

不同经营模式对油松人工林林分生长短期影响

程冀文¹, 王树森^{1*}, 罗于洋¹, 肖 军², 金玉栋³, 丛云鹤¹, 刘 静¹, 王事成¹

(1.内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2.亚太森林恢复与可持续管理组织, 北京 100102;

3.内蒙古赤峰市旺业甸实验林场, 内蒙古 赤峰 024423)

摘 要:为了探究不同森林经营方式林分生长动态变化情况,于内蒙古赤峰市旺业甸林场油松人工林中选取油松中龄林和近熟林设置近自然经营、常规经营和未经营样地,根据2013、2016年和2019年3次调查,分析对比不同经营模式下林分蓄积生长量、胸径、胸高断面面积和单木材积量单木生长量,林分胸径分布和林分垂直分层生长量的动态变化。结果表明,中龄林近自然经营和常规经营方式下的PAI(年蓄积生长量)均大于未经营,近熟林6 a间近自然经营方式下PAI为 $12.31 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,大于常规经营和未经营;中龄林平均胸径单木生长量6 a间表现为近自然经营($0.58 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$)>常规经营($0.48 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$)>未经营($0.31 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$),近熟林表现为近自然经营($0.69 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$)>未经营($0.49 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$)>常规经营($0.46 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$);近自然经营方式下油松人工林6 a间单株胸高断面面积生长量、单株立木材积生长量均显著大于常规经营和未经营;近自然经营方式下的油松人工林上层胸径、胸高断面、蓄积年生长量都大于其他经营方式,近自然经营大径阶树木比例增长幅度最大。由此得出结论,近自然经营有利于林木胸径、林木单株胸高断面面积和单株立木材积的生长,同时还会提高林分大径级林木株数比例,更有助于提高人工林木质量。

关键词:油松人工林;近自然经营;生长动态**中图分类号:**S791.254**文献标志码:**A**文章编号:**1001-7461(2021)02-0172-08Initial Effect of Different Managements on the Growth Dynamics of
Pinus tabulaeformis PlantationsCHENG Ji-wen¹, WANG Shu-sen^{1*}, LUO Yu-yang¹, XIAO Jun², JIN Yu-dong³, CONG Yun-he¹,
LIU Jing¹, WANG Shi-cheng¹

(1.Desert Control Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, Inner Mongolia, China;

2.APFNet Fund, Beijing 100102, China; 3.Wangyedian Experimental Forest Farm, Chifeng 024423, Inner Mongolia, China)

Abstract: In order to explore the growth dynamic changes of stand growth under different forest management modes, in this study, middle-aged and near mature *Pinus tabulaeformis* plantations in Wangyedian Forest farm of Chifeng, Inner Mongolia were selected as research objects to conduct 3 types of forest management: close-to-natural management (CNM), conventional management (CM), and non-management (control). According to the data of three surveys in 2013, 2016 and 2019, the dynamic changes of diameter at breast height (DBH), basal area at breast height (BABH), volume, single tree growth, stand horizontal structure growth and stand vertical structure growth were analyzed and compared among different management types. The results showed that the periodic annual increment (PAI) of middle-aged forest under CNM and CM was higher than that of the control, and PAI of nearly mature forest under CNM was $12.31 \text{ m}^3 \cdot$

收稿日期:2020-08-20 **修回日期:**2020-11-27**基金项目:**亚太森林恢复与可持续管理组织“多功能林业示范基地建设试点示范项目(二期)”[2015P8-INM(Ⅱ)];内蒙古自治区应用技术研究与开发项目“内蒙古地区多功能树种选育及扩繁关键技术研究及示范”[2019GG004]。**作者简介:**程冀文。研究方向:水土保持。E-mail:1515717650@qq.com*** 通信作者:**王树森,博士,博士生导师。研究方向:水土保持与荒漠化防治。E-mail:wsswt@126.com

$\text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, which was higher than that of CM and the control. The average DBH growth of the single tree of middle-aged forest was in the order of CNM($0.58 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$) > CM($0.48 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$) > control ($0.31 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$) in 6 years; for the near mature forest, the order was CNM($0.69 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$) > control($0.49 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$) > CM($0.46 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$); under CNM, the growth of breast height section area of individual tree in 6 years was significantly larger than that of CM and control. The upper DBH, BABH and volume annual growth under CNM were higher than CM and the control. It was concluded that compared with other management methods, the CNM mode was conducive to the growth of DBH, BABH of single tree and volume of single tree, CNM was beneficial to the increase of the proportion of large diameter trees, and was more helpful to improve the quality of artificial trees.

Key words: *Pinus tabulaeformis* plantation; close-to-natural management; growth dynamic

油松(*Pinus tabulaeformis*)广泛分布于中国华北、中原和西部地区,具有较高的经济与生态价值^[1]。对油松林进行合理的森林经营措施可改变油松林的林分密度、调节林木之间的关系、改善油松林的生长条件,最终促进油松人工林的生长^[2]。目前森林经营不再单纯的要求经济效益,而是要经济效益、生态效益和社会效益同时兼顾以达到林业可持续发展^[3-5]。不同的森林经营模式通常会影响到不同的森林结构变化,合理的森林经营抚育间伐是促进林木生长的关键措施之一^[6-8]。近自然经营^[9-10]目前被广泛认为是能够满足森林可持续经营标准的最有前景的营林方法,其基本思想是利用森林自然演替进程平衡森林生态、社会和经济功能。自2000年提出了近自然林业的理论与技术框架^[9,11]以来,人工林近自然改造包括森林演替发展阶段划分、森林发展类型设计和目标树林分作业体系设计。近自然经营模式同时兼顾森林生态和经济效益,能够在保持森林可持续发展的前提下,实现林木最大生产力^[9]。

人工林是全世界森林资源的重要组成部分,且在生态建设中占据着重要的地位。我国人工林面积达到6 933万 hm^2 ^[12],面积居世界首位。森林经营在适应我国林业现状上面临挑战,因此,改变人工林传统经营模式是平衡人工林经济效益和生态效益的唯一途径^[1,13]。林同龙^[14]分析近自然经营后的林分树种组成、植被多样性和土壤肥力及林分生产力。李婷婷等^[15]比较分析杉木人工林近自然作业4 a后林分生长状况、林分水平结构、林分垂直结构、树种多样性、树种重要值的动态变化。明安刚等^[16]对马尾松杉木人工林近自然化改造研究得出通过调整林分结构显著提升马尾松和杉木人工林生物量和生产力。曾冀^[17]揭示马尾松、杉木人工林人工林自然改造后林木生长、林下植被多样性以及林地土壤化学性质的动态变化。宁金魁等^[13]比较分析了北京西山油松人工林不同经营方式之间的生物多样性和林分生长指标之间差异。如上所述,目前关于近自然

经营或改造对林分生长和结构影响的文章基本都在位于广西热带林业实验中心,而于华北地区近自然经营后林分动态生长报道较少。由此,本研究以内蒙古自治区赤峰市喀喇沁旗旺业甸林场油松人工林为研究对象,对比分析6 a间近自然经营、常规经营、未经营样地林分蓄积量,胸径、胸高断面面积,单木材积量,单木生长量和林分结构变化,探究不同经营方式下林分生长动态,为华北地区油松人工林近自然改造和经营提供参考与支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况和试验设计

试验地设在内蒙古赤峰市喀喇沁旗旺业甸林场($118^{\circ}09' - 118^{\circ}30' \text{E}$, $41^{\circ}21' - 41^{\circ}39' \text{N}$);地处燕山北部山地的七老图山支脉。山地平均高度为1 300 m。属中温带大陆性季风气候。年均温 $3.5^{\circ}\text{C} \sim 7^{\circ}\text{C}$,无霜期为110~150 d,年均降水量为400 mm。植物种类极其丰富,共有高等植物627种,分属88科326属。该地主要树种以人工林和通过封山育林形成的次生林为主。林分类型有油松(*Pinus tabulaeformis*)、华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、白桦(*Betula platyphylla*)、黑桦(*Betula dahurica*)等。

2013年在项目区油松人工林选取中龄林和近熟林,设置未经营区、常规经营区和近自然经营区,共6块经营区,并在每块经营区取3个样圆作为重复,共计18块样圆,样圆半径为13.82 m,面积为600 m^2 。

表2为不同经营方式处理作业前后的林分变化,中龄林和近熟人工林未经营(MM3、NM3)为无人经营,采取封山育林和自然恢复的策略,使其幼苗幼树自然更新。所以伐前后林分特征并无变化。传统的森林抚育的重点是确定和标记“不要的林木”,近自然经营方式(MM1、NM1)兼顾生态价值和经济价值,以培养“需要的林木-目标树”为重点,

培育的目标是“高质(值)”。并将目标树进行分类标记和记录,目标树选择的主要特征是干形通直;树冠大,枝叶茂盛;主杆没有侧枝;树皮没有裂痕。本试验近自然经营方式的抚育强度为 15%,间伐强度为 14%。常规经营(MM2、NM2)以抚育疏伐为主,伐

除直径长势一般的林木,保留优势木和亚优势木,采伐强度较大,本研究样地抚育强度为 20%、采伐强度为 29%。

样地基本情况包括样地号、样地面积、优势树种、立地类型等见表 1。

表 1 不同经营方式作业样地概况

Table 1 Plots location and respective operations

作业组	造林时间	龄级	经营类型	海拔/m	坡向	坡度/(°)
MM1	1985 年	中龄林	近自然经营	1 165~1 201	西	≤20
MM2			常规经营	1 129~1 157	南	≤21
MM3			未经营	1 151~1 171	南	≤22
NM1	1975 年	近熟林	近自然经营	1 372~1 435	东	≤23
NM2			常规经营	1 419~1 467	北	≤24
NM3			未经营	1 423~1 457	北	≤25

表 2 不同经营方式处理作业前后资源状况变化

Table 2 Forest changes of three different managements

	伐前						伐后					
	株数 /(株· hm ⁻²)	胸径 DBH/cm	树高 /m	胸高 断面面积 /(m ² ·hm ⁻²)	枝下高 /m	蓄积 /(m ³ · hm ⁻²)	株数 /(株· hm ⁻²)	胸径 DBH/cm	树高 /m	胸高 断面面积 /(m ² ·hm ⁻²)	枝下高 /m	蓄积 /(m ³ · hm ⁻²)
MM1	661	21.36	14.05	25.71	6.56	155.96	567	20.99	13.91	21.57	6.45	132.31
MM2	972	17.59	13.19	24.67	6.15	134.51	700	19.51	14.30	21.30	6.66	118.16
MM3	989	17.60	12.59	23.99	6.24	124.90	989	17.60	16.36	23.99	6.24	124.90
NM1	661	24.31	16.55	32.66	7.32	209.59	567	23.98	16.42	27.36	7.09	175.07
NM2	689	20.45	12.71	26.57	5.24	171.27	544	21.76	13.38	23.41	5.58	153.53
NM3	644	23.76	14.98	30.65	6.40	194.97	644	23.76	14.98	30.65	6.40	194.92

1.2 样地调查

2013 年对选取的 18 块样圆进行野外调查,在经营作业前进行首次调查,经过经营作业调整后获得伐后数据。对所有胸径 5 cm 以上树木,在 1.3 m 处用红色油漆沿胸径划线进行标记(目标树采用蓝色油漆),并将树号写在胸高以上 20 cm 处,同时在胸径以下 20 cm 处挂牌。并用手持罗盘仪,读取该样木方位角,用皮尺测量该样木到样地中心的距离,并且记录乔木的树种,林分因子调查包括样木位置及树木编号、每木检尺(胸径在 5 cm 以上的树木树种、胸径、树高、冠长、冠幅、优势度、起源、损伤、干材质量、林木类型、Z 目标树、B 干扰树、S 特别目标树及非木材用途树、N 一般林木)、郁闭度、天然更新调查。2016 年和 2019 年对上述所有的调查因子进行复测。

1.3 研究方法

1.3.1 林分蓄积生长量 林分蓄积定期平均生长量 PAI(periodic annual increment)计算公式如下:

$$PAI = (V_2 - V_1) / a \quad (1)$$

式中, V_2 为期末林木的材积之和($m^3 \cdot hm^{-2}$); V_1 为期初所有林木的材积之和($m^3 \cdot hm^{-2}$); a 为间隔的年数。

立木材积计算根据已经测得的树种胸径和树高,查当地一元材积表,计算材积量和蓄积量。

1.3.2 单木生长量 单木生长采用年平均胸径生长量和材积生长量、单株林木的胸径和材积年平均生长量:

$$I = \frac{y_2 - y_1}{n \cdot a} \quad (2)$$

式中, y_2 为期末所有树木的胸径(或材积)之和; y_1 为期初所有树木的胸径(或材积)之和; n 为林木株数; a 为间隔期的年数。

1.3.3 数据处理 采用 Excel2007、SPSS 19.0 和 Origin 2018 软件对所有数据进行统计分析并作图。

2 结果与分析

2.1 不同时间间隔林分蓄积动态变化

表 3 为不同调查间隔期间林分蓄积生长量动态变化。由表 3 可以看出,对于中龄林来说,近自然经营和常规经营 PAI(年蓄积生长量)大于未经营,2013—2019 年 6 a 间近自然经营和常规经营方式下的 PAI 较未经营分别增加了 43.96%、44.86%;在 6 a 间常规经营方式下林木枯死物蓄积最大,为 4.48 $m^3 \cdot hm^{-2}$,大于未经营(2.21 $m^3 \cdot hm^{-2}$)和近自然

经营($0\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)。从近熟林来看,PAI 都表现为近自然经营>未经营>常规经营,其中 6 a 间近自然经营方式下 PAI 为 $12.31\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。6 a 间未经营林木枯死物蓄积最大为 $5.85\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,大于常规经营($2.21\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)和近自然经营($0\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)。

表 3 不同时间间隔林分蓄积动态

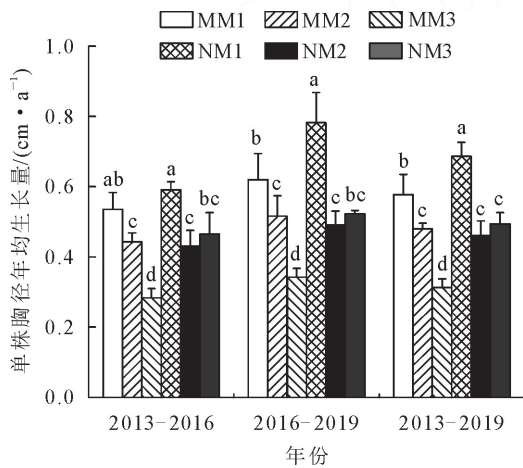
Table 3 Volume dynamics

	2013—2016 年				2016—2019 年				2013—2019 年			
	V1 /($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)	Vm /($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)	V2 /($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)	PAI /($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)	V1 /($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)	Vm /($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)	V2 /($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)	PAI /($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)	V1 /($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)	Vm /($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)	V2 /($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)	PAI /($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)
MM1	132.96	0.00	152.94	6.66	152.94	0.00	186.37	11.14	132.96	0.00	186.37	8.90
MM2	119.14	4.48	140.47	7.11	140.47	0.00	172.89	10.81	119.14	4.48	172.89	8.96
MM3	126.26	2.21	141.05	4.93	141.05	0.00	163.36	7.44	126.26	2.21	163.36	6.18
NM1	175.71	0.00	209.32	11.21	209.32	0.00	249.65	13.44	175.71	0.00	249.65	12.32
NM2	152.55	0.07	165.01	4.15	165.01	0.00	196.36	10.45	152.55	0.07	196.36	7.30
NM3	198.02	3.81	228.13	10.04	228.13	2.04	260.95	10.94	198.02	5.85	260.95	10.49

注:V1:期初蓄积;Vm:枯死木蓄积;V2:期末蓄积;PAI=(V2-V1)/间隔年数。

2.2 单木生长量

2.2.1 胸径生长量 由图 1 可见,中龄林各年份间胸径生长量总体呈现近自然经营(0.54 、 0.62 、 $0.58\text{ cm}\cdot\text{a}^{-1}$)>常规经营(0.44 、 0.52 、 $0.48\text{ cm}\cdot\text{a}^{-1}$)>未经营(0.28 、 0.34 、 $0.31\text{ cm}\cdot\text{a}^{-1}$),其中 2013—2016、2016—2019、2013—2019 年 3 种经营方式间胸径生长量均存在显著性差异($P<0.05$)。6 a 间年均增长率表现为近自然经营(16.51%)>常规经营(14.75%)>未经营(10.67%)。



注:字母表示差异显著性($P<0.05$)。下同。

图 1 油松人工林单株胸径年均生长量

Fig.1 Mean DBH growth of *P. tabulaeformis* plantation

在近熟林下林木胸径生长量表现为近自然经营(0.59 、 0.78 、 $0.69\text{ cm}\cdot\text{a}^{-1}$)>未经营(0.47 、 0.52 、 $0.49\text{ cm}\cdot\text{a}^{-1}$)>常规经营(0.43 、 0.49 、 $0.46\text{ cm}\cdot\text{a}^{-1}$),各年份近自然经营与其他 2 种经营方式的胸径生长量间呈现显著差异($P<0.05$),常规经营与未经营间没有表现出显著性差异;从 6 a 间总生长率来看近自然经营胸径增长率(17.23%)高于其他 2 种经营方式,常规经营(12.71%)与未经营

(12.49%)增长率相差 0.22% 。

2.2.2 胸高断面面积生长量 从中龄林来看,各年份间胸高断面面积生长量均呈现出近自然经营(16.23 、 19.75 、 $17.99\text{ cm}^2\cdot\text{a}^{-1}$)>常规经营(10.44 、 12.92 、 $11.68\text{ cm}^2\cdot\text{a}^{-1}$)>未经营(8.25 、 10.72 、 $9.48\text{ cm}^2\cdot\text{a}^{-1}$),近自然经营与其他 2 种经营方式胸高断面面积总生长量间均差异显著($P<0.05$),但常规经营与未经营之间无显著性差异($P>0.05$)。6 a 间总增长率表现为近自然经营(33.14%)>常规经营(31.27%)>未经营(22.30%)。

近熟林林木胸高断面面积生长量均表现为近自然经营(23.83 、 33.61 、 $28.72\text{ cm}^2\cdot\text{a}^{-1}$)>未经营(19.63 、 22.54 、 $21.08\text{ cm}^2\cdot\text{a}^{-1}$)>常规经营(16.24 、 19.64 、 $17.94\text{ cm}^2\cdot\text{a}^{-1}$),其中 2013—2016、2016—2019 年近自然经营与其他 2 种经营方式胸高断面面积生长量均差异显著($P<0.05$),其中 2013—2019 年 3 种经营方式间胸高断面面积生长量均差异显著($P<0.05$),除 2013—2019 年,2013—2016、2016—2019 年常规经营与未经营之间无显著性差异($P>0.05$),2013—2016、2016—2019 年常规经营与未经营间胸高断面面积生长量均差异显著($P<0.05$);从 6 a 总生长率来看,常规经营及未经营方式的胸高断面面积生长率相差并不大(常规经营 24.77% 、未经营 26.39%),近自然经营胸高断面面积 6 a 总增长率为 35.88% ,大于其他 2 种经营方式。

2.2.3 单株立木材积生长量 由图 3 可知,中龄林各年份间单株立木材积生长量表现为近自然经营($0.013\ 2$ 、 $0.019\ 5$ 、 $0.016\ 3\text{ m}^3\cdot\text{a}^{-1}$)>常规经营($0.010\ 9$ 、 $0.013\ 0$ 、 $0.012\ 0\text{ m}^3\cdot\text{a}^{-1}$)>未经营($0.005\ 1$ 、 $0.008\ 1$ 、 $0.006\ 6\text{ m}^3\cdot\text{a}^{-1}$),其中 2013—2019 年未经营与其他 2 种经营方式间表现出显著性差异($P<0.05$);6 a 总增长率表现为近自然经营

(40.41%) > 常规经营 (39.55%) > 未经营 (26.82%)。

近熟林各年份间单株立木材积生长量表现为: 近自然经营(0.019 6、0.023 7、0.021 7 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$) > 未经营(0.016 1、0.017 3、0.016 7 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$) > 常规经营(0.014 4、0.014 5、0.014 5 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)。其中除 2013—2016 年未经营与近自然经营方式间没有表现出显著性差异($P > 0.05$), 其余各年份近自然经营方式与其他 2 种经营方式间均表现出显著性差异($P < 0.05$); 6 a 总增长率表现为近自然经营(41.25%) > 未经营(31.49%) > 常规经营(30.11%)。

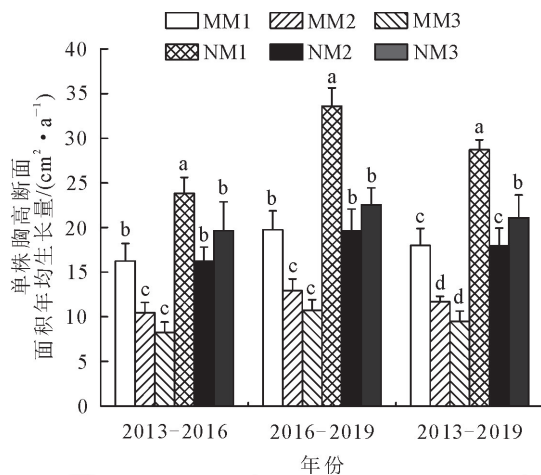


图2 油松人工林单株胸高断面面积年均生长量

Fig.2 Mean basal area at breast height growth of *P. tabulaeformis* plantation

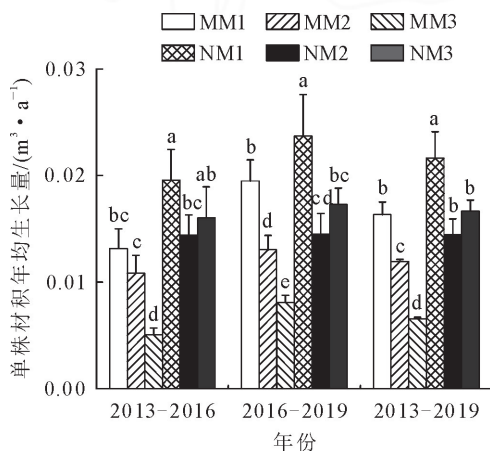


图3 油松人工林单株材积年均生长量

Fig.3 Single tree volume growth of *P. tabulaeformis* plantation

2.3 不同经营方式下林分胸径分布

由图4可知,近自然经营中龄林林木多分布于18~32 cm 径阶,2019年>30 cm 林木数量相较于2013年增加了17株;常规经营方式下中龄林林中,处于16~26 cm 径阶林木较多,2019年>26 cm 林木数量相较于2013年增加了14株;对于未经营的

中龄林来说,林木径阶多分布于12~24 cm,小径阶林木数量逐年减少,径阶处于22~28 cm 的林木数量逐年增加,而径阶分布在16~22 cm 的林木数量无明显变化。

从近熟林来看,近自然经营方式下,近熟林林木径阶多分布于22~34 cm,2019年径阶>30 cm 林木数量相比2013年径阶>30 cm 林木数量增加了13株;常规经营模式下的近熟林林木径阶分布表现为:2013年林木径阶主要分布于8~12 cm 和22~30 cm,2016年林木径阶多集中于8~10 cm 和22~30 cm,2013—2016年呈现多峰分布趋势;2019年林木径阶集中分布于26~30 cm,具有明显的峰值;对于未采取经营措施的近熟林来说,2013年的林木径阶主要分布在18~30 cm;2016年多集中于22~32 cm;2019年林木集中分布于24~32 cm。径阶超过26 cm 的林木,在2013、2016、2019年中分别为47、60、67株;>30 cm 径阶的林木,在2019年中有38株,相比2013年增加了15株。

由图5可知,对于油松中龄林来说,近自然经营方式下大径阶(≥ 30 cm)树木株数比例2013、2016、2019年分别为7.45%、17.02%、25.53%,其中2013、2016、2019年株数分别集中在22~26、24~28、26~30 cm,分别占整体株数的39.36%、38.30%、38.30%。常规经营方式下大径阶(≥ 30 cm)树木株数比例2013、2016、2019年分别为0.82%、0.82%、4.10%,其中2013、2016、2019年株数分别集中在18~22、20~24、22~26 cm,分别占整体株数的50.82%、48.36%、46.72%。未经营方式下大径阶(≥ 30 cm)树木株数比例2013、2016、2019年分别为0.00%、0.56%、1.13%,其中2013、2016、2019年株数分别集中在24~28、24~28、26~30 cm,分别占整体株数的50.85%、49.15%、48.59%;且近自然经营、常规经营和未经营2019年大径阶树木比例相对于2013年分别增加了18.09%、3.28%、1.13%。

对于油松近熟林来说,近自然经营方式下大径阶(≥ 34 cm)树木株数比例2013、2016、2019年分别为7.29%、14.58%、22.92%,其中2013、2016、2019年株数分别集中在24~28、24~28、26~30 cm,分别占整体株数的38.54%、38.54%、38.54%。常规经营方式下大径阶(≥ 34 cm)树木株数比例2013、2016、2019年分别为11.58%、12.63%、15.22%,其中2013年株数主要集中在24~28 cm,2016、2019年主要集中在26~30 cm;分别占整体株数的31.58%、32.63%、33.70%。未经营方式下大径阶(≥ 34 cm)树木株数比例2013、2016、2019年分别为

10.48%、14.29%、19.05%,其中2013、2016、2019年株数分别集中在24~28、26~30、28~32 cm,分别占整体株数的40.00%、33.33%、34.29%。3种方式下,林木径阶的主要分布区间都有向大径阶方向移动,大径阶林木比例一定程度的增高,近自然经营方

式下2013—2019年大径阶树木比例增长幅度最大(15.63%),常规经营和未经营方式下2019年大径阶树木比例相对于2013年树木比例分别增加了3.64%、8.57%。

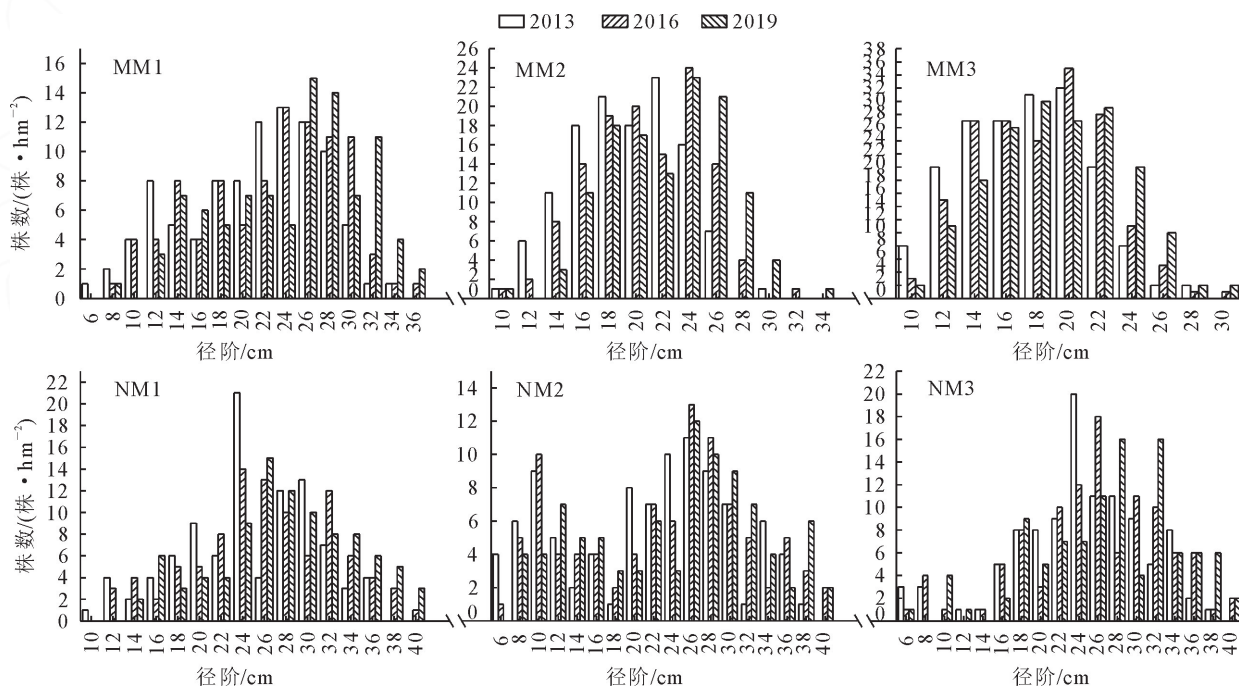


图4 油松人工林径阶分布

Fig.4 Diameter rank distribution of *P. tabulaeformis* plantation

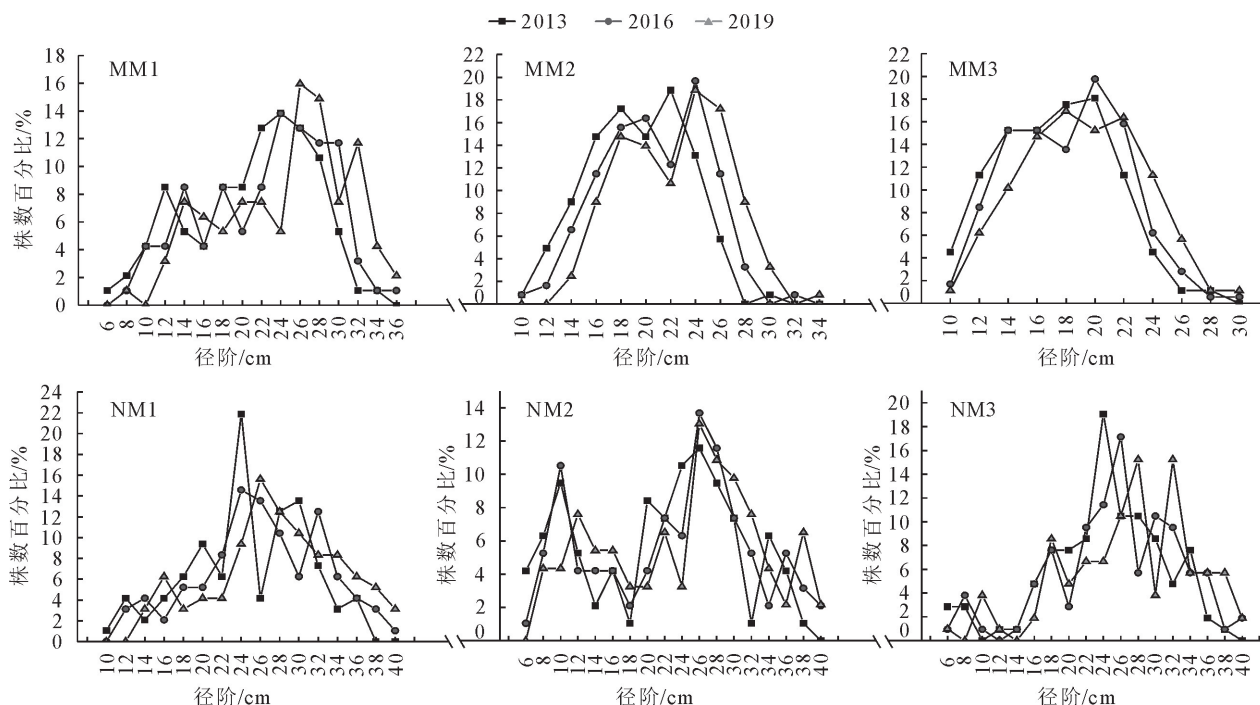


图5 油松人工林径阶比例分布

Fig.5 Diameter rank distribution of *P. tabulaeformis* plantation

3 结论与讨论

3.1 结论

中龄林和近熟林近自然经营方式下 PAI(年蓄积生长量)最大。

中龄林各年份间胸径、胸高断面面积、单株立木材积生长量均呈现出近自然经营>常规经营>未经营,6 a 间年均胸径、胸高断面面积、单株立木材积增长率近自然经营最高;在近熟林胸径、胸高断面面积、单株立木材积生长量表现为近自然经营>未经营>常规经营,6 a 间胸径、胸高断面面积、单株立木材积生长率近自然经营胸径增长率最高。

近自然经营方式下中龄林和近熟林 2019 年大径阶(>30 cm)林木数量相较于 2013 年增加最多,常规经营其次,为经营方式下最少。在不同林龄不同经营方式下大径阶林木数量均为近自然经营>常规经营>未经营。随年份增长大径阶树木也随之增长。

油松中龄林 2019 年大径阶树木比例相对于 2013 年近自然经营方式下林木大径阶树木比例增长幅度最大;油松近熟林来说,近自然经营方式、常规经营方式和未经营方式下,林木径阶的主要分布区间都有向大径阶方向移动,其中大径阶林木比例都有一定程度的增高,近自然经营方式下 2019 年大径阶树木比例相对于 2013 年树木比例增长幅度最大。

总体来说,近自然经营相对于其他 2 种经营方式更有利于林木胸径、林木单株胸高断面面积和单株立木材积的生长,同时还会提高林分大径级林木株数比例,更有助于提高人工林木质量。

3.2 讨论

研究表明,近自然经营有利于提高油松林分内大径级林木的株数比例,相较于常规经营方式和未经营状态更能促进油松林平均胸径、平均胸高断面面积和单株材积的生长。不同经营方式下油松人工林平均胸径均呈现出近自然经营>未经营>常规经营,导致原因为常规经营模式是通过采伐木材来充分发挥森林经济功能,林分中的大型林木以砍伐为主,所以小型林木所占比例较大;而近自然经营模式主要是以目标树的最大生长量为重点,由于目标树木经过多次间伐,大径阶树木被保留,小径阶树木被移除,平均胸径则随着干扰树木的清除而增加,所以说近自然经营方式有利于林木胸径增长,本文研究结果与修勤绪等^[18]研究近自然经营有利于人工油松林的平均胸径增加的结果一致。游伟斌等^[19]通过对北京油松林不同林分密度的碳储量研究得出林分密度与林分的平均直径呈负相关的数量关系,即密度越大的林分其林分平均直径越小,直径生长量也越低。本研究结果表

现为未经营平均胸径生长量最小。王玉涛等^[20]研究了油松胸径生长量相关问题,得出北京地区油松人工林 5 a 平均胸径生长量为 2.27 cm(年均 0.45 cm),本研究结果不同林龄不同经营方式下平均胸径增长量在 0.32~0.51 cm。单位面积蓄积量未经营>近自然经营>常规经营,这与游伟斌等^[19]在间伐对北京油松林碳储量影响研究结果一致,由于近自然经营中林分密度低,扩大了保留木的营养空间,改善了林内小气候条件,有利于提高林分的质量和生产力。同时,单株材积的增长也可以提高木材的产量,从而提高森林经济价值,因此,近自然经营能有效地促进油松单株材积增长。由于近自然经营的林分单位面积内的林木株数减少,导致近自然经营单位面积平均蓄积量 2013—2019 年小于其他经营方式。由于林分密度的降低,促进了林分胸径和单株材积的快速增长,所以近自然经营方式下单株材积增长量增大^[21],近自然经营模式的采伐强度为 6.5%~17.7%,而常规经营为 21.2%~29.9%^[22]。王玉涛等^[20]研究表明,单位面积蓄积量与间伐强度呈反比关系,即间伐强度越大,单位面积蓄积量越小。单位面积蓄积量与保留株数和单株材积相关,但是因为单株材积增长较慢,因此单位面积蓄积量的大小取决于保留株数的多少,即伐除株数越多,蓄积量越小。中龄林和近熟林近自然经营改造后的前 3 a 与后 3 a,蓄积年生长量大于常规经营和未经营,这是因为近自然经营样地内伐除了干扰树,保留了生长势头较好的林木,减少了林木竞争,改善了林内光、水、热条件,使保留木得到更多的生长资源。这与前人得出的采伐作业能够增加林分蓄积生长量的结论一致^[23-24]。未经营由于株数密度大,其枯死率与枯死木蓄积均大于近自然经营与常规经营样地,这与前人研究得出高密度林地具有较高枯死率的结论相同;且常规经营枯死量大于近自然经营样地,且枯死木都集中在径阶较小的林木^[22,25-26]。

对于林分垂直分层林木生长差异中油松中龄、近熟人工林的近自然经营方式和常规经营方式来说,林分上层主要集中了大径阶林木,并且主要的胸高断面面积和蓄积年生长量由林分上层贡献,且经过近自然经营林分各层的生长量皆好于常规经营。而未经营并无人为干扰,对于油松中龄林来说,林木尚未停止高生长。林分上层和中层的胸高断面年生长量和蓄积年生长量贡献两并无很大差异;油松近熟林由于林龄较大,林分上层的贡献了主要的胸高断面和蓄积年生长量。

参考文献:

- [1] 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)
- [2] 王建军, 孟京辉, 葛方兴, 等. 基于森林功能分区的经营小班划分研究[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(3):165-170.
- WANG J J, MENG J H, GE F X, *et al.* Division of small management classes based on forest functional zoning[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(3):165-170. (in Chinese)
- [3] 张会儒. 东北天然林可持续经营技术研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2011.
- [4] 雷加富. 中国森林生态系统经营: 实现林业可持续发展的战略途径[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007.
- [5] BRACK, CRIS, MCELHINNY, *et al.* Multi-scale forest inventory and modelling for multi-purpose management (multipurpose forest management)[J]. Journal of Forest Planning, 2011, 16:133-139.
- [6] TIMILSINA N, HEINEN J. Forest structure under different management regimes in the Western Lowlands of Nepal[J]. Journal of Sustainable Forestry, 2008, 26(2):112-131.
- [7] BISSELEUA D, HERVÉ B, VIDAL S. Plant biodiversity and vegetation structure in traditional cocoa forest gardens in Southern Cameroon under different management[J]. Biodiversity & Conservation, 2008, 17(8):1821-1835.
- [8] NAGAIKE T, KAMITANI T, NAKASHIZUKA T. Effects of different forest management systems on plant species diversity in a *Fagus crenata* forested landscape of central Japan[J]. Can J for Res., 2005, 35(12):2832-2840.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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]. 西南林业大学学报, 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)
- [12] 周晓曦, 赵鹏祥, 卜元坤, 等. 黄龙山油松人工林结构与稳定性、生产力之间影响的关联分析[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(2):178-185.
- ZHOU X X, ZHAO P X, BU Y K, *et al.* Correlation analysis of the influence between structure and stability, productivity of *Pinus tabulaeformis* plantation in Huanglong Mountain[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(2):178-185. (in Chinese)
- [13] 宁金魁, 陆元昌, 赵浩彦, 等. 北京西山地区油松人工林近自然化改造效果评价[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(7):42-44.
- NING J K, LU Y C, ZHAO H Y, *et al.* Assessment on close-to-nature transformation of *Pinus tabulaeformis* plantations in Xishan region, Beijing [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2009, 37(7):42-44. (in Chinese)
- [14] 林同龙. 杉木人工林近自然经营技术的应用效果研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(3):11-16.
- LIN T L. Application effect research on intimate natural forestry management techniques for *Cunninghamia lanceolata* plantations[J]. Journal of Central South University of Forestry Science and Technology, 2012, 32(3):11-16. (in Chinese)
- [15] 李婷婷, 陆元昌, 庞丽峰, 等. 杉木人工林近自然经营的初步效果[J]. 林业科学, 2014, 50(5):93-103.
- LI T T, LU Y C, PANG L F, *et al.* Initial effect of close-to-nature management of Chinese fir plantation[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2014, 50(5):93-103. (in Chinese)
- [16] 明安刚, 刘世荣, 李华, 等. 近自然化改造对马尾松和杉木人工林生物量及其分配的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(23):7833-7842.
- MING A G, LIU S R, LI H, *et al.* Effects of close-to-nature transformation on biomass and its allocation in *Pinus massoniana* and *Cunninghamia lanceolata* plantations [J]. Acta Zoologica Sinica, 2017, 37(23):7833-7842. (in Chinese)
- [17] 曾冀. 广西大青山杉木马尾松人工林近自然化改造试验研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2017.
- [18] 修勤绪, 陆元昌, 曹旭平, 等. 目标树林分作业对黄土高原油松人工林天然更新的影响[J]. 西南林学院学报, 2009, 29(2):13-19.
- XIU Q X, LU Y C, CAO X P, *et al.* Effects of target tree Stand management on natural regeneration of *Pinus tabulaeformis* plantation on Loess Plateau area[J]. Journal of Southwest Forestry University, 2009, 29(2):13-19. (in Chinese)
- [19] 游伟斌, 梁芳, 贾忠奎, 等. 抚育间伐对北京山区油松林乔木层碳储量的影响[J]. 北方园艺, 2011(23):203-206.
- [20] 王玉涛, 刘平, 魏忠平. 油松人工林单木胸径生长量与竞争因子的关系[J]. 沈阳农业大学学报, 2016, 47(3):299-306.
- WANG Y T, LIU P, WEI Z P. The relationship between DBH growth and competition factors for *Pinus tabulaeformis* plantation [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2016, 47(3):299-306. (in Chinese)
- [21] 刘红梅, 王祖华, 关庆伟, 等. 间伐对杉木和马尾松人工林生长及植物多样性的影响[J]. 林业科技开发, 2010, 24(3):33-37.
- [22] 张涛. 近自然经营对旺业甸林场森林生物量与碳储量影响的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [23] LEI X, LU Y, PENG C, *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 & Management, 2007, 240(1-3):165-177.
- [24] VILLEGAS Z, PENA-CLAROS M, MOSTACEDO B, *et al.* Silvicultural treatments enhance growth rates of future crop trees in a tropical dry forest[J]. Forest Ecology & Management, 2009, 258(6):971-977.
- [25] SIMARD S W, BLENNER-HASSETT T, CAMERON I R. Pre-commercial thinning effects on growth, yield and mortality in even-aged paper birch stands in British Columbia[J]. Forest Ecology and Management, 2004, 190(2/3):163-178.
- [26] ZHANG J, OLIVER W W, POWERS R F. Long-term effects of thinning and fertilization on growth of red fir in northeastern California[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2005, 35(6):1285-1293.