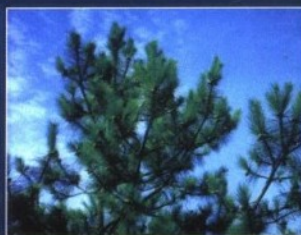
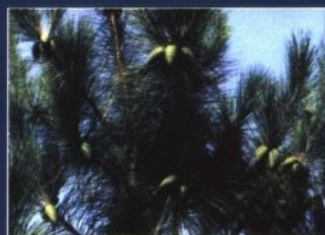


马尾松 纸浆用材林 培育与利用

*Cultivation and Utilization
of Pulpwood Stand for
*Pinus massoniana**

丁贵杰 周志春 王章荣 等著



中国林业出版社
CHINA FORESTRY PUBLISHING HOUSE

责任编辑：刘家玲

封面设计：宋一辉



Cultivation and Utilization of Pulpwood Stand for *Pinus massoniana*

ISBN 7-5038-4119-2



9 787503 841194 >

定价：50.00 元

马尾松纸浆用材林培育与利用

丁贵杰 周志春 王章荣 等著

中国林业出版社

PDG

内 容 简 介

本书集中反映了“九五”国家重点科技攻关课题《马尾松纸浆用材树种良种选育及培育技术研究》的研究成果。书中详细地介绍了马尾松纸浆材林的优良家系和无性系选育、种子园种子丰产、专用性种子园建立、无性繁殖、培育技术体系、营养循环、养分特性、促进早期速生、合理轮伐期确定、经营模型系统、优化栽培模式及营林措施和遗传特性对木材性质和浆纸特性的影响等技术和机理。

作为我国第一部马尾松纸浆材林的研究专著，内容全面、丰富、系统，资料翔实可靠，理论与实践价值高。该项研究，曾被科技部和国家林业局认定为国家“九五”重点科技攻关重大成果。书中部分内容还作为《主要针叶纸浆用材树种新品系选育、规模化繁殖及培育配套技术》成果的核心内容，于2002年获得国家科技进步二等奖。此书既可作为林业科研、管理人员、大专院校师生的参考书，也可供纸业公司、林业局、林场及生物学等专业技术人员学习或参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

马尾松纸浆用材林培育与利用/丁贵杰, 周志春, 王章荣等著. —北京: 中国林业出版社, 2005. 11

ISBN 7-5038-4119-2

I. 马... II. ①丁...②周...③王... III. 马尾松—用材林—栽培 IV. S791. 248

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 117001 号

出版 中国林业出版社 (100009 北京西城区刘海胡同 7 号)

E-mail: cfphz@public.bta.net.cn 电话: 66184477

发行 新华书店北京发行所

印刷 北京地质印刷厂

版次 2006 年 1 月第 1 版

印次 2006 年 1 月第 1 次

开本 880mm × 1230mm 1/16

印张 20

字数 616 千字

印数 1 ~ 1200 册

定价 50.00 元



主要撰稿人

丁贵杰	周志春	王章荣	湛红辉
温佐吾	周运超	季孔庶	夏玉芳
杨章旗	王鹏程	秦国峰	齐新民
余能健	徐 进	徐立安	金国庆
江 玲	陈敬德	张如华	李光荣
吴协保	赖焕林	周华永	邱进清
胡集瑞	林思京	黄 众	谭健辉
覃开展			



前 言

《马尾松纸浆用材林培育与利用》是根据“九五”国家重点科技攻关课题“马尾松纸浆用材树种良种选育及培育技术研究”的研究成果加以整理而形成的。编写此书的目的是把当今马尾松最新研究成果更快、更广泛地应用于生产,以提高我国马尾松纸浆用材林的培育水平和经营效益,为推动马尾松纸浆材林在全国范围内的快速发展服务。

马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)是我国特有的最重要的工业用材树种之一,广泛分布于秦岭、淮河以南,云贵高原以东17个省、自治区、直辖市,是针叶树种中分布最广、面积最大、用途广泛、全树综合利用程度最高的乡土树种。据统计,全国建筑、纸浆和三板工业,每年要消耗马尾松木材2000多万立方米,其中仅纸浆材就达1200多万立方米。“七五”以来,该树种一直得到了国家高度重视,栽培和良种选育等均被国家列为重点科技攻关研究内容,经过“七五”和“八五”攻关研究,使马尾松的造林、经营管理技术及良种应用等方面均有了较大提高。如:通过产区区划,解决了速生丰产林的宏观布局问题;通过立地分类和评价,提供了先进实用的选地技术,解决了适地适树问题;通过建筑材林培育技术体系的建立,为建筑材林的培育提供了先进、实用的技术;通过种源试验和种子园的营建,提供了遗传品质优良的种源和种子园的种子;经营数表的编制和建筑材林模型系统的建立,为人工林的生长与收获预估、定量管理打下了坚实基础。但从总体看,以前的研究主要是以通用材或建筑材林作为研究对象,所形成的栽培技术仍有一定局限性,在纸浆材培育、选育和高效利用等方面尚有许多技术问题亟待解决。在良种选育方面仍停留在种源或优良林分水平,种子园产量仍很低,特别是在促进马尾松早期速生、营林措施对木材性质的影响、纸浆材林经营模型系统、合理采伐年龄、优化栽培模式、家系(无性系)或家系内的个体选优、优良遗传型与环境及营林措施的互作、专用性种子园的建立等方面的研究基本处于空白。为此,针对以往研究过程中存在的问题,在认真分析国内外研究现状及未来发展趋势的基础上,以定向培育和高效为前提,高起点地提出了以选出纸浆材的优良家系、无性系和形成纸浆材林的优化栽培模式为最终研究目标,以主攻选优技术、促进种子园丰产技术和纸浆材林的培育技术体系、促进早期生长、缩短轮伐期和建立纸浆材林经营模型系统为核心,在全国范围内,汇集了南方7个省(自治区)、20个单位60多名主要研究人员进行了协作攻关。

通过课题组全体同仁的多年共同努力和辛勤工作,课题组在以下几个方面取得了较大突破和创新。

1. 首次在家系及家系内个体水平上,系统地研究了马尾松木材产量、木材密度、木材化学组分和UBMKP成浆成纸性能的遗传学问题,揭示了主要经济性状的遗传和变异规律,筛选了一批优良家系(无性系)和第二轮回亲本。

2. 揭示了扦插基质、时间、母株年龄、种源（家系、无性系）、生长激素等对扦插成活率及生根情况的影响，揭示了马尾松扦插生根变异规律，从理论上为优良无性系选择奠定了基础。

3. 在国内率先根据纸浆材培育目标，建立了马尾松纸浆材专用性种子园，提出了较完善的种子园种子丰产综合配套技术。

4. 率先突破了早期马尾松生长慢的技术难关，提出了一整套促进早期速生技术，使幼林可提前1~2年郁闭。

5. 提出芽苗定距移栽3次切根育苗新方法，使Ⅰ级苗率和造林成活率有很大提高。

6. 以定向和高效为前提，根据材性、造纸特性及利用特点调整各种营林措施，总结出了各种栽培措施的最佳处理，形成了技术上先进、经济上高效的纸浆材林培育技术体系。

7. 率先开展了马尾松主要营林措施对木材化学组成、材性、浆纸特性影响的研究，揭示了造林密度、施肥、林龄等对木材化学组成、材性、浆纸特性中各项指标的影响，为合理制定各项营林措施奠定了理论依据。

8. 分带建立了以立地分类和评价为起点的经营模型系统，解决了培育过程中的生长预测、定量化管理、采伐年龄及优化栽培模式确定等一系列技术难题。

9. 首次科学地分立地指数级提出了最佳采伐年龄，并分带、分立地筛选出23种优化栽培模式，每种模式中均包括了18种技术组合，使产量和经济效益均有很大提高。

马尾松人工林良种选育和栽培技术研究发展到今天，已经有了较高的水平，为马尾松人工林的快速发展奠定了较好的基础，如能认真推广这些先进的科研成果，一定会使生产力有较大提高，必将产生很好的社会、经济及生态效益。但科学技术总是在不断发展和进步，马尾松人工纯林的病虫害及稳定性仍是一个突出问题，马尾松连栽的地力维护问题，以及如何从人工林生态系统管理的角度出发，调整人工林的组成、结构和生物多样性，如何根据市场需求，培育出能同时满足不同培育目标要求的复合模式林分等问题，仍是需要进一步探讨的问题。《马尾松纸浆用材林培育》一书已经为马尾松纸浆材林的研究和发展奠定了较好基础，但作者还期待着将来在这个基础上能够建立起更加完善的现代育林体系。

在研究过程中，一直得到了国家林业局科学技术司的关心、支持和指导，同时也得到了贵州省优秀科技人才课题的资助和人才办公室有关领导的关心和支持。本书得到了贵州大学出版基金资助。课题各协作单位和课题组成员，为本专题的研究付出了大量心血并给予了很好协作，他们为本书的出版都直接或间接地做出了很大贡献。

现在，我们终于把多年的研究成果汇成了这本书呈现给广大读者，希望它对您所从事的专业工作能有所帮助。由于作者较多，加之水平所限，书中难免有不妥和遗漏之处，因此，恳切地期望您批评指正。

丁贵杰
2005年9月

目 录

前 言

第1章 总论	(1)
1.1 良种选育	(1)
1.2 种子丰产和专用性种子园建立技术	(5)
1.3 纸浆材林培育技术体系	(11)
1.4 扦插繁殖及促进早期速生技术	(18)
1.5 纸浆材林经营模型系统及优化栽培模式	(21)
1.6 营林措施及遗传特性对木材性质的影响	(30)
1.7 研究成果在技术上的突破和创新	(33)
第2章 良种选育及应用	(35)
2.1 马尾松遗传改良的成就、问题和思考	(35)
2.2 马尾松不同产地的遗传稳定性和生态学基础	(40)
2.3 马尾松造纸材的定向选育	(45)
2.4 马尾松种子园优良家系选择	(47)
2.5 马尾松优良家系选择的适宜年龄	(50)
2.6 马尾松优树自由授粉家系的生产力评价	(54)
2.7 马尾松无性系生长性状变异及评价	(58)
2.8 马尾松木材化学组分的遗传控制及对木材育种的意义	(63)
2.9 福建省马尾松优树自由授粉子代变异及其分析	(68)
2.10 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	(71)
第3章 种子丰产技术	(77)
3.1 建立马尾松实生种子园的途径	(77)
3.2 马尾松无性系种子园的去劣疏伐	(80)
3.3 马尾松种子园施肥试验	(82)
3.4 马尾松嫁接种子园树体修剪试验	(86)
3.5 植物生长调节剂对马尾松种子园植株雄球花成花的作用	(89)
3.6 马尾松无性系种子园产量变异	(91)
3.7 马尾松种子园嫁接植株的分枝与结实特性	(95)
3.8 马尾松种子园无性系种实品质及产量的遗传变异	(97)
3.9 马尾松实生种子园的遗传分析和育种值预测	(101)
3.10 马尾松种子园无性系结实与生长习性关系	(106)

第4章 扦插繁殖技术	(111)
4.1 马尾松扦插繁殖技术	(111)
4.2 马尾松插穗生根能力的变异	(115)
4.3 几种生长调节剂对马尾松插穗促根的效应	(119)
4.4 马尾松插穗内源抑制物质	(122)
4.5 马尾松扦插繁殖年龄效应及继代扦插复壮效果	(127)
4.6 马尾松扦插育苗造林配套技术	(130)
第5章 育林措施及效应	(134)
5.1 马尾松造林密度效应	(134)
5.2 造林密度对马尾松林分生长、木材造纸特性及经济效益的影响	(141)
5.3 马尾松纸浆材林优化栽培密度经济分析	(147)
5.4 马尾松切根育苗技术	(153)
5.5 马尾松不同切根苗木对造林成效的影响	(155)
5.6 马尾松低成本造林技术	(159)
5.7 马尾松造林地整地规格与母岩和土壤质地的关系	(162)
5.8 造林技术措施对10年生马尾松幼林生长的影响	(167)
5.9 造林技术措施对马尾松林分生长影响的定量分析与预测	(172)
5.10 马尾松纸浆用材林不同培育技术措施经济效益分析	(176)
第6章 施肥及养分特性	(181)
6.1 马尾松人工幼林施肥肥效与增益持续性	(181)
6.2 马尾松人工中龄林施肥肥效与增益持续性	(186)
6.3 马尾松优良种源树高生长对不同磷投入水平的反应	(191)
6.4 植物营养、施肥与马尾松幼林速生	(195)
6.5 不同磷营养环境下马尾松优良种源的抽梢行为	(200)
6.6 不同营林措施对马尾松针叶养分的影响	(204)
6.7 施肥对马尾松人工中龄林生物归还的影响	(207)
第7章 经营及利用	(211)
7.1 马尾松人工纸浆材林采伐年龄的确定	(211)
7.2 造林密度对马尾松木材主要性质的影响	(215)
7.3 马尾松纸浆性能在家系间的遗传差异	(219)
7.4 马尾松制浆造纸性能的群体变异及适应性试验	(225)
7.5 施肥对马尾松木材密度和干缩率的影响	(228)
7.6 施肥对中龄马尾松木材主要物理性质和管胞形态的影响	(232)
7.7 马尾松人工林不同造林密度生物量及密度效应	(236)
7.8 马尾松人工林不同林龄生物量及生产力	(240)
7.9 马尾松人工林不同立地生物量及生产力变化	(245)

第 8 章 经营模型及优化栽培模式	(250)
8.1 马尾松纸浆商品用材林生物量变化规律及预测模型	(250)
8.2 马尾松纸浆材林经营模型系统及优化栽培模式	(256)
8.3 运用动态规划进行马尾松纸浆材林密度调控	(261)
8.4 马尾松纸浆材林经营模型系统 (MPPMMS1.0)	(266)
8.5 用马尔柯夫过程理论优化马尾松纸浆材林林分密度	(269)
8.6 湖北省马尾松人工林削度方程及材种出材率表	(272)
第 9 章 其他研究	(277)
9.1 铜对马尾松苗的根系生长和 IAA 含量的影响	(277)
9.2 马尾松雌雄球花的形成与赤霉素和脱落酸及细胞分裂素的关系	(280)
9.3 马尾松不同家系光合特性	(283)
9.4 不同贮藏方法及光照对马尾松花粉活力的影响	(287)
9.5 利用种源试验预测气候变暖对马尾松生长的影响	(290)
9.6 不同经营模式下降低马尾松纸浆生产成本的育种目标	(294)
参考文献	(301)



第1章

总 论

1.1 良种选育

大量研究表明,马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)在所有重要经济性状上,如木材产量、材质材性、浆纸性能、松脂产量及其组分等都存在着极其丰富的遗传变异,改良潜力很大。为此,全国马尾松科技攻关课题组连续多年在全国7个省(自治区)多个试验点上,针对纸浆材的需求特点,开展了纸浆材林优良家系和优良无性系选育研究,经过多年连续跟踪研究,选出了一批优良家系和无性系。

1.1.1 早期选择研究

如何有效地缩短育种周期是林木育种工作者关注的问题。为了缩短育种周期,许多学者都对早期选择的理论和方法做了大量的研究。早期选择问题是多世代育种中的一个重要研究领域,确定初选和决选年龄,促进性成熟,缩短选择周期一直受到人们的重视。然而马尾松早期选择的研究相对薄弱,在“九五”以前,多数是用树干解析资料或少数几次定位测定资料来研究人工林的早晚期相关和选择年龄。这种选择存在的问题和风险已被学术界所公认,这种选择结果通常只能作为树木改良初期表型选择的参考。科学而严谨的早期选择,必须依据子代测定林的逐年调查材料,研究种源、家系和家系内个体不同水平上遗传参数随时间的动态变化、早晚期的相关变化过程及合理选择年龄,同时加强树木在人工条件下的自然模拟、树高的抽高模式和机理以及现代生物技术在早期选择中应用的研究。按照这一研究思路我们开展了早期选择研究,并取得了丰硕成果。

变异是选择的基础,选择的有效年龄应在性状的遗传变异表达明显,且变化趋于稳定的时期。广西子代测定林11年的连续观测资料研究结果表明:不同家系间在树高、胸径、单株材积生长的差异历年都达到了极显著水平,并从第7年开始各家系间的差异趋于平缓 and 稳定,因此,优良家系的早期选择年龄可以初步定为7年。除了可以根据变异的变化情况确定早期选择年龄外,还可以根据遗传力的大小及变化情况来确定早期选择年龄。通常可根据遗传力达到最大或处于相对平衡的时期来确定早期选择的年龄。根据广西林业科学研究院研究结果,树高、胸径、单株材积的遗传力变幅都较小,分别在70.85%~76.57%、67.56%~72.83%、67.11%~74.87%之间,且从第7~8年开始,其后的变化基本趋于平稳,因此,再一次证明:早期选择从第7年开始是比较合适的。

早期选择的效果取决于幼年一成年间的遗传相关。根据年龄间相关程度的分析结果发现,树

• 作者:丁贵杰(贵州大学,本章许多内容都是根据课题组的研究成果总结而成)

高、胸（地）径、单株材积的遗传相关皆大于表型相关，但从其间的紧密程度来看，7年生时树高、胸径、单株材积遗传相关分别达0.95、0.95、0.97，与11年生时接近，这进一步表明，早期选择可从7年生时开始。

提早选择虽然能够缩短育种周期，但也存在着漏选与误选的风险。为了考察不同年龄选择的漏选与误选情况，广西林业科学研究院进行了长达11年的连续跟踪观测，各年中选家系与11年时中选情况比较见表1-1。9年生时选择的漏选率和误选率分别为11.32%、14.55%；在7年和8年生时选择的漏选率和误选率相同，分别为11.32%和18.97%；而6年生时漏选率和误选率分别为16.98%和24.14%。从漏选率和误选率分析，在第6年或以前选择的风险性很大，而在7年和8年生时进行初选是比较合适的。这与陈益泰等国内专家的研究结论较为一致，陈益泰在对国内外林木早期选择研究进展的综合评述中认为，以15~25年为轮伐期的树种，生长的早期选择大多在5~10年内进行，其幼年期与成年期的生长相关性较高，选择效率可达85%以上。

表1-1 历年选择结果与11年生时的比较

树龄	11	9	8	7	6	5	4	3	2	1
中选家系数	53	55	58	58	58	61	67	52	59	78
选对家系数	—	47	47	47	44	41	42	32	34	37
选对率（%）	—	85.45	81.03	81.03	75.86	67.21	62.69	61.54	57.63	47.44
漏选率（%）	—	11.32	11.32	11.32	16.98	22.64	20.75	39.62	35.85	30.19
误选率（%）	—	14.55	18.97	18.97	24.14	32.79	37.31	38.46	42.37	52.56

秦国峰等人利用连续10年的观测资料研究结果也证明，利用5年生以下的树高预估10年生时的树高和树干材积，精度很低，损失的信息很大，马尾松家系生长的初选年龄应在5年生以上。

1.1.2 纸浆材林在选育过程中应关注的主要性状和指标

由于纸浆材在利用方式上有别于其他培育目标，它是以木材纤维作为利用对象，在培育过程中追求单位时间、单位面积获取的木片绝干重最大，或者说是获取的纸浆量最大，同时又要求木材的纤维形态最有利于造纸，因此，在选择纸浆材的优良家系（无性系）时，除了要考虑生长性状，即速生、丰产、干形等性状外，还要考虑木材的比重、纤维形态及含量、化学组成及浆纸等特性。其中：速生、丰产是数量性状，是选育的基础和前提，在选育过程中必须首先考虑，而且应放在首位。干形是形质指标，直接影响到木材的利用率和可利用程度，在选育和改良过程中也应加以注意，通常要求干形通直、圆满度大、侧枝较细、分枝角较大、枝材生物量所占比重较低、干材所占比重较大。木材基本密度是复合性状，它与木材的力学性质、制浆过程的木耗和纸浆得率及纸张的质量都有着明显的关系，在很大程度上会影响和控制着这些性状，因此，选育和改良过程应十分重视该项指标。纤维形态是质量指标，直接影响到工艺的成熟和纸张的质量，其含量高低会影响到纸浆得率的高低，木耗的多少，直接关系到经济效益的高低，因此也应重视。同样，木材内含物也会影响纸浆得率，内含物越低，纸浆得率越高，木耗越少。戊聚糖和1% NaOH抽出物含量对纸浆材也有很大影响，它们一方面影响到木耗的多少，另一方面会直接影响制浆的工艺和生产成本的高低，所以在选育和改良过程中也应十分注意。

课题组研究发现，木材化学组分在家系间的绝对差异较小，如戊聚糖和木质素在家系间的绝对差异都为1.9%，综纤维素的差异也仅3.8%，要想通过家系选择来提高木材综纤维素含量比较困难。通过选择综纤维素含量高的个体建立无性系种子园，以利用一般配合力，也难以达到预期效果。因此，对这些性状不足以做更深入的选育研究。与木材化学组分不同，生长性状和木材基本密度在家系间的绝对差异较大，通过家系选择可望获得较大的遗传进展。与家系间的差异相比（灰分

除外),木材化学组分在家系内个体间的差异更大,综纤维素含量基本上呈正态分布,变异幅度从71%至83%,相差12%左右,因此,可以选择那些生长快、木材密度大和纤维素含量高的个体,通过无性繁育加以利用。木质素含量在个体间的变异幅度较小,仅4%左右,选择的意义不大。

研究发现,马尾松材积生长和木材密度在家系间的差异很大,材积生长量最大家系是最小家系的3倍多,木材基本密度在家系间的绝对差值也达 $0.08\text{g}/\text{cm}^3$ 左右,而且这两个性状又是高度遗传的性状,因此,应把木材产量和木材基本密度作为马尾松纸浆材育种的主要内容。灰分含量、戊聚糖含量和1%NaOH抽出物也是遗传性很强的性状,其家系和单株遗传力分别在0.60和0.95以上;而木质素含量、综纤维素含量和热水抽出物的遗传力略低,家系和单株遗传力分别在0.34~0.50和0.40~0.66之间。

通过对纸浆材林良种选育多年的研究综合分析,我们认为在选育过程中应更加关注速生性和丰产性(即单位时间单位面积的木材产量)、抗逆能力、干形、木材基本比重、纤维素(木质素、内含物、戊聚糖、1%NaOH抽出物)含量、纸浆得率、每吨绝干浆木耗和碱耗、抗张指数、耐破和撕裂指数等。

上述指标较多,实施起来完全兼顾有一定困难,通过“九五”国家攻关研究,我们认为,在尽量兼顾上述指标的同时,应更加关注以下几个指标,即:收获时单位时间单位面积的木材产量、木材基本密度、纸浆得率,并把它们作为纸浆生产的目标性状(或称绝选性状)。一方面这些性状对纸浆材林来讲,确实十分重要;另一方面这些性状又是高度遗传的,通过育种改良可以获得更高的效益。

1.1.3 选育的主要程序

对于纸浆材林的良种选育,应采取分段、多性状兼顾选择改良的程序和策略。第一阶段,应在较大的群体范围内,开展以数量指标为主的选择,即:在全国范围内,根据各地自然特点的不同,以速生性和丰产性作为主要选择指标,分别为各地选出适用的优良种源。因为生长性状在种源间差异很大,选择改良容易进行,且遗传增益很大。第二阶段,在优良种源区的优良林分中,在保证生长性状优良的基础上,进一步强调干形指标,适当兼顾木材基本密度,从中选出优良个体,并力争做到在生长、形质均优的前提下,尽量提高木材基本密度。研究已证明,在同一群体内,个体间不但在生长性状方面可以有较大差异,而且在干形和木材基本密度方面也有一定的差异,因此,通过多性状选择是能够获得较好改良效果的。第三阶段重点进行木材化学组成方面的选择和改良。在前两个阶段选择的基础上,通过家系间及家系内的选择,进一步改良生长性状、干形指标、木材基本密度等,同时加强抽出物种类及含量、木质素含量、纤维素含量等的选择。第四阶段重点进行利用性状的选择改良。对已选出的优良家系和无性系进行单株制浆和造纸试验,根据主要制浆性状(木耗、碱耗、纸浆得率等)和纸张性状(耐破指数、撕裂指数等)的优劣,再进行最后一次选择,从中选出可供培育纸浆材林应用的优良家系和无性系。

以上4个阶段,可分别简称为:数量选择改良阶段、形质选择改良阶段、成分选择改良阶段和利用性状选择改良阶段。

1.1.4 主要选育结果

在“八五”后期,马尾松纸浆材选择在种源水平上获得了较大突破,有了良好的开端,但在家系和个体水平上进展缓慢,甚至都没有开展。“九五”期间,课题组在家系和个体水平上,针对纸浆材的特点,采用多性状选择方法,选出了一批优良家系和无性系。如:福建、浙江两省从405个参试单亲家系中,初选出树高生长大于对照10%的优良家系167个;又按材积大于对照40%,木材密度大于对照4%,从中选出优良家系30个,第二轮回亲本60株。对选出的前20个高产家系100株试材进行了未漂硫酸盐法制浆(UBMKP)试验,估算了纸浆材材积生长、木材密度、6个木材化

学组分、12个成浆和成纸性状的重要遗传参数；确定了马尾松纸浆林不同经营模式的育种目标，建立了包括木材产量、木材密度和制浆得率3个目标性状的综合选择模型；基于单株纸浆产量、木材密度、木材化学组分、吨干浆材耗量和成浆物理性能等综合考虑，评选出10个纸浆材优良家系（主要特性见表1-2、表1-3）。完成500多个双亲控制授粉家系的测定。

表1-2 10个自由授粉优良家系的单株树干材积、基本密度和木材化学组分之均值

家系号	单株 材积 (m ³)	基本 密度 (g/cm ³)	木材化学组分(%)					
			灰分	戊聚糖	木质素	综纤维素	热水抽 出物	1% NaOH 抽出物
3	0.0318	0.4058	0.256	13.37	27.44	77.50	2.12	13.30
19	0.0391	0.3714	0.244	13.26	27.86	79.71	2.07	12.88
24	0.0331	0.3889	0.228	12.40	28.39	76.30	2.26	12.18
27	0.0328	0.3498	0.272	13.42	27.94	79.98	2.57	11.90
30	0.0315	0.3794	0.268	13.32	27.81	77.97	2.46	12.00
59	0.0310	0.3837	0.350	14.12	27.63	79.74	2.72	12.88
64	0.0360	0.3719	0.304	14.15	27.58	77.59	3.15	13.85
65	0.0248	0.3822	0.266	13.42	27.49	78.83	2.52	13.04
66	0.0318	0.3758	0.294	13.71	27.46	79.80	2.73	12.20
69	0.0382	0.3927	0.306	13.43	27.79	78.32	2.56	13.07

表1-3 10个优良家系的单株纸浆产量和成浆几个重要指标之均值

家系号	单株纸浆 产量 (kg)		Kappa 值		吨干浆材 耗量 (m ³)		黑液残碱 (%)		粗浆得率 (%)		抗张指数 (N·m/g)		撕裂指数 (mN·m ² /g)	
	均值	秩次	均值	秩次	均值	秩次	均值	秩次	均值	秩次	均值	秩次	均值	秩次
19	7.36	1	30.81	11	5.83	11	31.74	2	46.53	5	81.40	19	12.47	4
64	7.02	2	30.32	13	5.72	13	26.04	17	46.03	10	83.87	17	11.83	8
69	6.40	3	32.08	6	5.68	14	27.11	11	46.69	3	81.75	18	13.66	3
27	5.96	4	29.16	18	6.09	6	28.15	8	46.26	7	92.88	9	11.95	6
66	5.92	6	30.08	15	5.66	15	26.97	12	46.91	1	84.60	14	14.89	2
3	5.82	7	31.67	8	5.08	20	32.98	1	46.72	2	86.54	13	15.01	1
59	5.70	10	28.43	19	5.52	16	25.92	18	45.71	12	95.52	8	10.48	14
30	5.68	11	29.92	16	5.52	16	28.58	6	46.35	6	84.22	16	11.92	7
24	5.60	12	33.23	5	5.52	16	31.00	3	45.34	17	84.54	15	12.13	5
65	4.88	18	28.21	20	5.47	19	26.51	13	46.16	8	91.81	11	11.67	10
试验对照	3.12				5.97									
1号 KP 标准Q1/ NZ01.02-88			25-40								68.65		11.77	

此外，课题组还在其他试验点的450多个家系中，按树高大于对照10%，胸径大于对照20%，初选出优良家系150个；又按材积大于对照40%，木材密度大于对照4%为指标，从中选出优良家系20个，优良单株40株。合计共选出优良家系30个，第二轮回亲本100株，所选优良家系的生长性状远高于部颁标准。

在福建明溪县和漳平五一国有林场，通过建立可控光圆顶式大棚喷雾插床和大田式喷雾插床，

采取扦插繁殖育苗,上山对比造林的方法,经生根率初选和造林成活率复选,并且观察造林后的生长表现,最后共选出25个优良无性系。所选中的优良无性系基本密度和材积的增益均在10%~20%以上,生根率均在80%以上,而且生长量比对照高30%以上。其中:福建明溪县通过扦插繁殖育苗和造林后的逐年观测,所初选出的5个优良无性系,4年生树高和胸径分别达3.63~4.31m和4.60~5.13cm,比用当地母树林种子营造的幼树(平均高2.40m,胸径2.5cm)高51.25%~79.58%和84.0%~105.2%,比部颁标准(2.0m)高81.5%~115.5%。

广西林业科学研究院自1987年以来,分别对广西贵港市覃塘林场、南宁地区林业科学研究所、藤县大芒界所属3个马尾松初级种子园(分别建于20世纪70年代末、80年代初)无性系在广西多个试验点的表现进行了多年重复的半同胞子代测定,参试家系有444个。根据遗传稳定性和材积生长快慢,在444个参试家系中,评选出适合在广西普遍推广的优良家系64个,占参试家系的14.41%;局部推广的48个,占参试家系的10.81%;需淘汰的家系83个,占参试家系的18.69%。广潜性家系在树高、胸径、单株材积上可分别获得遗传增益13.78%、17.59%、43.81%;局部性家系在树高、胸径、单株材积上可分别获得遗传增益18.62%、23.79%、63.98%。选择出的优良家系在11年生子代林中,材积生长量比对照大64.71%~94.51%。用子代林数据估算马尾松性状遗传力,树高遗传力在30.6%~72.4%之间,胸径遗传力在17.4%~68.6%之间,材积遗传力在28.6%~67.7%之间。

在福建另一试验点,以纸浆材示范林和种子园子代测定林连续6年的测定材料为基础,在充分考虑生长性状的基础上,适当兼顾扦插生根率、造林成活率、采穗母株的生长量及木材基本密度等综合指标,经过初选和复选,在133个无性系中筛选出纸浆材优良无性系39个。所选无性系6年生林分材积、胸径、树高生长量均超过对照林分的226%、75%、42%,生根率超过初选无性系28%,木材基本密度的选择增益平均达到8.7%。所选出的39个优良无性系可作为建立马尾松采穗圃首选材料。

通过系列研究,揭示了马尾松纸浆材主要经济性状在家系间的遗传变异规律和所受的遗传控制,发现材积生长、木材密度、木材化学组分、成浆和成纸性能(耐破指数除外)在家系间存在显著的差异,受中等至强度的遗传控制。发现木材密度和热水抽出物含量是2个预测成浆性能较可靠的间接指标。研究还发现综纤维素和木质素含量在家系间的绝对差异较小(2%~3%),且与制浆得率和成浆主要性能相关性较小,对选育的实际意义不大。因此,应将收获时单位面积木材产量(V)、木材密度(SG)和制浆得率(PY)确定为纸浆生产的3个目标性状。

1.2 种子丰产和专用性种子园建立技术

1.2.1 种子园丰产技术

针对马尾松种子园种子产量普遍偏低的现状,结合种子园在经营管理过程中存在的主要问题,先后在广西、福建、浙江等地开展了促进种子丰产试验,在全国各地布设了去劣疏伐、施肥、环割、去顶矮化、激素处理、开花结实特点等种子丰产试验,并进行了多年的跟踪调查分析,提出了马尾松种子园的高产稳产综合配套技术,使各地的种子产量分别从“八五”期间的 $7.41\text{kg}/\text{hm}^2$ (1993~1995年)达到“九五”期间的 $10.43\text{kg}/\text{hm}^2$ (1997~1999年),增产40.8%;从1995年的 $10.95\text{kg}/\text{hm}^2$ 达到1999年的 $14.31\text{kg}/\text{hm}^2$,提高30.7%。

1.2.1.1 去劣疏伐试验

及时疏伐是马尾松种子园经营管理的重要措施,是提高实生种子园种子产量和遗传品质的技术关键。我国在20世纪80年代营建的马尾松初级种子园,在建园材料选择过程中,由于过分看重生

长性状,加之建园密度过大,导致种子产量非常低。为了提高种子单产,必须适当降低种子园林分密度,为每一个个体提供充足的营养空间,使树冠舒展、扩大,以增加结实面积。“九五”期间,在广西武鸣部省联营种子园、福建省漳平五一国有林场种子园、浙江姥山林场、贵州黄平等种子园,在前期子代测定的基础上,均开展了去劣疏伐试验,并进行了跟踪测定,收到了明显效果。建园后去劣疏伐一般需经过2~3次才能达到预期保留密度。去劣疏伐的主要依据是对建园的遗传材料做出准确的评价,因此,疏伐前必须对各小区进行准确的调查,根据林木的单株产籽量、出籽率、发芽率及生长性状等进行林木分级,一般分成4~5级(类)。第一次疏伐在保证均匀的前提下,尽量遵循留优、疏中、去劣的总原则,即留Ⅰ级(类),伐Ⅳ、Ⅴ级(类),结合密度调整,有选择的疏伐部分Ⅱ、Ⅲ级(类)。由于初级马尾松种子园无性系是随机配置的,局部难免出现优、劣无性系嫁接分株集中成丛,加之马尾松无性系偏花性明显,疏伐时除了要考虑密度均匀外,还要考虑雌雄球花量比例协调等因素,所以,Ⅰ级(类)无性系也不能全部保留。第一次疏伐强度一般控制在30%~40%左右,伐后保留315~375株/hm²,郁闭度在0.4左右,通过疏伐获得的增益,一般都在20%~30%以上。然后再每隔几年分别进行第二、第三次去劣疏伐(每次的强度为25%左右),最后使种子园的密度控制在180~225株/hm²。

对马尾松实生种子园可考虑3次去劣疏伐。第1次去劣疏伐旨在使树冠发育不受大的影响,设计疏伐强度为30%,保留密度控制在600~750株/hm²左右,疏伐年龄为6~7年生,这是马尾松家系的初选年龄,疏伐主要依据家系和个体的树高育种值。由于此时树木年龄尚幼,对家系淘汰的风险较大,因此仅伐去最差家系,主要做家系内的个体选择,疏伐对象还包括那些病、弱和畸形株。第2次去劣疏伐在10年生左右进行,疏伐强度30%~40%,伐后保留密度控制在28~32株/hm²左右,此时种子园已进入投产期,作为子代测定林也已达到了1/3~1/2轮伐期。第3次去劣疏伐,应在15年前后进行,其强度仍控制在30%~40%,最终保留密度控制在210~300株/hm²,此时种子园已(将)进入盛产期,这时的疏伐依据主要是树木的生长量和球果产量,在条件许可的情况下,尽量保留较多的家系数,以维持宽广的遗传基础。

种子园密度与球果产量相关试验结果表明:当种子园平均保留密度为360~470株/hm²,5~10龄种子园的各年度球果平均产量分别为:26.6、49.9、49.5、190.8、230.7、248.1kg/hm²。第8、9、10龄时,由于树冠充分郁闭,球果产量基本没有增加。而在10龄进行疏伐,保留密度变为180~300株/hm²后,11~17龄的球果产量分别上升为302.4、809.6、547.3、743.0、41.4(该年有些异常)、570.4、774.8kg/hm²,产量比疏伐前明显增加。另一项疏伐保留密度对比试验结果表明:对于12年生种子园,保留密度4m×5m小区的种子产量是3.5m×3.5m小区的3.5倍。种子园郁闭度由0.6上升到0.72时,种子产量将降低15%~35%,密度上升到0.8以上时几乎没有产量。

通过疏伐不但提高了种子产量,也使种子品质大大提高。按疏伐强度40%实施疏伐后,伐后种子园嫁接植株的优良无性系类型由45%上升到了63%,使种子园的优良基因型频率大大提高,同时,无性系的产籽量、出籽率、发芽率等也分别增长了21.28%、7.99%、3.57%。

1.2.1.2 施肥试验

施肥是种子园土壤管理的重要内容之一,是提高种子园种子产量的有效手段。许多研究结果都表明,种子园施肥效果很好,经济效益较高,但由于其费用在种子园管理中占有较大比重,所以必须重视其科学性和合理性,为此,课题组先后在多个试验点上开展了种子园施肥试验。

广西试验点正交施肥试验(已连续7年进行生长结实观测)结果表明:为了使种子园母树营养生长旺盛,宜施氮、钾肥和桐麸,在母树5~8龄期,建议每株施用尿素52g,过磷酸钙42g,氯化钾20g,桐麸400g;为了增加种子产量,在母树进入产种中期以后,要少施氮肥,多施磷、钾肥和桐麸,即每株施尿素0~26g、过磷酸钙84g、氯化钾40g、桐麸400g。随着母树结实量增加,按比例增加肥料的施入量。试验结果还表明,单施一种肥料效果不理想,施肥应以组合混施为好。研究还发现,氮肥对树高影响较大,桐麸对冠幅影响很大,钾肥对球果产量影响很大。为了促进高生

长,氮、磷、钾和桐麸的组合可分别采用 52g/株或 104g/株、42g/株或 84g/株、40g/株或 80g/株、400g/株或 1600g/株组合;为了促进冠幅生长,氮、磷、钾和桐麸可采用 52g/株或 104g/株、不施或 42g/株、20g/株或 40g/株、400~1600g/株组合;为促进球果产量,氮、磷、钾和桐麸可采用不施、42g/株或 84g/株、40g/株或 80g/株、400~1600g/株组合。

在种子园生产经营活动中,在结实前期或母树复壮期,为了使母树营养生长粗壮,宜多施氮、钾和桐麸。为了提高施肥的经济效果,具体建议:在母树 1~4 龄时,每株施用尿素 26g、过磷酸钙 21g、氯化钾 10g、桐麸 200g,母树 5~8 龄时,每株施用尿素 52g、过磷酸钙 42g、氯化钾 20g、桐麸 400g。为了增加种子产量,当母树进入产种中期或盛期,宜少施氮肥,多施磷、钾和桐麸。为了提高施肥的经济效果,建议在母树 8~10 龄以后,每株施尿素 0~26g、过磷酸钙 84g、氯化钾 40g、桐麸 400g。随着母树年龄及结实量的增加,以后按比例适当增加肥料的施放量。

1.2.1.3 树体管理试验

为了探讨树体管理(去顶矮化、环剥、修剪)在马尾松种子园良种生产中的可行性和有效性,为了扩大树冠结实面积和便于母树的管理,课题组先后在广西、浙江、福建的种子园开展了去顶矮化、环剥、树冠整形修剪试验,试验收到了良好效果,许多成功经验可在全国马尾松的种子园经营管理中加以推广应用。

课题组在广西 5 年生的无性系种子园中开展了树体修剪管理试验,试验设强度断梢修剪、中度断梢修剪、树冠下挖沟断根及对照(不做任何处理)4 个处理。该项试验按统一研究方案分别在 3 个年度内组织实施,并连续 7 年进行跟踪测定试验结果。研究表明:在对树冠合理实施修剪情况下,对于 8~11 龄母树,强度修剪的树高可比对照降低 10%~16%,中度修剪的比对照下降 3%左右,不同处理间差异显著。胸径在处理后的 2~3 年,开始有所下降,强度修剪降低 5%~7%,中度修剪下降 3%~4%。冠幅生长持平或略有增加。断根对上述生长指标影响不明显。从结实量角度看,依据对母树 7、8、9 龄 3 个年度结实量统计结果,树冠强度修剪使球果产量下降了约 3%,中度修剪下降了约 10%,断根处理平均增产 14%,各处理间均差异不显著。但从对树冠发展的角度分析,随着时间的推移,强度和中度修剪的球果产量略有下降的势头将有所改变。因为调查发现,到 12 年生时,实施强度和中度修剪的母树,其树冠体积分别增加 21% 和 10%,因此,可以推断,到了一定时间,实施了强度和中度修剪的母树,其球果产量不会继续下降,甚至会有所上升。

在浙江姥山林场无性系种子园中,采取的断梢修剪方法是:从离地面 80 cm 以上部位,留轮盘枝 1~3 盘,其上截顶,以促进侧枝发展,扩大树冠体积,降低结实部位。此项试验每若干年进行一次。

研究表明,高产母树的主要冠形特征是:树体高大,树冠呈卵圆形,冠高长、冠幅宽,结实轮数多,分枝角大。因此,在进行树冠整形时,一定要尽量把树冠整成卵圆形,并尽量扩大冠长、冠幅和树冠体积,尽量保留分枝角度大的枝条。

通过对各地树体修剪的资料分析总结认为:去顶修剪,对矮化扩冠很有效果。进行首次去顶修剪的时间宜在 3~5 年时进行,以后每隔 2~3 年重复断梢修剪一次,一般要修剪 2~4 次,这样可明显降低树体高度,有效增加树冠体积,扩大结实面积,同时对母树的结实不会产生不利影响。在马尾松无性系种子园经营过程进行有效的树体管理,可大幅度降低病虫害防治、球果采收以及其他相关管理费用,增加良种投入的产出效应。

通过环割可以有效地协调营养生长和生殖生长,特别是环割与激素处理结合起来应用时,可明显促进开花结实。

1.2.1.4 激素处理试验

激素处理试验分别在 6 年生马尾松实生种子园和无性系种子园内进行,在实生种子园内进行如下 3 种组合的植物生长调节剂处理:即赤霉素(GA_{4+7}) + 脱落酸(ABA) + 氯化钴($CoCl_2$) (10: