

马尾松人工林森林经营模式评价

李婷婷, 陆元昌*, 姜俊, 庞丽峰, 邢海涛

(中国林业科学研究院 资源信息研究所, 北京 100091)

摘要:根据不同经营模式(轮伐期经营、近自然经营、无经营)下中龄马尾松人工林样地2期调查数据,利用One-way ANOVA分析森林经营对林分以及单木生长量的影响;比较分析不同森林经营模式对森林结构及树种组成的影响。结果表明,近自然经营相对于轮伐期经营主要是对林分上层木和下层木生长促进效果明显,对中层木生长影响与轮伐期经营效果差异不明显,轮伐期经营与无经营相比较,能有效促进中层林生长,但对上层木及下层木的促进效果不明显;近自然经营能够有效增加林分单位面积蓄积生长量,而轮伐期经营则不然;2种经营模式均能有效增加林分树种多样性与均匀度,但近自然经营明显优于轮伐期经营(两者树种多样性指数差异显著);总的来说,近自然经营优于轮伐期经营,后者虽然一定程度上改变了林分结构,但并没有根本上改善林木生长状况。最后,根据不同经营模式下当前的林分结构提出相应的后续经营建议。

关键词:轮伐期经营;近自然经营;马尾松;生长量;林分结构

中图分类号:S757.1 文献标志码:A 文章编号:1001-7461(2015)01-0164-08

Assessment of Forest Management Model of *Pinus massoniana* Plantation

LI Ting-ting, LU Yuan-chang*, JIANG Jun, PANG Li-feng, XING Hai-tao

(The Research Institute of Forest Resources Information Technique, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: The influence analyses of three management models including even-age rotation forest management (RFM), close-to-nature forest management (CNFM) and no management (NM) on individual tree and stand increment were conducted based on two observation data extracted from *Pinus massoniana* plantations, using one-way ANOVA, and compared the differences about forest structure and tree species composition between stands under managements. The result suggested: CNFM could effectively improve tree growth in up strata and down strata, but not trees in middle strata, comparing with RFM. Whereas RFM just had obvious promotion effect on middle strata trees relative to NM. CNFM significantly increased the stand periodic annual increment, but RFM did not. Although both of two management models could increase species diversity and evenness, CNFM was much better than RFM (the difference was significant). In general, CNFM is superior to RFM, the latter may have changed forest structure to some extents, but did not substantially improve tree growth conditions. At last, corresponding following management recommendations were proposed according to the present forest structure.

Key words: rotation forest management; close-to-nature forest management; masson pine; growth increment; forest structure

收稿日期:2014-04-15 修回日期:2014-05-15

基金项目:资源信息所基金:多功能森林经营动态监测及数据集成技术(IFRIT201101);中国林业科学研究院基金:多功能森林抚育经营技术创新研究(CAFYBB2012013)。

作者简介:李婷婷,女,博士研究生,研究方向:森林多功能近自然经营理论与技术。E-mail: limuzi33@163.com

*通信作者:陆元昌,男,研究员,博士生导师,研究方向:森林经营理论与技术。E-mail: ylu@caf.ac.cn

随着林业发展目标从木材生产转移到生态恢复建设,人工林在木材生产和生态保护起着重要作用^[1-2]。我国人工林面积居世界首位,根据第七次全国森林资源清查(2004—2008),人工林面积达6 168万hm²,占全国森林面积的31.6%。但资源质量不高,人工乔木林每公顷蓄积仅49.01m³^[2,3-4]。2008年,国家林业局贾治邦局长在全国林业厅局长会议上明确指出“森林经营是现代林业发展的永恒主题”,未来将把森林经营工作作为林业发展的重点工作。但由于多方面的原因,目前我国林业工作存在着重造林轻经营的现象^[5],森林经营,尤其是人工林经营对提高我国森林质量和林地生产力,实现传统林业向现代林业转变具有重要的意义^[6-7]。

马尾松(*Pinus massoniana*)为中国南方主要造林与用材树种,随着国家生态建设需求的提高,这些人工林的很大部分将逐步定位为生态公益林,承担着保持水土、水源涵养、空气净化、游憩娱乐等生态防护和文化服务功能,但是由于历史和技术的原因,这些人工林多为中幼龄林和单一树种的纯林,其生态和环境服务功能低下,木材生产效益也随地力退化而在降低^[8-11]。将单一树种的针叶林改造为针叶混交林或阔叶混交林是森林可持续生产与森林恢复的有效途径^[11]。

近自然森林经营主要包括立地和群落生境制图、森林发展类型设计、森林经营方案编制和目标树作业体系,其中目标树作业体系是实施近自然森林经营的基本实践内容。目标树作业体系的实施要求对全部林木进行分类(目标树,干扰树,一般木,特殊目标树),分类后需要永久地标记出林分的特征个体目标树,以培育大径级林木为主对其持续地抚育管理,根据林分结构和竞争关系的动态分析确定每次抚育择伐的具体目标(干扰树),并充分地理解和利用自然力,通过择伐实现林分的最佳状态及最大生长和天然更新,从而实现林分质量的不断改进^[1,8,13-17]。

针对本研究区域轮伐期经营与近自然经营技术主要有以下不同:1)轮伐期经营是以年龄或者林分平均胸径为标准来确定林分是否皆伐,而近自然经营是以单株木是否达到目标直径进行单株择伐;2)马尾松同龄纯林轮伐期经营只考虑平均木的生长,没有考虑优势木的生长和竞争关系,抚育间伐通常是隔两株伐一株或其他固定采伐模式或简单的“采弱留强”伐除克拉夫特分级^[18-19]中的中等木与被压木,保留优势木与亚优势木,并以林分平均木指标表达林分生长情况,而近自然经营是以目标树与干扰

木的竞争关系为基础,去劣存优,伐除干扰目标树生长的林木,而影响目标树生长的干扰树常常是亚优势木,而不影响目标树生长的中等木和被压木为一般木,可以不采伐。因此,轮伐期经营的是林分的平均木,近自然经营的是目标树,比较平均木与目标树的生长量是近自然经营不同于传统经营的一个重要方面;3)近自然经营利用针叶树种与阔叶树种之间的优势互补关系,通过林下套种形成混交格局,而轮伐期经营中没有这种措施,而种间关系对林分生长的促进效果很难用量化指标直接表达,比较2种经营模式下林分生长量能够间接表达种间关系对林分生长量的促进作用;4)近自然经营的目标是通过补植树种和促进更新幼苗幼树生长尽快形成复层林结构,目前补植树种是在林下生长,并向形成复层林方向发展。而轮伐期经营目标是单层林,空间利用率低,因此,比较分析2种经营模式林分单位面积生长量以及林层结构是近自然经营不同于轮伐期经营的另一重要方面。因此,评价近自然经营与传统人工林轮伐期经营对森林生长和结构的影响,为我国人工林尽可能地离开同龄轮伐期经营的简单体系,提供数据支持与案例参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

中国林科院热带林业实验中心(以下简称热林中心)位于广西凭祥市,有林地面积13 317 hm²,针叶林占71.9%,其中马尾松林占总有林地面积的60.6%。地形地貌复杂,有丘陵、台地、低山、中山和岩溶等,最高海拔1 045.9 m(北大青山),最低海拔130.0 m(平而河);属于南亚热带季风气候,日照充足,雨量充沛,干湿季节明显,光、水、热资源丰富,年均气温为20.5~21.7℃,极端高温40.3℃,极端低温-1.5℃;年降水量1 200~1 500 mm,年蒸发量1 261~1 388 mm,日最大降水量为206.5 mm;土壤以砖红性红壤、红壤为主,其次为紫色土,再次是黄壤及少量石灰土^[20-21]。热林中心主要树种有杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、马尾松、湿地松(*Pinus elliottii*)、加勒比松(*Pinus caribaea*)、红锥(*Castanopsis hystrix*)、西楠桦(*Betula alnoides*)、米老排(*Mytilaria laosensis*)、石梓(*Gmelina chinensis*)、八角(*Illicium verum*)、格木(*Erythrophloeum fordii*)等,珍贵优良阔叶树种主要有柚木(*Tectona grandis*)、红锥、西楠桦、山白兰(*Michelia alba*)、灰木莲(*Magnolia glan-**ca*)、香梓楠(*Michelia hedyosperma*)和奥克榄(*Aucoumea klaineana*)等。

1.2 数据获取

1.2.1 样地选择 采用典型抽样试验设计,在马尾松近自然经营示范林区选择 12 块样地,1993 年造林,2007 年进行目标树作业,现地根据林木生活力、干材质量、损伤情况将林木分为目标树、干扰树、一般木与特殊目标树,标记目标树,采伐干扰树,并在林下补植珍贵阔叶树种:大叶栎(*Quercus griffithii*)、红锥、格木、灰木莲、香梓楠和铁力木(*Mesua ferrea*)。由于近自然经营是在马尾松达到中龄林时开始的,因此,在选择近自然实验林时,尽量选择造林后,2007 年之前没有进行轮伐期经营措施的林分。

在马尾松人工林选取完全按照轮伐期经营模式进行经营作业的样地 8 块,造林时间与近自然经营林分相差不超过 1 个龄级(5 a 为 1 龄级),根据研究区域森林经营技术规程《热带林业实验中心森林经营技术规程》马尾松人工林轮伐期经营技术参数为:造林初植密度为 2 500~3 300 株·hm⁻²,在第 6~7 年进行轻度透光伐,伐除有碍经营树种生长的乔灌木、藤蔓和草本植物,在第 11 年左右进行抚育性间伐,伐除有病、干形不好和林下被压木等,在株行距整齐的人工林中,每间隔一定距离,即按事先确定的砍伐行距和株距,机械地确定采伐木,间伐强度一般为株数的 20%~30%,以后每隔 5 a 进行 1 次间伐,强度为 30%~40%,采伐对象多是克拉夫特分级中的 3~4 级木,直至主伐年龄进行皆伐。

另外,作为对照,选择有 4 块从造林至今没有进行任何经营作业的林分为对照样地,即无经营样地。选择 3 种经营模式下的样地时,使各样地立地条件基本一致。

1.2.2 样地调查 样地采用圆形样地,半径为 8.25 m,面积 400 m²。记录样圆内所有胸径>5 cm 林木的树种名、胸径、全树高、干形质量和林木类型,胸径<5 cm,树高>1.5 m 记录树高、胸径;树高<1.5 m,>30 cm 的只记录树高;以正北方向为 0°,顺时针每 120° 方向,距离样圆中心 7.25 m 处为中心,设置半径 1 m 的小样圆,调查小样圆内灌木种类、株数或丛数、灌木平均高以及草本盖度和种类,样地内所有树木都要进行挂牌进行长期跟踪。近自然经营林分 2007 年间伐作业前进行本底调查,2008 年进行经营作业后首次调查,以后每 2 a 调查 1 次;而马尾松纯林轮伐期经营林分样地是在 2011 年进行了首次调查,每 2 a 调查 1 次。因此,本研究采用近自然经营林分与无经营林分 2010 年、2012 年 2 期调查数据,轮伐期经营林分 2011 年和 2013 年 2 期

调查数据。

1.3 研究方法

1.3.1 单木生长 单木生长采用径阶年平均胸径(DBH)生长量和材积生长量、各径阶单株林木的胸径和材积年平均生长量。即径阶单木生长量 I_i :

$$I_i = \frac{y_2 - y_1}{n_i a} \quad (1)$$

式中: y_2 为 i 径阶期末所有树木的胸径(或材积)之和; y_1 为 i 径阶期初所有树木的胸径(或材积)之和; n_i 为 i 径阶林木株数; a 为间隔期的年数。

立木材积 v :

$$v = g \times f \times (h + 3) \quad (2)$$

式中: h 为全树高(m); g 为胸高断面积(m²); f 为平均试验形数(0.396)^[22]。

1.3.2 林分水平的生长量 林分蓄积定期平均生长量 PAI :

$$PAI = (v_n - v_{n-a}) / a \quad (3)$$

式中: V_n 为期末所有胸径(dbh) ≥ 5 cm 的林木的材积之和(m³·hm⁻²); v_{n-a} 为期初所有 $dbh \geq 5$ cm 的林木的材积之和(m³·hm⁻²); a 为间隔的年数。

计算 2 次调查期内林分每公顷每年进界蓄积(调查初期 DBH 未达到 5 cm,调查末期达到 5 cm 所有林木的蓄积)与枯死蓄积表达林分进界与枯死率。

1.3.3 林分结构 用多个林分指标表示林分结构。林木径阶分布(阶距 2 cm)、各径阶树种组成、各林层株数密度与树种组成和树种多样性(Shannon-Wiener 指数 H' , 均匀度指数 $E(\%)$)。

$$H' = |\sum p_i | \ln(p_i) \quad (4)$$

$$E/\% = 100 \times \frac{H'}{\ln S} \quad (5)$$

式中: $p_i = n_i / N$ 为树种 i 的个体(n_i)在全部个体(N)中的比例, S 为树种总数。

根据国际林联(IUFRO)的林分垂直分层标准,以林分的优势高为依据把森林划分为 3(或 4)个垂直层,上层林木为树高 $\geq 2/3$ 优势高,中层为介于 $1/3 \sim 2/3$ 优势高之间的林木,下层为 $\leq 1/3$ 优势高之间的林木。林分优势高的确定,取 50~100 株胸径最大林木的平均树高为优势高^[8]。

1.3.4 统计分析 因为每个经营模式都有多个重复,因此,采用单因素方差分析不同经营模式对林分生长量、株数密度和树种多样性的影响是否具有统计意义,Levene 检验方差齐性,方差齐性时用 Tukey 多重比较法(Student-Range 统计量),方差非齐性时采用 Tamhane's T2(t 检验)进行各组均

值配对比较,显著性水平为0.05,所有结果将通过SPSS12.0得到。

2 结果与分析

2.1 单木水平生长量

2.1.1 各径阶单木生长量 近自然经营下的林分各径阶(除14~16 cm径阶)林木胸径与材积年生长量,均大于轮伐期经营单木生长量,而不经营的林分单木生长量最小,说明森林经营能够提高各径阶单

木生长量。近自然经营与轮伐期经营在小径阶(2~8 cm)与大径阶($DBH > 22$ cm)单木生长量差异是显著的,说明近自然经营对幼树及优势木生长影响效果明显优于轮伐期经营,而且近自然经营相对于无经营林分,其对各径阶生长量的促进效果均是显著的;而轮伐期经营措施相对于不经营林分,前者对中庸木(12~24 cm)生长有影响,但对于林下幼树生长及大径阶优势木生长的促进效果不显著,但是无论哪一种经营措施均能提高单木生长量(表1)。

表1 各径阶单木胸径及材积年生长量

Table 1 DBH and volume annual increment of individual tree across DBH class

径阶/cm	$I_{D1}/(\text{cm} \cdot \text{a}^{-1})$	$I_{D2}/(\text{cm} \cdot \text{a}^{-1})$	$I_{D3}/(\text{cm} \cdot \text{a}^{-1})$	$I_{V1}/(\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1})$	$I_{V2}/(\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1})$	$I_{V3}/(\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1})$
0~2	1.1			0.001 1		
2~4	1.4 a	0.7 b		0.002 9 a	0.001 2 b	
4~6	1.6 a	0.4 b		0.007 2 a	0.001 1 b	
6~8	1.5 a	0.6 b		0.008 8 a	0.003 4 b	
8~10	0.7 a	0.4 a	0.7 a	0.005 0 a	0.002 7 a	0.003 7 a
10~12	1.6 a	0.7 a	0.1 a	0.018 7 a	0.007 5 a	0.001 3 a
12~14	1.2 a	0.7 a	0.4 b	0.017 2 a	0.009 4 a	0.004 0 b
14~16	0.8 a	0.9 a	0.3 b	0.013 7 a	0.014 2 a	0.004 2 b
16~18	1.1 a	0.9 a	0.4 b	0.022 9 a	0.016 6 a	0.007 3 b
18~20	1.5 a	1.0 b	0.6 c	0.036 0 a	0.023 3 b	0.013 2 c
20~22	1.3 a	1.1 a	0.8 b	0.034 7 a	0.029 6 a	0.018 4 b
22~24	1.4 a	1.2 b	0.5 c	0.045 7 a	0.035 1 b	0.015 7 c
24~26	1.6 a	0.9 b	0.8 b	0.055 8 a	0.030 3 b	0.028 4 b
26~28	1.6 a	0.9 b	1.0 b	0.062 2 a	0.034 3 b	0.038 8 b
28~30	1.9 a	0.8 b		0.080 0 a	0.034 3 b	
30~32	1.9 a		1.4 b	0.088 4 a		0.061 7 b
32~34	1.4 a			0.069 5 a		
34~36	2.5 a	2.5 a		0.141 2 a	0.138 7 a	

注: I_{D1} 、 I_{D2} 、 I_{D3} 分别为近自然经营、轮伐期经营与不经营模式下单木胸径年生长量; I_{V1} 、 I_{V2} 、 I_{V3} 分别为近自然经营、轮伐期经营与不经营模式下木材积年生长量。不同字母代表两者差异显著,显著性水平为0.05,表2~表7同。

2.1.2 各林层单木生长量 近自然经营上层与下层树种平均胸径年生长量均与轮伐期经营和无经营林分差异显著,中层单木生长量差异不显著。近自然经营的林分各层林木生长量最大,其次是轮伐期经营,无经营林分生长量最小(表2),近自然经营能够显著提高林分上层与下层林木的生长;轮伐期经营与无经营林木生长量相比,能够提高林分中层林木的生长,但对于上层树种平均胸径生长量生长没有显著效果。

2.1.3 不同林木类型生长量 近自然经营的培育目标是大径材(目标树),而轮伐期经营培育目标是林分平均木达到经营要求,由表3可以看出,近自然经营目标树胸径年生长量($2.1 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$)远大于轮伐期经营平均木生长量($0.8 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$),甚至近自然经营林分的一般木生长量与轮伐期经营的平均木生长量差异也是显著的,3种经营措施下的四种林木类型胸径生长量差异显著,但轮伐期经营对平均木材积生长的影响与无经营相比是不显著的。

表2 不同经营模式下各林层单木生长量

Table 2 The growth increment of individual tree on vertical layers under different management models

经营模式	单木胸径生长量/(\text{cm} \cdot \text{a}^{-1})			单木材积生长量/(\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1})		
	上层	中层	下层	上层	中层	下层
近自然经营	1.5 a	1.5 a	1.4 a	0.049 3 a	0.010 9 a	0.003 4 a
轮伐期经营	1.0 b	0.8 a	0.4 b	0.029 5 b	0.011 5 a	0.000 2 b
无经营	0.6 b	0.3 b		0.016 4 b	0.003 4 b	

2.2 林分水平生长量

2.2.1 林分蓄积变化 近自然经营林分年进界蓄积与蓄积生长量均与轮伐期经营和无经营林分差异

显著,而轮伐期经营林分进界蓄积和蓄积增长率虽然均大于无经营林分,但差异不显著,说明其经营措施并不能有效提高林分生产力,由于经营的林分年

蓄积增长量没有将采伐量算入(采伐量数据不能确定),而无经营林分没有采伐作业,株数密度大弥补了单木生长量小,使其蓄积增长量大于轮伐期经营。另外,3种经营模式林分的年枯死蓄积无经营林分最大,近自然经营林分最小,但是差异不显著(表4)。

表3 各经营模式下不同林木类型生长量

Table 3 The growth increment of different tree type under different management models

林木种类	胸径年平均生长量/(cm·a ⁻¹)	材积年平均生长量/(m ³ ·a ⁻¹)
近自然经营目标树	2.1 a	0.083 0 a
近自然经营一般木	1.3 b	0.039 9 b
轮伐期经营平均木	0.8 c	0.013 7 c
无经营平均木	0.6 d	0.013 2 c

注:平均木为株数最多的3个径阶的所有林木。

表4 不同经营模式林分蓄积变化

Table 4 Volume change of stands under different management models m³·hm⁻²·a⁻¹

经营模式	年进界蓄积	年枯死蓄积	PAI	年蓄积增长率/%
近自然经营	1.66 a	0.05 a	19.38 a	21.7 a
轮伐期经营	0.18 b	0.36 a	11.53 b	13.8 b
无经营	0.00 b	1.06 a	15.12 b	8.2 b

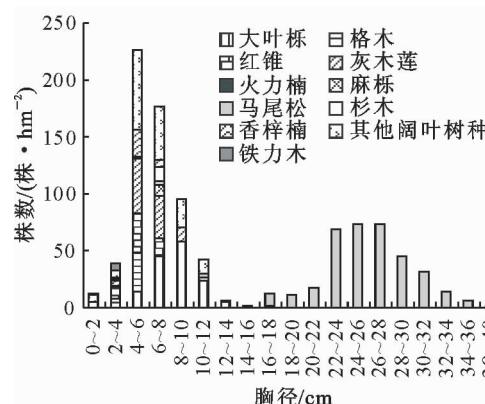


图1 近自然经营林分各径阶树种组成与蓄积分布

Fig. 1 Tree species composition and volume distribution across dbh class under close-to-nature management

人工林轮伐期经营林分密度 809 株·hm⁻², 阔叶树 181 株·hm⁻², 占 22.4%, 蓄积占 3.7%, 全部来源于天然更新, 主要是荷木(*Schima* spp.)、漆树(*Toxicodendron verniciflum*)和水锦树(*Quercus acutissima*)。马尾松 613 株·hm⁻²(图2)。

无经营林分只有 3 个树种, 林分密度为 1 138 株·hm⁻², 阔叶树 25 株·hm⁻², 占总株数 2.2%, 占总蓄积<1%, 无经营林分林下更新与大径阶林木数量不足(图3)。

2.3.2 树种组成 森林经营活动能够显著增加森林树种多样性与均匀度, 近自然经营林分树种多样性与均匀度均大于轮伐期经营林分, 且差异是显著的(表6)。

2.2.2 林分不同树种蓄积生长量 近自然经营林分相对于轮伐期经营能有效增加马尾松和阔叶树种蓄积生长量, 但由于无经营林分株数密度大(无采伐作业), 从而使单位面积蓄积生长量大于轮伐期经营, 且差异显著(表5)。

表5 不同经营模式各树种(组)蓄积生长量

Table 5 Volume increment of species (or group) under different management models

经营模式	马尾松	阔叶树种
近自然经营	16.907 9 a	2.476 9 a
轮伐期经营	10.970 6 b	0.562 0 b
无经营	15.221 9 a	

2.3 林分结构

2.3.1 林木大小与蓄积分布 近自然经营林分由于林下补植珍贵阔叶树种和采伐干扰树, 林分由造林时的纯林变为现在的针阔混交林(图1), 每公顷 965 株, 阔叶树种 579 株·hm⁻², 占 60.0%, 其蓄积占总蓄积 5.6%, 马尾松 358 株·hm⁻²。林下出现了天然更新树种, 占阔叶树种总株数的 32.8%。人工补植树种大叶栎、红锥、灰木莲分别占阔叶树种总株数的 25.2%、10.4%、17.6%。

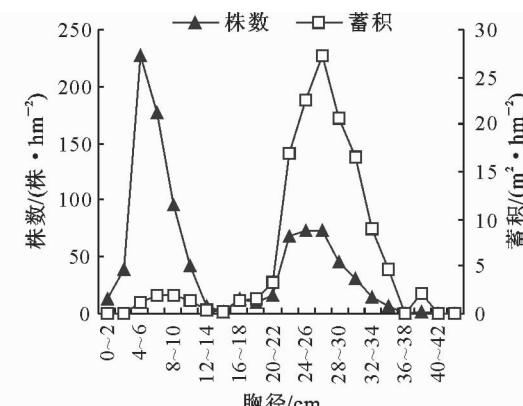


图1 近自然经营林分各径阶树种组成与蓄积分布

Fig. 1 Tree species composition and volume distribution across dbh class under close-to-nature management

2.3.3 林层结构 比较各林层单位面积株数密度(表7), 近自然经营与轮伐期经营相对于无经营林分均对林分上层密度有显著影响, 但两者上层林木株数差异不显著。经营活动对中层密度影响不显著。近自然经营由于林下人工补植以及采伐部分上层木, 促进林下更新, 从而林下层密度与轮伐期经营和无经营林分下层密度显著, 而轮伐期经营林分下层密度与无经营林分下层差异不显著。但各种经营模式对林分密度的综合影响是不显著的, 林分总体单位面积株数差异不显著。

近自然经营林分树高范围为 0~22 m(图4), 马尾松树高范围为 12~22 m, 主要集中在 14~18 m; 阔叶树种树高范围为 2~10, 6~8 m 范围株数最

多,主要树种是大青树和荷木。轮伐期经营林分树高范围为2~22 m(图5),2 m以下更新缺乏,阔叶树种树高同样为2~10 m,但各树高级株数明显少于近自然经营林分,其中树高4~6 m阔叶树株

数最多,而马尾松树高10~16 m范围株数最多。无经营林分(图6)缺乏林下层,树高范围主要为8~20 m,马尾松树高12~16 m株数最多,阔叶树高分布在4~6 m和8~10 m,总株数为26株·hm⁻²。

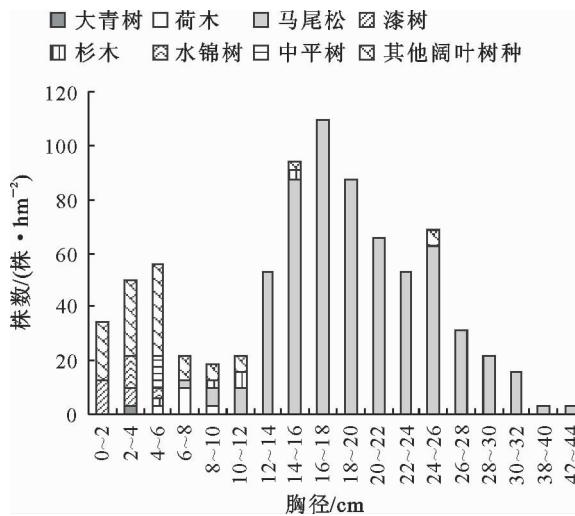


图2 轮伐期经营林分各径阶树种组成与蓄积分布

Fig. 2 Tree species composition and volume distribution across dbh class under rotation management

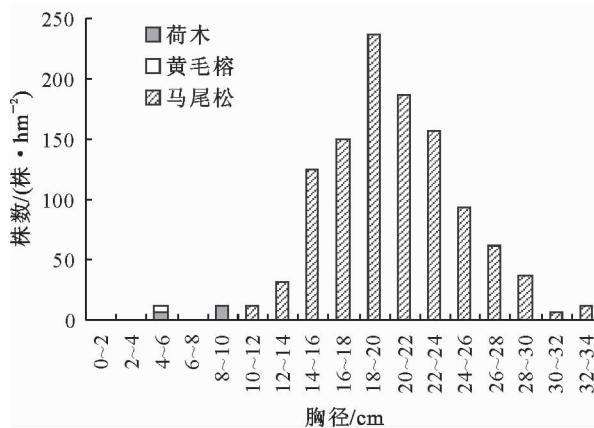


图3 无经营林分各径阶树种组成与蓄积分布

Fig. 3 Tree species composition and volume distribution across dbh class without management

表6 不同经营模式树种多样性

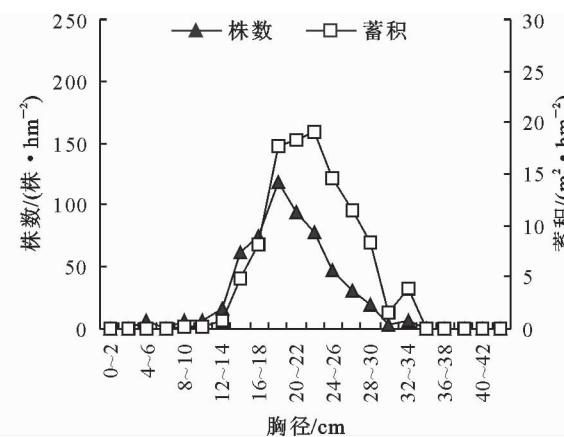
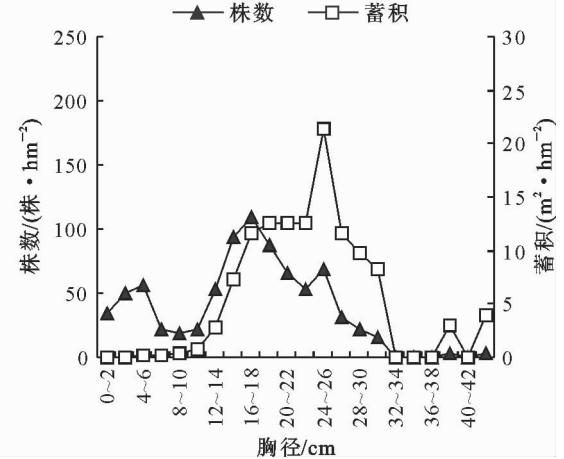
Table 6 Species diversity of forests under different management models

经营类型	多样性	均匀度
近自然经营	1.6 a	0.8 a
轮伐期经营	0.9 b	0.5 b
无经营	0.1 c	0.1 c

表7 不同经营模式各林层株数密度

Table 7 Vertical layers density of forests under different management models 株·hm⁻²

林层	近自然经营	轮伐期经营	无经营
上层	350 a	406 a	988 b
中层	385 a	278 a	150 a
下层	221 a	125 b	0 b
总株数	956 a	809 a	1138 a



3 结论与讨论

3.1 讨论

本研究是基于不同经营模式下林分短期(2~4 a)内的生长量和林分结构动态来比较分析经营效果的,但分析对象均为处于中龄林阶段的马尾松,因此,在不改变经营模式和人为破坏的情况下,马尾松林将保持这种生长速度和林分变化趋势,因此,尽管2期调查间隔时间短,但在一定程度上能够有力说明不同经营模式的经营效果,所得结论具有一定的可靠性。

3.2 结论

近自然经营与轮伐期经营均能有效提高以马尾松为优势树种的中龄林单木胸径和材积生长量,近

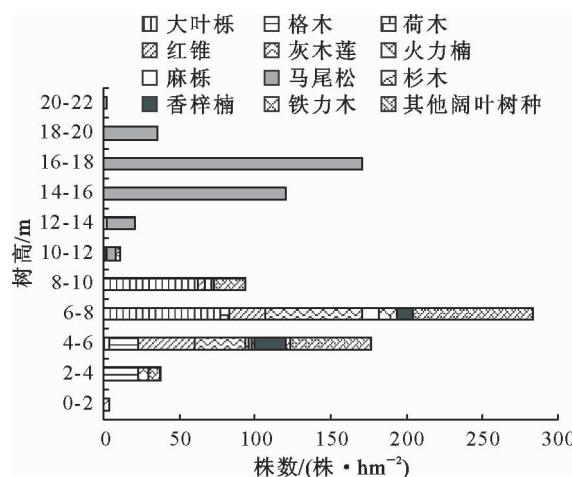


图4 近自然经营林分各树高级树种组成

Fig. 4 Species composition across height class under close-to-nature management

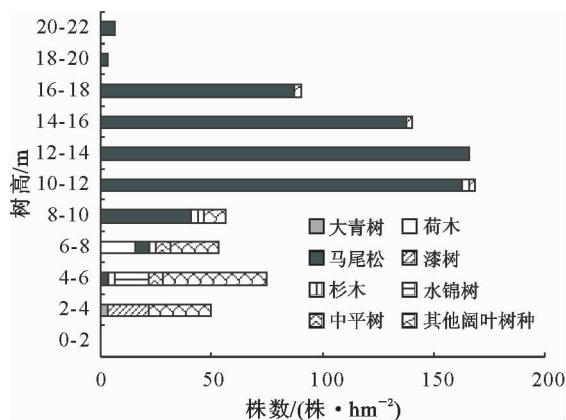


图5 轮伐期经营林分各树高级树种组成

Fig. 5 Species composition across height class under rotation management

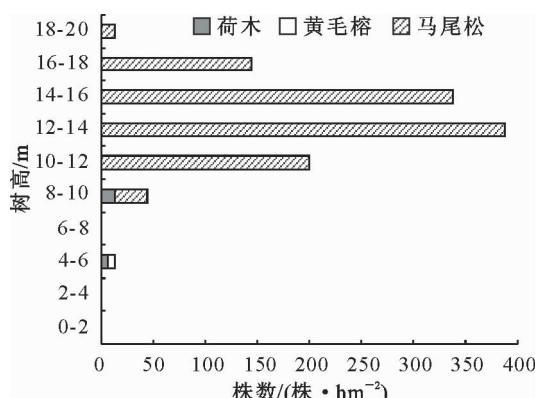


图6 无经营林分各树高级树种组成

Fig. 6 Species composition across height class without management

自然经营生长量>轮伐期经营生长量>无经营生长量。近自然经营相对于轮伐期经营主要是对林分上层木和下层木生长促进效果明显，对中层木生长影响与轮伐期经营效果差异不明显。轮伐期经营与无经营相比较，能有效促进中层林生长，但对上层木及下层木的促进效果不明显。

近自然经营目标树年生长量显著大于轮伐期经营平均木，值得一提的是近自然经营株数密度与轮伐期经营株数密度无显著差异，前者(除目标树之外)的一般木生长量也显著大于后者林分平均木年生长量，因此，近自然经营能够有效提高保留木(目标树和一般木)的生长，培育出大径材。

近自然经营能够有效增加林分进界蓄积和林分蓄积生长量(PAI)，而轮伐期经营相对于无经营林分对提高林分进界蓄积和PAI没有显著效果。这是因为林分蓄积生长量主要来源于上层林的生长，虽然轮伐期经营能够有效促进单木生长，但无经营林分高密度弥补单木生长量低的不足，但轮伐期经营林分蓄积生长率高于无经营林分。近自然经营相对于轮伐期经营能有效增加马尾松与阔叶树种的蓄积生长量，因此，在提高林分生产力方面，近自然经营优于轮伐期经营。

近自然经营与轮伐期经营相对于无经营林分，均能有效增加林分树种多样性与均匀度，但近自然经营明显优于轮伐期经营(两者树种多样性指数差异显著)。近自然经营通过采伐干扰树，改善林内水、光、热条件，促进林下补植和天然更新阔叶树种进入到林分中层，阔叶树种占林分总株数的60%，初步形成混交林，而且阔叶树种大叶栎、灰木莲、红锥生长较好；轮伐期经营阔叶树占总株数22.4%，且主要分布在林下层，而无经营林分缺乏林分下层，林下更新不足。

总的来说，自然经营优于轮伐期经营。这是由于轮伐期经营作业过程中，采伐掉的林木与保留木之间并没有多大的竞争关系，虽然改变了林分结构，但实质上并没有改善林分生长状况。而近自然经营则是基于林木之间的竞争关系，采伐影响目标树生长的干扰树(这些干扰树往往是林分中的优势木或次优势木，而优势木与次优势木在轮伐期经营中是要保留下来的)，同时林下被压木与更新得到生长解放。另外，近自然经营采伐干扰树之后，利用树种光特性，选择耐荫和不耐荫阔叶树种进行林下套种，针叶树种与阔叶树种之间具有生长促进作用(种间激励效应量化指标目前比较难)，本文用生长量来间接表达。

从当前森林结构看，近自然经营的林分马尾松目标树还未达到目标直径(45 cm以上)，需要再次择伐上层林木中影响目标树生长的林木，同时促进林分中下层阔叶树的生长，对同一高度级的阔叶树之间进行适当的疏伐，减少阔叶树之间竞争，从阔叶树种的演替类型可以推断，随着马尾松目标树的采伐，当前以马尾松为上层木的林分会最终形成以阔叶树为优势树种的针阔混交林。

轮伐期经营的林分需注意保护林下更新树种,间伐部分上层木,减少上层林木之间竞争,改善林下环境,促进林下被压木生长,从轮伐期经营模式逐渐过渡到近自然经营,通过针阔混交,改善林地土壤状况,避免针叶纯林连作。

参考文献:

- [1] LU Y C, LEI X D. Close-to-nature forest management in China: technical framework and models in practice[C]// PERLIS A, XIII World Forestry Congress. Buenos Aires, Argentina: FAO, 2009: 1-6.
- [2] LEI X D, LU Y C, PENG C H, et al. Growth and structure development of semi-natural larch-spruce-fir (*Larix olgensis-Picea jezoensis-Abies nephrolepis*) forests in northeast china: 12-year results after thinning[J]. Forest Ecology and Management, 2007, 240: 165-177.
- [3] LI C Y, ZHOU X F. Status and future trends in plantation silviculture in China[J]. AMBIO, 2000, 29 (6): 354 - 355.
- [4] 国家林业局森林资源管理司. 第七次全国森林资源清查及森林资源状况[J]. 林业资源管理, 2010(1): 1-8.
- [5] 赵华, 刘勇, 吕瑞恒. 森林经营分类与森林培育的思考[J]. 林业资源管理, 2010(6): 27-31.
- ZHAO H, LIU Y, LV R H. Thinking on forest management classification and silviculture[J], Forestry Resources Management, 2010, 6: 27-31. (in Chinese)
- [6] 詹昭宁. 中国森林经理探讨[J]. 林业经济问题, 2007, 1(27): 89-96
- ZHAN Z N. Discussion of Chinese forest organization [J]. Problems of Forest Economics, 2007, 1(27): 89-96. (in Chinese)
- [7] 韦国彦. 对森林经营概念、作用及经营思路的分析[J]. 林业勘察设计, 2007, 43(3): 14-15.
- WEI G Y. Analysis on the concept , function and management thoughts of forest management [J]. Forest Investigation Design, 2007, 43(3): 14-15. (in Chinese)
- [8] 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: 133-136.
- [9] BI J, BLANCO J A, SEELY B, et al. Yield decline in Chinese fir plantations: a simulation investigation with implications for model complexity[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2007, 37: 1615-1630.
- [10] 孟翎冬. 湖北省马尾松人工林近自然经营初探[J]. 湖北林业科技, 2012(1): 43-46.
- MENG L D. On close-to-natural management of *Pinus massoniana* Lamb plantation in Hubei province [J]. Hubei Forestry Science and Technology, 2012(1): 43-46. (in Chinese)
- [11] 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)
- [12] LO Y H, LIN Y C, BLANCO J A, et al. Moving from ecological conservation to restoration: an example from central Taiwan, Asia[C]// BLANCO J A, LO Y H. Forest Ecosystems: More Than Just Trees. Croatia: Rijeka, Tech. Press, 2012; 339-354.
- [13] 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.
- LU Y C, ZHANG S G, LEI X D, et al. Theoretical basis and implementation techniques on close-to-nature transformation of plantations [J]. World Forestry Research, 2009, 22 (1): 20-27. (in Chinese)
- [14] 陆元昌, 栾慎强, 张守攻, 等. 从法正林转向近自然林: 德国多功能森林经营在国家、区域和经营单位层面的实践[J]. 世界林业研究, 2010, 23(1): 1-11.
- LU Y C, LUAN S Q, ZHANG S G, et al. From formal forest to close-to-nature forest: multi-functional forestry and its practice at national, regional and forest management unit levels in Germany [J]. World Forestry Research, 2010, 23(1): 1-11. (in Chinese)
- [15] 陆元昌, 雷相东, 洪玲霞, 等. 近自然森林经理计划体系技术应用示范[J]. 西南林学院学报, 2010, 30(2): 1-6.
- LU Y C, LEI X D, HONG L X, et al. Demonstrative application of the close-to-nature forest management planning system to forestry practice [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2010, 30(2): 1-6. (in Chinese)
- [16] 陆元昌, Werner S, 刘宪钊. 多功能目标下的近自然森林经营作业法研究[J]. 西南林业大学学报, 2011, 31(4): 1-11.
- LU Y C, WEMER S, LIU X Z. Study on operation system towards close-to-nature forest based on multi-function purposes [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2011, 31 (4): 1-11. (in Chinese)
- [17] 王青天. 杉木混交林近自然经营效果研究[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(1): 95-99.
- WANG Q T. Effectiveness study on the close-to-nature management for mixed forest of chinese fir[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(1): 95-99. (in Chinese)
- [18] TAYLOR R F. A Tree Classification for Lodgepole Pine in Colorado and Wyoming[J]. Journal of Forestry, 1937, 35: 868-875.
- [19] HORNIBROOK E M. A Modified Tree Classification for Use in growth studies and timber marking in Black Hills Ponderosa Pine[J]. Journal of Forestry, 1939, 37: 483-488.
- [20] 蔡子良, 孙文胜. 热带林业实验中心森林资源评价分析与发展研究[J]. 林业资源管理, 2008(4): 24-27.
- CAI Z L, SUN W S. Assessment, analysis and research on the forest resources of the tropical forest experimental center [J]. Forestry Resources Management, 2008(4): 24-27. (in Chinese)
- [21] 车腾腾, 冯益明, 蔡道雄, 等. 热带林业实验中心人工林区景观格局变化分析[J]. 浙江农林大学学报, 2011, 28(5): 706-712.
- CHE T T, FENG Y M, CAI D X, et al. Dynamics analysis on landscape patterns of Chinese tropical and subtropical plantation areas [J]. Journal of Zhejiang A & F University, 2011, 28(5): 706-712. (in Chinese)
- [22] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996: 27-34.