

文章编号: 1001-1498(2007)03-0344-06

# 马尾松飞播林生物量与生产力的变化规律与结构特征

漆良华<sup>1</sup>, 张旭东<sup>1\*</sup>, 周金星<sup>1</sup>, 李志辉<sup>2</sup>, 黄玲玲<sup>1</sup>, 杨模华<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;

2. 中南林业科技大学资源与环境学院, 湖南 长沙 410004)

**摘要:**以湖南省马尾松飞播林 176 块样地资料为基础, 通过立地条件、林分年龄、林分密度的分级组合, 对马尾松飞播林单株和林分生物量、生物量结构特征与林分生产力进行了研究。结果表明: 马尾松单株生物量最大为 181.12 kg, 最小为 15.73 kg; 马尾松林分生物量最大为 84.49 t·hm<sup>-2</sup>, 最小为 8.85 t·hm<sup>-2</sup>; 单株和林分生物量最大者分别是最小者的 11.5 倍和 9.5 倍, 单株生物量的变化幅度较林分大; 单株和林分各组合的生物量排序为树干 > 树根 > 树枝 > 树皮 > 树叶; 不同年龄、不同立地、不同林分密度马尾松飞播林净生产力差异显著, 最大者比最小者高出 5.52 t·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>, 是它的 19.4 倍; 研究结果可为马尾松飞播林的综合经营与管理提供科学依据。

**关键词:** 马尾松; 飞播林; 生物量; 生产力; 结构特征

中图分类号: S791.248

文献标识码: A

## Changing Regularities and Structural Characteristics of the Biomass and Productivity of Aerially Seeded *Pinus massoniana* Plantation

QI Liang-hua<sup>1</sup>, ZHANG Xu-dong<sup>1</sup>, ZHOU Jin-xing<sup>1</sup>, LI Zhi-hui<sup>2</sup>, HUANG Ling-ling<sup>1</sup>, YANG Mo-hua<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Forestry, CAF; Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China;

2. School of Resources and Environment, Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, Hunan, China)

**Abstract:** Through classifying and combining of site condition, forest age and density, the single-tree biomass, forest biomass, structural characteristics and productivity of aerially seeded *Pinus massoniana* plantations in Hunan province were studied based on 176 standard plots' data. The results are as follows. The biggest biomass values of single-tree or stands were 181.12 kg and 84.49 t·hm<sup>-2</sup> respectively, and the smallest ones were 15.73 kg and 8.85 t·hm<sup>-2</sup>, and the biggest were 11.5 times and 9.5 times as much as that of the lowest, so it could be seen that the biomass of single-tree had a more wide changing extent than stands'. For every combination type, the biomass of single-tree or stands all showed the regularity of trunk > root > branch > bark > leaf. In different site indexes and stand densities, the net productivity had extraordinary difference for different ages so that the biggest was 19.4 times as much as that of the lowest, exceeding 5.52 t·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>. These results could offer some scientific basis for comprehensively supervising and managing of aerially seeded *Pinus massoniana* plantations.

**Key words:** *Pinus massoniana*; aerially seeded plantation; biomass; productivity; structural characteristics

马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.) 是我国分布最广的乡土树种, 南北纵跨纬度 12°, 东西横贯经度

20°, 分布 14 个省区, 面积达 200 万 km<sup>2</sup>, 因其具有飞籽成林的特性, 曾是我国南方地区飞播造林的主要

收稿日期: 2005-11-15

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目“长江中下游低山丘陵区退化土地植被恢复技术试验示范”

作者简介: 漆良华 (1976—), 男, 湖北潜江人, 博士生, 主要从事人工林定向培育及林业生态工程等方面的研究。

\*通讯作者: 张旭东, 博士, 研究员。

树种<sup>[1]</sup>。20世纪60年代初期至今,湖南省进行了大面积的以马尾松为主要树种的飞播造林,由于马尾松抗逆性强,该区域气候条件又适宜其生长,目前这些林分大多数更新良好。这类林分在无人为破坏的情况下,处于不同的演替阶段,有的为马尾松纯林阶段,有的处在以马尾松占优势的针阔混交林阶段,有的则处在以常绿或落叶阔叶树占优势的针阔混交林阶段<sup>[2]</sup>。对马尾松飞播林生物量与生产力进行研究,对促进这类林分生态系统的稳定性,提高林地肥力和林分生产力,提高林分效益具有非常重要的意义。

马尾松飞播林与天然林及以植苗方法营造的人工林在密度、林分结构、经营目的、抚育方式、水土保持功能等方面差异较大<sup>[3]</sup>,其生物量与生产力的变化规律各有特点。国内外对马尾松人工林和天然林的研究较多,而有关马尾松飞播林的研究甚少,对马尾松单木和林分生物量虽作了大量研究<sup>[4~8]</sup>,但大多只是从立地条件或林分年龄或林分密度中的某一项或某两项入手进行研究,而将这三者综合起来进行的研究报道尚不多见。本文拟从此角度对马尾松飞播林生物量与生产力进行研究,旨为其综合经营与利用提供基础数据。

## 1 研究区概况

湖南省马尾松飞播林分布于全省14个地州市、94个县、540个播区,面积达 $1.46 \times 10^6 \text{ hm}^{2[3]}$ ,位于不同的立地类型,处于不同的生长发育阶段,林分密度差异也较大。通过系统布点和典型取样,研究区位于湘乡、安化、醴陵、宁远、资兴、新邵、平江、沅陵等8个县、市,多为低山丘陵地貌,海拔100~300 m。土壤以红壤为主,土层厚度20~110 cm,坡度 $5^\circ \sim 35^\circ$ 。属中亚热带季风湿润气候区,年平均气温 $16 \sim 18^\circ\text{C}$ ,1月平均气温 $4 \sim 6^\circ\text{C}$ ,极端低温可达 $-10^\circ\text{C}$ 左右,极端高温可达 $40.4^\circ\text{C}$ ,5—9月平均气温在 $20^\circ\text{C}$ 以上,日平均气温 $5^\circ\text{C}$ 的活动积温为 $5\,700 \sim 6\,800^\circ\text{C}$ ,年均日照时数为 $1\,300 \sim 1\,800 \text{ h}$ ,无霜期 $260 \sim 310 \text{ d}$ ,年均降水量为 $1\,200 \sim 1\,700 \text{ mm}$ 。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置与林分调查

样地布设主要原则是要求研究区内的样地林分具有充分的代表性,且在不同立地类型、不同年龄、

不同密度的马尾松飞播林分内均布设样地,同时兼顾马尾松林的不同经营状况、林分结构等因素。共设置176块样地,其中每个县(市)设置固定样地1个,临时样地21个,样地面积均为 $0.06 \text{ hm}^2$ 。

在样地内全面开展地质、地貌、土壤、植被的调查;进行每木调查,实测林木的胸径、树高、冠幅和枝下高;按径级选取样木,伐倒进行树干解析和生物量调查。生物量的测定采用标准木法。将标准木伐倒后,地上部分采用分层截取法,地下部分采用全挖法,分别测定树干、树枝、树皮、树叶、树根鲜质量,同时截取圆盘作树干解析;对各组分混合取样,将样品置于烘箱中( $103^\circ\text{C}$ )烘干,求得其含水率,将鲜质量换算为干质量,用相对生长模型 $W = a(D^2 H)^b$ 对标准木实测数据进行拟合,得出林木各组分的回归方程,再估测林分生物量。

### 2.2 马尾松飞播林生物量研究的分级组合

2.2.1 林分年龄分级 年龄与林分生物量的积累密切相关。湖南省的马尾松飞播造林工作起步较早,从1964年第1次试播到1993年飞播造林工作的结束,前后历经了30年,经历了试验推广阶段(1964—1973年)和恢复发展阶段(1983—1993年)2个不同时期。根据飞播造林工作的阶段性,林分年龄可分成3级,即 $A_1$ (11~15 a)、 $A_2$ (16~21 a)和 $A_3$ (31~40 a)。

2.2.2 立地条件分级 以立地指数级距划分立地条件分级单元。利用优势木平均高作为林分上层高,查中带东部区马尾松立地指数表,得出各样地的立地指数 $SI_j$ 。根据样地统计结果确定马尾松飞播林的立地指数范围为 $8 \leq SI_j \leq 18$ ,立地条件多为中下等,上等立地较少;当 $8 \leq SI_j \leq 16$ 时,所设样地数目在各指数级上差别不大; $SI_j \geq 18$ 的样地不多,在分级时可将其归入 $SI_j = 16$ 。故立地条件可按立地指数分为5级: $SI_j = K$ ( $K = 8, 10, 12, 14; j = 1, 2, 3, 4$ )和 $SI_j = 16$ 。

2.2.3 林分密度分级 根据176块标准地每木调查资料,统计出各标准地的林木株数,换算成每公顷株数,以此为依据确定3个林分密度组为( $1\,500 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ )、( $1\,500 < \text{株} \cdot \text{hm}^{-2} < 2\,250 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ )、( $2\,250 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ )。由于马尾松飞播林的林相、林分结构、株行距不同于植苗造林所形成的人工林,在推算其林分生物量时,每一密度组下的林木株数取该级别下所有样地株数的算术平均数。

### 2.3 数据处理

利用SPSS统计分析软件对马尾松飞播林单株

生物量模型进行参数估计及精度检验。

### 3 结果与分析

#### 3.1 生物量研究的分级组合结果

以立地指数、林分年龄和林分密度分别作为分级组合的第 1 层次、第 2 层次和第 3 层次,划分生物量研究的基本单元。生物量分级组合结果见表 1,共 23 种分级组合类型。

表 1 马尾松飞播林生物量分级组合结果

立地指数 /m	林分年龄 /a	林分密度 / (株 · hm <sup>-2</sup> )	平均株数 /株
S <sub>I</sub> (8)	A <sub>2</sub> (16~21)	( 1 500)	1 455
		(1 500 < <2 250)	1 950
		( 2 250)	2 565
	A <sub>3</sub> (31~40)	( 1 500)	885
		(1 500 < <2 250)	1 725
S <sub>II</sub> (10)	A <sub>1</sub> (11~15)	( 1 500)	1 020
		(1 500 < <2 250)	1 755
		( 2 250)	3 420
	A <sub>2</sub> (16~21)	( 1 500)	1 245
		(1 500 < <2 250)	1 950
		( 2 250)	2 550
A <sub>3</sub> (31~40)	( 1 500)	525	
S <sub>III</sub> (12)	A <sub>1</sub> (11~15)	( 1 500)	690
		(1 500 < <2 250)	2 085
		( 2 250)	2 805
	A <sub>2</sub> (16~21)	(1 500 < <2 250)	1 980
A <sub>3</sub> (31~40)	( 1 500)	405	
S <sub>IV</sub> (14)	A <sub>1</sub> (11~15)	( 1 500)	960
		(1 500 < <2 250)	1 995
		( 2 250)	2 730
	A <sub>3</sub> (31~40)	( 1 500)	360
S <sub>V</sub> ( 16)	A <sub>1</sub> (11~15)	( 1 500)	765
	A <sub>3</sub> (31~40)	( 1 500)	375

#### 3.2 马尾松飞播林单株生物量的预估模型

根据样本实测数据,利用相对生长关系式  $W = a(D^2H)^b$ ,用最小二乘法求出参数  $a$ 、 $b$  以及回归系数  $r$ 。

表 2 单木各组分生物量估测模型

组分名称	参数 $a$	参数 $b$	回归系数 $r$	模型方程
树干	0.136 9	0.712 3	0.954 5	$W_s = 0.136 9(D^2H)^{0.712 3}$
树枝	0.046 9	0.669 9	0.870 3	$W_b = 0.046 9(D^2H)^{0.669 9}$
树皮	0.014 7	0.751 2	0.958 9	$W_{ba} = 0.014 7(D^2H)^{0.751 2}$
树叶	0.017 3	0.712 5	0.854 7	$W_L = 0.017 3(D^2H)^{0.712 5}$
树根	0.252 5	0.496 5	0.938 8	$W_r = 0.252 5(D^2H)^{0.496 5}$

注:表中  $W_s$ 、 $W_b$ 、 $W_{ba}$ 、 $W_L$ 、 $W_r$  分别为树干、树枝、树皮、树叶、树根生物量;  $D$  为林分平均胸径;  $H$  为林分平均树高;  $r$  为回归系数。

经  $F$  检验,以上估测模型的相关程度均达到显著或极显著水平。

#### 3.3 马尾松飞播林生物量的分布规律

马尾松单株和林分生物量分配格局表明(表 3):

(1)马尾松单株生物量最大的是 S<sub>II</sub>A<sub>3</sub> 组合,为 181.12 kg;最小的为 S<sub>I</sub>A<sub>2</sub> 组合,为 15.73 kg。马尾松林分生物量最大的是 S<sub>I</sub>A<sub>1</sub>I 组合,为 84.49 t · hm<sup>-2</sup>;最小的是 S<sub>II</sub>A<sub>3</sub>I 组合,为 8.85 t · hm<sup>-2</sup>。单株和林分生物量最大者分别是最小者的 11.5 倍和 9.5 倍,单株生物量的变化幅度较林分的大。

(2)在全部组合类型中,单株和林分各组合的生物量大小排序为:树干 > 树根 > 树枝 > 树皮 > 树叶。树干的生物量占总生物量的比例最大,为 48.19% ~ 56.82%;其次为树根,为 14.10% ~ 26.32%,变动幅度最大;树枝生物量所占比例为 12.97% ~ 13.22%;树皮和树叶在生物量中所占比例相差不大,但树叶所占比例最小,两者的比例分别为 6.42% ~ 8.76%, 6.10% ~ 7.19%。

(3)在 、 、 3 种密度林分中,马尾松单株生物量的变动范围分别为 18.94 ~ 181.12、17.39 ~ 31.03、15.73 ~ 24.20 kg,变动幅度分别为 162.18、13.64、8.47 kg;马尾松林分生物量的变动范围分别为 8.85 ~ 84.49、31.24 ~ 53.53、40.34 ~ 67.88 t,变动幅度分别为 75.64、22.29、27.54 t。这表明马尾松单株和林分生物量的变动幅度都是在低密度林分中最大,在高密度林分中最小,且随着密度的增大,变动幅度逐渐减小。

(4)立地指数和林分密度相同时,马尾松单株各组分和马尾松林分的生物量与年龄呈正相关的趋势,如 S<sub>I</sub>A<sub>2</sub>I 和 S<sub>I</sub>A<sub>3</sub>I、S<sub>II</sub>A<sub>2</sub> 和 S<sub>II</sub>A<sub>3</sub>、S<sub>III</sub>A<sub>1</sub>I 和 S<sub>III</sub>A<sub>2</sub>I、S<sub>III</sub>A<sub>3</sub>I 和 S<sub>IV</sub>A<sub>1</sub>I 和 S<sub>IV</sub>A<sub>2</sub>I、S<sub>IV</sub>A<sub>3</sub>I 和 S<sub>V</sub>A<sub>1</sub>I 和 S<sub>V</sub>A<sub>3</sub>I 等组合,均随年龄的增大而增加,仅增加幅度因立地条件和林分密度差异而不同。

(5)林分年龄和林分密度相同时,马尾松单株各组分的生物量随立地指数的增大而增加,即立地条件越好,生物量越大,如 S<sub>I</sub>A<sub>2</sub>I 和 S<sub>II</sub>A<sub>2</sub>、S<sub>I</sub>A<sub>2</sub>II 和 S<sub>II</sub>A<sub>2</sub>、S<sub>I</sub>A<sub>3</sub>I 和 S<sub>II</sub>A<sub>3</sub>、S<sub>I</sub>A<sub>3</sub>I 和 S<sub>II</sub>A<sub>3</sub>I 等组合。

#### 3.4 马尾松飞播林生物量的结构特征

所谓生物量结构特征是指林分各组分质量之间或各组分质量与总生物量的比值<sup>[9,10]</sup>。包括:

枝叶比 (BNR) =  $W_b/W_L$ ;

表 3 马尾松单株与林分生物量分配格局

分级组合 代码	树干			树枝			树皮			树叶			树根			总生物量	
	单株 /kg	林分/ (t·hm <sup>-2</sup> )	占总生物量 比例/%	单株 /kg	林分/ (t·hm <sup>-2</sup> )	占总生物量 比例/%	单株 /kg	林分/ (t·hm <sup>-2</sup> )	占总生物量 比例/%	单株 /kg	林分/ (t·hm <sup>-2</sup> )	占总生物量 比例/%	单株 /kg	林分/ (t·hm <sup>-2</sup> )	占总生物量 比例/%	单株 /kg	林分/ (t·hm <sup>-2</sup> )
S <sub>1</sub> A <sub>2</sub> I	11.20	16.30	49.69	2.95	4.29	13.09	1.53	2.23	6.79	1.42	2.07	6.30	5.44	7.92	24.13	22.54	32.81
S <sub>1</sub> A <sub>2</sub> II	8.60	16.77	48.64	2.30	4.49	13.01	1.16	2.26	6.56	1.09	2.13	6.17	4.53	8.83	25.62	17.68	34.48
S <sub>1</sub> A <sub>2</sub> III	7.58	19.44	48.19	2.04	5.23	12.97	1.01	2.59	6.42	0.96	2.46	6.10	4.14	10.62	26.32	15.73	40.34
S <sub>1</sub> A <sub>3</sub> I	28.14	24.90	52.99	7.02	6.21	13.22	4.04	3.58	7.61	3.56	3.15	6.70	10.34	9.15	19.47	53.10	46.99
S <sub>1</sub> A <sub>3</sub> II	15.82	27.29	50.98	4.09	7.06	13.18	2.20	3.80	7.09	2.00	3.45	6.45	6.92	11.94	22.30	31.03	53.53
S <sub>2</sub> A <sub>1</sub> I	9.28	9.47	49.00	2.47	2.52	13.04	1.25	1.28	6.60	1.17	1.19	6.18	4.77	4.87	25.18	18.94	19.32
S <sub>2</sub> A <sub>1</sub> II	8.66	15.20	48.65	2.32	4.07	13.03	1.17	2.05	6.57	1.10	1.93	6.18	4.55	7.99	25.56	17.80	31.24
S <sub>2</sub> A <sub>1</sub> III	9.54	32.63	49.07	2.54	8.69	13.07	1.29	4.41	6.64	1.21	4.14	6.22	4.86	16.62	25.00	19.44	66.49
S <sub>2</sub> A <sub>2</sub> I	11.88	14.79	49.92	3.12	3.88	13.11	1.63	2.30	6.85	1.50	1.87	6.30	5.67	7.06	23.82	23.80	29.63
S <sub>2</sub> A <sub>2</sub> II	11.58	22.58	49.87	3.04	5.93	13.09	1.58	3.08	6.80	1.46	2.85	6.29	5.56	10.84	23.94	23.22	45.28
S <sub>2</sub> A <sub>2</sub> III	8.10	20.66	48.37	2.18	5.56	13.02	1.09	2.78	6.51	1.03	2.63	6.15	4.34	11.07	25.93	16.74	42.69
S <sub>2</sub> A <sub>3</sub> I	37.53	19.70	53.92	9.20	4.86	13.22	5.48	2.88	7.87	4.75	2.49	6.82	12.64	6.64	18.16	69.60	36.54
S <sub>3</sub> A <sub>1</sub> I	16.10	11.10	51.05	4.15	2.86	13.16	2.24	1.55	7.10	2.04	1.41	6.47	7.01	4.84	22.23	31.54	21.76
S <sub>3</sub> A <sub>1</sub> II	8.45	17.62	48.59	2.26	4.71	13.00	1.14	2.38	6.56	1.07	2.23	6.15	4.47	9.32	25.70	17.39	36.26
S <sub>3</sub> A <sub>1</sub> III	12.10	33.94	50.00	3.17	8.89	13.10	1.66	4.66	6.86	1.53	4.29	6.32	5.74	16.10	23.72	24.20	67.88
S <sub>3</sub> A <sub>2</sub> II	12.85	25.44	50.20	3.36	6.65	13.13	1.77	3.51	6.91	1.63	3.23	6.37	5.99	11.86	23.40	25.60	50.69
S <sub>3</sub> A <sub>3</sub> I	10.82	4.38	49.54	2.86	1.16	13.10	1.48	0.60	6.78	1.37	0.56	6.27	5.31	2.15	24.31	21.84	8.85
S <sub>4</sub> A <sub>1</sub> I	48.14	46.21	54.70	11.63	11.17	13.21	7.12	6.84	8.09	6.09	2.85	6.92	15.03	14.43	17.08	88.01	84.49
S <sub>4</sub> A <sub>1</sub> II	10.85	21.65	49.57	2.87	5.73	13.11	1.48	2.95	6.76	1.37	2.73	6.26	5.32	10.61	24.30	21.89	42.80
S <sub>4</sub> A <sub>1</sub> III	9.82	26.81	49.17	2.61	7.13	13.07	1.33	3.63	6.66	1.24	3.39	6.21	4.97	13.57	24.89	19.97	54.52
S <sub>4</sub> A <sub>3</sub> I	83.32	30.00	56.26	19.49	7.02	13.16	12.70	4.57	8.58	10.55	3.80	7.12	22.03	7.93	14.88	148.09	53.31
S <sub>5</sub> A <sub>1</sub> I	12.41	9.49	50.10	3.25	2.49	13.12	1.70	1.30	6.86	1.57	1.20	6.34	5.84	4.47	23.58	24.77	18.95
S <sub>5</sub> A <sub>3</sub> I	102.92	38.60	56.82	23.77	8.91	13.12	15.87	5.95	8.76	13.03	4.89	7.19	25.53	9.57	14.10	181.12	67.92

枝叶指数 ( $BN I$ ) =  $(W_b + W_L) / W_i$ ;  
 光合器官与非光合器官比值 ( $FC$ ) =  $W_L / W_i$ ;  
 干材与地上部分生物量比值 ( $STR$ ) =  $W_s / W_i$ ;  
 冠根比 ( $CRR$ ) =  $(W_s + W_b + W_L + W_{bd}) / W_r$ .

上述指标用以反映林分生物量结构特征,都具有特定的生物学意义,结构的合理性即反映生物群落结构的合理性。

表 4 马尾松飞播林分生物量的结构特征及净生产力

分级组合代码	结构特征					净生产力 / ( $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ )					合计
	$BNR$	$BN I$	$FC$	$STR$	$CRR$	树干	树枝	树皮	树叶	树根	
S <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	2.07	0.19	0.06	0.50	3.14	0.91	0.24	0.12	0.12	0.44	1.83
S <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	2.11	0.19	0.06	0.49	2.91	0.93	0.25	0.13	0.12	0.49	1.92
S <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	2.13	0.19	0.06	0.48	2.80	1.08	0.29	0.14	0.14	0.59	2.24
S <sub>1</sub> A <sub>3</sub>	1.97	0.20	0.07	0.53	4.14	0.83	0.21	0.12	0.11	0.31	1.58
S <sub>1</sub> A <sub>3</sub>	2.05	0.20	0.07	0.51	3.48	0.91	0.24	0.13	0.12	0.40	1.80
S <sub>2</sub> A <sub>1</sub>	2.12	0.19	0.06	0.49	2.97	0.68	0.18	0.09	0.09	0.35	1.39
S <sub>2</sub> A <sub>1</sub>	2.11	0.19	0.06	0.49	2.91	1.09	0.29	0.15	0.14	0.57	2.24
S <sub>2</sub> A <sub>1</sub>	2.10	0.19	0.06	0.49	3.00	2.33	0.62	0.32	0.30	1.19	4.76
S <sub>2</sub> A <sub>2</sub>	2.07	0.19	0.06	0.50	3.23	0.82	0.22	0.13	0.10	0.39	1.66
S <sub>2</sub> A <sub>2</sub>	2.08	0.19	0.06	0.50	3.18	1.25	0.33	0.17	0.16	0.60	2.51
S <sub>2</sub> A <sub>2</sub>	2.11	0.19	0.06	0.48	2.86	1.15	0.31	0.15	0.15	0.62	2.38
S <sub>2</sub> A <sub>3</sub>	1.95	0.20	0.07	0.54	4.51	0.66	0.16	0.10	0.08	0.22	1.22
S <sub>2</sub> A <sub>1</sub>	2.03	0.20	0.07	0.51	3.50	0.79	0.20	0.11	0.10	0.35	1.55
S <sub>2</sub> A <sub>1</sub>	2.11	0.19	0.06	0.49	2.89	1.26	0.34	0.17	0.16	0.67	2.60
S <sub>2</sub> A <sub>1</sub>	2.07	0.19	0.06	0.50	3.22	2.42	0.64	0.33	0.31	1.15	4.85
S <sub>2</sub> A <sub>2</sub>	2.06	0.20	0.06	0.50	3.27	1.41	0.37	0.20	0.18	0.66	2.82
S <sub>2</sub> A <sub>3</sub>	2.07	0.19	0.06	0.50	3.12	0.15	0.04	0.02	0.02	0.07	0.30
S <sub>4</sub> A <sub>1</sub>	3.92	0.17	0.04	0.55	4.65	3.30	0.80	0.49	0.20	1.03	5.82
S <sub>4</sub> A <sub>1</sub>	2.10	0.20	0.06	0.51	3.12	1.55	0.41	0.21	0.20	0.76	3.13
S <sub>4</sub> A <sub>1</sub>	2.10	0.19	0.06	0.49	3.02	1.92	0.51	0.26	0.24	0.97	3.90
S <sub>4</sub> A <sub>3</sub>	1.85	0.20	0.07	0.56	5.72	1.00	0.23	0.15	0.13	0.26	1.77
S <sub>5</sub> A <sub>1</sub>	2.08	0.20	0.06	0.50	3.24	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	3.40
S <sub>5</sub> A <sub>3</sub>	1.82	0.20	0.07	0.57	6.10	1.26	0.30	0.20	0.16	0.32	2.24

注:  $BN I$ 为枝叶指数,  $FC$ 为光合器官与非光合器官的比值,  $STR$ 为干材与地上生物量比值,  $BNR$ 为枝叶比,  $CRR$ 为冠根比。

从表 4 可以看出:枝叶指数 ( $BN I$ )、光合器官与非光合器官比值 ( $FC$ )和干材与地上部分生物量比值 ( $STR$ )在各分级组合中变化的幅度都不大。枝叶指数 ( $BN I$ )稳定在 0.19~0.20 的水平,说明在各类型林分中枝、叶生物量占林分总生物量的比例相差不大,较稳定;光合器官与非光合器官比值 ( $FC$ )为 0.04~0.07,  $FC$ 值高表明林分光合作用强;干材与地上部分生物量比值 ( $STR$ )在 0.48~0.57 之间变动,变化的主区间为 0.49~0.51,说明树干的生物量占林分生物量的比例有所差别,但差别不大;冠根比 ( $CRR$ )值的变动幅度较大 (2.80~6.10),这客观上反映了马尾松飞播林所处立地条件的差异性和林分年龄、林分密度的区别较大。在各类型马尾松飞播林中,枝叶比 ( $BNR$ )值在 1.82~3.92 区间变化,变化的主区间为 2.00~2.10。

研究表明,当  $BNR$ 值小而  $FC$ 值高时,林分结构合理,因为在这种情况下林木叶面积大,可充分利用

光照,通过光合作用提供更加充足的养料,以满足自身生长,进而有利于提高林分的总生物量。在 23 种分级组合中,  $S_{1}A_{3}$ 、 $S_{2}A_{3}$ 、 $S_{4}A_{3}$  和  $S_{5}A_{3}$  这 4 种类型的  $BNR$ 值低 (均小于 2.00),而  $FC$ 值较高 (均为 0.07),这表明该类林分密度较适当,林分结构协调互利,生产潜力较大,在各组合分布的立地条件和当前经济技术水平容许条件下,可作为丘陵地区马尾松飞播林的一种经营模式。 $S_{4}A_{1}$ 组合 ( $BNR = 3.92$ ,  $FC = 0.04$ )则须加以改造,开展综合经营技术研究。

### 3.5 马尾松飞播林的生产力

用“年平均净生产量”作为生产力的估测指标,即各组分的生物量与林龄之比值,通常用下式表示:

$$W = (W_a - W_{a-n}) / n$$

式中:  $W$ 是评价某一树种在某一时间内生产力高低或立地条件优劣的主要指标;  $W_a$ 为单位面积生物现存量;  $W_{a-n}$ 为  $n$ 年前单位面积生物量。根据马

尾松飞播林的特点,分别取  $n = 14, 18$  和  $30$  作为 3 种林分的平均年龄。从表 4 可以看出,不同年龄的马尾松飞播林在不同立地类型和林分密度下,其林分净生产力差异显著。 $S_{13}A_3$  类型林分净生产力最小,为  $0.30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $S_{14}A_1$  类型林分净生产力最大,为  $5.82 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,是最小者的 19.4 倍。树干的净生产力最大,为  $0.15 \sim 3.30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,而树叶、树皮均较低,尤其以树叶的净生长力最低,为  $0.02 \sim 0.68 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,这主要是因为林木每年都有大量的枝叶枯死凋落,使净生产力大大减小。

马尾松飞播林分和各组分净生产力与杉木中心产区湖南会同 11 年生杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 人工林平均生产力 ( $10.67 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )<sup>[11]</sup> 和江苏省 12 年生湿地松 (*P. elliotii* Engelm.) 人工林 ( $13.97 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )<sup>[12]</sup> 相比要低得多。由此可见,应对马尾松飞播林进行综合经营改造,以提高其生产力水平。

## 4 结论

湖南省马尾松飞播林主要分布于 8—SI 16 的立地上,且大多处于 11~15、16~21、31~40 a 3 个年龄阶段。单株和林分各组合的生物量大小排序为树干 > 树根 > 树枝 > 树皮 > 树叶;树干生物量占总生物量的比例最大,为 48.19%~56.82%,树根其次,为 14.10%~26.32%,变动幅度最大,树枝生物量所占比例为 12.97%~13.22%,树皮和树叶所占比例相差不大,但树叶所占比例最小,分别为 6.42%~8.76%,6.10%~7.19%。23 种组合中,  $S_{14}A_3$  I、 $S_{14}A_3$  I 和  $S_{13}A_3$  I 四类林分分布较合理、密度较适当,生产潜力较大,可作为丘陵地区马尾松飞播林的经营改造模式。

不同年龄、不同立地、不同林分密度的马尾松飞播林净生产力差异显著。 $S_{14}A_1$  I 林分净生产力最

大,为  $5.82 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $S_{13}A_3$  林分净生产力最小,为  $0.30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。在林分各组分净生产力中,树干的净生产力最大,树叶的净生长力最小。

马尾松飞播林平均生产力比杉木、湿地松人工林低很多,应进行综合经营改造。同时,开展马尾松飞播林低质低效林分的改造与综合经营应综合考虑林分年龄、所处立地条件和现实密度状况的差异而采取不同的经营措施,以提高其生产力水平。

## 参考文献:

- [1] 漆良华, 庞统, 李志辉. 马尾松飞播林的养分循环研究 [J]. 中南林学院学报, 2003, 24 (1): 32~35
- [2] 李志辉, 漆良华, 柏方敏, 等. 马尾松飞播林土壤肥力研究 [J]. 中南林学院学报, 2004, 24 (5): 32~35
- [3] 漆良华, 李志辉. 马尾松飞播林综合经营专家模拟系统研制 [J]. 林业科技开发, 2005, 19 (3): 30~32
- [4] Cairns M A, Olmsted I, Granados J, et al. Composition and aboveground tree biomass of a dry semi-evergreen forest on Mexico's Yucatan Peninsula [J]. Forest Ecology and Management, 2003, 186: 125~132
- [5] Brown SL, Schroeder P, Kem J S. Spatial distribution of biomass in forest of the eastern USA [J]. Forest Ecology and Management, 1999, 123: 81~90
- [6] 丁贵杰, 王鹏程. 马尾松人工林生物量及生产力变化规律研究——不同林龄生物量及生产力 [J]. 林业科学研究, 2001, 15 (1): 54~60
- [7] 李燕燕, 樊后保, 孙新. 马尾松纯林及其混交林生物量的空间结构 [J]. 福建林学院学报, 2005, 25 (3): 215~220
- [8] 田大伦, 项文化, 闫文德. 马尾松与湿地松人工林生物量动态及养分循环特征 [J]. 生态学报, 2004, 24 (10): 2207~2210
- [9] 林业部科技司. 森林生态系统定位研究方法 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1994
- [10] Soto T, Madgwick, H A I. Forest Biomass [J]. Forest Sciences, 1982 (2): 298~303
- [11] 潘维铸. 杉木人工林生态系统中的生物量及其生产力研究 [J]. 中南林科技, 1978 (2): 2~14
- [12] 汪企明. 江苏省湿地松人工林生物量的初步研究 [J]. 植物生态学与地植物学报, 1990, 14 (1): 1~6