

# 不同林龄阶段马尾松人工林群落结构特征及经营策略

姜 俊<sup>1</sup>, 谢阳生<sup>1</sup>, 陆元昌<sup>1\*</sup>, 孟京辉<sup>2</sup>, 刘宪钊<sup>1</sup>, 邢海涛<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院 资源信息所, 北京 100091; 2. 北京林业大学 省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083)

**摘 要:**采用空间变化代替时间变化的方法,以南亚热带马尾松人工林不同年龄阶段(10、20、30、40、50 a 和 60 a)林分为对象,研究了马尾松人工林林分物种组成和结构的变化特征。结果表明,多度、丰富度及材积在不同年龄阶段的分布差异较大:1)不同年龄阶段的林分组成和结构差异显著,随着林龄的增加,多样性指数和丰富度指数均呈先增加后降低的趋势;2)不同年龄阶段的树种胸径分布格局变化较大,60 a 集中分布胸径>20 cm 的林木;3)马尾松近熟阶段(50~60 a)林木株数较少,但是从林分的生产力来说,却提供了 50% 以上的林分蓄积。提出不同年龄阶段的人工林经营策略需要考虑林分自然生长规律和关键树种竞争机制,使少量优质林木个体留给自然演替进程控制和调节,实现人工林生产力提升和结构功能的生态合理性和经济有效性。

**关键词:**马尾松人工林;林龄;群落结构;经营策略

**中图分类号:**S791.248      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2015)06-0001-07

## Community Structure at Different Age Stages and Optimization Management Strategies in a Masson Pine Plantation

JIANG Jun<sup>1</sup>, XIE Yang-sheng<sup>1</sup>, LU Yuan-chang<sup>1\*</sup>, MENG Jing-hui<sup>2</sup>, LIU Xian-zhao<sup>1</sup>, XING Hai-tao<sup>1</sup>

(1. Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** By the method of substituting temporal serial with spatial serial, and taking six forest lands with different ages (10, 20, 30, 40, 50 and 60 years) in monoculture region as objects, this paper studied the change characteristics of species composition and structural differences of the stands with different ages. The results showed that, 1) Differences in species composition and structure of the stands with different ages were significant, species richness and abundance index increased firstly and then decreased with the increase of ages; 2) Tree diameter distribution showed significant differences among different stand layers. Tree individuals with diameter more than 20 cm dominated at the late age stages; 3) Stand volume presented great variance along the age stages. Silvicultural practices play an important role in shaping the age stage dynamics of Masson plantation, resulting in differences in the structure of the community. We attempt to integrate the structural and functional characteristics of monoculture as a way to enhance our ability both to predict and manage monoculture forest due to their increasing importance as timber sources, providers of environmental services, and management purpose. Further research is needed to gain a better management strategy linked with forest succession.

**Key words:** masson pine plantation; stand age; forest structure; management strategy

现代森林经营已经从木材导向的单一经营向探索森林经营发展目标、可持续经营原则和实现高质

收稿日期:2014-10-13 修回日期:2015-07-08

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(IFRIT201501)。

作者简介:姜 俊,男,博士研究生,研究方向:森林经营和模型模拟。E-mail:linda\_jiangjun@163.com

\* 通信作者:陆元昌,男,研究员,研究方向:森林经营管理。E-mail:ylu@caf.ac.cn

量木材储备的政策转变,对经营林分发展进程的忽略和急于对最终林相的片面效益的追求凸显了我国森林经营的两个问题:经营什么样的目标林分结构和如何在不同生长发育阶段的森林进行经营设计,问题在于理解和利用自然演替进程进行近自然森林经营,权衡人工林经营的经济收益和生态效益<sup>[1-2]</sup>。近自然经营化改造能促进林分空间结构优化,为多功能森林实现提供可行性<sup>[3-4]</sup>,人工林的林分结构标志着林分发育的方向和进程,同时也预示着生态系统的经营程度和目标,需要依据不同林龄的人工林结构动态特征制定经营管理策略<sup>[2]</sup>。特别是在经营方式及强度相近的情况下,要经营出结构稳定和生产力高的人工林,了解处于不同林龄阶段植物群落结构和发育进程显得尤为重要。

马尾松(*Pinus massoniana*)人工林是我国南方面积最大的人工林,是我国东部及南方最具代表性的森林类型之一<sup>[5]</sup>。然而单一人工林结构的经营方式和人多地少的林情造成林地退化、林分生产力低下和生态功能减退,急需进行林分改造<sup>[6]</sup>。马尾松人工林经营中仍存在林业研究中由于森林生长发育的长期性带来的过程和目标不清的问题,需要了解和预见不同的林龄阶段林分结构是如何变化的,以及如何根据林分发育进程实施经营措施决定着人工林经营计划的科学性和可行性,对于森林多功能可持续经营意义重大<sup>[7]</sup>。目前研究多集中在人工林恢复机理和过程中群落结构特征等方面<sup>[8]</sup>,很少关注不同林龄阶段的人工林结构特征与森林经营的关系,以及如何基于不同林龄阶段来开展人工林经营模式<sup>[9]</sup>和后续经营作业措施。以中国林业科学研究院热带林业实验中心的不同林龄马尾松人工林为研究对象,采用群落的空间代替时间变化方法,建立了林分年龄序列样地并调查数据,对马尾松人工林不同年龄阶段的结构特征进行研究:以人工林为时间序列的林分结构动态描述人工林的发展全周期过程,借鉴处于不同发育阶段森林的树种组成结构、材积收获及其时间序列上的动态进行分析;尝试从经营的方向和群落动态来阐述不同林龄阶段的经营目标和预期状态,提出人工林目标导向经营措施,以期马尾松人工林经营作业法设计提供目标和过程的参考性对象依据。

## 1 研究区概况

研究区位于广西凭祥市中国林业科学研究院热带林业实验中心(21°57′—22°19′ N, 106°39′—106°59′ E),属南亚热带半湿润—湿润气候,年均降雨量

1 200~1 500 mm,相对湿度 80%~84%;年均温 20.5~21.7℃;地貌类型以低山丘陵为主,海拔 430~680 m,土壤主要为花岗岩发育成的赤红壤和红壤,土层厚度>80 cm,pH4.8~5.5。研究样地位于该中心伏波实验林场内人工林,海拔高度在 400~550 m 之间<sup>[10]</sup>。人工林林分结构简单,乔木以马尾松为主。历史上该区域的常绿阔叶林遭受破坏、形成裸地后,马尾松以其适应性强、耐干旱瘠薄的优势,成为最先侵入的优势木本植物,通过自然恢复和人工造林,形成了处于不同林龄阶段的次生马尾松群落,但现存的马尾松林普遍存在分化严重、组成单一且林分质量差等问题,制约了林分生产力的提高。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置及调查

2011 年以系统抽样法在千米网样地调查为数据基础。鉴于时间和条件限制,对处于不同林龄阶段的林分研究往往采用时空替代的方法,在空间上大量调查处于不同林龄阶段的林分,将其转换为时间序列<sup>[11]</sup>,从而确定其恢复演变的过程和规律。通过千米网样地调查和林分年龄来自热林中心不同年份的详细的造林时间及历史数据资料,采用空间代替时间的方法选择了 6 个不同人工马尾松样地进行调查并划分了 3 个林分阶段(表 1)。样地地形地貌、海拔、母岩、土壤类型等都相同或相近,每个年龄林分面积大约为 1~5 hm<sup>2</sup> 不等,在每块不同林龄的人工林内分别选取 6 个样地作为研究对象。布设半径为 11.29 m 的圆形样地。每个样地内设 3 个半径  $r=6.51$  m 的圆形样方,分别机械布设 4 m×4 m 灌木样方和 1 m×1 m 的草本样方<sup>[12]</sup>。对各标准地内对所有林木每木检尺,采用测高仪(SUUNTO PM 5/1520 PC)实测样方内树高和枝下高,记录植株的个体种名、胸径、树高、枝下高、生活力和干材质量等信息,调查灌木的种类、株数、株高和盖度(表 1)。

### 2.2 数据处理与统计分析

为了更好的对径级分布进行比较,参考上限外排法<sup>[13]</sup>和结合实际调查值,将胸径划分成 4 个径级:胸径 0~10 cm(含 10),10~20 cm(含 20),20~30 cm(含 30),30~40 cm(含 40)和>40 cm。统计样方内所有的物种组成,分析不同林龄林分内物种的重要值和多样性:物种多样性指标包括:丰富度指数(Richness index)( $S$ )、Shannon-Wiener 指数( $H'$ )、Simpson 指数( $P$ )、Pielou 均匀度指数( $E$ )<sup>[14]</sup>。

其中, $S$  为种  $i$  所在样方的物种总数,即丰富度指数;

$$H' = - \sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i) \tag{1}$$

$$P = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2 \tag{2}$$

$$E = H' / \ln S \tag{3}$$

式中  $P_i$  表示种  $i$  的相对重要值 (IV),  $P_i = N_i / N$ ;  $N_i$  为种  $i$  的绝对重要值,  $N$  为种  $i$  所在样方的各个物种的重要值之和。

重要值 IV = (相对频度 + 相对密度 + 相对盖度) / 3, 其中, 相对多度 / % =  $100 \times$  种  $i$  的株数 / 所有种的总株数; 相对频度 / % =  $100 \times$  种  $i$  在总样方中出现的次数 / 所有种出现的总次数; 相对优势

度 / % =  $100 \times$  种  $i$  的胸高断面积 / 所有种的胸高断面积的和<sup>[15]</sup>; 灌木和草本的重要值 = (相对高度 + 相对盖度) / 2; 相对高度 / % = 种  $i$  的所有个体高度之和 / 所有种个体高度之和<sup>[16]</sup>。

结合二元立木材积表及胸径和树高, 计算单木材积, 然后相加推算林分蓄积量。单因素方差分析 (ANOVA) 判断多样性、径级、材积和蓄积量是否存在显著性差异。采用 Excel 2007 进行基础数据整理, 统计分析、制图采用 R 2. 15. 3 (R Development Core Team, 2013) 统计软件。

表 1 不同林龄阶段林分物种组成和数量特征

Table 1 Basic stand characteristics of the different succession stages

林龄 阶段/a	林分实际 年龄/a	样地 位置	海拔 /m	坡度 /(°)	物种数 /种	株数 /株	胸径 /cm	树高 /m
10	13	22°01'47.06"N 106°49'52.88"E	433	28	5	214	13.2±0.12	10.70±0.06
20	24	22°03'10.8"N 106°51'32.6"E	400	30	12	202	16.5±0.09	12.10±0.08
30	38	22°01'40"N 106°51'05.7"E	548	22	13	187	18.3±0.12	13.86±0.04
40	44	22°03'40"N 106°51'33.7"E	285	21	31	177	18.4±0.28	12.20±0.09
50	53	22°02'19.2"N 106°54'24.3"E	109	24	23	169	19.3±0.14	12.04±0.08
60	62	22°02'57.34"N 106°53'07.48"E	200	17	15	192	25.1±0.22	15.64±0.07

注: 林分年龄来自热林中心不同年份的详细的造林时间。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同林龄阶段群落组成

群落中的物种数在 30~40 a 阶段物种数增长迅速。树木密度到 50 a 有所下降 (23 种)。株数则是在 20 a 达到最大 (304 株 · hm<sup>-2</sup>), 到 60 a 又增加到 209 株 · hm<sup>-2</sup>。但群落的平均胸径随着林龄增加而持续增大, 达到 25.1 cm (表 1)。不同林龄阶段次生群落各层优势种及其重要值变化比较明显, 根据优势种组成将该次生群落的林龄阶段划分为 3 个类型: 10~20 a 基本是马尾松纯林, 乔木是以马尾松为主, 重要值达到 97.31, 组成群落的其他主要种类是阳性灌木草本如大青 (*Clerodendrum cyrtophyllum*), 乔木数量极少, 为采伐后残留的部分树木 (表 2)。30~40 a 群落出现灌木草本, 黄毛榕 (*Ficus esquiroliana*), 毛黄肉楠 (*Actinodaphne pilosa*), 三桠苦 (*Evodia lepta*), 鹅掌柴 (*Schefflera octophylla*) 等, 乔木物种较为单一。在造林后 30 a 阶段, 先锋种的存在和阳性物种主要是灌木和草本的进入, 比如半边旗 (*Pteris semipinnata*) 等物种的重要值趋于增大。50~60 a 为马尾松杉木混交林,

出现了较多的耐荫物种, 阳性草本种类减少如方叶五月茶 (*Antidesma ghaesembilla*) 和鹅掌柴。乔木层优势种马尾松, 伴生有猪肚木 (*Canthium horridum*)、水锦树 (*Wendlandia uvariifolia*)、中平树 (*Macaranga denticulata*) 和红椎 (*Castanopsis hystrix*) 等 (表 2), 重要值较高的种主要有山乌柏 (*Tridaca cochinchinensis*)、油茶 (*Camellia oleifera*) 和合欢 (*Albizia julibrissin*)。

#### 3.2 不同林龄阶段物种多样性

不同林龄阶段的乔木物种丰富度在造林后 40 a 时丰富度达到较高, 造林后 10 a 物种丰富度最低, 之后呈增加趋势, 到 60 a 又逐渐减少 (图 1)。多样性指数和丰富度指数的变化趋势大致相同, 即林龄从 10 a 到 60 a 的增长过程中, 多样性指数先增加后降低, 但 Pielou 指数在呈波动的增大趋势。随着年龄的增长, Shannon-Wiener 指数趋于增大, 喜光灌木和草本迅速萌发, 促进林下物种的繁衍和扩张, 林分多样性增加。到 50 a 多样性指数趋于减小, 表明人工林中先锋阳性草本逐渐受到上层林木遮荫而逐渐退出群落。Simpson 指数在 10~30 a 阶段逐渐增大, 在 50 a 阶段达到最大 (0.83), 此后逐渐减小,

反映了从马尾松杉木先锋树种大量发生到逐渐衰退,而其他耐荫种逐渐进入群落,导致马尾松先锋树种的优势度趋于减少。Pielou 指数在不同林龄阶段间呈波动的增大趋势,马尾松人工林群落的 Pielou

指数亦不断趋于增大(图 1),说明随着年龄的增长,群落各层次中的某些先锋种独占优势的程度趋于逐渐减弱,物种的分布更趋于均匀。

表 2 不同林龄阶段各类树种的重要值分布  
Table 2 Tree species with important values at different age stages

物种	林龄阶段/a					
	10	20	30	40	50	60
马尾松( <i>Pinus massoniana</i> )	97.31	87.42	68.62	40.57	33.71	34.36
杉木( <i>Cunninghamia lanceolata</i> )	1.28	3.21	10.92	11.88	19.21	16.33
猪肚木( <i>Canthium horridum</i> )	—	—	—	1.48	2.98	4.21
簕欓花椒( <i>Zanthoxylum avicennae</i> )	—	—	—	1.59	—	—
黄毛榕( <i>Ficus esquiroliana</i> )	—	—	1.23	1.98	2.71	2.01
毛黄肉楠( <i>Actinodaphne pilosa</i> )	—	—	1.11	2.01	3.12	1.19
潺槁树( <i>Litsea glutinosa</i> )	—	—	—	0.96	—	—
中平树( <i>Macaranga denticulata</i> )	—	—	2.38	2.79	3.08	5.32
水东哥( <i>Saurauia tristyla</i> )	—	—	—	1.01	1.51	—
杨梅( <i>Myrica rubra</i> )	—	—	—	1.17	1.23	—
半边旗( <i>Pteris semipinnata</i> )	—	0.88	2.41	3.14	3.28	2.86
山乌柏( <i>Triadica cochinchinensis</i> )	—	—	—	0.86	1.14	—
野漆( <i>Toxicodendron succedaneum</i> )	—	—	—	0.84	1.24	—
辽东槲木( <i>Aralia elata</i> )	—	—	—	1.18	1.33	—
大青( <i>Clerodendrum cyrtophyllum</i> )	1.08	1.04	2.13	2.87	3.12	2.24
九节( <i>Psychotria rubra</i> )	—	—	—	1.28	2.09	—
香梓楠( <i>Michelia hedyosperma</i> )	1.23	1.03	—	0.96	1.71	—
粗叶榕( <i>Ficus hirta</i> )	—	0.89	—	1.26	—	—
油茶( <i>Camellia oleifera</i> )	—	—	—	0.67	4.38	5.14
格木( <i>Erythrophleum fordii</i> )	—	—	—	1.49	—	—
三桠苦( <i>Evodia lepta</i> )	—	1.10	2.04	2.88	3.21	2.89
鹅掌柴( <i>Schefflera octophylla</i> )	—	0.94	2.13	3.01	2.51	4.38
方叶五月茶( <i>Antidesma ghaesembilla</i> )	—	1.04	1.13	2.86	1.33	—
艾胶算盘子( <i>Glochidion lanceolarium</i> )	—	1.22	—	1.44	—	—
杜茎山( <i>Maesa japonica</i> )	—	0.84	—	0.93	1.21	—
合欢( <i>Albizia julibrissin</i> )	—	0.95	1.39	1.50	1.87	3.01
水锦树( <i>Wendlandia uvariiifolia</i> )	—	1.43	2.22	2.28	3.14	5.16
余甘子( <i>Phyllanthus emblica</i> )	—	—	—	0.89	—	—
枫香( <i>Liquidambar formosana</i> )	—	—	—	1.36	1.98	4.12
山芝麻( <i>Helicteres augustifolia</i> )	—	—	—	1.22	—	—
红椎( <i>Castanopsis hystrix</i> )	2.31	1.46	2.61	3.76	2.98	7.33
山苍子( <i>Litsea cubeba</i> )	—	1.07	—	0.97	—	—

注:—:无分布。

3.3 不同林龄阶段的生长动态

不同林龄阶段的径级分布和树高存在显著差异,胸径和树高在林龄 60 a 均具有最大值,最小的胸径树高也均在 10 a(图 2)。林木的胸径随林龄的增加而变大,60 a 的平均胸径和胸高断面面积皆为最大,分别达到 31.12 cm 和 17.82 m<sup>2</sup>·hm<sup>-2</sup>,林龄 60 a 胸径都显著高于其他年龄阶段( $p<0.05$ ),林分胸高断面面积随着年龄的增长而呈现先增加再减少的变化,60 a 的胸高断面面积达到最大(12.82 m<sup>2</sup>·hm<sup>-2</sup>)。10 a 和 20 a 主要以径级 10~20 cm 的分布较少数量树种,随着年龄的增长,30~40 a 内的径级分布呈现 10~20 cm 和 30~40 cm 的径级的林木大幅增加,在 40 a 的胸径 10~20 cm 的林木个体数

量所占比例高达 45%。林龄 10 a 和 20 a 中 20~30 cm 和 30~40 cm 径级的林木几乎没有分布;相比之下林龄 50 a 和 60 a 的林分径级分布类型较多,60 a 的径级>40 cm 的数量比例达到 17.7%,林分中占有数量优势,但随着时间的推移,胸径 0~10 cm 的林木数量大幅减少(16.2%),多数是胸径 20 cm 以上的林木,胸径在 20~30 cm 和 30~40 cm 的个体集中分布在 60 a 阶段(表 3)。随着年龄的增长,胸径逐渐增加,小径级物种个体数所占比例将逐渐减少,林木的数量均随着径级的增加而单调下降,说明该人工林群落为增长型种群,比较适合森林经营结构改造。

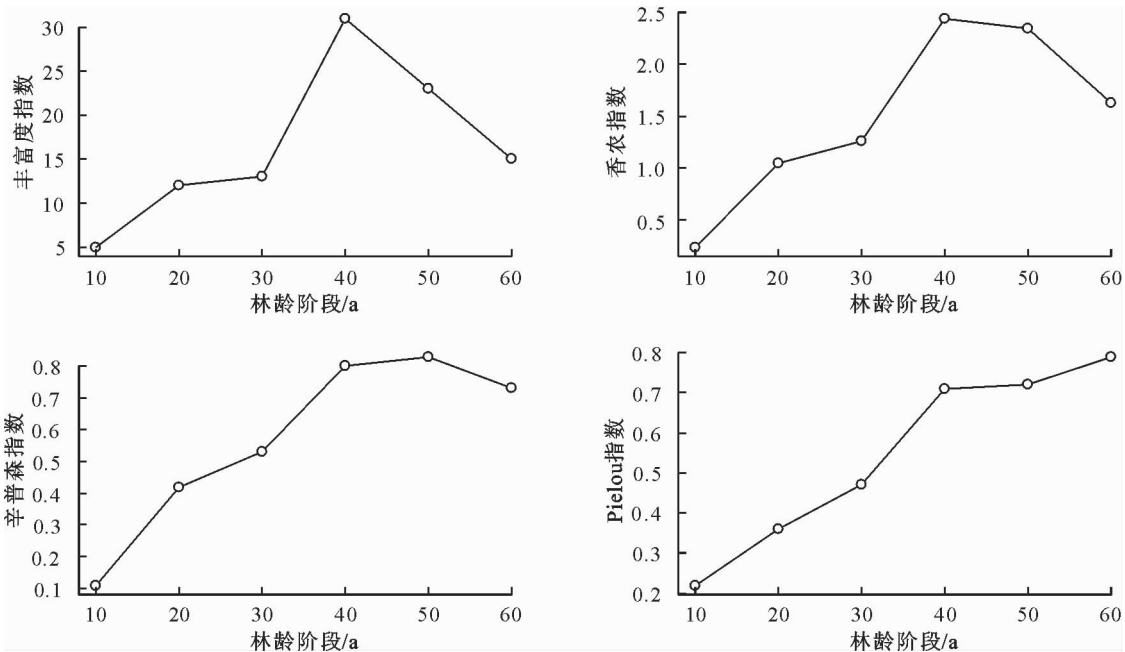


图 1 不同林龄阶段人工林的物种多样性指数

Fig. 1 Diversity indices of species in plantation with different age stages

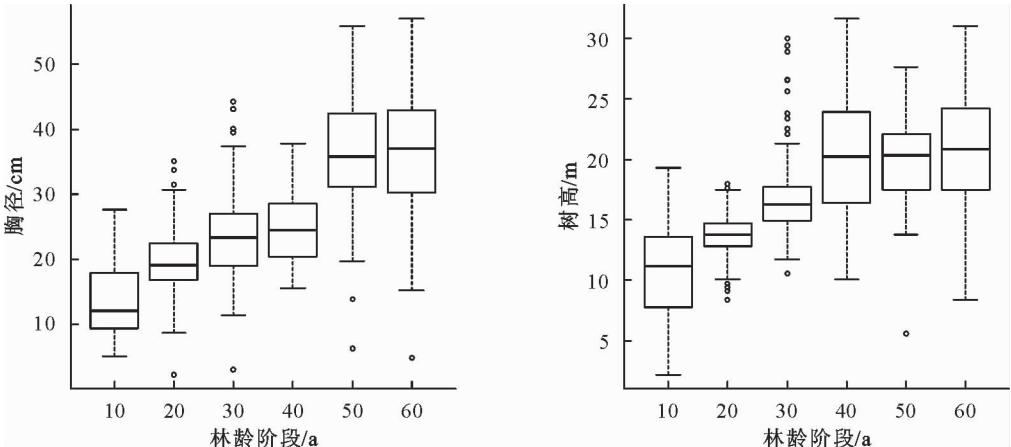


图 2 马尾松人工林不同林龄阶段胸径和树高的变化

Fig. 2 Changes of diameter at breast height (DBH) and tree height at different age stages

表 3 不同林龄阶段径级物种个体分布

Table 3 DBH distribution of trees in plantation with different age stages (mean±Se)

林龄阶段 /a	平均胸径 /cm	总胸高断面积 /(m <sup>2</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	不同径级下的物种个体数比例/%				
			I	II	III	IV	V
10	13.2±0.12d	3.30	27.9	50.4	15.7	—	—
20	15.5±0.09c	4.76	20.4	48.8	30.4	2.6	—
30	15.8±0.12c	4.47	28.9	27.7	35.5	6.6	1.8
40	18.1±0.28b	5.14	45.3	21.3	28.1	6.3	—
50	19.3±0.14b	5.59	34.3	20.1	11.3	15.6	12.8
60	31.12±0.22a	17.82	16.2	24.8	17.2	15.7	17.7

注：I：胸径 0~10 cm；II：胸径 10~20 cm；III：胸径 20~30 cm；IV：胸径 30~40 cm；V：胸径>40 cm。同列不同小写字母表示差异显著（ $p<0.05$ ）。

3.4 不同林龄阶段材积分布变化

不同林龄阶段林分材积和林分蓄积表现差异显著（ $p<0.05$ ）。6 个林龄阶段单株平均材积和林分

蓄积的数量分布趋势相同，单株平均材积和蓄积量均随着年龄的增长而增加。50 a 和 60 a 的单株平均材积的差异显著，分别为 0.351 m<sup>3</sup> 和 0.502 m<sup>3</sup>，

但 20、30 a 和 40 a 这 3 个阶段差异不显著。随着年龄的增长,蓄积量呈增加的趋势,但 20~40 a 的蓄积量增长缓慢,差异不显著( $p>0.05$ )。直到 50 a 蓄积量开始增加,到 60 a 达到最大蓄积量( $84.89\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ )。综合个体数量分析不同林龄阶段的林分蓄积发现,10、20 a 和 30 a 都具有林木个体多的特点,但是蓄积量并不是最多,相比较林龄 40 a 和 50 a 数量都基本维持在相同的水平,但是蓄积量有所增加。马尾松近熟阶段(50~60 a)林木株数较少,却提供了 50% 以上的林分胸高断面积和的林分蓄积(表 4)。

表 4 不同林龄阶段人工林样地树种的材积与蓄积量  
Table 4 Volume growth of the trees in different age stages  
in the observational plots (mean±Se)

林龄阶段 /a	株数 /株	单株 平均材积/ $\text{m}^3$	蓄积量 / $(\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2})$
10	214	$0.081\pm0.010\text{a}$	16.72a
20	202	$0.141\pm0.003\text{b}$	32.84b
30	187	$0.182\pm0.006\text{b}$	38.54b
40	177	$0.178\pm0.012\text{b}$	41.82b
50	169	$0.381\pm0.011\text{c}$	58.22c
60	192	$0.502\pm0.009\text{d}$	84.89d

注:同列不同小写字母表示差异显著 ( $p<0.05$ )。

## 4 结论与讨论

通过对不同林龄阶段的马尾松人工林调查分析,随着年龄的增长,早期进入群落的喜阳草本植物消失,取而代之为耐荫草本植物,造林初期大量进入样地的先锋落叶树种也逐步由常绿耐荫树种取代<sup>[17]</sup>。该区域马尾松人工林的林龄发展阶段可能为:马尾松人工纯林→马尾松+杉木混交林→马尾松+杉木+红椎针阔混交林→常绿阔叶林,此马尾松林龄序列亚热带地区十分常见<sup>[18-19]</sup>。事实上,从马尾松林常绿阔叶林的发展过程中,出现马尾松针阔混交林的间隔并不长,也许只有 30~50 a 甚至更短,但常绿阔叶林的存在可能超过百年的时间,因为马尾松树的衰老死亡、自我更新能力差,其优势度下降,常绿阔叶树种逐渐在林冠层占优,但物种多样性恢复尚需一段时间。随着年龄的增长林木占据的资源空间变大,种子库中的实生苗迅速萌发,促进了林下灌木层乔木幼苗的繁衍和扩张,不同林龄阶段马尾松人工林群落的多样性变化是环境条件、竞争关系以及区域过程共同影响的结果<sup>[20-22]</sup>。

从森林经营管理的角度看,经营者需要利用森林生态系统内部自然生长规律,根据不同的林龄阶段和目标林相来实施不同的经营策略。1)10~20 a 是林分的初始阶段,主要特点是林冠密闭,早期入侵种的多度、断面积在逐渐增加,小径级( $DBH<10$

cm)的林木数量较多。该阶段是群落物种组成和结构变化的开始,由对光需求的物种和林冠下更新所驱动的。从经营角度上来说初始物种是调整林分结构及恢复地力的“潜在因素”,在一定程度上决定了该林分发展的方向<sup>[23]</sup>,应适当筛选出适地适树改造的乡土物种和目标树种,依据更新树种对光照、土壤和生物学特性,采取人工补植和播种等调整混交比例等措施,改善林分的树种组成和结构。2)30~40 a 是林下物种的重新拓殖阶段,短寿命的植物死亡率的增加和慢生优势树种分化,开始出现混交林的林相,处于针叶林和常绿阔叶林的过渡阶段。分布的是干型细长且数量多的幼树,但缺乏光照且自身竞争力较弱,更多的林木逐渐转向径向生长,较大胸径的林木个体比例增加,对资源的竞争会逐渐加剧<sup>[24]</sup>。该阶段林分必须上层疏开,改善林内的光照条件和缓解个体间竞争压力,引入相思、枫香等早期耐阴和落叶量大的树种改进林下土壤板结状况,待补植树种生长到主林层后,利用上层树冠遮阴保护后期高价值树种(如格木、花梨和黄檀)生长。3)50~60 a 以后主要特征是马尾松逐渐退出,耐阴树种和长寿命树种占据上层,结构复杂、物种丰富以及林下物种更新萌蘖能力强,主要原因是光照条件的改善和竞争效应的减弱使林冠的活力及其光合作用得到增强,促进了近熟林阶段林木的迅速生长和物质积累<sup>[25]</sup>,对于针叶林和常绿阔叶林的过渡起到了重要作用,成为在整个林分发育进程里重点经营阶段。该阶段林木应避免生长趋势良好的母树受灾害和机械损伤影响,在选择目标树后每 10 年一次促进目标树生长抚育间伐,直到达到目标直径的林木,在获得森林收获物质的同时又保证林分稳定性,以实现林地持续发挥森林生态服务功能<sup>[26]</sup>。

人工林的林分发育进程既是量的变化,也是质的变化,林分的发育是由于年龄的量的增长导致了林分质的变化,质的变化如:郁闭度、自然整枝、到林下植被变化,生物量的变化。人工林分发育过程与林木生长是相辅相成的,相互影响,增加而呈现出“慢—快—慢”的成熟历程,这是在制定人工林经营措施上非常重要的问题,如采伐就是控制了林分密度,调节了林分发育进程和林木生长状况<sup>[27]</sup>。森林经营目的是获取优质大径级、树干通直的高比例、高质量的木材产品,人工林经营要维持林木共存竞争机制,合理的密度管理调整,保护生长健康的林木,把一部分林木留给自然演替进程控制和调节,防止竞争强度过大导致目标林木胸径和树高减少,促进林分向复层、异龄化的方向发展。

致谢:项目合作单位中国林业科学研究院热带林业中心提供造林时间的详尽数据,谨此致谢。

参考文献:

[1] 蔡年辉,李根前,陆元昌.云南松纯林近自然化改造的探讨[J].西北林学院学报,2006,21(4):85-88.  
CAI N H, LI G Q, LU Y C. Discuss on the approaching-nature forestry management of *Pinus yunnanensis* pure forests [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006,21(4): 85-88. (in Chinese)

[2] 陆元昌,张守攻,雷相东,等.人工林近自然化改造的理论基础和实施技术[J].世界林业研究,2009,22(1):20-27.

[3] 姜鹏,孟京辉,陆元昌,等.马尾松近自然改造初期的混交度与分布格局[J].西北林学院学报,2014,29(5):147-150.  
JIANG P, MENG J H, LU Y C, *et al.* Minglings and spatial distribution of *Pinus massoniana* plantation in the initial stage of near-nature transformation[J]. Journal of Northwest Forestry University,2014,29(5):147-150. (in Chinese)

[4] 黄承标,马承彪,曹继钊,等.不同立地及间伐强度对马尾松人工幼林生长的影响[J].西北林学院学报,2013,28(1):141-145.  
HUANG C B, MA C B, CAO J Z, *et al.* Effects of different sites and intermediate cutting intensities on growth of planted young *Pinus massoniana* forests[J]. Journal of Northwest Forestry University,2013,28(1):141-145. (in Chinese)

[5] 刘士贵.全国森林资源 // 周晓峰.中国森林与生态环境[M].北京:中国林业出版社,1999,518-519.

[6] 彭舜磊,王得祥,赵辉,等.我国人工林现状与近自然经营途径探讨[J].西北林学院学报,2008,23(2):184-188.  
PENG S L, WANG D X, ZHAO H, *et al.* Discussion the status quality of plantation and near nature forestry management in China[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(2):184-188. (in Chinese)

[7] 陆元昌.近自然森林经营的理论与实践[M].北京:科学出版社,2006,66-67.

[8] RISCH A C, SCHÜTZ M, KRÜSI B O, *et al.* Detecting successional changes in long-term empirical data from subalpine conifer forests [J]. Plant Ecology, 2004, 172(1): 95-105.

[9] 李婷婷,陆元昌,姜俊,等.马尾松人工林森林经营模式评价[J].西北林学院学报,2015,30(1):164-171.  
LI T T, LU Y C, JIANG J, *et al.* Assessment of forest management model of *Pinus massoniana* plantation[J]. Journal of Northwest Forestry University,2015,30(1):164-171. (in Chinese)

[10] 姜俊,陆元昌,庞丽峰.南亚热带人工林树种间联结分析及经营模式设计[J].林业资源管理.2014(6):79-84.

[11] 赵哈林,赵学勇,张铜会,等.沙漠化的生物过程及退化植被的恢复机理[M].北京:科学出版社,2007:270-282.

[12] JIANG J, LU Y, PANG L, *et al.* Short-term effects of the management intensities on structure dynamic in monoculture forests of southern subtropical China[J]. Tropical Conservation Science, 2015, 8 (1): 187-200.

[13] 赵科,陶建平,郝建辉,等.海南岛霸王岭热带山地雨林木质藤本垂直结构特征[J].生态学报,2010,30(12):3173-3181.  
ZHAO K, TAO J P, HAO J H, *et al.* Vertical structure of lianas in a tropical montane rain forest in Bawangling Nature

Reserve, Hainan Island, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(12): 3173-3181. (in Chinese)

[14] MAGURRAN A E. Ecological diversity and its measurement [M]. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1988.

[15] 方精云,李意德,朱彪,等.海南岛尖峰岭山地雨林的群落结构、物种多样性以及在世界雨林中的地位[J].生物多样性,2004,12(1):29-43.  
FANG J Y, LI Y D, ZHU B, *et al.* Community structures and species richness in the montane rain forest of Jianfengling, Hainan Island, China[J]. Biodiverstiy Science, 2004, 12(1):29-43. (in Chinese)

[16] 郭正刚,刘慧霞,孙学刚,等.白龙江上游地区森林植物群落物种多样性的研究[J].植物生态学报,2003,27(3):388-395.

[17] 达良俊,杨永川,宋永昌.浙江天童国家森林公园常绿阔叶林主要组成种的种群结构及更新类型[J].植物生态学报,2004,28(3):376-384.

[18] LI X, WILSON S D, SON G Y. Secondary succession in two subtropical forests[J]. Plant Ecology, 1999, 143(1): 13-21. (in Chinese)

[19] 彭少麟.南亚热带演替群落的边缘效应及其对森林片断化恢复的意义[J].生态学报,2000,20(1):1-8.  
PENG S L. Studies on edge effect of successional communities and restoration of forest fragmentation in low sub tropics [J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(1):1-8. (in Chinese)

[20] 丁圣彦,宋永昌.演替研究在常绿阔叶林抚育和恢复上的应用[J].应用生态学报,2003,14(3):423-426.  
DING S Y, SONG Y C. Application of succession study in tending and restoration of evergreen broadleaved forest[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14 (3): 423-426. (in Chinese)

[21] 胡正华,于明坚.浙江古田山常绿阔叶林演替序列研究:群落物种多样性[J].生态学杂志,2006,25(6):603-606.  
HU Z H, YU M J. Species diversity in four saccessional communites of evergreen broad-leaved forest in Gutian Mountain, Zhejiang Province [J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(6): 603-606.

[22] 方精云,王襄平,唐志尧.局域和区域过程共同控制着群落的物种多样性:种库假说[J].生物多样性,2009,17(6):605-612.

[23] BEZEMER T M, HARVEY J A, KOWALCHUK G A, *et al.* Interplay between *Senecio jacobaea* and plant, soil, and aboveground insect community composition [J]. Ecology, 2006, 87:2002-2013.

[24] JANG W, PARK P S. Stand structure and maintenance of *Picea jezoensis* in a northern temperate forest, South Korea [J]. Journal of Plant Biology, 2010, 53(3): 180-189.

[25] MESSIER C, PARENT S, BERGERON Y. Effects of overstory and understory vegetation on the understory light environment in mixed boreal forests [J]. Journal of Vegetation Science, 1998, 9(4): 511-520.

[26] 陆元昌,刘宪钊,王宏,等.多功能人工林经营技术指南[M].北京:中国林业出版社,2014.

[27] 盛炜彤.中国人工林及其育林体系[M].北京:中国林业出版社,2014.