in *Pinus massoniana*

LIU Qing-hua<sup>1</sup>, ZHOU Zhi-chun<sup>1</sup>, FAN Hui-hua<sup>2</sup>, LIU Yue-rong<sup>2</sup>, SHEN Dan-yu<sup>1</sup>, CHEN Wen-rong<sup>3</sup>

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

2. Fujian Academy of Forestry Sciences, Fuzhou 350012, Fujian, China;

3. Laizhou Experimental Forest Farm of Fujian Province, Nanping 353004, Fujian, China)

**Abstract:** This study examined the genetic variations of eight-year-old *Pinus massoniana* trees in their growth, morphologic traits, and resin yielding capability, and analyzed the genetic correlation among these traits using a progeny test at Laizhou Experimental Forest Farm in Nanping City, Fujian Province. The superior families and individuals were selected for oleoresin producing. The results showed highly significant family effects for oleoresin yielding capability, growth and crown traits. Compared with growth and crown traits, more variation existed for oleoresin yielding capability and the coefficient of variation was 61.91%, suggesting a wide base for choice. The oleoresin yielding capability was under moderate genetic control, the family heritability and individual heritability were 0.42 and 0.31, respectively. Analysis result of genetic correlation among traits showed that a strong positive genetic correla-

收稿日期: 2013-01-25

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题“南方针叶树高世代育种技术研究示范”(2012BA01B02); 国家自然科学基金项目“马尾松产脂力和松脂化学组分的遗传控制及有效鉴别”(31070599); 国家林业公益性行业科研专项“脂用马尾松和湿地松育种体系营建技术”(201104020); 浙江省农业新品种选育重大科技专项“竹木育种协作组”课题“马尾松高世代育种及品种示范”(2012C12908-12)

作者简介: 刘青华(1981—), 助理研究员, 博士, 主要从事林木遗传改良研究。

\* 通讯作者: 研究员, 博士, 主要从事林木遗传育种及森林培育研究。E-mail: zczhou-risf@163.com

tion existed between oleoresin yielding capability and DBH, height and individual volume, which indicated both resin yield and growth could be improved simultaneously in the breeding progress. Positive correlation was also showed between tree crown size, whorl number, living branch number and oleoresin yielding capability. DBH was the most reliable trait for indirectly selecting high-yielding oleoresin trees. Twenty superior families and sixteen superior individuals were selected according to the oleoresin yield and individual volume. The genetic gain for oleoresin yield and individual volume were 52.54%~154.40% and 0.22%~31.85%, respectively.

**Key words:** *Pinus massoniana*; half-sib families; oleoresin yielding capability; growth; early selection

松脂含松节油和松香,是林化产业的主导产品之一,用途十分广阔,涉及国民经济许多部门,如用于香料、医药、机械、造纸、电子、油墨等行业,共有400多种用途<sup>[1]</sup>。尽管由炼油副产品相继合成的石油树脂具有松脂的大部分功效,但在相溶性和色泽等方面仍与天然松脂产品有明显差距。而且松脂为可再生资源,有利于产业的可持续发展。近年来松脂价格逐年上涨,如2010—2012年松脂收购价高达16元·kg<sup>-1</sup>,松脂价格已远超木材的价格,在我国很多省区将脂用林作为高效的经济林来培育和经营,给林农带来了丰厚的经济回报。

松树产脂力在树种之间及种内不同地理种源、家系和个体之间皆存在着较大的变异,且这种变异具有遗传性。因此,早期很多国家对湿地松(*Pinus elliottii* Engelm.)、欧洲赤松(*P. sylvestris* L.)、火炬松(*P. taeda* L.)、长叶松(*P. palustris* Mill.)、海岸松(*P. pinaster* Ail.)等相继开展了高产脂的遗传改良工作,使产脂力比对照提高了50%~200%<sup>[2-6]</sup>。由于采脂劳动强度大,且劳动力短缺,欧美等国松脂产量已逐年下降,对产脂力遗传改良工作有所忽视,但随着南方松小蠹(*Dendroctonus frontalis* Zimmerman)等病虫害对松树入侵,研究发现产脂力和松脂中化学组分与病虫害的侵袭程度密切相关<sup>[7-12]</sup>,对产脂力的遗传变异研究再次成为研究热点。我国对松树产脂力遗传及改良研究始于20世纪80年代中后期,研究工作主要围绕选育高产脂优树而开展,并基于相关遗传测定林的幼林材料,初步揭示了产脂力在种源间、家系间、无性系间和单株间的变异<sup>[13-19]</sup>,选育出一批产脂力高的家系、无性系和单株在生产上应用。

马尾松(*P. massoniana* Lamb.)为我国南方山地的主要针叶用材树种,也是我国最主要的采脂树种,约90%的松脂采自于马尾松,其中福建、广西、广东和湖南等省区为马尾松松脂的主产区。尽管之前已发现马尾松群体内产脂力存在较大的变异,但对产

脂性状遗传规律的研究较少,致使育种者无法确定最佳的育种策略,也不能准确估算遗传改良效果。对于产脂力遗传改良,产脂力与生长性状、树冠性状之间的关系也是育种学家关心的重点问题。如果产脂力的增长是以降低木材生长量为代价,在产脂力遗传改良时应慎重处理。目前,在生产上采脂工选择高产脂植株仍较盲目,寻找与产脂力相关性强、易测定的性状显得尤为必要。为此,本文利用马尾松高产脂优树子代测定林,研究其产脂力在家系间的遗传变异以及产脂力与生长、树冠性状的遗传相关性,并优选一批脂用马尾松优良家系及优良单株,为脂用马尾松高世代遗传改良和品种选育提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料来源

试验材料取自设置在福建省国有来舟林业试验场的8年生马尾松半同胞家系测定林,共有45个家系参试(包括1个对照,种子来源于当地未改良林分,其余44个家系种子来源于1984—1985年利用福建省各地高产脂优树的穗条进行嫁接而营建的高产脂无性系种子园),试验林位于该林业试验场的螺丝薄毕山场(117°57' E, 26°38' N, 海拔高度306~352 m),年均气温19.3℃,年降水量1669 mm,无霜期285 d,年日照时数1968 h,坡度25°~30°,土壤为山地红壤,肥力中等,土层厚度在80 cm以上。试验采用完全随机区组设计,5次重复,5株单列小区,株行距2 m×3 m,带状整地,穴规40 cm×40 cm×30 cm。造林后第5年伐去被压木,每小区保留生长正常的植株3~4株。

### 1.2 试验林调查和产脂力测定

由于1个重复有部分家系缺失,本研究只利用其余的4个重复。2011年7月在每个试验小区中选择3株生长最佳的马尾松植株(遭受损伤和病虫害的植株除外)进行采脂。割脂高度约在1.3 m处,采

用下降式单刀采脂法,剖面与树干成 $45^\circ$ ,负荷率约为25%,侧沟深入木质部约0.5 cm,步距约0.1 cm。为了减少对树体的伤害,从7月到9月,每月选择相同时间连续割脂3次,两次割脂间隔时间大约24 h(如遇特殊天气时间延后),每月最后一次割脂24 h后收脂并称质量。测量树高、胸径和树冠性状(冠幅和冠高、轮盘数、活枝数)及树干通直度。树干通直度按通直、较通直、一般、弯曲、严重弯曲5级,分别记分为5、4、3、2和1,分数越高越通直。

### 1.3 数据分析

产脂力以每日每10 cm刀口的松脂产量计算。产脂量则按每株剖面负荷率为50%计算,即产脂量(OY)与产脂力(OYA)、胸径( $D_{1.3}$ )的关系为: $OY = 2 \times l \times OYA / 10$ ,其中单刀割沟长 $l = \pi \times D_{1.3} / (4 \times \cos 45^\circ)$ 。单株材积(V)按公式 $V = 0.000\ 062\ 341\ 803 \times D_{1.3}^{1.856\ 149\ 7} \times H^{0.956\ 849\ 2}$ 估算<sup>[20]</sup>。统计分析时轮盘数、活枝数和树干通直度经 $X^{1/2}$ 转化。

所有数据分析皆采用以下线性模型:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + F_j + B \times F_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$

其中, $Y_{ijk}$ 表示第*i*个区组第*j*个家系的第*k*个观察值, $\mu$ 为总体平均值, $B_i$ 为第*i*个区组的区组效应, $F_j$ 为第*j*个家系的家系效应, $B \times F_{ij}$ 为第*j*个家系和第*i*个区组的交互作用, $\varepsilon_{ijk}$ 为机误。 $B_i$ 为固定效应, $F_j$ 和 $B \times F_{ij}$ 为随机效应。随机效应方差分量估算由SAS/STAT软件中的PROC ANOVA程序进行。

$$\text{单株遗传力 } h_i^2 = \sigma_a^2 / \sigma_p^2 \quad (2)$$

其中, $\sigma_a^2$ 表示加性遗传方差, $\sigma_p^2$ 表示总表型方差。因为测定林为半同胞家系,加性遗传方差( $\sigma_a^2$ )等于家系遗传方差( $\sigma_f^2$ )的4倍。总表型方差 $\sigma_p^2 = \sigma_f^2 + \sigma_{f \times b}^2 + \sigma_e^2$ , $\sigma_{f \times b}^2$ 表示家系与区组互作方差, $\sigma_e^2$ 表示随机方差。

$$\text{家系遗传力 } h_f^2 = \frac{\sigma_f^2}{\sigma_f^2 + \sigma_{f \times b}^2 / T + \sigma_e^2 / NT} \quad (3)$$

其中, $T$ 表示区组数, $N$ 表示每个区组中每个家系的单株数。

$$\text{遗传相关系数 } r_G = \frac{\text{cov}_a(x, y)}{\sqrt{\sigma_{ax}^2 \cdot \sigma_{ay}^2}} \quad (4)$$

其中, $\text{cov}_a(x, y)$ 为*x*和*y*性状加性遗传协方差, $\sigma_{ax}^2$ 为*x*性状的加性遗传方差, $\sigma_{ay}^2$ 为*y*性状的加性遗传方差。

遗传增益 $\Delta G = h_i^2 S / \bar{X}$ <sup>[21]</sup>, $S$ 为选择差, $\bar{X}$ 为群体平均值。

利用最佳线性无偏预测(BLUP)估算家系育种值( $I$ ),由DPS统计软件(v9.50标准版)<sup>[22]</sup>完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 马尾松家系生长、树冠性状和产脂性状的遗传变异

马尾松生长性状存在显著或极显著的家系效应(表1)。马尾松8年生时胸径平均值为11.72 cm,

表1 马尾松家系生长、树冠性状和产脂性状的方差分析

性状	平均值 ± 标准差	最小值	最大值	变异系数/%	固定效应	方差分量/%			家系遗传力	单株遗传力
					重复	家系	重复 × 家系	机误		
胸径/cm	11.72 ± 1.72	6.69	13.49	14.71	(<0.000 1)	12.67 (<0.000 1)	4.48 (0.129 3)	75.75	0.63	0.55
树高/m	7.60 ± 0.94	6.07	8.53	12.40	(<0.000 1)	5.67 (0.001 9)	0.00 (0.573 1)	76.49	0.47	0.27
单株材积/m <sup>3</sup>	0.043 6 ± 0.011 8	0.010 5	0.087 7	26.98	(<0.000 1)	8.19 (<0.000 1)	6.09 (0.067 2)	75.62	0.51	0.36
冠幅/m	2.67 ± 0.66	1.63	3.13	24.82	(<0.000 1)	2.85 (0.014 0)	1.36 (0.329 8)	64.01	0.33	0.17
冠高/m	5.11 ± 1.09	3.28	6.07	21.42	(<0.000 1)	9.55 (<0.000 1)	0.00 (0.530 7)	74.63	0.61	0.45
冠高比	0.68 ± 0.87	0.51	0.77	16.97	(<0.000 1)	10.42 (<0.000 1)	0.00 (0.512 1)	73.34	0.63	0.50
轮盘数	5.02 ± 1.07	3.78	5.75	21.40	(<0.000 1)	4.36 (0.023 1)	0.00 (0.633 2)	89.02	0.37	0.19
活枝数	22.87 ± 4.51	17.58	25.50	19.74	(0.072 8)	4.20 (0.006 1)	4.49 (0.167 7)	90.45	0.33	0.17
树干通直度	3.5 ± 0.47	2.9	4.1	22.50	(0.001 2)	0.00 (0.670 6)	0.49 (0.450 6)	75.76	-	-
产脂力/ (g · 10 cm <sup>-1</sup> · d <sup>-1</sup> )	8.69 ± 5.38	2.67	11.81	61.91	(<0.000 1)	6.85 (<0.000 1)	17.02 (<0.000 1)	63.26	0.42	0.31
产脂量/ (g · d <sup>-1</sup> )	19.29 ± 11.62	8.02	38.45	60.12	(<0.000 1)	8.15 (<0.000 1)	17.00 (<0.000 1)	59.60	0.47	0.38

注:重复、家系、重复 × 家系和机误自由度分别为3、44、132和360。括号内*P*值。

家系间变异幅度为 6.69 ~ 13.49 cm, 胸径生长最快家系的生长量是最慢家系的 2.02 倍, 家系遗传力可达 0.63, 表明对于胸径生长, 该马尾松子代林具有较大的选择潜力, 通过选择其子代胸径生长可取得较好的遗传增益。在参试性状中, 树高变异程度最小, 变异系数仅为 12.40%, 但由于家系间仍存在显著差异, 表明通过选择, 该性状还是可以获得一定的改良效果。

马尾松冠幅、冠高、冠高比、轮盘数、活枝数在不同家系间差异也达到显著水平, 意味着家系间进行光合作用的面积存在较大遗传变异, 为有利于生长和产脂力的冠型构造选择提供了丰富的选择基础, 其中冠高和冠高比的家系遗传力为 0.51 ~ 0.63, 受中度到高度的遗传控制; 树干通直度在家系间差异不显著, 平均通直度得分为 3.5 分。

本研究中, 共有 95.55% 的参试家系产脂力超过对照 ( $4.68 \text{ g} \cdot 10\text{cm}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ), 表明利用该测定林母树种子营建的林分, 其产脂力即可取得一定的改良效果。相对于生长性状和树冠性状, 马尾松产脂力是变异较大的一个性状, 变异系数为 61.91%, 8 年生时马尾松产脂力最高的家系 29 号产脂力可达  $11.81 \text{ g} \cdot 10\text{cm}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ , 是最低产脂力家系 44 号的 4.42 倍, 意味着该性状在参试家系间仍有较大的选择潜力, 而且产脂力受中度遗传控制, 表明对产脂力进行家系选择具有较大的意义。产脂量是由产脂力和胸径共同决定的复合性状, 其在家系间的变异程度以及遗传力更接近于产脂力性状的表现。

### 2.2 马尾松产脂力与生长、树冠性状和松脂化学组成的遗传相关

由前面分析可知, 树干通直度在家系间的差异不显著, 因此本文在进行性状相关分析时剔除了该性状。分析结果显示(表 2), 马尾松产脂力与胸径、树高、材积皆表现出较高的正遗传相关, 意味着改良

表 2 马尾松产脂力与生长、树冠性状的遗传相关

性状	与产脂力的遗传相关系数
胸径	0.728 3
树高	0.471 2
单株材积	0.687 3
冠幅	0.556 3
冠高	0.535 8
冠高比	0.555 6
轮盘数	0.696 6
活枝数	0.992 7

马尾松产脂力的同时, 生长性状也得到改良。与树高和材积相比, 胸径与产脂力表现出更高的遗传相关性, 相关系数达 0.728 3, 表明生长性状中胸径更适宜作为产脂力的间接选择性状。

冠幅、冠高、冠高比、轮盘数与产脂力存在着中度的正遗传相关, 遗传相关系数为 0.535 8 ~ 0.696 6, 活枝数与产脂力存在着高度的正遗传相关, 相关系数接近 1.000 0, 表明树冠高并且宽、轮盘数和活枝数多的冠型以及树皮较厚的家系其产脂力一般较高。

### 2.3 脂用马尾松优良家系和个体选择

由于产脂量能更真实地反映松树单株在一定时间内收获的松脂产量, 本研究采用产脂量作为脂用马尾松优良家系和单株的选择指标之一。本研究估算各家系产脂量和材积的育种值, 淘汰产脂量为负值、单株材积不高于对照的家系, 初选出 20 个优良家系(表 3), 其平均产脂量约为对照的 2.46 倍。该结果可指导前向选择, 用于高产脂无性系种子园的留优去劣, 提高其生产良种的产脂量和材积生长。

表 3 脂用马尾松家系选择

家系编号	产脂量		单株材积	
	平均值/ ( $\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$ )	育种值(I)	平均值/ $\text{m}^3$	育种值(I)
29	38.45	23.57	0.045 6	0.002 7
5	35.45	19.88	0.056 8	0.017 9
55	32.16	15.83	0.047 0	0.004 6
63	27.48	10.08	0.045 3	0.002 3
50	25.79	8.00	0.043 2	-0.000 6
48	25.66	7.84	0.049 9	0.008 6
9	24.15	5.98	0.035 4	-0.011 1
12	23.90	5.67	0.045 5	0.002 6
42	23.18	4.79	0.046 3	0.003 7
30	22.71	4.21	0.042 0	-0.002 1
11	22.42	3.86	0.039 4	-0.005 7
53	22.23	3.62	0.056 4	0.017 4
52	21.87	3.18	0.047 3	0.005 1
22	21.46	2.67	0.047 5	0.005 3
16	20.51	1.51	0.046 4	0.003 7
14	20.05	0.94	0.034 0	-0.005 0
21	19.46	0.21	0.042 0	-0.002 1
58	19.40	0.14	0.047 2	0.004 9
1	19.39	0.11	0.047 5	0.002 7
2	19.34	0.06	0.043 8	0.017 9

为了取得更大的遗传增益, 在家系选择时同时进行家系内单株选择, 以产脂量不低于高产脂标准 ( $15 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ ) 的 3 倍、材积不低于平均值且每家系最

多选择1株(防止遗传基础变窄)作为约束条件,共选出16株优良单株(表4),其中产脂量遗传增益在52.54%~154.40%间,材积遗传增益在0.22%~31.85%间。在选出的16株优良单株中,13株为优良家系内的最佳单株;而对于56号、45号和60号单株,尽管家系平均产脂量或生长量表现并不突出,但家系内分化较大,其中最佳单株的单株产脂量和生长量远高于该家系平均水平,甚至高于部分优良家系内所有单株的表现,故将这3个特优单株从家系中选出。在生产上,可对选出的16个优良单株进行嫁接或扦插无性繁殖加以利用,以大幅度提高遗传增益。同时,选出的优良单株也可作为马尾松二代育种群体亲本的补充材料。

表4 脂用马尾松单株选择

单株编号	产脂量		单株材积	
	平均值/ (g·d <sup>-1</sup> )	遗传增益/%	平均值/m <sup>3</sup>	遗传增益/%
29	97.67	154.40	0.082 2	31.85
55	90.60	140.47	0.064 4	17.14
53	78.50	116.64	0.061 8	14.99
52	76.53	112.76	0.043 9	0.22
56	75.54	110.81	0.070 1	21.85
5	74.41	108.59	0.058 0	11.90
48	68.09	96.14	0.059 6	13.22
50	62.08	84.29	0.050 1	5.40
45	61.23	82.62	0.060 2	13.74
11	53.77	67.92	0.044 2	0.46
60	52.96	66.32	0.062 8	15.82
58	50.62	61.72	0.043 7	0.08
21	49.58	59.67	0.046 1	2.06
12	48.30	57.15	0.054 7	9.14
9	45.96	52.54	0.052 2	7.14
42	45.51	51.64	0.059 2	12.85

### 3 结论与讨论

马尾松群体家系间存在着丰富的变异,产脂力变异程度约为胸径、树高等生长性状的3~4倍,Roberd等<sup>[6]</sup>对火炬松全同胞子代测定林生长及产脂力测定时也得出相似的结论,意味着产脂力存在着较为丰富的变异基础,具有较大的选择潜力。本研究显示马尾松产脂力受中度的遗传控制,该结论证实了之前对相同树种或不同树种产脂力遗传特性的研究结果。如Roberd等<sup>[6]</sup>认为火炬松全同胞家系春季和夏季的产脂力狭义遗传力分别为0.59和0.44;刘月蓉<sup>[15]</sup>发现马尾松优树自由授粉子代测定

林产脂力受中高度遗传控制,家系遗传力达0.67。这些研究结果皆表明,通过产脂力选择就能取得显著的遗传增益。但各研究估算出的遗传力值并不完全一致,这种差异除与所参试的材料有关外,还与试验林所处环境条件有关。一般认为利用生长在较一致的环境条件下的材料估算出的遗传力比利用生长在环境条件差异较大的材料估算出的遗传力要高<sup>[6]</sup>。

本研究结果显示马尾松产脂力与生长性状之间存在中度或高度正遗传相关,意味着遗传因素会导致马尾松单株的产脂力与生长同增或同减。之前一些研究也得出类似的结论,如Roberds等<sup>[6]</sup>提出幼龄火炬松产脂力与树高和胸径生长之间存在正相关关系,认为这种关系可用基因多效性来解释。因此,在对马尾松生长性状遗传改良的同时,产脂力也间接地得到一定程度的提高。

国外测定松树产脂力的常用方法是在树木胸高位置沿着径向方向开一直径为1.27 cm的孔,孔深度到木质部表面即可,24 h后测定流出的松脂质量<sup>[9,23]</sup>。该法对树木损害程度小,而且能反映出树木生产松脂的能力,常用来研究某些目的性状与产脂力的关系,如林木的抗虫性。我国是松脂生产大国,产脂力是重点关注的性状之一,生产上常用的采脂方法为下降式割皮采脂法<sup>[14-15,24]</sup>,这种方法能测出实际松脂生产能力,与生产中某一单株的产脂力具有可比性,且通过多次割脂,能消除气温、水分等对产脂力的影响,研究结果更真实可靠。产脂力体现的是单位树体生产松脂的能力,在研究高产脂与低产脂松树个体、细胞或分子水平的差异以及与其它性状的关系时利用产脂力较为合适,但在研究单株实际产脂量时,利用产脂力计算会有较大偏差,因为忽略了生长量大小等因素造成的实际产脂量的差异,如一个产脂力很高的遗传材料,如果生长量太小,在同一负荷率下产脂量依然较低,将会导致高产脂力低产脂量的结果。为此本研究利用产脂量而不是产脂力来选择高产脂优良家系和单株,共选出20个优良家系和16个优良单株,下一阶段可指导马尾松无性系种子园的去劣留优,优良单株可用于无性繁育和作为下一代育种群体亲本的补充材料。

### 参考文献:

- [1] Lee H J, Ravn M M, Coates R M. Synthesis and characterization of abietadiene, levopimaradiene, palustradiene, and neoabietadiene: hydrocarbon precursors of the abietane diterpene resin acids [J].

- Tetrahedron, 2001, 57(29): 6155-6177
- [2] Mergen F, Hoekstra P E, Echols R M. Genetic control of oleoresin yield and viscosity in slash pine[J]. Forest Science, 1955, 1(1): 19-30
- [3] Chudnyi A V, Prokazin E P. Geographical variation in the composition of turpentine oils of *Pinus sylvestris* on the territory of the USSR [J]. Rastitel'nye Resursy, 1973, 9(4): 494-503
- [4] Tadesse W, Nanos N, Aunon F J, et al. Evaluation of high resin yielders of *Pinus pinaster* Ait. [J]. For Gen, 2001, 8(4): 271-278
- [5] Fries A, Ericsson T, Gref R. High heritability of wood extractives in *Pinus sylvestris* progeny tests[J]. Can J For Res, 2000, 30(11): 1707-1713
- [6] Roberds J H, Strom B L, Hain F P, et al. Estimates of genetic parameters for oleoresin and growth traits in juvenile loblolly pine[J]. Can J For Res, 2003, 33(12): 2469-2476
- [7] Hodges J D, Elam W W, Watson W F, et al. Oleoresin characteristics and susceptibility of four southern pines to southern pine beetle (Coleoptera: Scolytidae) attacks [J]. Can Entomol, 1979, 111(8): 889-896
- [8] Lorio P L J, Stephen F M, Paine T D, et al. Environment and ontogeny modify loblolly pine response to induced acute water deficits and bark beetle attacks[J]. For Ecol Manage, 1995, 73(1-3): 97-110
- [9] Strom B L, Goyer R A, Ingram Jr. L L, et al. Oleoresin characteristics of progeny of loblolly pines that escaped attack by the southern pine beetle[J]. For Ecol Manage, 2002, 158(1-3): 169-178
- [10] Wallin K F, Kolb T E, Skov K R, et al. Effects of crown scorch on ponderosa pine resistance to bark beetles in Northern Arizona[J]. Environ Entomol, 2003, 32(3): 652-661
- [11] Tisdale R A, Nebeker T E, Hodger J D. The role of oleoresin flow in the induced response of loblolly pine to a southern pine beetle associated fungus[J]. Can J Bot, 2003, 81(4): 368-374
- [12] Medeiros R S, Vieira G. Sustainability of extraction and production of copaiba (*Copaifera multijuga* Hayne) oleoresin in Manaus [J]. Am Brazil For Ecol Manage, 2008, 256(3): 282-288
- [13] 蔡邦平,梁一池,吴端正. 马尾松高产脂优树选择方法的研究[J]. 福建林学院学报, 1998, 18(1): 32-35
- [14] 连辉明,何波祥,曾令海,等. 马尾松速生、优质及高产脂半同胞家系综合选择的研究[J]. 广东林业科技, 2002, 18(1): 1-6
- [15] 刘月蓉. 高产脂马尾松优树自由授粉家系及其单株选择[J]. 福建林业科技, 2005, 32(3): 122-124
- [16] 刘月蓉. 高产脂马尾松半同胞的产脂力优良单株的选择[J]. 林业科技, 2006, 31(3): 1-4
- [17] 覃冀,连辉明,曾令海,等. 高产脂马尾松半同胞子代20年生测定林产脂力分析[J]. 广东林业科技, 2005, 21(2): 30-34
- [18] 李思广,付玉嫔,张快富,等. 高产脂思茅松半同胞子代测定[J]. 浙江林学院学报, 2008, 25(2): 158-162
- [19] 翁海龙,陈宏伟,段安安,等. 思茅松高产脂优树选择[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(3): 71-74,79
- [20] 周志春,傅玉狮,吴天林. 马尾松生长和材性的地理遗传变异及最优种源区的划定[J]. 林业科学研究, 1993, 6(5): 556-564
- [21] 沈熙环. 林木育种学[M]. 北京:中国林业出版社, 1990
- [22] 唐启义,冯明光. DPS 数据处理系统[M]. 北京:科学出版社, 2007
- [23] Cannac M, Barboni T, Ferrat L, et al. Oleoresin flow and chemical composition of Corsican pine (*Pinus nigra* subsp. *Laricio*) in response to prescribed burnings[J]. For Ecol Manage, 2009, 257(4): 1247-1254
- [24] 蔡树威,龙伟,杨章旗. 马尾松不同种源采脂量与树体因子关系的研究[J]. 广西林业科学, 2006, 35(增刊): 18-19