

陕西商洛油松飞播林生长规律及其影响因子分析

黄青平¹, 王得祥^{1*}, 刘华², 张丽楠¹

(1 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100; 2 陕西商南金丝峡管委会, 陕西 商南 726300)

摘要:在陕西商洛地区30年生油松飞播林设置样地开展林分结构调查,并获取28株解析木,运用WinDENDRO软件进行树干解析,统计分析陕西商洛地区油松飞播林的生长规律及其主要影响因子。结果表明:1)研究区30年生油松飞播林的树高、胸径和材积均值分别为(10.52 ± 0.18)m、(10.99 ± 0.28)cm和(0.0619 ± 0.0018) m^3 ;该地区油松树高生长率在20 a以后趋于减慢、胸径与材积生长率25 a以后趋于减慢。2)海拔、坡位、坡向和林分密度对油松生长产生显著影响,不同立地因子、林分密度条件下,油松生长情况差异显著。其中海拔800~1 000 m范围内油松生长表现最好;阴坡、下坡位油松生长情况明显优于其他坡向、坡位;密度则以1 000~1 400株·hm⁻²适宜。

关键词:油松;生长规律;飞播林;影响因子

中图分类号:S791.254 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2013)01-0157-06

Analysis on the Growth Rhythm and Environmental Impact Factors of Aerially Seeded *Pinus tabulaeformis* Plantation in Shangluo

HUANG Qing-ping¹, WANG De-xiang^{1*}, LIU Hua², ZHANG Li-nan¹

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Management Committee of Golden Canyon Forest Park of Shangan, Shaanxi 726300, China)

Abstract: An investigation was conducted on the forest structure in the sampling plots of 30-year-old aerially seeded *Pinus tabulaeformis* stands. Twenty eight analytic trees were obtained, and analyzed by WinDENDRO software, ANOVA. Path analysis was applied to obtain the growth rhythm and main environmental impact factors. The results showed that the average values of tree height, DBH, and volume were 10.52 ± 0.18 m, 10.99 ± 0.28 cm and 0.0619 ± 0.0018 m^3 , respectively. The growth rate of height declined gradually after 20 years old, and the growth of DBH and volume were also slow down after 25 years. The results also suggested that altitude, slope position and aspect, and stand density influenced the growth significantly. *P. tabulaeformis* at 800—1 000 m above sea level grew relatively better than other environmental conditions, especially on shady and lower slopes. The optimal density was 1 000 to 1 400 per hectare.

Key words: *Pinus tabulaeformis*; growth rhythm; aerially seeded plantation; environmental impact factor

陕西商洛市位于丹江流域,属于秦岭东段,是我国南北植物区系的交汇区,植物种类繁多,区系多样,植被类型具有明显亚热带与暖温带过渡的特点。由于大规模的毁林开荒曾造成了该区生态环境的急剧恶化,自1975年开始,国家于商洛地区开始了大

规模的飞播造林。30多年来,国家和当地政府为了恢复商洛的生态环境,投入了大量的人力、物力和财力,并已取得辉煌的成就。截止2010年,商洛全区造林面积已达48.7万hm²,成为我国北方最大的飞播林区^[1]。然而查阅相关材料、文献,发现对商洛地

收稿日期:2012-03-19 修回日期:2012-04-23

基金项目:国家林业局林业公益性行业科研专项(200804022B);国家自然科学基金项目(31070570)。

作者简介:黄青平,男,硕士研究生,研究方向:森林结构化经营与森林健康评价。E-mail:liuqingshuiping@163.com

*通信作者:王得祥,男,教授,博士生导师,主要研究方向:森林生态和森林可持续经营。E-mail:Wangdx66@126.com

区油松飞播林的研究极少,随着现有飞播林面积的增大,如何对其进行健康经营,是迫切需要解决的问题。本文拟分析商南、洛南地区近30 a来油松飞播林的生长规律,及其与当地环境因子的关系,总结该地区飞播造林和经营管理过程中存在的问题,为以后的飞播造林工作和现有的油松飞播林健康经营工作提供理论基础和实践依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

商洛市位于陕西东南部,海拔215.4~2802.1 m。地处北亚热带与暖温带的过渡地带,气候温暖^[2]。年平均气温7.8~13.9℃,平均日照

1 860~2 130 h^[3],全年平均无霜期216 d。年均降水量803.2 mm^[4-5]。区内森林植被形成明显的山地森林植被分布规律,不同海拔具有不同的垂直带谱。在河谷及山坡中下部低海拔地区,分布有亚热带常绿阔叶树种和落叶阔叶树种组成的混交林带,在山坡中、上部地段,主要分布着针阔混交林或落叶阔叶林,土壤以山地棕壤和山地黄棕壤为主^[6]。

1.2 研究方法

1.2.1 标准地布设 在充分踏查商洛地区油松飞播林分布状况的基础上,选择海拔分布范围400~1 000 m的飞播林作为研究对象布设样地。考虑到各影响因子对油松生长的影响,采用单因子法选择布设样地28块(表1)。

表1 油松飞播林样地基本情况

Table 1 General situations in plots of *P. tabulaeformis* forests in Shangluo region

样地号	海拔/m	地点	坡向	坡位	坡度/(°)	郁闭度	现存密度/(株·hm ⁻²)
1	440	N33°33'16" E110°44'14"	NE13°	坡中	36	0.83	1 450
2	550	N33°30'16" E110°47'01"	NE17°	坡中	38	0.30	1 460
3	665	N33°33'16" E110°43'14"	NW19°	坡中	32	0.75	1 510
4	740	N33°32'43" E110°58'39"	NW20°	坡中	36	0.30	1 480
5	842	N33°26'05" E110°54'07"	N	坡中	34	0.75	1 440
6	965	N33°26'15" E110°54'13"	N	坡中	37	0.60	1 520
7	540	N33°26'12" E110°50'10"	W	坡上	35	0.60	1 900
8	550	N33°35'40" E110°44'13"	SW37°	坡上	36	0.30	1 750
9	530	N33°45'18" E110°50'17"	SW38°	坡中	36	0.65	1 850
10	568	N33°40'19" E110°15'30"	W	坡中	34	0.80	1 780
11	570	N33°26'11" E110°54'06"	SE55°	坡下	38	0.55	1 760
12	570	N33°26'12" E110°53'54"	SE60°	坡下	33	0.50	1 790
13	990	N33°37'12" E110°15'14"	南	坡下	36	0.40	2 580
14	1 020	N33°50'36" E110°57'9"	南	坡下	38	0.70	2 600
15	1 010	N33°46'24" E110°44'3"	SE30°	坡下	37	0.75	2 550
16	980	N33°02'02" E110°9'47"	SW35°	坡下	35	0.80	2 625
17	965	N33°36'13" E110°15'58"	北	坡下	35	0.60	2 725
18	1 000	N34°2'2" E110°9'47"	北	坡下	37	0.65	2 490
19	1 020	N34°3'30" E110°14'52"	NW40°	坡下	36	0.30	2 660
20	1 044	N34°36'9" E110°18'40"	NW38°	坡下	39	0.75	2 575
21	670	N33°51'57" E110°7'6"	NE30°	坡上	36	0.83	1 100
22	650	N34°14'5" E110°18'30"	NW32°	坡上	37	0.70	1 300
23	610	N33°39'49" E110°40'7"	NW33°	坡上	38	0.80	1 450
24	600	N34°30'17" E110°5'19"	NW34°	坡上	38	0.75	1 750
25	684	N33°28'2" E110°27'10"	NW40°	坡上	35	0.40	1 840
26	655	N34°30'9" E110°9'58"	NW35°	坡上	39	0.70	2 200
27	660	N34°8'16" E110°17'2"	NW43°	坡上	35	0.30	2 300
28	675	N34°28'18" E110°44'17"	NW36°	坡上	34	0.75	2 550

1.2.2 样本的测定与计算 在各标准地每木检尺的基础上按平均胸径和平均高各选1株标准木进行树干解剖。标准木按照1 m为1个区分段,在运用WinDENDRO软件进行交叉定年的基础上测定各龄阶(2 a为1龄阶)的树高和直径,求算各龄阶的材积、树高、直径和材积的连年生长量(连年生长量用定期平均生长量代替),以比较不同条件下油松林分的生长状况。

各生长指标计算方法:

$$\text{标准木材积: } V_{\text{标}} = \sum G_i L + G_i + L' / 3 \quad (1)$$

式中: G_i 为标准木各区分段中央断面积, L 为各区分段长度, $G_i + 1$ 为树梢底面积, L' 为树梢长度。

$$\text{材积平均生长量: } V_1 = V_i / I \quad (2)$$

$$\text{材积连年生长量: } V_2 = (V_i + 1 - V_i) / 2 \quad (3)$$

式中: V_i 为第 i 龄阶材积总生长量, i 为该龄阶年龄。

$$\text{林分材积: } V = H_{\text{标}} \times f_{1,3} \times \sum G_{\text{标}} \quad (4)$$

$G_{\text{标}}$ 为标准木胸高断面积, $H_{\text{标}}$ 为标准木树高, $\sum G_{\text{标}}$ 为林分总断面积。

$$\text{树高平均生长量: } H = H_i / I \quad (5)$$

$$\text{树高连年生长量: } H = (H_i + 1 - H_i) / 2 \quad (6)$$

式中: H_i 为第 i 龄阶树高总生长量, I 为该龄阶年龄。

$$\text{胸径平均生长量: } D = D_i / I \quad (7)$$

$$\text{胸径连年生长量: } D = (D_{i+1} - D_i) / 2 \quad (8)$$

式中: D_i 为第 i 龄阶树高总生长量, I 为该龄阶年龄。

1.2.3 数据处理与分析 根据所调查的样地,结合商洛市飞播造林规划^[4],将海拔分为3级:400~600、600~800、800~1 000 m;坡向分为4级:阳坡、半阳坡、半阴坡、阴坡;坡位分为3级坡下、坡中、坡上;林分密度分为4个等级:1 000~1 400、1 400~1 800、1 800~2 200、2 200~2 600 株·hm⁻²。

在分析前根据数据资料的性质和分布规律,对试验数据进行预处理,对可疑的数据进行合理的取舍,剔除可能存在的异常值,会使试验数据准确可靠,结果符合客观规律^[7]。计算每个影响因子不同水平的油松树高、胸径、材积等生长指标的平均值,并进行方差分析、显著性检验得到差异显著后运用Ducan's新复极差测定法进行多重比较,然后依次分析单个因子对油松生长的影响,并运用通径分析的方法综合分析几个因子对油松材积生长的影响^[8]。

2 结果与分析

2.1 商洛市油松飞播林生长规律

由样地的28株油松解析木数据:30年生油松平均树高(10.52 ± 0.18)m,平均树高连年生长量(0.35 ± 0.01)m,平均胸径(10.99 ± 0.28)cm,平均胸径连年生长量(0.39 ± 0.02)cm,平均材积(0.0619 ± 0.0018)m³,平均材积连年生长量(0.0021 ± 0.0002)m³。

陕西商洛30年生油松树高、胸径、材积的生长过程如图1所示,其随着年龄增长呈递增趋势,不同时期生长速率存在一定差异,树高生长速度在20 a以后趋于减慢,胸径与材积生长速度在25 a以后趋于减慢。

年生长量是说明树木某一年的实际生长量,平均生长量主要描述生长全过程中的平均生长速度,各生长指标的连年生长量和平均生长量曲线相交时及为该树种该生长指标的数量成熟年龄^[9]。从图2~图4可知,商洛油松飞播林树高在20 a时即达到成熟龄(图2);胸径在18 a后生长速度减慢,进入稳定生长期(图3);

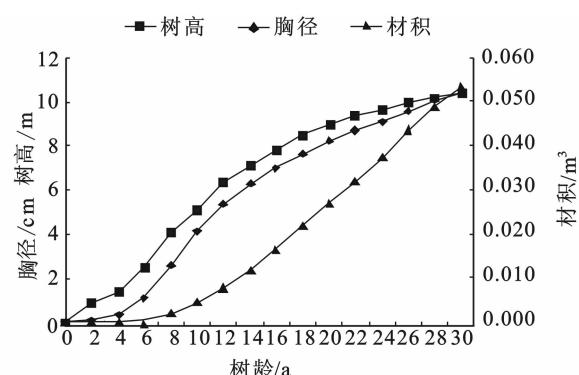


图1 商洛油松生长过程

Fig. 1 Growth process of aerially seeded *P. tabulaeformis* stands

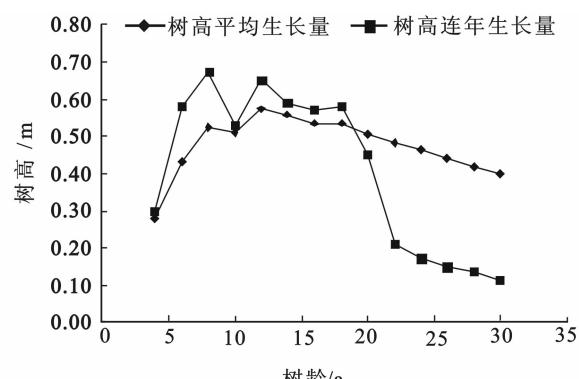


图2 商洛油松树高生长曲线

Fig. 2 Height growth

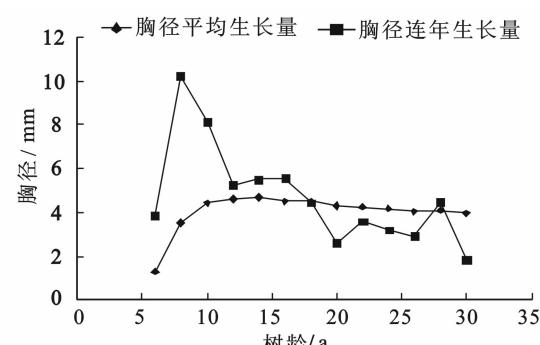


图3 商洛油松胸径生长曲线

Fig. 3 DBH growth

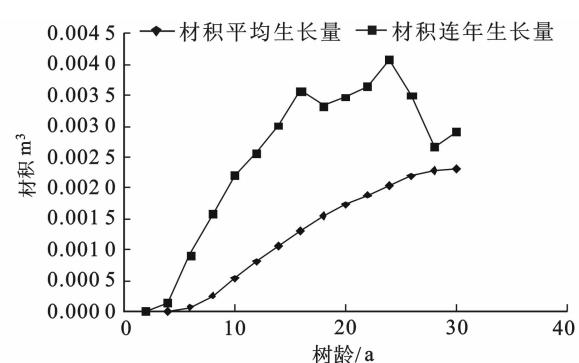


图4 商洛油松材积生长曲线

Fig. 4 Volume growth

2.2 地形因子对油松生长的影响

2.2.1 海拔对油松生长的影响 海拔高度的变化导致水热光照条件的规律性变化,一般情况下,海拔高度每升高100 m,气温下降0.5~0.6℃左右,不同山系降水量变化不一致。从图5可以看出所调查的样地中,生长在海拔800~1 000 m左右的油松飞播林各生长指标平均值高于其他两个海拔段,生长在600 m以下的油松生长情况最差,且不同海拔高度对油松树高、胸径和材积影响极为显著(p 值为0.004、0.003和0.002, $p<0.01$)。说明海拔高度对油松生长具有很大的影响,不同海拔高度间油松生长差异明显。

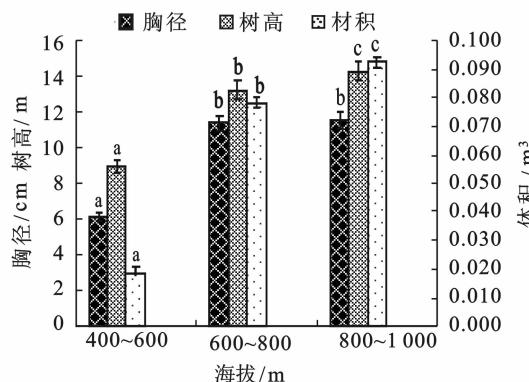


图5 不同海拔高度油松生长指标差异

Fig. 5 Variations of growth indices of *P. tabulaeformis* at different altitudes

2.2.2 坡位对油松生长的影响 坡上、坡中和坡下不同地形部位对土壤养分、水分等的分布产生重要影响,进而影响林木的生长^[10]。由图6可知,坡下各生长指标最高,其胸径、树高和材积平均生长量分别为(11.51±0.27)cm、(14.29±0.01)m和(0.0924±0.0018)m³,坡中部次之,坡上部最低。方差分析表明坡位对油松生长影响显著(其坡下部、中部、上部的 p 值分别为0.003、0.002和0.021),说明在5%水平上坡下部油松生长状况显著好于坡中部和坡上部。

2.2.3 坡向对油松生长的影响 坡向影响土壤水分、光照、温度、风速等立地因子,从而对树木的生长起着重要的作用。由图7可知,油松各生长指标均值大小顺序依次为阴坡>半阴坡>半阳坡>阳坡。不同坡向对油松的树高、胸径和材积的影响是极显著的(p 值分别为0.01、0.005和0.001),说明不同坡向对油松树高生长的影响在1%极显著水平上差异显著,对胸径和材积在5%上差异显著。由此可知,坡向对商洛林区油松飞播林生长的影响是极其显著的,阴坡最适宜油松的生长发育。

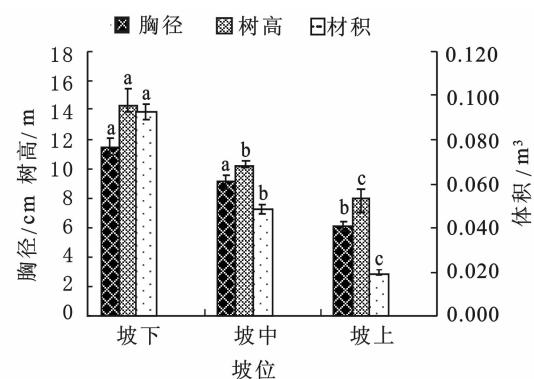


图6 不同坡位油松生长指标差异

Fig. 6 Variations of growth indices of *P. tabulaeformis* in different slope positions

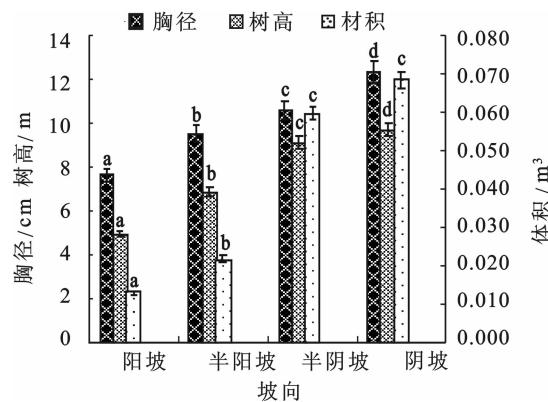


图7 不同坡向油松生长指标差异

Fig. 7 Variations of growth indices of *P. tabulaeformis* in different slope aspects

2.2.4 密度对油松生长的影响 从图8可知,在调查的样地中,林分密度在1 000~1 400株·hm⁻²之间的油松飞播林长势最好。4个不同密度水平对油松各生长指标的影响显著(p 值均小于0.005),呈典型的负相关关系,即随着密度增加油松各生长指标均出现降低的趋势。

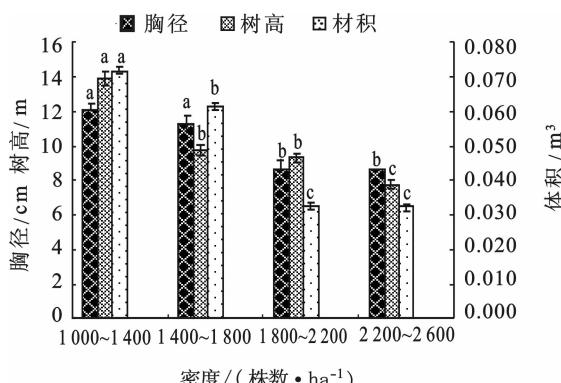


图8 不同密度油松生长指标差异

Fig. 8 Variation of growth indices *P. tabulaeformis* with different stand densities

2.3 影响因子对油松材积的通径分析

为了进一步分析各因子对油松生长的综合影

响,了解不同因子的直接影响程度和相对重要性,确定各因子通过其他因子对油松生长产生间接影响的途径和强度^[11],本研究对相关的影响因子与油松材积进行通径分析,以坡位、坡向和林分密度为自变量,以30年生油松材积为因变量根据前边的分析结果,将各因子进行分级并赋值:

海拔 x_1 :400~600 赋值 1,600~800 赋值 2,
800~1 000 赋值 3;

坡位 x_2 :上坡位赋值 1,中坡位赋值 2,下坡位赋值 3;

坡向 x_3 :阳坡赋值 1,半阳坡赋值 2,半阴坡赋值 3,阴坡赋值 4;

密度 x_4 :1 000~1 400 赋值 1,1 400~1 800 赋值 2,1 800~2 200 赋值 3,2 200~2 600 赋值 4。

表 2 各因子与油松材积通径系数

Table 2 Path coefficients of impacts factors and volume
of *P. tabulaeformis*

影响因子	y	x_1	x_2	x_3	x_4
x_1	0.105		0.002	0.087	0.115
x_2	0.342	0.002		0.040	-0.067
x_3	0.226	0.041	0.061		0.073
x_4	0.247	0.049	-0.088	0.067	

表 2 中第 1 列为通径系数,表示各因子对油松材积生长的直接影响途径,其后 4 列为间接通径系数,表示各因子通过其他因子对材积生长的间接影响途径。从表中可以看出商洛地区各立地因子对油松生长的影响大小依次为坡位>密度>坡向>海拔,各个因子通过直接和间接途径对油松生长产生综合影响。

3 结论与讨论

对商洛市 30 年生油松生长规律研究表明,商南地区的油松飞播林树高在 20 a 时即达到成熟龄;胸径 18 a 后生长速度趋于减慢,材积 25 a 后生长速度放缓。连年生长量曲线波动较大,这可能是由于结实、气候变化、病虫害、人为影响等随机因素的干扰所致。

海拔 1 000 m 左右的范围内油松生长较好,海拔过低则油松各生长指标明显降低,这是由于油松喜温凉气候^[12],海拔升高,温度降低,蒸腾、蒸发减弱,湿度增大,有利于油松的生长,而海拔较低时,温度较高,水分蒸散强烈,干燥度增加抑制油松生长^[13]。

不同坡位油松生长具有显著差异,下坡位油松生长最好。前人研究表明,坡位从上到下土壤由剥蚀逐渐过渡到堆积,腐殖质层由薄变厚,土壤质地由粗变细,土壤含水量增加,pH 值升高,因此山坡下部土壤条件明显优于中上部,更有利油松的生长。

长^[14]。商洛是低山丘陵地区,光照充足,降雨充沛,土壤营养条件则成为其限制因子,由于坡度的原因,雨水反复对林地土壤进行冲刷,造成下、中坡位土壤营养物质的富集明显高于上坡位,从而形成促进油松生长的条件。

阴坡的油松生长状况最好,其次是半阴坡与半阳坡,阳坡的生长状况最差,这与沈国舫^[15]等学者研究结果一致,主要原因是由于阴坡日照时间相对较短,太阳辐射相对其他坡向较弱^[15-17],其太阳辐射程度足够满足油松生长所需而又不至造成其生长过程中水分过于耗散,从而形成最适宜油松生长的环境条件;油松喜温凉气候^[17],阳坡之所以生长状况最差,则可能是因为商洛地区太阳辐射较强,造成阳坡林地温度过高,从而抑制油松生长。因此,由坡向引起的水分、养分和光照差异直接导致了油松生长状况的不同。

该区油松飞播林密度以 1 000~1 400 株· hm^{-2} 合适,油松是喜光植物,相对于其他针叶树种而言直干性弱,侧枝发达,密度过高造成林内光线不足,并且导致种内竞争激烈,适当的竞争有利于油松的生长,而竞争过于激烈则起到反作用。

通过通径分析可知,商洛地区各立地因子对油松生长的影响大小依次为坡位>密度>坡向>海拔,坡位的不同直接导致土壤的水、热、营养条件的不同,坡位对油松生长的影响最大,这说明土壤条件是影响当地油松生长的制约性因素。解放初期,商洛大规模毁林开荒,造成生态环境恶化,土壤贫瘠,至今还未完全恢复,这一历史背景与研究结果也是相符的。

综上所述,在今后的飞播造林工作中,在适宜油松生长的中、高海拔段油松飞播频度与密度可适当加大,而在气候较炎热、水分耗散和人为干扰较强烈的低海拔段则考虑用马尾松等更为适生的树种代替;林分密度过大容易造成种内的不良竞争,所以对于密度过大的林分应该及时的抚育间伐;密度过小,则不能郁闭成林,所以对于林木密度过小的林地,要及时补植。

参考文献:

- [1] 彭晓邦.商洛黄芩光合作用日变化特征研究[J].陕西农业科学,2011(4):100-102.
- [2] 袁海龙.商洛市野生兰科植物资源调查及保护策略[J].陕西农业科学,2011(4):125.
- [3] 宋军阳,张显,弓弼,等.秦岭商洛地区兰属植物资源野外调查初报[C]//张启翔.中国观赏园艺研究进展.北京:中国林业出版社,2010:84.
- [4] 陕西师范大学地理系.陕西省商洛地区地理志[M].西安:陕西

- 人民出版社,1981:9-10.
- [5] 唐启义,冯明光. DPS 数据处理系统(实验设计、统计分析及模型优化)[M]. 北京:科学出版社,2006:43-46.
- [6] 吴鹏,温佐吾,苟光前. 黔北山区主要立地因子对慈竹生长影响[J]. 山地农业生物学报,2007,26(5):397-402.
- WU P,WEN Z W,GOU G Q. Effect of main site factors on growth of *Neosinocalamus affinis* in mountain region of North Guizhou[J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology,2007, 26(5):397-402. (in Chinese).
- [7] 孟宗宪. 测树学[M]. 北京:中国林业出版社,1996:191-202.
- [8] 沈佐,曹雅宁,李任敏,等. 晋东南石灰岩山地油松人工林立地类型及评价[J]. 林业科学,1996,32(1):16-23.
- SHEN Z,CAO Y N,LI R M,*et al*. Studies on the classification of site types and appraisal of growth of Chinese pine plantation in southeast Shanxi calcareous mountain areas[J]. *Scientia Silvae Sinicae*,1996,32(1):16-23. (in Chinese).
- [9] 刘谦和,车克钧,常学向. 祁连山北坡立地因子对青海云杉树高生长的相关分析[J]. 甘肃林业科技,1995(2):7-12.
- LIU Q H,CHE K J,CHANG X X. Correlation analysis of site factors and height growth of *Picea crassifolia* in Qilian Mountains[J]. Journal of Gansu Forestry Science and Technology,1995(2):7-12. (in Chinese).
- [10] 任宪威. 树木学[M]. 北京:中国林业出版社,1997:61-62.
- [11] 陈定国,李春惠. 立地因子与土壤肥力状态的关系研究[J]. 福建林学院学报, 1996,16(3):259-264.
- CHEN D G,LI C H. Research into the relationship between site factors and soil fertility conditions[J]. Journal of Fujian College of Forestry,1996,16(3):259-264. (in Chinese)
- [12] 焦醒,刘广全. 陕西黄土高原油松生长状况及其影响因子分析[J]. 西北植物学报,2009,29(5):0867-0873.
- JIAO X,LIU G Q. Growth and its influencing factors of *Pinus tabulaeformis* in the Loess Plateau of Shaanxi Province [J]. *Acta Botanica Boreali Occidentalia Sinica*, 2009,29(5): 0867-0873. (in Chinese)
- [13] 沈国舫,关玉秀,周沛村,等. 影响北京市西山地区油松人工林生长的立地因子[J]. 北京林业大学学报,1979,1(1):96-105.
- SHEN G F,GUAN Y X,ZHOU P C,*et al*. Effect of sites factors on plantation growth of *Pinus tabulaeformis* in Xishan Area, Beijing [J]. Journal of Beijing Forestry University, 1979,1(1):96-105. (in Chinese)
- [14] 王礼先,朱金兆. 水土保持学[M]. 北京:中国林业出版社, 2005:132.
- [15] 徐化成,油松[M]. 北京:中国林业出版社,1993:127-134, 305-310.
- [16] 刘平,王玉涛,马履一,等. 油松人工林单木胸径生长过程模拟及检验[J]. 西北林学院学报,2010,25(4):139-143.
- LIU P,WANG Y T,MA L Y,*et al*. Dynamic prediction and verification of individual tree DPH growth process of the *Pinus tabulaeformis* plantation[J]. Journal of Northwest Forestry University,2010,25(4):139-143. (in Chinese)
- [17] 韩东峰,钱栓提,孙丙寅,等. 油松飞播林直径结构规律研究[J]. 西北林学院学报,2008,23(5):182-187.
- HAN D F,QIAN S T,SUN B Y,*et al*. Regularities of diameter structure of aerial *Pinus tabulaeformis* afforestation[J]. Journal of Northwest Forestry University,2008,23(5):182-187. (in Chinese)

(上接第 129 页)

- LIU C H,ZHANG C Y,SHI K P. Determination of chemical elements in *Pyrola rotundifolia* L. [J]. Journal of Shaanxi Normal University:Natural Science Edition,1996,24(1): 78-80. (in Chinese)
- [13] 许寒雷,张勇. 中草药透骨草中 4 种微量元素的形态分析[J]. 光谱实验室,2011,28(3):1347-1349.
- XU H L,ZHANG Y. Speciation analysis of four trace elements in Chinese medicinal herb garden balsam [J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory,2011,28(3):1347-1349. (in Chinese)
- [14] 沈晓芳,张勇,杨成,等. 黄芪中微量元素的形态分析[J]. 分析化学,2006,34(3):396-398.
- SHEN X F,ZHANG Y,YANG C,*et al*. Speciation analysis of trace elements in *Radix astragali* by flame atomic adsorption spectrophotometry[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry,2006,34(3): 396-398. (in Chinese)
- [15] 段敏,关勤农,康靖全,等. 杜仲雄花中矿质元素含量分析与评价[J]. 西北林学院学报,2009,24(5):129-131.
- DUAN M,GUAN Q N,KANG J Q,*et al*. Minerals in male flower of *Eucommia ulmoides*[J]. Journal of Northwest Forestry University,2009,24(5):129-131. (in Chinese)
- [16] 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所. 食物成分表[M]. 北京:人民卫生出版社,1991.
- [17] 何志谦. 人类营养学[M]. 北京:人民卫生出版社,1988:257, 320-330.
- [18] 李清晓,李忠平. 铁元素的营养价值及在动物生产上的应用[J]. 饲料博览,2004(4):4-6.
- [19] 孙彩玉,陈忠,王威威,等. 鹿蹄草资源的开发与利用研究[J]. 北方园艺,2011(1):220-222.