



MAWEISONG ZHONGZIYUAN

马尾松种子园



秦国峰 周志春 金国庆 等  著



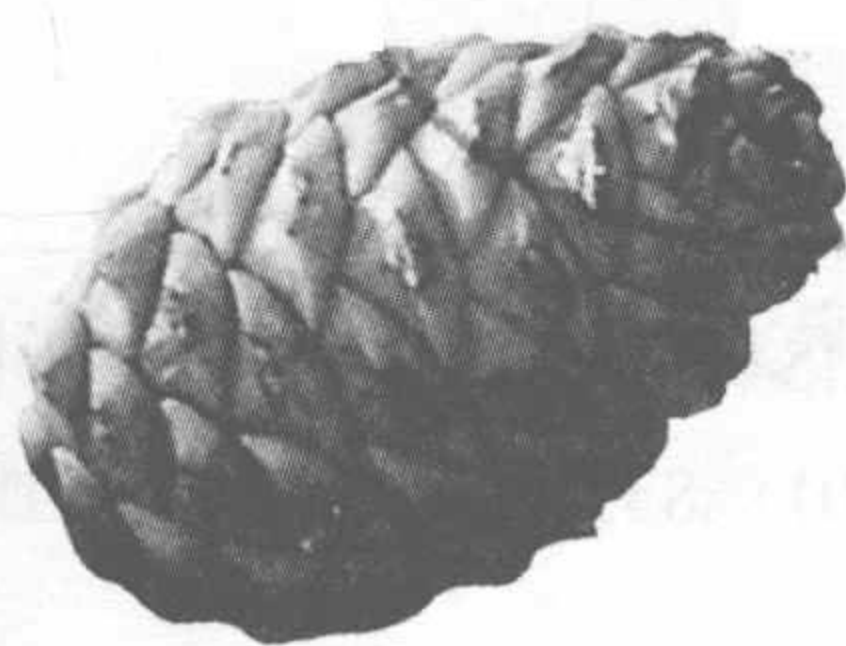
中国林业出版社

China Forestry Publishing House



MAWEISONG ZHONGZIYUAN

马尾松种子园



秦国峰 周志春 金国庆 等 著



中国林业出版社
China Forestry Publishing House

图书在版编目(CIP)数据

马尾松种子园 / 秦国峰等著. —北京:
中国林业出版社, 2017. 11

ISBN 978-7-5038-9329-2

I. ①马… II. ①秦… III. ①马尾松-种质资源-中国
IV. ①S791.248.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 260120 号

中国林业出版社·生态保护出版中心

策划编辑: 刘家玲

责任编辑: 曾琬淋 刘家玲

出版 中国林业出版社 (100009 北京市西城区德胜门内大街刘海胡同 7 号)

<http://lycb.forestry.gov.cn> 电话: (010) 83143576 83143519

发行 中国林业出版社

印刷 固安县京平诚乾印刷有限公司

版次 2017 年 12 月第 1 版

印次 2017 年 12 月第 1 次

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 21.5

彩插 12P

字数 492 千字

定价 98.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有 侵权必究

《马尾松种子园》

编委会

主要撰稿人

秦国峰（中国林业科学研究院亚热带林业研究所 研究员）
周志春（中国林业科学研究院亚热带林业研究所 研究员、博士研究生导师）
金国庆（中国林业科学研究院亚热带林业研究所 副研究员）

其他撰稿人

中国林业科学研究院亚热带林业研究所

刘青华 王培蒂 赵锦年 张 振 谭小梅
张 一 荣文琛 楚秀丽 张 蕊 吴天林

南京林业大学

王章荣 陈天华 季孔庶 张 薇 龚 佳

广西壮族自治区林业科学研究院

杨章旗 谭健晖

中国林业科学研究院热带林业实验中心

谌红辉 温恒辉

中国林业科学研究院亚热带林业实验中心

洪 炜 曾平生

浙江省淳安县新安江开发总公司

江刘其 胡卫江

浙江省淳安县新安江开发总公司姥山林场

余启新 丰忠平 黄 辉 储德裕

浙江省兰溪市苗圃

范金根 童庆元 黎志云 滕国新

浙江省开化县林场、林业科学研究所

汪名昌 徐金良 周世水 龚朝修 吕 勤

浙江省新昌县苦丁茶研究所

杜宏彬

福建省南平市林业局

范泽华 林忠民

福建省南平市林业局种苗站

张任好 王锦上 张丽瑶

福建省邵武卫闽国有林场

甘振栋 赵世荣 邓财金

福建省漳平五一国有林场

陈亚斌 林文奖 陈惠敏

福建省仙游县溪口国有林场

刘正渭

广西壮族自治区南宁市林业科学研究所

黄永利 覃开展

广东省信宜市林业科学研究所

罗 敏 王以珊 覃 冀

江西省抚州市林业科学研究所

陈 文 徐 辉 王志平

江西省峡江县林木良种场

邹 伟 陈修焕 童华彪 陈文明 张志红

安徽省六安市裕安区林木良种场

梁 凤 胡 超



序言

马尾松是我国古老的乡土树种，是组成森林大家族的主要成员，其功能多种、效用多样，可作为纸浆林、脂用林、薪炭林、特用林、生态林等，还可生产松脂、松香、松节油、松针粉、松花粉和茯苓等多种非木质产品。马尾松是贫瘠荒山绿化的“先锋树种”，是工厂矿区废气污染的“监测树种”，是健身疗养环境的“制氧树种”，在我国林业建设与人们生活中占有十分重要的地位。

中国林业科学研究院亚热带林业研究所（以下简称“中国林科院亚林所”）科研团队将马尾松作为长期的立题项目，从生物学、生态学、育林学、遗传育种学、林木种子学等学科开展比较全面深入的研究。先后承担了“六五”至“十二五”国家科技支撑（攻关）计划、“十三五”国家重点研发计划、“863”计划、“948”计划、林业公益性行业科研专项、国家自然科学基金、世界银行贷款国家造林科技推广以及浙江省林木育种专项重点课题等项目20余项，马尾松遗传改良是这些研究项目之一。

该团队数十年如一日，长期蹲点在浙江省淳安县姥山林场等国家马尾松良种基地，开展各项试验研究，进行遗传改良，不断提高马尾松良种的遗传增益，取得了科研、生产双丰收。特别是经过近10年的探索和试验，采用稀植、低接、截顶限高、回缩限冠以及拉枝调控等综合性技术措施，使约10年生母树高度控制在5~6m，取得了较好的矮化效果，既提高了良种产量，又方便采集种子。该团队已发表论文150多篇，出版著作12部（本）共计420多万字，先后获得国家科技进步二等奖4项、三等奖2项，部省级一、二、三等奖20多

项。这些科研成果为编撰本书积累了丰富的素材，是马尾松种子园营建的全面总结，是科研与生产紧密结合的成果，是科研工作者数十年辛勤汗水的结晶。

该书涉及多学科的研究内容，丰富系统，充分论述了种子园营建过程中所涉及的主要关键技术。这是一部理论与实践相结合并侧重于生产应用的新著。值此新书出版之际，欣然应邀作序，成果来之不易，可喜可贺。

楊超

国家林业局场圃总站总站长

2017 年 5 月



前言

林木育种已有 200 年的发展史。林木引种、选择育种和杂交制种等实践活动由来已久，有的甚至可追溯到古代，但科学的林木遗传育种的历史并不长。自 18 世纪开始，在达尔文进化论学说的影响下，许多国家相继开展了各种不同形式林木育种试验。例如：林木地理种源试验证实了种内存在着明显的差异；在开展试验时采用了科学的田间试验设计；对一些树种进行杂交育种，获得杂交种子开展遗传测定；通过嫁接方法繁殖和选择优良无性系等。这些育种试验的成果后来发展成为生产优质林木种子的主要形式——种子园。在林木常规育种的种质选育、遗传测定、良种生产三大实践运行体系中，最终是以种子园为承载和制种的实体，为林木良种化事业的发展和生产所需高效良种奠定了物质基础。林木育种的基本任务是为林业生产不断提供产量高、质量好、适应性强的大量繁殖材料。传统的林木育种是目前提供林木良种的主要途径，为世界各国广泛采用，全球已有 100 多个国家和地区开展了林木育种。“林以种为本，种以质为先”，良种是发展林业生产的源头，是特殊的、不可替代的、最基本的生产资料，抓好了林木良种生产，就是抓住了林业发展的根本。

种子园是生产遗传品质高和播种品质好的林木良种的基地。种子园的优越性主要体现在以下五个方面：①建园材料都是经过人工精选的优树，种子园的母树能产生遗传品质好、活力强的种子。②种子园面积集中，便于经营管理，以促进开花结实，使种子生产逐步达到稳产、高产。③通过合理的整地造园，采用水平条带式整地，修建灌溉系统，确保防虫、防旱及时到位，防范自然灾

害，减少损失。④修筑园中作业道路，为球果与肥料运输等实现机械化提供条件，以提高生产管理的效率。⑤革新树体管理方式，实施以矮化树体为主导的整形修剪新技术，实现各项管理与采摘球果均在地面安全实施。

我们长期从事林业科研，参加并主持过部、省两级选择优树建立种子园和马尾松全分布区地理种源试验以及世界银行贷款国家造林项目等课题的研究，但其中约占 2/3 时间是承担马尾松种子园营建的科研和生产相结合的实践与探索。在历经 30~40 年的马尾松种子园营建过程中，前期与后期深感发生了天壤之别的变化。按照种子园建设的世代进程，前期是在 20 世纪 80 年代营建第 1 代无性系种子园，后期是在 21 世纪来临之初的数年间营建第 2 代无性系种子园。回首当年，记忆犹新。前期营建的马尾松 1 代种子园面积很大，全国达 1000 多 hm^2 。笔者在蹲点林场亲自规划设计实施建园的面积达几十公顷，还到全国协作组许多联系点了解交流建园情况。经交流研讨发现，存在的问题主要是种子园栽培密度过大，且未能及时进行疏伐，不少种子园管理上如同一般用材林，粗放经营。结果造成母树之间郁闭早，下部枝条衰弱，结果层推向上部树冠，花果数量不多。因此，马尾松种子园产量很低，除少数种子园比较好之外，全国平均每亩（1 亩 = $1/15\text{hm}^2$ ，下同）不足 0.5kg 的产种量。

当初开始建设种子园没有现成的经验可借鉴，是在探索中边学边建，其中最重要的是未能实施稀植建园、矮化管理和集约经营。这是前期建园最精准的总结，也是后期建园最好的启示和必须革新实施的要点。在 21 世纪初期营建的种子园，主要是马尾松 2 代无性系种子园，建设面积相当于前期的 60% 左右。与前期营建 1 代种子园相比较，突显革新为重点，如建园无性系以 2 代全同胞或半同胞无性系为主、栽植的主要是圃地培育的大容器嫁接苗、栽植方式改密植为稀植、整地方式采用水平条带式，特别是通过整形修剪实现以矮化为目的树体管理并加强集约管理水平等。通过这些革新技术取得建园的良好效果，幼龄期开花结实提早，投产初期产量比较高。

从前后两个建园时期对比，这是一个从初级种子园建园走向高世代建园的过程，是一场传统陈旧建园方式转变为现代高效建园模式的技术革新的过程。在这一过程中有以下五点是值得总结汲取和继续拓展应用的。

(1) 长期稳定的基地是良种试验的平台和保障：基地包含资源保育、科学试验、良种生产三者组成的实地运行体系，科研紧密结合生产，都在这个体系平台上实施。马尾松科研团队数十年如一日长期蹲点在林场，开展各项试验研究，并取得生产、科研双丰收。全国现有 29 处国家马尾松良种基地，试验基地

姥山林场是其中两个被国家林业局同时确定为“国家马尾松良种基地”和“国家马尾松种质资源库”的单位之一。自设置基地以来，营建了大面积的马尾松1代、1.5代、2代无性系种子园，1代和2代育种群体，种源试验林和各种遗传测定林，为资源保育和遗传改良奠定了坚实的物质基础。

(2) 遗传改良的核心旨在不断提高遗传增益：马尾松种子园营建是从选择优树开始，被称为“选优建园”。选优、测定、建园，经过两次子代测定、3次选优，营建了3个代级的无性系种子园，获得不断提高的遗传增益。用于2代种子园营建的全同胞无性系，8年生的材积增益平均达84.2%。在选优建园中，对大量建园材料的测定和评价，目的就是确保建园无性系具有不断提高的遗传增益。

(3) 良种壮苗双优配套是高效建园的重要措施：“良种壮苗”是林业生产高产高效的基础。在前期的马尾松种子园营建时，只注重良种选育，而忽略壮苗培育。过去总以为嫁接成活就算是种子园营建成功，其实不然。良种与壮苗双优并重，不只是成活，还要求定植当年有较大的生长量，务必一次定植成园，园相整齐，达到双优配套的高水平建园质量。

(4) 树体矮化是种子园管理革新的关键技术：马尾松树体高大，上树采摘球果与修剪较难，工伤风险较大。要解决不上树而在地面作业之难，唯一的办法就是矮化树体。经过近10年时间的探索和实践，采用稀植、低接、截顶限高、回缩限冠以及拉枝调控等综合性技术措施，可使约10年生母树高度控制在5~6m，取得较好的矮化效果。同时还可结合限冠回缩，培养回缩枝桩萌发新结果枝。

(5) 应注重采用综合性的集约经营管理模式：林木种子园亦称“林木果园”，应与园艺果园一样集约经营，必须强调农业措施的应用。进入投产期的马尾松种子园，除遗传、园地和树体3项管理技术都要按计划实施之外，为使种子生产有个好收成，主要应抓好施肥、防虫、防旱3项管理。母树大量结实需从土壤中汲取大量养分，应通过施肥给予补充，以营造保肥、保水的土壤环境。虫害大发生时不只是歉收，甚至是颗粒无收，必须针对主要害虫，尽早在早春幼虫开始活动时进行喷药，效果最好。夏季是球果生长孕育种子的时期，如天气高温干旱，会产生严重影响。对此应引水浇灌园地与喷洒树冠，以减轻可能造成的损失。

以上五个方面是在过去几十年的时间里，营建马尾松两个世代种子园过程中的正反经验和革旧创新的总结。本书的编纂也是对这些经验和总结更为全

面、系统的阐述。全书主要内容分为：马尾松良种生产基地、马尾松生殖繁育特性、建园无性系选育、建园嫁接苗培育、选址整地及定植建园、交配系统及遗传管理、种子园生产管理、种子园树体管理、种实采制及贮藏检验，共分 9 章，并附彩图。书稿编写主要展示以下特点：①内容的系统性——全书从筹建种子园开始，到种实采制、种子检验，各章编写内容相互衔接，比较系统地论述马尾松种子园营建和种子生产全过程。②主要问题论述的完整性——以嫁接为例，当初只要求嫁接成活就是成功，但光有成活而当年没有生长量，不能认为嫁接质量高。为此，从嫁接起源、嫁接原理、成活因素、嫁接方法、嫁接时间、愈合成活以及接后管理等，都做了详细而较完整的论述。③重点技术的先进性——书稿的编写不按原先编纂套路，除了传统的土壤、肥料、水分、虫害的管理之外，从 2 代种子园营建得到启示，将以前未曾得到重视和应用的创新管理技术（涉及遗传测验、树体矮化、集约经营等方面），作为先进技术列为重点在种子园实施应用。因此，书稿编写重新做了调整，分别将交配系统及遗传管理、种子园园地管理和种子园树体管理分为三章编写，充分体现新技术的应用，突出提高种子园的管理水平。④总结边实践边探索的建园经验——在 20 世纪 80 年代种子园建设之初没有任何技术资料可供借鉴，只能边实践边探索。就栽植密度而言，从初植每亩 40~50 株，不断探索革新，后来每亩只有 15~16 株。栽植密度演变的实例，说明从盲目密植到采用适度稀植的转变，充分反映了几十年来种子园建设确是一个实践探索的过程。⑤探求革旧创新高效建园的理念和方法——后期建设马尾松 2 代无性系种子园所涉及的主要是建园技术问题，都朝着一个革新目标，革除旧的创造新的去拓展。先后从选优建园、整地方法、培育容器嫁接苗定植、母树矮化整形修剪、新枝梢回缩控制冠幅扩展、回缩枝桩促萌培养新果枝等方面，在开拓性研究中取得新技术、新成果，从而有效促进了种子园的有效管理，提高了种子生产的经营效益。

马尾松种子园的试验研究和建园实践历经三四十年，从 1 代种子园的实践探索到 2 代种子园的开拓创新，并将宝贵的建园经验和技術积累用于 3 代种子园研建，一代又一代勇往前行，不断使良种化进程更快、提升更高。几十年来，马尾松课题组秉承“献身林业，严谨务实，自强不息，勇攀高峰”的精神，针对所承担的国家和省部两级科研攻关重任，全组科研人员团结一心、矢志不渝，先后完成国家科技支撑、世界银行贷款国家造林等科研项目 20 多项，直接参加实施营建的马尾松种子园 150 多 hm^2 和各种试验林 100 多 hm^2 ，收集保育种质资源 2000 多份，发表科技论文 150 多篇，出版科研著作 12 部合计 420

多万字，获得国家科技进步奖二等奖4项、三等奖2项，省部级一、二、三等奖20多项。三任课题组长均享受国务院颁发的政府特殊津贴。这些成绩是前后衔接的三任组长紧密团结全组科研人员共同努力而取得的，是大家辛劳汗水的结晶。回顾已往的艰辛、奋勇当先的岁月，心中充满着科研成就的获得感，这是一生难以忘怀的十分珍贵的岁月。

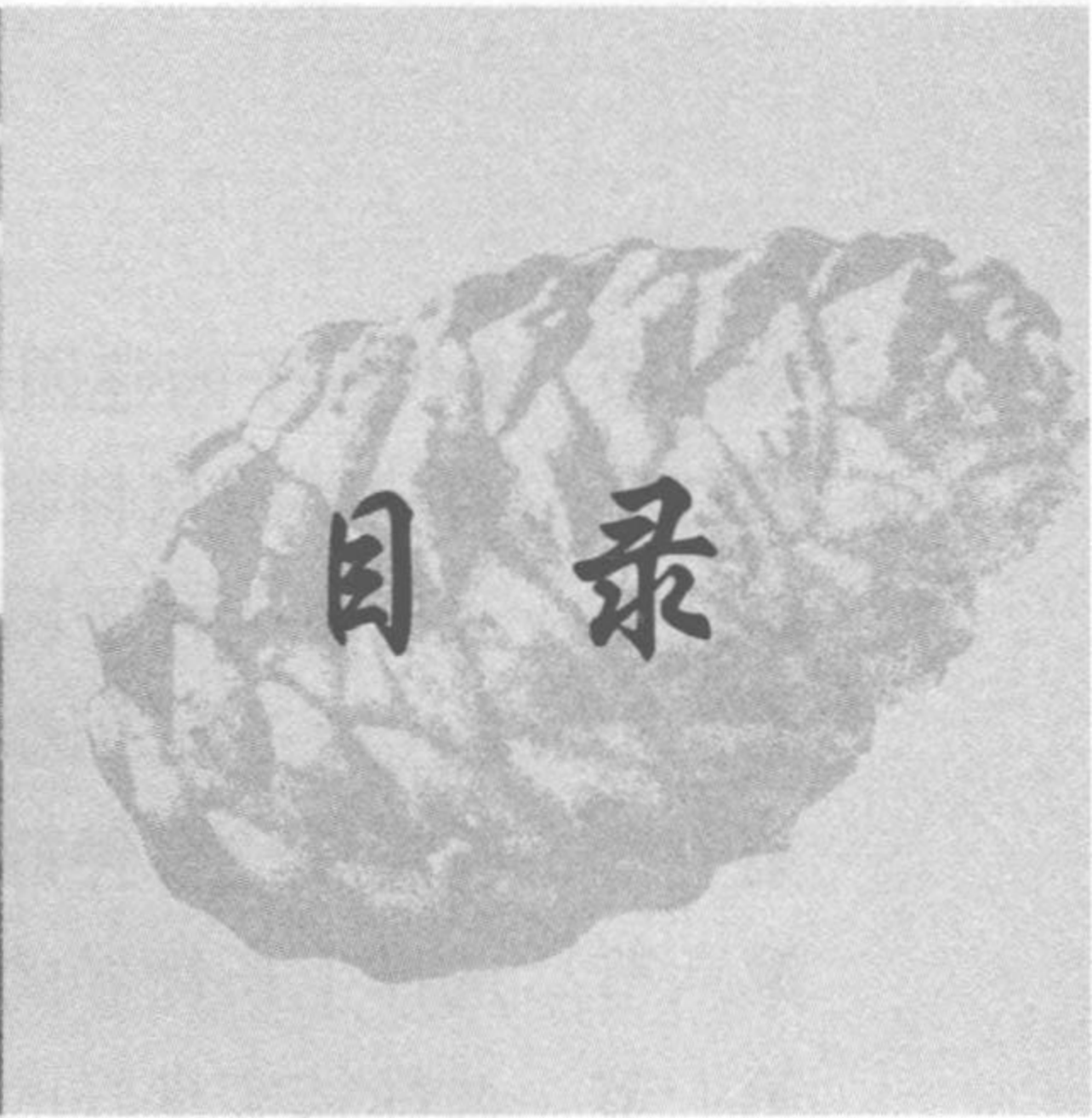
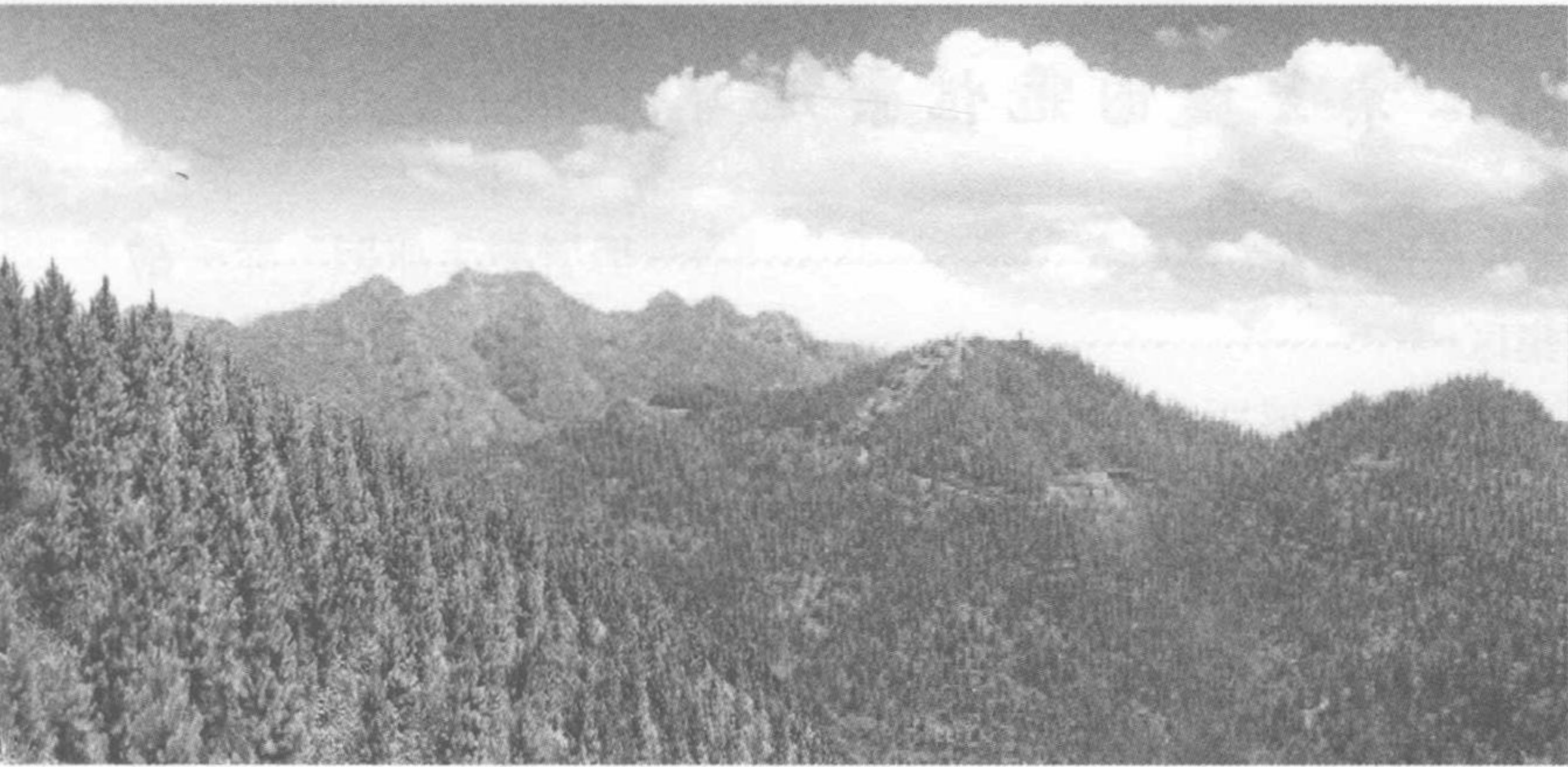
本书三位主要撰稿人长期以来都“战斗”在同一科研岗位上，常年穿梭在满目青松的山场或满布荆棘的丛林之中，在坚持野外科学试验的同时，合作整理资料和撰写论著。在过去传统的遗传改良的基础上，马尾松研究正进入多领域深层次的科研攻关。科研人员和设备也大不一样，尤其是课题组的研究人员主要是年轻的博士，在年富力强的现任组长的组织指导下，全组科研人员团结协作，开创了马尾松科研新局面，将对良种事业创制做出更为重大的成果和贡献。

本书是承前启后的一部著作，对以前做了总结，对今后有殷切期盼。本书主要是记录反映了20世纪末至21世纪初的历史阶段中，我国马尾松种子园研究和建设的实际状况，对后人的科研和生产具有参考意义。本书原计划早几年付梓出版，因马尾松树体矮化与整形修剪等方面的技术尚有不成熟之处，特于2011—2015年期间在兰溪市苗圃马尾松种子园设立专题固定专人实施，终于获得预期的研究成果，并继续书稿的撰写，将取得的创新成果写进书中。这是一部理论结合实践、侧重生产应用的科技专著，内容丰富、重点突出、图文结合、资料翔实。本书由于专业性强、知识面广，加之编撰者水平所限，书中难免存在错误和疏漏，诚希广大读者和同仁批评指正。

本书的出版得到“十三五”国家重点研发计划“马尾松高效培育技术研究”项目（2017YFD0600300）、浙江省农业（林木）新品种选育重大科技专项重点课题（2016C02056-4），及全国马尾松良种基地技术协作组、国家林业局马尾松工程技术研究中心等资助，在此一并致谢。

著者

2017年7月



目 录

序言 前言

第一章 马尾松良种生产基地

第一节	林木种子园	3
第二节	马尾松无性系种子园	7
第三节	马尾松实生种子园	9
第四节	马尾松改建型母树林	13
第五节	马尾松新建型母树林	24
第六节	采种林分与采种基地	30

第二章 马尾松生殖繁育特性

第一节	马尾松开花和结实习性	37
第二节	雌雄球花形态特征	44
第三节	雌雄配子体形成及胚胎发育	49
第四节	雌雄球花败育对种子形成的影响	53
第五节	球果和种子形成	58
第六节	马尾松生长发育及生活史	61

第三章 建园无性系选育

第一节 1代种子园建园无性系选育 67

第二节 营建建园材料收集区 76

第三节 重建1代种子园建园无性系评选 83

第四节 2代种子园建园材料选育 88

第五节 营建2代育种群体 101

第六节 选择生长优异的建园无性系 104

第七节 选择结实良好的建园无性系 111

第四章 建园嫁接苗培育

第一节 嫁接起源及实用意义 121

第二节 嫁接原理和成活因素 125

第三节 松树嫁接技术 132

第四节 嫁接苗培育 143

第五节 生产性大容器嫁接苗的培育成效 151

第五章 选址整地及定植建园

第一节 园址选择 161

第二节 种子园整地 166

第三节 良种基地统一规划 171

第四节 种子园生产区具体规划 175

第五节 马尾松定植建园 178

第六章 交配系统及遗传管理

第一节 天然林遗传多样性分析 189

第二节 实生种子园遗传多样性分析 191

第三节 无性系种子园交配系统分析 192

第四节 建园材料遗传多样性的应用 196

第五节 栽植配置要求 199

第六节 花粉管理及保花保果 202

第七章 种子园生产管理

第一节 园地土壤管理 213

第二节 种子园施肥管理 215

第三节 园地水分管理 237

第四节 种子园虫害管理 240

第八章 种子园树体管理

第一节 经济林果树整形修剪简述 251

第二节 树体矮化及整形修剪 254

第三节 马尾松主要树形的培养 258

第四节 树体修剪与结果枝培养 269

第五节 枝梢剪截的实际应用 271

第六节 截顶在树体矮化中的应用 275

第七节 树体管理及母树结实效应 279

第九章 种实采制及贮藏检验

第一节 球果和种子的生长发育 285

第二节 种子发育过程的物质积累 289

第三节 马尾松球果成熟及采制 293

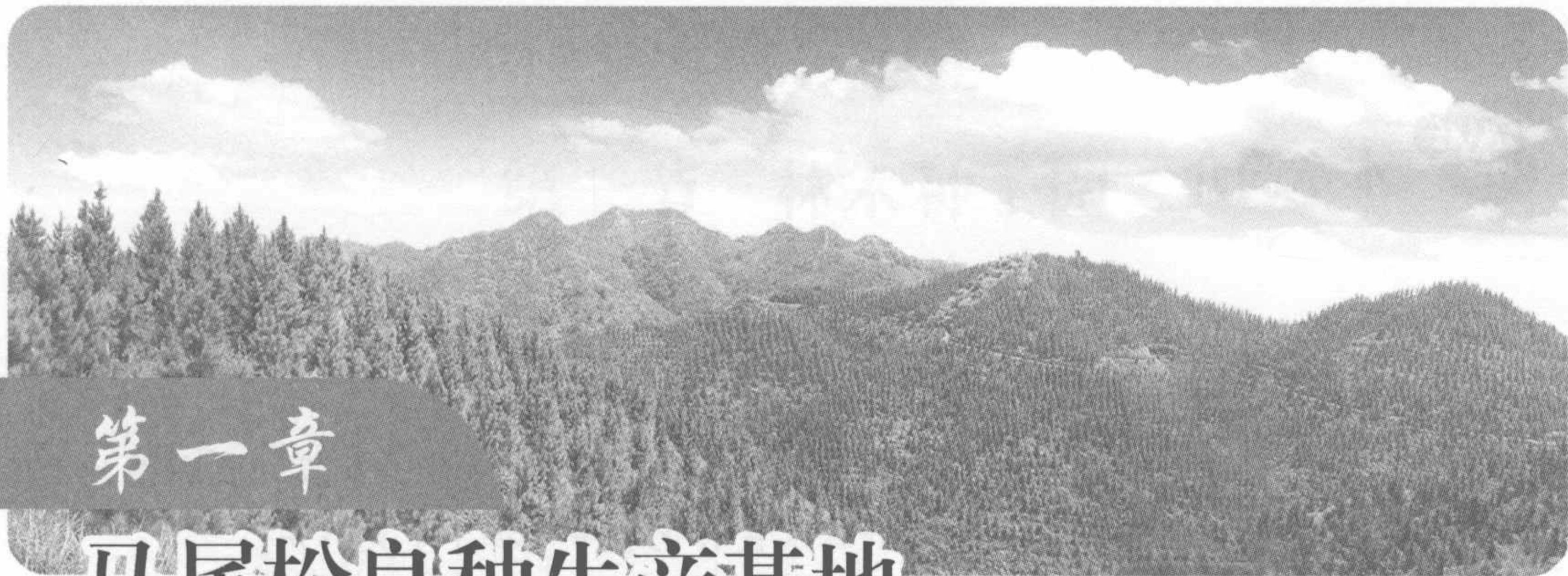
第四节 种子贮藏过程的品质检验 303

第五节 种子播种品质的检测 307

参考文献 311

附录 1 LY/T 2427—2015 马尾松种子园营建技术规程 319

附录 2 马尾松种子园主要有害生物防控技术 327



第一章

马尾松良种生产基地

第一节 林木种子园 /3

- 一、林木种子园的含义 /3
- 二、林木种子园的发展历史 /3
- 三、林木种子园的实施成效 /4
- 四、林木种子园的类别 /5
- 五、林木种子园的优越性 /6

第二节 马尾松无性系种子园 /7

- 一、第1代无性系种子园 /7
- 二、第2代无性系种子园 /7
- 三、第2代建园无性系的组配和应用 /8

第三节 马尾松实生种子园 /9

- 一、两类种子园的优劣性比较 /9
- 二、实生种子园营建要点 /10
- 三、实生种子园优异性分析 /12

第四节 马尾松改建型母树林 /13

- 一、母树林与种子园的区别 /13
- 二、母树林的主要作用 /13
- 三、母树林的改建方法 /14
- 四、改建母树林效益评估 /19
- 五、相关问题的讨论和分析 /22

第五节 马尾松新建型母树林 /24

- 一、立地条件与试验方法 /24
- 二、疏伐对林木生长的影响 /25
- 三、幼林期母树的开花结实 /27
- 四、新建母树林的总结与讨论 /29

第六节 采种林分与采种基地 /30

- 一、采种林分的选择 /30
- 二、采种基地的建立 /31
- 三、种子生产基地的类别和利用 /31



本章简介

林木良种繁育基地也称林木良种生产基地，简称林木良种基地，这是优良种质资源收集保存及林木良种选育和生产的场所，是目前林木良种生产与种子供应的主体，是国家重点投入的重大林木种苗工程。目前已有全国主要树种国家级的良种基地 226 处，为促进我国林木良种化进程和提升林木良种化水平发挥了重大作用。

回顾我国林木良种化发展过程，自 20 世纪 50 年代后期开始，迄今长达半个多世纪，林木良种事业从无到有、由弱而强，不断壮大。从有种就采、有苗就栽，逐渐认识到良种的重要性。最早选择较好的林分采种，继而改建成为采种母树林，开展种源试验后在生产上推广应用优良种源，还通过选择优树营建实生种子园与无性系种子园等。到目前为止，全国 30 多个主要造林树种，应用优良种源和种子园良种种子育苗造林的有 24 个，良种化水平达 80%。

种子园仅仅是林木改良与良种化进程中的一个环节，是林木良种基地的重要组成部分。林木良种生产基地应包括采种林分、母树林、实生种子园、无性系种子园等不同类别的种子生产基地，呈现出良种化水平由低级到高级的发展过程。各类林木良种基地生产种子可获得的遗传增益，由低而高可分为四类：①以优良天然林未经选择的效益为基数，在论及已经过改良的林木效益时常将其作为对照；②未经遗传选择而经改建或新建的母树林；③经选择的种源、林分、优树等；④杂交育种、高世代种子园以及无性系利用等。后三者比优良天然林提高的效益各不相同，其增益由低到高一般为 <10%、10%~20% 和 20%~30%。三类良种相辅并用，为马尾松良种事业发挥了重要作用。