

文章编号: 1001-1498(2010) 01-0013-05

马尾松人工同龄纯林自然稀疏规律研究

谌红辉^{1,2}, 方升佐¹, 丁贵杰^{3*}, 许基煌², 温恒辉²

(1. 南京林业大学森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037; 2. 中国林业科学研究院热带林业实验中心, 广西 凭祥 532600; 3. 贵州大学林学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 通过对马尾松 4 ~ 20 年生不同密度的人工同龄纯林生长资料的分析表明: 第 1 次树高生长分化高峰期在 4 ~ 7 年生, 第 2 次在 11 ~ 14 年生, 幼林郁闭后林木直径分化状态比较稳定。中幼林期抚育间伐主要采伐劣等木, 进入近熟林期后除采伐劣等木外, 还可采伐一部分中等木。间伐施工应以留优去劣为主, 适当照顾均匀。总稀疏强度与密度呈正相关性, 出现稀疏的时间随密度增大而提前; 连年稀疏强度高峰期出现在林分郁闭后的一段时间内。根据总稀疏强度与稀疏时间同密度的关系可确定不同密度林分的间伐强度与时间。利用马尾松人工林观测资料拟合出与立地条件、现存株数密度、林龄三因子相关的自然稀疏模型, 从而可推算出不同立地条件的自然稀疏表, 为马尾松人工林密度调控提供科学依据。

关键词: 马尾松; 人工同龄纯林; 自然稀疏; 间伐

中图分类号: S791.248

文献标识码: A

Study on the Natural Thinning of Even-aged Pure Masson Pine Plantation

CHEN Hong-hui^{1,2}, FANG Sheng-zuo¹, DING Gui-jie³, XU Ji-huang², WEN Heng-hui²

(1. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 2. The Experimental Centre of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang 532600, Guangxi, China; 3. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China)

Abstract: Based on the growth analysis of 4—20 year-old *Pinus massoniana* even-aged pure plantations, it showed that the first tree height growth differentiation peak appeared during the 4—7 year, the second peak appeared during the 11—14 year, and the diameter differentiation became stable after the young plantation close. In junior and middle aged plantation, the tending focused on cutting inferior trees, but part of intermediate tree could also be cut for near-mature plantation. Thinning should retain the dominant trees while properly keep the homogeneous density. The natural thinning density was positive correlated to the stand density. The denser the density, the early the thinning, and the heavier the natural thinning. The peak period of successive annual natural thinning intensity emerged soon after the stand closed. The self-thinning intensity and time for stands with different density could be determined by the relationship between thinning intensity and time. According to the observation data, the natural thinning model related to site condition, existing tree number and stand age could be fitted, from which the natural thinning table for different site conditions could be calculated.

Key words: *Pinus massoniana*; even-aged pure plantation; natural thinning; thinning

收稿日期: 2009-07-25

基金项目: 国家“十一五”林业科技支撑计划“马尾松大径材与高产脂林培育关键技术研究及示范”专题广西子专题(2006BAD24B0301-3)与贵州优秀人才基金课题“马尾松优质工业用材林持续稳定发展的机理及技术研究”(黔科合人字20009802)的部分内容

作者简介: 谌红辉(1968—), 男, 湖南安化人, 高级工程师, 南京林业大学在读博士, 主要从事人工林培育技术研究。

* 通讯作者

密度是影响人工林生产力的三大主要因子(良种、立地与密度)之一,也是最易人工控制的因素。密度调控的目的是加速林木生长,改善森林卫生状况,提高林木质量,从而提高林分的经济效益与生态效益,其理论基础是基于林分不同生长发育时期的不同特点、林分的分化与自然稀疏规律、密度与林分生长的关系等方面的内容。密度控制是否合理,关系到林分结构与生产力,从而直接影响培育目标及经济效益。因此,许多学者对不同树种人工林的密度效应与自然稀疏规律进行过研究^[1-14],但许多研究材料均来自临时样地,缺乏时间上的连续性,取之以空间代替时间的研究方法,使许多结论与相关数学模型出现与实际林分生长不符的现象。为了探明马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)人工同龄纯林的自然稀疏规律,为马尾松人工林的经营提供科学的密度控制技术资料,作者采用对固定标准地连续定位观测的方法,先后对不同初植密度与不同间伐保存密度的试验林进行了长达 12 年的观测,对马尾松人工同龄纯林的自然稀疏规律进行了总结分析。根据林分密度与时间的相关性拟合出了精度较高的自然稀疏模型,并采用聚类分析的方法对马尾松人工同龄纯林生长过程中林木个体分化规律进行了定量的分析。利用该研究成果,可为马尾松人工林的密度调控提供科学的技术指导。

1 试验材料与方法

1.1 试验地概况

试验林设在广西凭祥市中国林业科学研究院热带林业实验中心大青山林区,大青山属十万大山西端余脉(106°43'E, 22°06'N),海拔 150 ~ 1 200 m,以低山地形为主,年均气温 21.7℃,降水量 1 856 mm,属南亚热带季风气候区,土壤主要为花岗岩发

育成的红壤,间有部分石灰岩土、酸性紫色土和冲积土,土层厚 100 cm,马尾松主要分布在海拔 300 ~ 800 m 地段,立地指数 16 ~ 22 为主。

1.2 试验材料及试验设置

1.2.1 13 年生马尾松造林密度试验林 1989 年在广西凭祥市热带林业实验中心林区设置初植密度分别为:A 1 667 株·hm⁻²、B 3 333 株·hm⁻²、C 5 000 株·hm⁻²、D 6 667 株·hm⁻² 4 种处理,4 次重复,共 16 个试验小区,每小区面积为 600 m²,共 11 年观测资料。

1.2.2 20 年生前伐试验林 设置于广西凭祥市热带林业实验中心林区,该林区 1983 年春造林,初植密度为 4 500 株·hm⁻²。1991 年春(8 年生)设置不同间伐强度的试验,分强度、中度、弱度、对照 4 种间伐处理,保存密度分别为:A₁ 1 200 株·hm⁻²、B₁ 2 000 株·hm⁻²、C₁ 2 800 株·hm⁻²、D₁ 3 500 株·hm⁻²,6 次重复,共 24 个试验小区,每小区面积为 600 m²,共 12 年的观测资料。

1.2.3 其它试验数据材料 马尾松人工林其它固定样地多年连续观测资料及专题成果的其他综合材料。

1.3 研究方法

1.3.1 马尾松人工同龄纯林中林木个体生长分化的动态变化 对造林密度试验中效果表现较好的 B 处理(4 ~ 10 年生材料)与间伐试验中对照处理 D₁(11 ~ 17 年生材料)的林木个体的每木逐年调查材料进行统计分析,将林木个体按树高为第一聚类参考指标,胸径为第二聚类参考指标,用类间平方和爬山法进行逐步聚类^[15],将林木个体分成劣等木、中等木、优势木 3 类,分别用数字 1、2、3 表示,按树高与胸径生长变化分别定期统计分析一次林木个体等级的动态变化状况,统计结果见表 1。

表 1 林木个体生长动态变化统计

项目	林龄/a (A1 ~ A2)	株数变化率/%						定期生长量/(cm, m)		
		N12	N13	N23	N21	N31	N32	X1	X2	X3
树高	4 ~ 7	30.1	0.0	28.1	16.1	2.3	31.3	2.7	3.1	3.2
	7 ~ 10	29.2	0.0	17.2	12.3	0.0	32.1	2.1	2.8	3.0
	11 ~ 14	44.3	8.2	49.1	13.2	0.0	3.4	0.9	1.2	1.2
	15 ~ 17	29.1	3.2	15.3	20.5	0.0	20.3	0.6	0.9	1.4
胸径	4 ~ 7	20.1	1.5	16.1	10.1	1.5	26.3	3.2	5.3	6.8
	7 ~ 10	7.2	1.7	9.7	8.3	0.0	15.4	0.9	2.0	3.6
	11 ~ 14	4.1	0.0	4.5	6.2	0.0	10.7	0.8	1.4	2.2
	15 ~ 17	10.4	0.0	6.3	5.1	0.0	12.8	0.3	0.9	2.0

注:A1 ~ A2 表示生长期, N12 表示林分下层劣等木向中等木层移动的株数率, N13 表示劣等木层向优势木层移动的株数率, N21 表示中等木层向劣等木层移动的株数率, N23 表示中等木层向优势木层移动的株数率, N31 表示优势木层向劣等木层移动的株数率, N32 表示优势木层向中等木层移动的株数率; X1 表示劣等木定期生长量, X2 表示中等木定期生长量, X3 表示优势木定期生长量。

1.3.2 自然稀疏规律及自然稀疏模型的研究 依据 13 年生造林密度试验林的观测材料、20 年生不同间伐保存密度试验林的观测材料及其它试验样地的多年观测材料, 对不同初植密度的幼龄林及进入中龄期后不同间伐保存密度的林分自然稀疏规律进行研究, 总结不同密度的人工林自然稀疏规律。选择林分现存密度、立地条件、林龄作为主要因子, 借鉴 Clutter 等^[16] 在研究林分株数随时间变化时采用的数学模型 $N_2 = [N_1 - \alpha \cdot (T_1 + 1) \cdot (T_2^{(t+1)} - T_1^{(t+1)})]^{(t-1)}$ (式中: N_2 、 N_1 为林木株数, T_2 、 T_1 为林龄, α 、 β 为参数), 建立自然稀疏模型。

2 结果与分析

2.1 自然稀疏过程中林木个体生长动态变化过程分析

林分密度调节的核心是自然稀疏, 即不断减少林木株数, 调节生长与繁殖^[3]。林分郁闭后由于个体间产生空间与资源的竞争, 在生长发育过程中会产生林木个体分化, 从而出现自然稀疏。

2.1.1 林木个体生长过程中树高生长分化的动态变化 由表 1 资料分析可知: 树高分化主要表现在幼林期的 4 ~ 7 年生阶段与中龄林期的 11 ~ 14 年生阶段。不同林龄阶段, 林冠下层的劣等木有一定的比率进入中等木冠层, 在 11 ~ 14 年生表现最大, 达 44.3%, 但进入上冠层成为优势木的机率较小, 最高仅为 8.2%。随着时间的推移, 中等木中有少部分下降为被压木, 一部分上升为优势木, 上升比率在 11 ~ 14 年生时最大, 达 49.1%。说明马尾松人工林进入速生阶段的中龄期后, 林分群体中、下冠层的林木个体为争夺生存资源, 竞争十分激烈。优势木在生长过程中退化为被压木的机率几乎为 0, 退居中层木的机率幼林期 (4 ~ 7、7 ~ 10 年生) 为 30% 左右, 进入中龄期后的 11 ~ 14 年生较稳定, 15 ~ 17 年生时只达 20.3%。

综合树高生长动态变化与定期生长量分析可知: 树高生长竞争高峰第 1 次在幼林期的 4 ~ 7 年生, 第 2 次在中龄林期 11 ~ 14 年生阶段。可见, 在营林工作中, 幼林期清理被压木是可行的, 即可淘汰劣等基因, 又节省生存空间资源; 进入中龄林期后, 第 1 次间伐强度不宜太大, 以免损失一部分优良基因; 进入近熟林期后, 林木个体已充分分化, 林分生长稳定, 可按间伐强度采伐劣等木和一部分中等木。

2.1.2 林木个体生长过程中胸径生长分化的动态变化 对表 1 中胸径生长变化机率分析可知: 胸径分化后变动的机率非常小, 比较稳定。除幼林期 4 ~ 7 年生变化稍大一点外, 7 年生以后都比较稳定, 林冠下层的劣等木进入中等木冠层的比率均小于 10.4%, 因此在间伐时采伐小径级木是可行的。

2.2 林分密度对自然稀疏的影响

通过对不同密度试验林自然稀疏状况统计分析可知: 不同密度级林分所表现出来的稀疏时间与强度有所不同, 高密度的林分自然稀疏时间早, 自然稀疏强度大。

由表 2 造林密度试验林自然稀疏材料可知: 同一密度级的总自然稀疏强度随林龄增大而增大, 林龄相同时, 总自然稀疏强度随密度增大而增大; 11 年生时, A、B、C、D 4 种造林密度处理总稀疏强度分别为 5.2%、13.2%、25.5%、26.1%, 林分保存密度分别为 A 1580 株 · hm⁻²、B 2893 株 · hm⁻²、C 3725 株 · hm⁻²、D 4927 株 · hm⁻²。

对连年稀疏强度分析可知: 林分郁闭后一定时期内连年稀疏强度呈上升趋势, 达到一定峰值后开始下降, 大规模稀疏阶段通常是自然稀疏刚刚开始的一段时间内, 这一规律与其他学者的结论类似^[14]。低造林密度的 A、B 处理 11 年生时尚未出现明显的稀疏高峰, 高造林密度的 C、D 处理稀疏高峰出现在 8 年生左右。这主要是由于此时马尾松个体正进入生长速生时期, 个体对营养空间的需要急剧增加, 加之此时高密度处理的林分种群密度较大, 因此, 加剧了种群的自然稀疏, 使高密度处理林分种群个体间的竞争在此时表现最强烈, 而达到最大的淘汰率。此后, 由于各处理的林木树冠生长竞争减缓, 趋于稳定, 可基本充分利用营养空间, 因此, 以后的自然稀疏率降低。

表 2 不同造林密度对自然稀疏的影响

林龄/a	总稀疏强度/%				连年稀疏强度/%			
	A	B	C	D	A	B	C	D
6	0.0	1.0	2.2	3.2	0.0	1.2	2.2	3.2
7	0.0	3.3	5.3	6.1	0.0	2.3	3.1	3.3
8	0.0	6.2	12.4	12.3	0.0	3.2	7.2	7.5
9	2.1	7.1	17.1	18.4	2.2	2.1	6.0	7.3
10	4.3	11.0	21.2	23.2	2.3	4.0	5.3	6.2
11	5.2	13.2	25.5	26.1	1.5	3.2	4.2	3.1

对进入中龄林期不同间伐密度处理的自然稀疏情况统计分析(表 3)可知: 同一密度级随林龄增长, 连年自然稀疏率逐步上升, 出现一个峰值后开始下

降,这一特点与造林密度试验幼林期表现相似。不同处理出现的稀疏时间有所不同,即随密度减小而推迟。 B_1 、 C_1 、 D_1 3 种间伐保存密度的自然稀疏起始期分别出现在 13、12、12 年生, A_1 间伐保存密度 16 年生时才出现稀疏现象。除低间伐保存密度 A_1 外, B_1 、 C_1 、 D_1 3 种间伐保存密度出现稀疏峰值的时间基本接近,分别出现在 16、16、17 年生(18、19 年生没统计,可从 20 年生 3 年累计的定期稀疏强度得知),连年稀疏强度分别为 4.5%、6.4%、9.5%。因此,依据稀疏高峰期可确定间伐时间。

从总稀疏强度看出:总稀疏强度基本与密度呈正相关性, A_1 、 B_1 、 C_1 、 D_1 4 种间伐保存密度 20 年生时总稀疏强度分别为 7.1%、20.7%、32.5%、37.3%,保存密度分别为 A_1 1 116 株· hm^{-2} 、 B_1 1 586 株· hm^{-2} 、 C_1 1 890 株· hm^{-2} 、 D_1 2 194 株· hm^{-2} 。

表 3 不同间伐保存密度对自然稀疏的影响

林龄/a	总稀疏强度/%				连年稀疏强度/%			
	A_1	B_1	C_1	D_1	A_1	B_1	C_1	D_1
12	0.0	0.0	0.6	1.5	0.0	0.0	0.6	1.5
13	0.0	0.8	3.6	4.8	0.0	0.8	1.8	3.0
14	0.0	7.4	7.7	7.2	0.0	2.5	1.8	2.5
15	0.0	9.9	10.1	11.0	0.0	2.6	2.5	4.1
16	1.5	14.1	16.0	17.2	1.5	4.5	6.4	7.1
17	1.5	15.7	20.1	24.9	0.0	1.9	4.8	9.5
20	7.1	20.7	32.5	37.3	5.9	10.4	18.0	17.2

注:20 年生连年稀疏强度为 18~20 年的 3 年累计值。

综合以上林木生长分化与自然稀疏规律可知:马尾松人工林的林木个体分化与自然稀疏高峰期主要出现在幼林郁闭后的一段时期内及进入中龄林速生期后的一段时期内,总稀疏强度与密度呈正相关。因此,在营林工作中,当幼林郁闭后及进入中龄林速生期后应及时进行抚育采伐,间伐小径级被压木及部分中等木。间伐原则以留优去劣为主,适当照顾

均匀。

2.3 自然稀疏模型的研究

Clutter 等^[16] 在研究林分株数随时间变化时采用的微分方程与其积分方程如下:

$$\frac{dN/dT}{N} = \dots \cdot T \cdot N \quad (1)$$

$$N_2 = [N_1^{C_0} - \dots \cdot (C_1 + 1) \cdot (T_2^{C_3} - T_1^{C_3})]^{1/C_0} \quad (2)$$

式(2)中: T_1 、 T_2 为林龄, N_1 、 N_2 分别为林龄 T_1 、 T_2 时每公顷的林木株数, \dots 、 \dots 为参数。

国内学者引用后认为该数学模型拟合精度较高,且具有较好的生物学意义^[1,4]。因此,本文借鉴 Clutter 等^[16] 对湿地松建立枯损函数的方法,并加以改善。研究表明:枯损不仅与现存株数(N)及林龄(A)有关,而且与立地条件也有关,因此应将立地因素引入微分方程。因为林分优势高(H)是立地指数(SI)、林龄(A)的函数,所以可通过引入变量 $T = A \cdot H^k$ 来替代原微分方程中的变量 T ,得如下方程:

$$N_2 = [N_1^{C_0} + C_1 (A_1^{C_2} \cdot H_1^{C_3} - A_2^{C_2} \cdot H_2^{C_3})]^{1/C_0} \quad (3)$$

式(3)中: $C_0 = \dots$, $C_1 = \dots \cdot (C_1 + 1)$, $C_2 = (C_2 + 1)$, $C_3 = k \cdot (C_3 + 1)$, H_1 、 H_2 为林龄 A_1 、 A_2 时的优势高。

用马尾松有关材料拟合方程后,求得如下参数;

$$C_0 = -0.8067, C_1 = -8.0565 \text{ E} - 07,$$

$$C_2 = 1.5632, C_3 = 0.8588$$

其中:相关系数 $r=0.9956$, 样本数 $n=319$

自然稀疏模型经过 F 检验与适用性检验,均符合统计要求。

按建立的自然稀疏模型(3)拟合出 20 指数级马尾松自然稀疏表(表 4)。

表 4 马尾松人工林自然稀疏表(20 指数级)

造林密度 / (株· hm^{-2})	林龄/a												
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
1 500	1 474	1 433	1 377	1 310	1 234	1 154	1 072	991	913	839	771	708	650
2 000	1 956	1 888	1 797	1 689	1 571	1 448	1 326	1 209	1 098	997	904	821	746
2 500	2 435	2 334	2 202	2 048	1 882	1 714	1 550	1 396	1 254	1 126	1 012	911	822
3 000	2 910	2 771	2 592	2 387	2 171	1 955	1 749	1 559	1 388	1 236	1 101	984	882
3 500	3 381	3 200	2 970	2 710	2 440	2 176	1 929	1 704	1 504	1 329	1 177	1 045	932
4 000	3 849	3 622	3 336	3 018	2 693	2 380	2 091	1 833	1 606	1 410	1 242	1 098	974
4 500	4 314	4 036	3 691	3 312	2 930	2 568	2 239	1 949	1 697	1 482	1 298	1 143	1 011
5 000	4 776	4 443	4 035	3 593	3 154	2 743	2 375	2 054	1 779	1 545	1 348	1 182	1 042
5 500	5 234	4 844	4 370	3 863	3 365	2 906	2 500	2 150	1 852	1 602	1 392	1 217	1 070
6 000	5 690	5 238	4 695	4 121	3 566	3 059	2 616	2 237	1 919	1 653	1 432	1 248	1 094

3 结论

(1) 通过对马尾松人工同龄纯林 4 ~ 17 年生的林木个体生长分化的动态变化研究可知: 树高生长分化高峰期第 1 次在 4 ~ 7 年生, 第 2 次在 11 ~ 14 年生, 在幼林郁闭后径级结构比较稳定。中幼林期间抚育采伐时, 选伐被压木与小径级木, 进入近熟林期后可按间伐强度采伐劣等木和一部分中等木; 间伐应以留优去劣为主, 适当照顾均匀。

(2) 经对 4 ~ 20 年生不同密度的马尾松试验林的自然稀疏观测分析表明: 连年稀疏强度高峰期出现在林分郁闭后的一段时间内; 总稀疏强度与密度呈正相关, 出现稀疏的时间随密度增加而提前; 根据总稀疏强度与稀疏时间同密度的关系可确定不同密度林分的间伐强度与间伐时间。

(3) 借鉴 Clutter 等^[16]对湿地松建立枯损函数的方法, 并加以改善, 建立了自然稀疏数学模型 $N_2 = [N^{C_0} + G(A^{C_2} \cdot H_1^{C_3} - A_2^{C_2} \cdot H_2^{C_3})]^{1/C_0}$ 。因枯损不仅与现存株数(N)及林龄(A)有关, 而且与立地条件也有关, 该模型将 3 种影响因子引入, 能较好地模拟林分的自然稀疏过程, 建模所需数据株数(N)、林龄(A)及优势高(H)均易从现实林分获得, 便于实际运用预测林分生长趋势。国内学者引用后反映拟合精度较高, 并且符合生物学规律。本文利用马尾松人工林统计资料拟合出与立地条件、现存株数密度、林龄三因子相关的自然稀疏模型, 从而可推算出不同立地条件的自然稀疏表, 为马尾松人工林密度调控提供科学依据。

参考文献:

- [1] 丁贵杰. 马尾松人工林生长收获模型系统的研究[J]. 林业科学, 1997, 33 (Sp. 1): 57 - 66
- [2] 黄家荣. 人工用材林最优密度控制模型[J]. 浙江林学院学报, 2001, 18(1): 36 - 40
- [3] 李景文, 王义文, 赵惠勋, 等. 森林生态学(第 2 版) [M]. 北京: 中国林业出版社, 1994: 121 - 125
- [4] 惠刚盈, 盛炜彤. 我国杉木人工林生长与收获模型系统的研究[J]. 世界林业研究, 1996, 9(专集): 32 - 53
- [5] 苏培正. 木荷纯林不同抚育间伐强度对比试验[J]. 湖北林业科技, 2005(2): 22 - 24
- [6] 童书振, 盛炜彤, 张建国. 杉木林分密度效应研究[J]. 林业科学研究, 2002, 15(1): 66 - 75
- [7] 唐守正. 同龄纯林自然稀疏规律的研究[J]. 林业科学, 1993, 29(3): 234 - 241
- [8] 薛立, 荻原秋男. 纯林自然稀疏研究综述[J]. 生态学报, 2001, 21(5): 834 - 838
- [9] 曾德慧, 姜凤岐, 范志平, 等. 沙地樟子松人工林自然稀疏规律[J]. 生态学报, 2000, 20(2): 235 - 242
- [10] 张春锋, 殷鸣放, 孔祥文, 等. 不同间伐强度对人工阔叶红松林生长的影响[J]. 辽宁林业科技, 2007(1): 12 - 15
- [11] 张金文. 巨尾桉大径材间伐试验研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21(4): 464 - 468
- [12] 张水松, 陈长发, 吴克选, 等. 杉木林间伐强度试验 20 年生长效应的研究[J]. 林业科学, 2005, 41(5): 56 - 65
- [13] 张彩琴, 郝敦元, 李海平. 人工林林分密度最优控制策略的数学模型[J]. 东北林业大学学报, 2006, 34(2): 24 - 27
- [14] 张大勇, 赵松龄. 森林自疏过程中密度变化规律的研究[J]. 林业科学, 1985, 2(4): 369 - 373
- [15] 唐守正. 多元统计分析 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1986
- [16] Clutter J L, Jones E P. Prediction of Growth after Thinning in Old Field Slash Pine Plantation. [R]. USDA For Serv Res Paper, 1980: SE - 217