

马尾松人工林 经营模式及其应用

洪 伟 吴承祯 编著



248.06

中国林业出版社

马尾松人工林 经营模式及其应用

洪 伟 吴承祯 编著

中国林业出版社

图书在版编目(CIP)数据

马尾松人工林经营模式及其应用/洪伟,吴承祯编著. —北京:中国林业出版社,1999. 11
ISBN 7-5038-2410-7

I. 马… II. ①洪… ②吴… III. 马尾松-人工林-森林经营 IV. S791.248.06

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 61630 号

马尾松人工林经营模式及其应用

出版 中国林业出版社 (北京市西城区刘海胡同 7 号)

邮编 100009

印刷 三河市富华印刷包装有限公司

发行 新华书店北京发行所

版次 1999 年 11 月第 1 版 1999 年 11 月第 1 次印刷

开本 787mm×1092mm 1/16 印张: 23

字数 600 千字

印数 1~2500 册

定价 45.00 元

前 言

马尾松是我国重要的速生用材树种之一，其耐瘠薄、分布及产区范围广、喜温暖湿润，是亚热带适生树种。根据 1989~1993 年期间全国森林资源清查统计资料报告，全国马尾松林面积 1434.43 万 hm^2 ，其中南方集体林区马尾松林面积 1121 万 hm^2 ，这么大面积的马尾松林，首要的问题是如何去经营管理。广大林业工作者在发展马尾松人工林生产过程中积累了丰富的经验，但这些经验是零碎的，且在经营过程中也出现了许多新问题。针对这种状况，数十年来，我们对马尾松人工林经营进行了大量、系统、深入的研究，取得了大量有价值的研究成果。目前，国内外有关马尾松人工林持续经营的专著不多见，我们撰写《马尾松人工林经营模式及其应用》一书的目的，是对编著者数十年来的教学与科研工作的一次总结，并不揣浅陋将这些成果整理充实，结集成《马尾松人工林经营模式及其应用》一书付梓。希冀对马尾松人工林持续经营有所帮助，并供林业教学、科研、生产人员参考。

本书编著的指导原则是理论与应用相结合，包括气候生产力评价、育苗、立地控制、分布格局、自然稀疏、种群竞争、生物量与生产力、密度与立地效应、收获表、资源管理、密度控制、序列林价等内容，并首次成功地应用人工智能手段——遗传算法、人工神经网络、模拟退火法等方法于马尾松人工林经营决策，反映了国内外有关研究成就和学科前沿动态，为实现马尾松人工林定向、速生、丰产、优质、高效的持续经营与利用奠定了理论基础。

本书的出版得到福建省林业厅领导，林杰教授、陈平留教授、陈辉博士、蓝斌副教授等教授、专家、朋友们的帮助，得到福建省“百千万人才工程”人选培养资金的资助，谨此一并表示衷心的感谢。

由于著者水平有限，书中错误及不妥之处，敬请广大读者批评指正，不胜感激。

编著者

1999 年 10 月 1 日

福建省“百千万人才工程”人选培养资金资助项目

**The Project Sponsored By Fujian Provincial Training
Foundation For “Bai-Qian-Wan Talents Engineering”**

目 录

前 言

第一章 马尾松林经营状况	(1)
1.1 分布与生境	(1)
1.1.1 分布	(1)
1.1.2 生境	(2)
1.1.3 马尾松产区区划	(3)
1.2 马尾松林组成结构	(4)
1.3 生长发育	(5)
1.3.1 年生长发育规律	(5)
1.3.2 林分生长发育规律	(7)
1.4 福建马尾松林	(8)
1.4.1 组成和层次结构	(9)
1.4.2 群落的演替.....	(13)
1.4.3 生长过程.....	(13)
1.5 我国马尾松资源及其特点.....	(13)
1.5.1 马尾松是全国森林资源中主要树种资源.....	(13)
1.5.2 马尾松林分存在着质量低下的问题,具有改造潜力.....	(15)
第二章 马尾松人工林气候生产力的评价	(16)
2.1 气候生产力模型.....	(17)
2.1.1 Miami 模型:用年降水量和年平均温度预测的净第一性生产力.....	(17)
2.1.2 Thornthwaite 纪念模型:由蒸发散量预测的净第一性生产力	(17)
2.2 马尾松林气候生产潜力.....	(18)
2.2.1 马尾松林气候生产潜力的估算方法及模型建立.....	(18)
2.2.2 马尾松生长量模型.....	(21)
2.3 提高马尾松人工林生产力的途径.....	(25)
2.3.1 马尾松人工林可能增产的潜力(潜在产量和实际产量之差)	(25)
2.3.2 利用气候资源优势促进马尾松人工林速生丰产.....	(25)
2.3.3 保持林分结构,提高光能利用率.....	(26)
2.3.4 选择优良种源.....	(26)
2.4 气候生产力模型的改进.....	(26)
2.4.1 气候生产力模型的剖析.....	(26)
2.4.2 改进的气候生产力模型.....	(27)
2.4.3 改进模型的参数估计.....	(27)
2.4.4 改进的气候生产力模型的建立.....	(28)

第三章 马尾松育苗技术	(31)
3.1 回归旋转组合设计方法	(32)
3.1.1 旋转性和正交性条件	(32)
3.1.2 二次旋转组合设计的通用性	(35)
3.1.3 二次正交旋转组合设计统计方法	(36)
3.2 马尾松轻型基质容器育苗技术	(37)
3.2.1 基质成分	(37)
3.2.2 容器材料和尺寸	(37)
3.2.3 育苗	(37)
3.2.4 马尾松容器苗质量评价指标的选择	(37)
3.2.5 基质、容器材料、容器尺寸对苗木生长的影响	(38)
3.2.6 不同基质对比对苗木生长的影响	(40)
3.3 马尾松切根、菌根化容器育苗效果	(41)
3.3.1 切根处理对容器苗生长和形态的影响	(41)
3.3.2 切根菌根化对容器苗生长的影响	(43)
3.3.3 切根菌根化育苗的造林效果	(43)
3.4 马尾松壮苗高产配套技术优化	(44)
3.4.1 试验设计	(44)
3.4.2 模型的建立与检验	(44)
3.4.3 模型解析	(45)
3.4.4 配套方案的模拟优化	(47)
3.5 马尾松扦插繁殖技术	(47)
3.5.1 扦插条件	(48)
3.5.2 基质与生根的关系	(49)
3.5.3 扦插时间与生根的关系	(49)
3.5.4 生根促进剂与生根的关系	(49)
3.5.5 插穗截取部位与生根的关系	(50)
3.5.6 扦插苗生长情况	(50)
3.5.7 生长素与繁殖系数的关系	(50)
3.5.8 扦插苗与实生苗造林生长对比	(51)
3.6 马尾松轻型基质容器苗造林初效的研究	(51)
3.6.1 试验材料和方法	(51)
3.6.2 结果与分析	(52)
3.6.3 效益分析	(54)
3.6.4 结论与讨论	(55)
第四章 马尾松人工林地位指数评价与立地控制	(58)
4.1 单形地位指数曲线及其数表编制	(58)
4.1.1 地位指数表编制方法	(58)
4.1.2 马尾松人工林地位指数表	(60)

4.2 评定林地地位指数实用公式·····	(64)
4.2.1 地位指数级距的展开方式·····	(64)
4.2.2 评定林地地位指数的实用公式·····	(65)
4.2.3 预测不同地位指数、不同年龄的优势木平均高公式·····	(66)
4.3 多形地位指数模型的编制·····	(67)
4.3.1 多形地位指数曲线综合模型·····	(67)
4.3.2 地位指数表和多形地位指数曲线·····	(68)
4.3.3 单形和多形地位指数曲线拟合精度检验及对比·····	(68)
4.4 数量化地位指数表的编制·····	(69)
4.4.1 数量化地位指数表的编制方法·····	(69)
4.4.2 数量化地位指数表的编制·····	(70)
4.5 马尾松人工林 Sloboda 地位指数曲线模型·····	(74)
4.5.1 Sloboda 地位指数曲线方程·····	(75)
4.5.2 马尾松人工林 Sloboda 地位指数曲线模型·····	(76)
第五章 遗传算法与马尾松人工林造林规划设计 ·····	(77)
5.1 在约束条件下造林规划设计·····	(78)
5.1.1 计算机辅助造林规划设计·····	(78)
5.1.2 在约束条件下造林规划设计问题的提法·····	(78)
5.2 遗传算法·····	(80)
5.2.1 遗传算法的发展史·····	(80)
5.2.2 自然进化与遗传算法·····	(85)
5.2.3 遗传算法的描述·····	(86)
5.2.4 遗传算法的特点·····	(92)
5.2.5 遗传算法及其数学基础·····	(94)
5.2.6 应用 GA 的几个要点·····	(98)
5.3 在约束条件下造林规划设计的遗传算法描述·····	(98)
5.3.1 在约束条件下造林规划设计问题·····	(98)
5.3.2 在约束条件下造林规划设计的染色体表示·····	(98)
5.3.3 在约束条件下造林规划设计问题的适应度函数·····	(99)
5.4 遗传算法改进约束条件下造林规划设计实例·····	(99)
第六章 马尾松人工林种群分布格局 ·····	(110)
6.1 空间分布格局测定方法·····	(111)
6.1.1 聚集度指标方法·····	(111)
6.1.2 种群空间分布的概率分布型·····	(116)
6.1.3 相关系数法·····	(125)
6.1.4 R 尺度法·····	(125)
6.1.5 格局纹理方法·····	(126)
6.2 马尾松种群分布格局的测定·····	(126)
6.2.1 聚集度测定·····	(127)

6.2.2 马尾松种群胸高断面面积分布格局的 Pearson-Ⅲ 型曲线拟合	(129)
6.2.3 格局纹理	(130)
第七章 马尾松人工林胸径分布特征	(132)
7.1 林木胸径分布研究概况	(132)
7.2 直径分布研究方法	(134)
7.2.1 Weibull 分布	(134)
7.2.2 正态分布	(135)
7.2.3 β 分布	(135)
7.2.4 Γ 分布	(135)
7.3 林分直径结构	(135)
7.3.1 不同年龄林分直径结构	(136)
7.3.2 30 年生不同密度马尾松林分结构	(137)
第八章 神经网络与马尾松人工林自疏规律	(140)
8.1 人工神经网络	(141)
8.1.1 神经网络概述	(141)
8.1.2 神经网络理论	(143)
8.1.3 基于人工神经网络的马尾松自疏模拟系统 (SSS)	(144)
8.2 人工神经网络理论在马尾松人工林自疏规律中的应用	(145)
8.2.1 人工神经网络在马尾松人工林自疏规律中的应用	(145)
8.2.2 人工神经网络与一维时间序列拓展方法在马尾松人工林自疏规律中的 应用	(147)
8.3 Pearson-Ⅲ 分布及其在马尾松人工林自疏中的应用	(149)
8.3.1 Pearson-Ⅲ 分布与指数分布	(149)
8.3.2 模型的建立	(150)
8.3.3 Pearson-Ⅲ 分布与指数分布的联合拟合	(151)
第九章 马尾松人工林种群竞争规律	(154)
9.1 竞争关系的定量测定方法	(156)
9.1.1 竞争指数的测定与筛选方法	(156)
9.1.2 竞争指标的测定及筛选	(156)
9.1.3 干扰指数与生长速度关系描述	(157)
9.2 马尾松种群竞争规律	(158)
9.2.1 马尾松种群竞争规律的竞争指数描述	(158)
9.2.2 马尾松竞争指标的测定	(159)
9.2.3 马尾松种群竞争规律的应用——生长数学模拟	(160)
9.2.4 马尾松种内竞争规律	(165)
9.3 马尾松人工林种内干扰规律	(166)
9.3.1 马尾松人工林干扰指数新模型	(166)
9.3.2 邻体干扰指数通用模型	(168)
第十章 马尾松人工林生物量	(174)

10.1 森林生物量测定的方法	(174)
10.1.1 净生产力的测定	(175)
10.1.2 总生产力的测定	(176)
10.2 森林生物量测定的步骤	(176)
10.3 能量生产的测定方法	(179)
10.3.1 含能产品的取样	(180)
10.3.2 含能产品热值的测定	(180)
10.4 马尾松1年生苗干物质生产、分配与器官生长关系	(183)
10.4.1 马尾松苗的净同化率	(183)
10.4.2 马尾松各器官生长的年变化	(183)
10.4.3 马尾松苗生长季中干物质的分配	(184)
10.5 马尾松幼林生物量模型	(184)
10.5.1 马尾松幼林的生物量分配规律	(185)
10.5.2 马尾松幼林树高、胸径和各器官生物量的相关性	(185)
10.5.3 马尾松幼林各器官生物量与胸径关系数学模式	(185)
10.5.4 马尾松幼林各器官生物量与树高、胸径相关数学模型	(186)
10.6 20年生马尾松林生物量	(186)
10.6.1 20年生马尾松林分生物量及分配	(186)
10.6.2 20年生马尾松林分的净生产量	(187)
10.6.3 20年生马尾松产量结构	(188)
10.6.4 20年生马尾松林分生物量模型	(189)
第十一章 马尾松人工林密度效应与立地效应	(192)
11.1 密度效应模型	(195)
11.1.1 密度效应倒数式	(195)
11.1.2 密度效应乘幂式	(196)
11.1.3 密度效应的抛物线式	(196)
11.1.4 直径(断面积)密度效应倒数式	(196)
11.1.5 $-3/2$ 幂定律	(196)
11.1.6 密度效应新模型	(197)
11.2 林业生产函数	(198)
11.2.1 资源最适宜投入水平	(198)
11.2.2 道格拉斯生产函数	(209)
11.3 马尾松人工林密度效应及经济评价	(213)
11.3.1 密度效应新模型 $V = aN^{\beta_1}H^{\beta_2}$	(213)
11.3.2 密度效应模型 $V = a_1H^{b_1} - a_2H^{b_2}N$	(214)
11.4 马尾松人工林立地效应	(216)
11.4.1 马尾松人工林地位指数曲线	(216)
11.4.2 马尾松人工林立地效应	(216)
11.5 马尾松人工林密度效应规律在密度控制中的应用	(216)

11.5.1 连续状态的动态规划方法	(216)
11.5.2 动态规划实例	(219)
第十二章 马尾松人工林密度控制图	(221)
12.1 密度控制图的编制方法	(222)
12.1.1 基础数据	(222)
12.1.2 等树高线	(224)
12.1.3 等直径线	(226)
12.1.4 最大密度线	(228)
12.1.5 等疏密度线	(229)
12.1.6 自然稀疏线	(230)
12.2 马尾松人工林密度控制图的编制	(231)
12.2.1 等树高线和等直径线数学模型的选择	(231)
12.2.2 等树高线的编制	(232)
12.2.3 等直径线的编制	(233)
12.2.4 最大密度线的编制	(233)
12.2.5 自然稀疏线的编制	(234)
12.2.6 等疏密度线的编制	(235)
12.3 马尾松人工林林分密度控制图的精度检验	(235)
12.4 林分密度控制图的应用	(236)
12.4.1 定量间伐	(236)
12.4.2 生长预测	(236)
12.4.3 资源清查	(237)
12.4.4 造林设计	(237)
第十三章 马尾松人工林资源管理模型及其应用	(239)
13.1 森林资源管理的 Logistic 模型	(240)
13.1.1 优势树种自然增长的数学模型	(240)
13.1.2 优势树种阻滞增长的数学模型	(240)
13.1.3 优势树种利用的阻滞增长模型	(241)
13.2 马尾松人工林资源管理的人工神经网络模型	(241)
13.2.1 马尾松人工林资源管理 BP 模型的建立	(242)
13.2.2 BP 模型与 Logistic 模型比较	(243)
13.3 模拟退火法与马尾松人工林管理的 Logistic 模型	(243)
13.3.1 模拟退火法	(244)
13.3.2 模拟退火算法优化马尾松人工林资源管理 Logistic 模型参数实例	(254)
13.3.3 Logistic 模型的应用	(254)
第十四章 马尾松人工林收获表的编制	(257)
14.1 均匀设计	(258)
14.1.1 试验设计与均匀设计	(258)
14.1.2 均匀设计表的构造	(260)

14.1.3 配方均匀设计.....	(263)
14.2 均匀设计在马尾松人工林收获建模中的应用.....	(265)
14.2.1 建模方法与步骤.....	(265)
14.2.2 模型的建立.....	(267)
14.2.3 模型的应用.....	(267)
14.3 马尾松人工林系统收获表编制.....	(268)
14.3.1 系统收获表的介绍.....	(268)
14.3.2 系统收获表的编制方法.....	(269)
14.3.3 使用方法及实施结果.....	(271)
第十五章 三次设计与马尾松人工林经营优化模式.....	(275)
15.1 三次设计方法.....	(276)
15.1.1 可计算性.....	(276)
15.1.2 三次设计.....	(277)
15.1.3 选择合用的正交表.....	(278)
15.1.4 位级的选取.....	(279)
15.1.5 计算机自动选取位级.....	(279)
15.2 三次设计在马尾松人工林优化经营中的应用.....	(280)
15.2.1 原理.....	(280)
15.2.2 三次设计最优控制实例.....	(282)
15.3 马尾松人工林经营的计算机控制技术.....	(283)
15.3.1 林木竞争模型建立.....	(283)
15.3.2 单木生长模型的建立.....	(284)
15.3.3 林分经营模型的建立.....	(285)
15.3.4 模型的检验.....	(287)
15.3.5 财务分析.....	(287)
15.3.6 决策支持模型设计与功能.....	(288)
15.3.7 模型应用.....	(288)
第十六章 马尾松纸浆材人工林高产优化控制技术.....	(292)
16.1 研究概况.....	(293)
16.2 研究区概况与资料的收集.....	(295)
16.3 马尾松纸浆材人工林立地控制.....	(295)
16.3.1 Sloboda 树高生长方程.....	(295)
16.3.2 马尾松纸浆材人工林 Sloboda 多形地位指数模型的遗传算法拟合.....	(296)
16.3.3 Sloboda 多形地位指数模型精度验证.....	(297)
16.3.4 Sloboda 多形地位指数模型与 Richards 多形地位指数曲线比较.....	(297)
16.3.5 讨论.....	(297)
16.4 马尾松纸浆材人工林自疏机制的人工神经网络研究.....	(298)
16.4.1 研究方法.....	(298)
16.4.2 结果与分析.....	(299)

16.4.3 讨论	(300)
16.5 马尾松纸浆材人工林合理经营度研究	(301)
16.5.1 研究方法	(301)
16.5.2 结果与分析	(301)
16.5.3 讨论	(302)
16.6 马尾松纸浆材人工林密度管理模型	(302)
16.6.1 离散阶段连续状态的动态规划	(303)
16.6.2 研究结果	(304)
16.6.3 讨论	(306)
16.7 马尾松纸浆材人工林经营过程密度优化控制	(306)
16.7.1 马尾松纸浆材人工林经营过程密度优化控制原理	(307)
16.7.2 马尾松纸浆材人工林经营的优化控制研究	(309)
16.7.3 讨论	(310)
16.8 结论	(310)
第十七章 马尾松人工林序列林价及其应用	(314)
17.1 人工用材林林价分析	(315)
17.1.1 人工用材林立木价值的构成和计量单位	(315)
17.1.2 立木价值的形成过程	(316)
17.1.3 林价构成因素分析	(317)
17.2 马尾松人工林序列林价	(318)
17.2.1 资料收集与整理	(319)
17.2.2 马尾松人工林序列林价计算方法	(320)
17.2.3 马尾松人工林序列林价表的编制	(321)
17.3 马尾松人工林序列林价的应用	(324)
17.3.1 马尾松人工林最优经济轮伐期的确定	(324)
17.3.2 在森林资源资产评估中的应用	(326)
17.3.3 在森林保险中的应用	(327)
17.4 讨论	(329)
第十八章 盈亏平衡分析在马尾松人工林低产林分改造决策中的应用	(331)
18.1 背景情况	(331)
18.2 盈亏平衡模型	(332)
18.3 盈亏平衡模型的应用	(333)
18.3.1 应用盈亏平衡模型	(333)
18.3.2 改变贴现率的影响	(333)
18.3.3 非正确决策的代价	(334)
18.4 盈亏平衡分析应用前景	(335)
第十九章 集对分析在马尾松苗木施肥决策中的应用	(336)
19.1 集对分析	(336)
19.1.1 集对分析的基本概念、思路、方法、特点及实质	(336)

19.1.2	联系度及其确定.....	(338)
19.1.3	联系度的初等数学运算.....	(340)
19.1.4	基于集对分析的几何建模与分析.....	(343)
19.2	多目标决策.....	(350)
19.3	用集对分析法建立效用函数的决策思路.....	(350)
19.4	应用举例.....	(351)

第一章 马尾松林经营状况

马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.) 是我国亚热带地区特有的乡土树种, 分布广泛, 适应性强, 生长迅速, 也是我国主要造林树种中分布最广的一种, 我国亚热带东南部湿润地区典型的针叶树代表种。

根据 1989~1993 年期间全国森林资源清查统计资料报告, 全国马尾松林面积 1434.43 万 hm^2 , 占全国用材林总面积 16.9%, 居针叶林分面积首位。全国马尾松林分蓄积为 43020.67 万 m^3 , 占全国用材林总蓄积 6.4%, 居针叶林第四位。马尾松木材物理力学性质的弯曲强度、弯曲弹性模量、顺纹压力、端面硬度四种指标都超过南方的杉木、北方的红松。马尾松木材广泛用于建筑、坑木、枕木、桥梁等。马尾松又是我国主要产松脂树种。马尾松松脂为原料生产的松香出口, 是我国大宗出口的林产品之一。马尾松纤维含量为 45.51%~61.92%, 纤维长度 4.4~6.5mm, 适宜于制造各种新闻和高级纸张^[1]。

马尾松林一般是地带性植被即常绿阔叶林砍伐后, 林地光照增强, 土壤干燥, 马尾松首先侵入, 逐渐演替为次生天然林。马尾松适应性强, 生长迅速, 天然更新及人工造林容易, 它在恢复森林生态系统中能起到引导作用。目前, 交通不便的地区, 采用模拟天然更新的方式进行飞播造林的飞播林; 为提高单位面积产量, 建立用材林基地进行大面积人工直播、植苗造林而形成的人工林, 其中为提高抗病虫害能力和增加土壤肥力也营造了部分与其他树种混交的马尾松人工混交林。

1.1 分布与生境

1.1.1 分布

马尾松的自然地理分布, 吴中伦曾有研究^[2], 其分布区横跨我国东部(湿润)亚热带的北、中、南三个亚带。地理位置为北纬 $21^{\circ}41'$ ~ $33^{\circ}56'$, 东经 $102^{\circ}10'$ ~ 122° , 南北纵跨 12° 以上, 东西横跨约 20° 。主要广泛分布于我国十五个省(自治区), 主产省(自治区)有浙江、福建、江西、湖北、湖南、四川、贵州、广西及广东。陕西、河南、江苏主要分布在其南部地区, 安徽分布在中、南部地区, 云南东南部的广南、富宁及台湾省北部低山、西北海岸有少量零星分布。

马尾松自然分布界线: 北界秦岭(南坡)、伏牛山、桐柏山、大别山、沿淮河到海滨一线, 即暖温带与北亚热带的交界线; 西界在四川盆地西缘二郎山、大相岭东坡, 向南大致沿青衣江到贵州赫章、六枝、沿北盘江到广西百色一线; 南界沿广西十万大山西端国境线上, 向东抵达雷州半岛(廉江等县)及东南沿海一带, 直至海南岛也有零星分布; 东界抵东海之滨, 台湾北部^[3]。

马尾松的垂直分布, 在分布区内分布上限由东向西, 随地势升高而逐渐抬高。西部的四川二郎山等地海拔 1500~1600m, 至贵州中部山地下降到 1300m 以下, 到贵州与湘西毗邻的

山区降至 1000m 以下,再向东达浙江天目山、福建武夷山则降为 800~900m 以下。在南岭山地其分布上限可达海拔 1500m,但自此向北向南又逐渐降低,北部安徽黄山在 700m 以下,大别山 600m 以下,河南桐柏山、伏牛山,陕西南部秦岭、大巴山都分布在 800m 以下;向南到广西十万大山、六万大山均在 800m 以下,广东低山、丘陵台地皆在 800~1000m 以下。

马尾松既是一个分布广阔的树种,亦是一个有严格水平、垂直分界线的树种。有人认为“中亚热带的长江流域可能是马尾松的发源和分布中心”,有的研究还表明,马尾松的生产力随着纬度降低而提高。目前我国材积年生长量 $15\text{m}^3/\text{hm}^2$ 以上的高产林分大多集中在亚热带山地垂直地带,如广西宁明、凭祥、十万大山等,其中生产力最高的林分,其材积年生长量 $35.6\text{m}^3/\text{hm}^2$ ^[4]。

1.1.2 生 境

马尾松尽管分布面积广、适应性强、生境变幅大,但从适生条件分析,对生境又有一定要求。马尾松分布区年平均气温 $13\sim 22^\circ\text{C}$,1 月平均气温 $-1.1\sim -14.1^\circ\text{C}$,7 月平均气温 $25.7\sim 29.3^\circ\text{C}$, $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温 $4000\sim 8000^\circ\text{C}$,极端最低温度 -20°C ,极端最高温度 42.5°C 。年平均降水量 $600\sim 2100\text{mm}$,降雨分配不均,旱季 1~4 个月到 6~7 个月。日照时数为 $960\sim 2062\text{h}$ 。年生育期 $250\sim 300\text{d}$ 以上。马尾松分布区气候因素变幅很大,马尾松林生产力较高的地区,年平均气温都在 16°C 以上,降水量 1000mm 以上,降雨分配比较均匀,日照时数 1300h 以上,年生育期 280d 以上。

马尾松分布区地层发育完备,从最老的震旦、寒武纪,直到最新的第四纪松散堆积物上,都有马尾松的踪迹。因此,分布区的母岩齐全。从岩石生态角度分析,一般以风化较易、较深,发育土壤质地较轻,通透性较强,矿物养分丰富的岩石如花岗岩类、变质岩的板岩以及砂岩、砂页岩类等适宜马尾松生长。马尾松分布区内的地貌类型,除部分中山外,主要是低山、丘陵(深丘、浅丘)和台地,以及部分河漫滩上缘。目前,生产力较高的林分主要分布在 $400\sim 500\text{m}$ 的低山地区及部分低中山地区。因此,从山地类型组合看,以变质板岩、花岗岩、长石石英砂岩的低山马尾松林生产力高;泥质页岩,老粘土及石英砂岩的低山马尾松林生长较差,生产力较低。

马尾松对土壤适应性很强,其分布区内除碱性紫色土、碱性石灰土外,各种酸性砖红壤、赤红壤、红壤、黄红壤、黄壤、黄棕壤、酸性紫色土及淋溶性石灰土均适宜马尾松生长。由于其根部常有共生的外生菌根,可促进根部吸收养料。马尾松能在瘠薄地、冲刷地、岩石裸露地,以及在禾草类覆盖度较低的红土上,以先锋森林群落出现。

虽然马尾松林能在不同土壤条件下生长,但深厚的土壤仍是马尾松良好生长的重要因素,而且林地土壤肥力的高低对马尾松生长好坏也有很大影响。马尾松对氮、磷、钾的要求,一般以氮素为主,磷、钾次之。土层深厚、疏松、有机质丰富、水分适宜等因素是马尾松适生条件。

马尾松分布区十分广阔,生境变异幅度很大。马尾松可分为三个变种,即:①雅加松(*Pinus massoniana* var. *hainanensis*)产于海南雅加大岭;②岭南马尾松(*Pinus massoniana* var. *lingnanaensis*)产于广东、广西南部亚热带地区,为一地理变种,特点是一年生长两轮;③黄鳞松(*Pinus massoniana* var. *huanglinsong*)产于广东高州^[3]。

俞新妥根据马尾松种源试验结果将马尾松分为 4 种生态地理类型,①北亚热带地理类型

1 年生育期较短 (250~260d), 一年抽一次梢, 林木生长量较小; ②中亚热带地理类型 1 年生育期 270~290d, 一年一般抽一次梢 (幼林可抽二次), 林木生长量中等; ③南亚热带 (广西、广东) 地理类型——年生育期超过 300d, 一年抽梢二至三次, 林木生长快、生长量大; ④四川盆地丘陵类型, 此类型基本上属于中亚热带地理类型。

1.1.3 马尾松产区区划

马尾松产区可分为三个带、六个区^[6], 主要根据影响马尾松分布与生长的热量条件的纬度地带性分异, 并参考其他气候因子、土壤、植被等区划, 以及马尾松的实际分布、生长、森林类型和生产力而综合分析来区划带。区的划分, 主要是根据大地貌的不同、水湿、气候条件的差异等而引起带内马尾松分布及生长的差异以及实际分布、森林类型、生长及生产力的不同。

马尾松北带相当于植被分区的北亚热带常绿落叶阔叶林混交地带, 为马尾松分布的北缘。北界自秦岭南坡海拔 1000m 以下, 向东经伏牛山南坡、桐柏山、大别山北坡, 经淮河到宁镇丘陵, 沿长江至海边; 南界至大巴山南坡以北、巫山北坡、大别山南坡、经黄山北坡、天目山至杭州一线; 西界为陕西勉县、宁强至四川青山、平武一线。

该带大部分地区, 年平均气温 15℃左右, 1 月平均气温 0.5~3.5℃, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 4500~5200℃, 生长期 200~250d, 年降水量 800~1300mm。冬季温度较低, 生长期较短、热量条件较差, 是马尾松生长的限制因子。由于气候和生长的差异, 大致以桐柏山为界, 划分为北带西区 and 北带东区。一般东区年降水量大于西区, 积温和夏温较高, 但年差较大; 西区积温和冬温较低, 年差较小。马尾松在东区生长稍高于西区。

马尾松中带相当于植被分区的中亚热带常绿阔叶林地带。北界即马尾松北带的南界; 南界自黔桂边界红水河向东, 经桂北沿南岭南麓, 再经粤北、闽中, 至福建福州一线; 西界自四川平武向南、经灌县、大相岭、小相岭, 再经滇东北隅、黔西北顺北盘江, 至黔桂边界红水河一线; 东界为东海海岸。该带气候温暖湿润, 年平均气温 16~18℃, 1 月平均气温 3.5~10℃, 极端最低气温 -10℃以上, 马尾松无冻害, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 4500~6000℃, 生长期 230~320d, 年降水量 1000~1700mm。该带马尾松一般生长良好, 平均年生长量 7.5~9.0m³/hm²。该带范围较大, 地貌类型复杂, 东西和南北之间气候有较大差异, 马尾松分布和生长情况各异。根据东西地势变化, 根据气候的不同及马尾松的生长状况, 一般以湘西武陵山、雪峰山, 折向黔东南一线为界, 分为马尾松中带西区和马尾松中带东区, 西区的贵州山原和四川盆地再分为两个亚区。

由于该带南北跨纬度约 7°, 南北热量条件有较大差异, 马尾松生长也有差异。在植被区划中, 该带划为南、北两个亚地带, 其分界线大致西起峨眉山西侧, 向东沿四川盆地南缘, 至川鄂边界折向东南, 沿贵州高原东缘, 再折向东, 沿南岭北麓, 大致北纬 27°分界, 至闽东到海岸。

马尾松南带包括相当于植被分带的南亚热带季风常绿阔叶林带和北热带半常绿季雨林、湿润雨林地带。该带北界与马尾松中带相接; 南界至粤桂沿海、雷州半岛北端、台湾中部一线; 西界为广西天峨、田林、云南富宁一线, 即马尾松和云南松的分界线。该带包括广西、广东的中部以南地区、闽南的部分及台湾的北部。该带为热带季风型气候, 高温多雨, 有明显的干湿季之分, 北热带尤甚。年平均气温 19~22℃, 1 月平均气温 10~15℃, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 6000~8000℃, 偶有霜冻, 到该带南部几乎全年生长, 年降水量 1500~2000mm。