

马尾松造纸材的变异、遗传和选择育种策略

秦国峰 周志春 李光荣 黄光霖 陈炳星 程传演

摘要 对马尾松造纸材遗传改良和选择育种已有研究成果进行综合阐述。在明确马尾松造纸材育种目标的基础上,系统阐述了其木材产量、木材质量和浆纸性能在种源、林分、家系、个体和个体内各层次的变异模式和规律,以及性状遗传、遗传相关和遗传稳定性等遗传参数。通过木材量质与浆纸性能的联合选择,确定福建西部、江西中南、湖南南端、广东西北和广西东南这个呈东北—西南走向的狭长区域是马尾松造纸材最优种源区,而江西崇义,广西岑溪,广东罗定、英德、韶关和福建永定则是其最佳产地。同时选择了一批生长、材质兼优的家系和个体。最后就马尾松造纸材选择育种策略和未来遗传育种研究的重点提出意见。

关键词 马尾松、造纸材、变异、遗传、选择、育种策略

马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)是我国南方的一个重要工业用材树种,分布广泛,数量众多,生长迅速,适应性强,是优质的制浆造纸原料,可以抄造新闻纸、牛皮纸和其它高品位的纸张。南方有许多大型和中小型纸厂都利用马尾松木材,然而目前所耗用木材主要来源于未经遗传改良的天然次生林。天然次生林由于单位面积木材产量低,材种规格不一,材性不均匀,致使浆的产量低,每吨浆的生产成本较高。许多纸厂生产的新闻纸和牛皮纸等,其质量难以提高,部分原因在于原料的低劣。随着人工林面积的不断扩大和短伐期作业的实施,树木在较小年龄就可以收获。虽然人工林单位面积的浆产量较高,但因所生产的木材大多为幼龄材,木材质量较差^[1],制浆得率低而化学能耗高^[2]。在对造纸材木材产量改良的同时,还需兼顾木材质量,木材质量问题应纳入造纸材遗传改良方案中^[2~5]。已有的研究表明,在木材性状中,木材密度是一个最重要的因子,与浆纸产量和质量密切相关。把木材密度这样的木材性状作为林木改良计划的一个指标,对林木蓄积量影响不大,但若不考虑,可能在价值和生产方面会遭到巨大的损失。对于造纸材而言,其制浆造纸性能一般能根据木材性质如木材密度^[6,7]和木材解剖特性^[8,9]来预测,但并不是对所有树种都适合。现在人们意识到完善而成功的林木育种方案应包括一个对干形、生长和适应性改良的主程序和对材性改良的次程序。马尾松遗传改良系统研究始于80年代初,在近十年的时间里一直偏重于林木的材积生长,未针对不同材种要求进行定向培育。近年来针对马尾松造纸材木材产量、质量和浆纸性能的遗传变异和联合选择作了系统深入的研究,现就马尾松造纸材遗传改良和选择育种已有的研究成果和今后的研究方向进行系统阐述和探讨,以供有关方面参考。

1994-09-26 收稿。

秦国峰研究员,周志春(中国林业科学研究院亚热带林业研究所 浙江富阳 311400);李光荣,黄光霖,陈炳星,程传演(福建省南平造纸营林总公司)。本文系周志春执笔。

1 马尾松造纸材的育种目标

在进行林木遗传改良时,确定育种目标和目标性状相对重要性应从经济学观点考虑,而不能仅依据性状的遗传特性和性状估测的难易程度来决定。对于纸浆生产,应从纸浆的生产成本和制浆所获得的收益等方面来考虑^[10]。材积生长常作为一个最主要的育种目标。木材性状,特别是木材密度、纤维素含量和纤维长度会强烈影响制浆过程和浆纸性质。然而当这些木材性状变化时,制浆成本并不因之发生相应的变化。Zobel 等^[2]、Campinhos 等^[11]认为影响纸浆生产最主要的性状为树干材积、木材密度和制浆得率,其它影响纸浆生产系统的生物学性状有树木成活率、病虫害抗性、树皮含量、纤维形态和木材化学组份等,但这些性状能适用的遗传学和经济学信息较少,并且对纸浆生产总的成本结构影响较弱。

对于马尾松纸浆生产而言,应首先将适应性(如抗寒、抗雪压、抗风倒等)作为一个限制性因子来考虑,在适应性条件满足的前提下或风险允可的范围内,将树干材积、木材密度和制浆得率确定为造纸材遗传改良的三个最主要的育种目标性状,根据纸厂的不同生产成本结构估算这三个性状的相对经济权重,建立选择指数,以精确地进行造纸材品系选择,使育种目标获得最大的遗传增益。在马尾松造纸材改良方案中,干形也应作为一个较重要的性状加以考虑,因为干形改良比材性的直接选择更能有效地提高木材质量。对依据树干材积、木材密度和制浆得率而筛选出的优良品系,最终还应作微制浆造纸试验,这时评判的标准为单株树木或单位面积的纸浆产量、吨干浆材耗量和纸张物理强度。

2 马尾松造纸材主要性状变异模式和规律

2.1 种源变异

2.1.1 天然群体的地理模式 和美国的多数南方松相似,马尾松天然群体的生长速率随着纬度的增加而降低,木材密度和管胞长度则呈现从北至南逐渐增加的变异模式¹⁾,木材戊糖、灰分含量、纸张的抗张、耐破和撕裂指数呈现随纬度变化的地理模式,与经度无关。与北部天然林分相比,南部天然林分的木材戊糖和灰分含量较低,在相同的蒸煮条件下,浆的 Kappa 值有增高的趋势,但不显著。木材纤维素、木素和苯醇抽出物含量与经纬度无关。纸张抗张和耐破指数随着纬度增加而增加,撕裂指数则呈现从北至南逐渐增加的变化趋势^[12]。然而木材性状和浆纸性能的这种天然群体变异往往与广泛分布区域内环境条件的差异性有关,不能确切地说明地理区域内性状的遗传变异情况,不能用来指导树木的引种。

研究还发现马尾松相邻林分间的材性差异不显著^[13,14]。

2.1.2 地理遗传变异规律 对设立在邵武 90 个产地的种源试验研究表明^[15],马尾松 10 年生时的树干材积和木材基本密度具有显著的种源区和产地效应。将众多种源或产地栽植在同一个地点时,马尾松将基本保持原产地的生长特性,低纬度的种源生长快,但不耐雪压、冻害和风寒。然而在新的环境中,木材性状会受到环境因子的强烈影响发生较大的变化。通过二维多

1) 李火根,王章荣,陈天华. 马尾松木材比重、管胞长度的地理变异. 杉木、马尾松等树种遗传改良讨论会文集,中国林学会遗传育种学会,1991,210~215.

项式趋势面分析,清楚地发现树干材积由北向南逐渐增大;木材基本密度的最高值在分布区的西北,由北向南逐渐减少,最低值在分布区的中带,由中带向南又略有增加。管胞长度的种源区和产地效应很小,无一定的地理变异趋势。

浙、赣、闽三地点 43 个产地的种源试验也获得了同样的结果^[16]。9 年生时生长性状的种源效应占群体总变异的 20%~30%,而木材基本密度的种源效应只占总变异的 10%左右。单株材积生长的最佳种源是最差种源的 3.41 倍,两者的木材基本密度相差 11.1%。材积和地理纬度的简单相关系数高达 -0.830 8,最佳表现在南带西区和南带东区;木材密度和产地纬度的相关系数为 0.664 9,南带西区的木材密度值最低。

对马尾松造纸材最优种源区内 30 个优良产地的木材(12 年生)进行硫酸盐法制浆,发现多数制浆造纸特性具有显著的种源或产地效应^[17]。木材中灰分含量、苯醇抽出物和纸张的耐折度在产地间差异最大,其变异系数分别为 11.54%、19.51%和 28.16%;木材戊糖含量、浆的 Kappa 值,黑液残碱以及纸张的抗张和撕裂指数都具有适度的产地效应,其变异系数在 5.29%~9.12%之间,而木材中纤维素和木素含量、制浆得率和纸张耐破指数在产地间差异较小。粗浆和细浆得率的变异系数虽只有 2%左右,但得率最高和最低产地间的绝对值差异却达 4%~5%,对纸浆生产来讲,这一变异幅度其实很大,因为制浆得率提高 1%~2%就能获得可观的经济效益。

2.2 株间和株内变异

2.2.1 株间变异 生长在同一立地条件下、相同年龄树木间的变异主要受遗传控制。对浙皖两省 165 株天然林优树木材基本密度的测定发现,选优的林分间木材密度无显著差异,而优树个体间木材密度特别是幼龄材密度存在着很大的差异^[14]。9 个天然群体的研究发现木材密度在林分内个体间变异很大,而管胞长度在林分内个体间的差异视群体不同而异^[18]。通过同一地区不同人工林分和天然林分的材性分析表明,株间和株内差异是马尾松木材密度和管胞长度的主要变异来源,两性状株间差异分别占群体总变异的 40%和 20%左右^[13]。对同一人工林分不同样本的研究也发现类似的结果,胸高处晚材管胞长度的个体、年轮以及年轮×个体互作的方差分量分别占总方差的 13%、39%和 9%,株间和株内变异的方差分量比大致为 1:3^[19]。

2.2.2 株内变异 株内变异是木材性状最主要的变异来源。对马尾松株内变异的研究分析,为选择幼龄材含量少、幼龄期短的品系提供了可能。

2.2.2.1 树基至干顶的纵向变异 研究发现天然林木的木材密度随距离地面高度的增加而逐渐减小,而人工林木的木材密度在树干较低部位由下至上减少,在冠区又有增加。当考虑到年龄效应时,不管是天然林还是人工林,距髓心恒定年轮内的木材密度都随树木高度的增加而减小^[20]。晚材管胞长度在树干方向的纵向变异,两种林分均与针叶树一般变异类型相似^[21]。距髓心恒定年轮内的管胞,整个断面的平均管胞,都由树基向上一定距离内增长,达到最大值后又逐渐变短,马尾松最长管胞大致处于树干 1/3 高度的外侧,最短管胞处于树干中心^[19,20]。由于年龄效应,整个断面的平均晚材率随着树高的增加而逐渐减小,但晚材率是一个易变化、难以测定的性状,距离髓心恒定的年轮是不同年代形成的,易与季节周期效应混淆,发现其纵向变异毫无规律,与树高无关^[20]。

2.2.2.2 从髓心至树皮的径向变异^[19,20] 马尾松天然林和人工林木材密度和管胞长度的径

向变异虽因个体和抽样高度而不同,但大致具有一致的规律,即在近髓心处性状值最小,随着年龄增加而迅速增加,达到最大值后(虽有波动,甚至略有下降)但基本保持稳定。木材密度和管胞长度这种径向变异主要与形成层的年龄而非与距髓心的直线距离有关。在研究的样木中,有些样木由髓心向树皮的变异较小,均匀性较高,而有些径向变异则较大。

2.2.2.3 幼龄材和成熟材的差异^[19,22] 马尾松天然林木材密度和管胞长度由幼龄材向成熟材的过渡年龄大致为 10 a,低于同一种源区内的人工林。幼龄材和成熟材的材性差异很大,幼龄材分布于梢材以及干材中距髓心一定数目的年轮内。如将 1~10 轮和 21~30 轮的木材分别看作人工林幼龄材和成熟材部分时,两者平均晚材管胞长度相差 21%。幼龄材相对含量虽与林木遗传因子及所处环境有关,但控制幼龄材含量最强烈的因子乃是树木年龄。

2.2.2.4 不同方位间的差异 研究发现天然林或人工林样木胸高处不同方位间木材密度和管胞长度的差异较小^[19,20],任一方位的样品都可以用来估算胸高断面的材性值,但为了消除不定因素的影响,最好用相对两个方位的均值来代表。

3 马尾松造纸材主要性状的遗传和遗传相关

3.1 性状遗传

9 年生 81 个自由授粉家系的研究表明^[23],高径生长、树干通直度、分枝性状(枝角、枝粗、枝数)及木材基本密度具有显著的家系效应,而管胞长度在家系间差异很小。胸径、枝粗和枝数受较强的遗传控制,其单株和家系遗传力分别在 0.32~0.59 和 0.45~0.63 之间;树高和枝角的遗传力略低,呈中度遗传;通直度的单株和家系遗传力分别为 0.24 和 0.39,木材基本密度分别为 0.19 和 0.33,和树高所受的遗传控制相近。对 5 年生自由授粉家系木材密度和管胞长度的测定发现^[24],木材密度的单株和家系遗传力分别为 0.41~0.56 和 0.49~0.81,管胞长度分别为 0.23 和 0.22。利用种子园 101 个优树无性系的材料发现马尾松幼龄材木材密度和管胞长度具有显著的无性系变异,无性系重复率分别在 0.66 和 0.47 左右,分属高重复力和中等重复力范围^[25]。

3.2 遗传相关

在种源或产地水平上,树干材积和木材基本密度存在着高度的负遗传相关^[15];而在家系水平上,木材基本密度与树高和胸径分别呈微弱的正相关和微弱的负相关^[23]。树干越通直,分枝越粗,其高径生长就越迅速,木材密度就越低。侧枝数与高径生长呈显著正相关,与木材密度则相互独立。分枝角可能是一个独立和独特的性状,在选择育种中要加以注意。由于形质性状与高径生长和木材密度存在着不同程度的遗传相关,可以通过树干通直度和分枝习性等外在特性对高径生长和木材密度进行间接选择以获得增益。

不同产地木材原材料对其浆纸性能具有不同的影响^[17]。树干材积生长加快,制浆得率有降低的趋势,但材积生长仅对粗浆得率有显著负效应,对细浆得率的影响不显著。研究结果未发现木材密度和浆纸性能有显著的相关性,不能仅依据树干材积生长和木材基本密度来最终确定最佳的产地,在确定造纸材最佳产地时还必须进行制浆造纸试验。在木材化学组份中纤维素和木素含量与浆的 Kappa 值、制浆得率、撕裂指数有显著的相关性。

3.3 基因型×环境互作和遗传稳定性^[16]

多个地点的种源试验表明,树高的种源×地点互作效应(Gei)很小,胸径和材积的 Gei 却极为显著,而木材基本密度的 Gei 只在 10%水平上显著,各性状的种源×地点互作项的方差分量仅占群体总变异的 1%~3%,为种源方差分量的 6%~19%左右。由于 Gei 的存在,进行材积和基本密度选择时所引起的潜在遗传增益损失仅分别为 1.72%和 2.39%。

利用 Wricke 氏生态价和 Huhn 氏 S_{ii} 估算 43 个产地的遗传稳定性,发现各产地的生态价和 S_{ii} 大致相对应。各产地的树干材积和木材基本密度存在着不同的稳定性,有表现较好但不稳定的产地,有表现好稳定性又高的产地,这两类产地在生产上应视立地环境和气候而应用。

4 马尾松造纸材优良品系选择

4.1 最优种源区划分^[15]

在强调材积生长改良为主时,对 90 个产地的树干材积和木材基本密度作无约束指数选择,发现福建西部、江西中南、湖南南端、广东西北和广西东南这个带状区域是马尾松造纸材的最优种源区。这一区域内所有产地的选择指数值均大于群体均值的 10%。

4.2 最佳产地确定^[17]

根据马尾松造纸材最优种源区内 30 个产地的制浆造纸试验结果确定最佳产地,并以当地邵武优良种源作为对照。入选最佳产地的标准为单株制浆产量大于对照的 5%,在这一前提下再从材积生长、木材密度、纤维形态、木材化学组份、浆纸性能和吨干浆材耗量等方面综合权衡。评定结果确定江西崇义,广西岑溪,广东罗定、英德、韶关和福建永定为马尾松造纸材最优种源区内的最佳产地。这些最佳产地分布于南岭山脉的东南端,云开大山的两侧和武夷山脉的南端。

4.3 优良家系和个体的选择

利用树高、胸径、通直度、枝角、枝粗和木材基本密度 6 个性状建立的约束和无约束选择指数进行优良家系评选,目前已选择了一批生长材质兼优的家系^[23]。

在优良种源和优良家系内,以树干材积和木材基本密度作为双重目标,并兼顾干形、分枝习性和结实状况,进行优良个体或优树的选择。目前已选择了 50 株优树,这些优树已用于马尾松造纸材种子园和优树基因库的营建。

5 马尾松造纸材的选择育种策略

在造纸材的遗传改良中,选择是最易见效的一种育种手段。近 10 a 来,全国已建立了相当规模的各种马尾松遗传测定林,现大多已达 1/3~1/2 的轮伐期。几年来对马尾松造纸材木材量质和浆纸性能的遗传与变异进行了系统深入的研究,积累了大量的遗传信息,在此基础上拟制定如下的选择育种策略。

5.1 生长和干形改良应作为造纸材育种的主要内容,而材性改良则放在第二位

造纸材的三个主要育种目标性状为树干材积、木材密度和制浆得率。在材性改良中,应把培育幼龄材含量少的品系和提高树木幼龄材材性及材性均匀性作为主攻方向。

产品要求进行不同遗传交配设计的杂交育种工作,以研究木材产量、质量和浆纸性能等性状的遗传组成,估算若干重要的遗传参数,选择优良杂交组合和组合内优良个体,进行造纸材高世代的遗传育种工作。特别应重视的是优良产地间的杂交育种。

6.4 造纸材工艺林优质高产关键技术

研究造纸材优良品系和各种营林措施的互作效应,找到一种最佳的匹配,即通过遗传控制、环境控制、密度控制、群落结构控制、土壤肥力维护和提高等技术措施,使马尾松造纸材工艺林优质高产,以达到最大的改良效果。

6.5 造纸材遗传育种的长期战略和一些基础研究项目

基础研究项目包括造纸材早期选择效率和最佳选择年限、遗传参数的时空变化、幼龄材向成熟材的过渡年龄和遗传控制、造纸材木材缺陷(包括树节和应压木等)的遗传控制、性状间特别是生长、形质、材性和浆纸性能间的遗传相关、种子园种子丰产关键技术等等。通过造纸材遗传改良各个领域的研究,制定出一个完善的造纸材遗传育种的长期战略。

参 考 文 献

- 1 Bendtsen B A. Properties of wood from improved and intensively managed tree. *For. Prod. J.*, 1978,28(10):61~72.
- 2 Zobel B J, van Buijtene J P. *Wood variation; its causes and control.* Berlin; Springer-Verlag, 1989.
- 3 Bamber R K, Burley J. *The wood properties of radiata pine.* Commonw. Agr. Bur., England, 1983. 84.
- 4 Jett J B, Talbert J T. Place of wood specific gravity in the development of advanced generation seed orchard and breeding programs. *South. J. Appl. For.*, 1982,6:177~180.
- 5 Zobel B J, Talbert J T. *Applied forest tree improvement.* New York; Wiley, 1984.
- 6 Barefoot A C, Hitchings R G, Ellwood E L, et al. Wood characteristics and kraft properties of four selected loblolly pines. I. Effect of fiber morphology in pulps examined at a constant permanganate number. *Tappi*, 1966,49(4): 137~147.
- 7 Kibblewhite R P. Radiata pine wood and kraft pulp quality relationships. *Appita*, 1984,37:741~747.
- 8 Barefoot A C, Hitchings R G, Ellwood E L, et al. The relationship between loblolly pine fiber morphology and kraft paper properties. North Carolina Agricultural Experiment Station, Technical Bulletin 202, 1970. 88.
- 9 Goodwin-Bailey C I. Relationship between the anatomical and end use properties of the wood of selected tropical pines. Oxford Forestry Institute, Oxford, England, 1989.
- 10 Borralho N M G, Cotterill P P. Breeding objectives for pulp production of *Eucalyptus globulus* under different industrial cost structures. *Can. J. For. Res.*, 1993,23:648~656.
- 11 Campinhos E, Clandic-da-Silva E. Development of the *Eucalyptus* tree of the future. In: ESPRA Spring Conference, Spain, 1990.
- 12 周志春,秦国峰,李光荣,等. 马尾松天然林木材化学组份和浆纸性能的地理模式. *林业科学研究*, 1995,8(1):1~6.
- 13 王章荣,陈天华,周志春,等. 马尾松木材性状在林分间和林分内个体间的变异. *南京林业大学学报*, 1988,(2):38~42.
- 14 周志春,秦国峰. 浙皖马尾松天然林优树木材比重的变异. 马尾松种子园建立技术论文集,北京:学术书刊出版社, 1990. 300~305.
- 15 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. *林业科学研究*, 1993,6(5):556~564.
- 16 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. *林业科学研究*, 1994,7(亚林所所庆专刊):81~88.

- 17 秦国峰,周志春,李光荣,等. 马尾松造纸材最优产地的确定. 林业科学研究,1995,8(3):266~271.
- 18 李火根,王章荣,陈天华. 马尾松不同种源林分内个体间木材性状的变异. 中国林木遗传育种进展,北京:科学技术文献出版社,1993,27~31.
- 19 黄光霖,周志春. 马尾松人工林管胞长度的株间和株内变异. 林业科学研究,1993,6(2):222~227.
- 20 周志春,王章荣,陈天华,等. 马尾松木材性状株内变异与木材取样方法的探讨. 南京林业大学学报,1988,(4):52~60.
- 21 Panshin A J, Zeeuw C. Textbook of wood technology. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 1980.
- 22 陈天华,王章荣,周志春. 马尾松木材性状过渡年龄及造纸林最佳伐期的确定. 马尾松种子园建立技术论文集,北京:学术书刊出版社,1990. 289~293.
- 23 周志春,金国庆,周世水. 马尾松自由授粉家系生长和材质的遗传分析及联合选择. 林业科学研究,1994,7(3): 323~328.
- 24 王章荣,陈天华,周志春,等. 马尾松五年生自由授粉子代木材比重和管胞长度的遗传变异. 马尾松种子园建立技术论文集. 北京:学术书刊出版社,1990. 306~312.
- 25 周志春,汪名昌,吕勤. 马尾松种子园无性系生长性状和木材性状的当代表现. 浙江林业科技,1991,11(5):23~26.

Variation, Genetics and Strategy on Selection Breeding of Pulp Wood of Masson Pine

*Qin Guofeng Zhou Zhichun Li Guangrong
Huang Guanglin Cheng Bingxing Cheng Chuanyan*

Abstract This paper is a review of authors' research results on genetic improvement of pulp wood of masson pine. At first the breeding objectives for pulp production of masson pine are defined, then the genetic variation, genetics, genetic correlation and stability of wood yield, wood quality and paper/pulp-making properties are discussed systematically, the optimum provenance zones and seed sources for pulp wood through comprehensive evaluation on wood yield, wood quality and paper/pulp-making properties were determined, finally a lot of families and individuals with high growth rate and good wood quality were selected. The selection strategy and future research emphasis of pulp wood breeding of masson pine is also discussed.

Key words masson pine, pulp wood, variation, genetics, selection, breeding strategy

Qin Guofeng, Professor, Zhou Zhichun (The Research Institute of Subtropical Forestry, CAF Fuyang, Zhejiang 311400); Li Guangrong, Huang Guanglin, Cheng Bingxing, Cheng Chuanyan (The General Company of Afforestation and Paper Mill of Nanping, Fujian Province).