

陕西安东林业局华北落叶松人工林最适经营密度研究

张丽楠¹, 王得祥^{1*}, 郝亚中², 柴宗政¹, 张洋¹, 吴昊¹

(1 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100; 2 陕西省宁东林业局, 陕西 西安 710000)

摘要: 利用在宁东林业局进行的华北落叶松人工林标准地调查资料, 研究了落叶松胸径与树冠面积的相关关系; 并在此基础上, 利用胸径、树冠面积和立木密度的相关规律, 推算林分不同径阶的理论密度和适宜经营密度。结果表明: 1) 宁东林业局华北落叶松人工林胸径与树冠面积关系的最佳回归模型为 $C_{ws} = 0.0446D^2 - 0.7551D + 6.7533$; 2) 编制出理论密度和郁闭度为 0.7~0.9 的适宜经营密度表; 3) 落叶松人工林郁闭度为 0.7 时的林分密度为最适经营密度。

关键词: 华北落叶松; 人工林; 最适经营密度; 目标树作业体系

中图分类号: S758.58 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-7461(2013)01-0146-05

Optimal Management Density of *Larix principis-rupprechtii* Plantations of Ningdong Forestry Bureau in Shaanxi Province

ZHANG Li-nan¹, WANG De-xiang^{1*}, HAO Ya-zhong², CHAI Zong-zheng¹, ZHANG Yang¹, WU Hao¹

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

2. Ningdong Forestry Bureau, Xian, Shaanxi 710000, China)

Abstract: Based on the data from the sampling plots of *Larix principis-rupprechtii* plantations of the forestry farms of Ningdong Forestry Bureau in Shaanxi Province, this paper studied on the regression models of DBH and the crown area (C_{ws}), and used this to calculate the theoretical density and optimal management density. The results showed that: 1) the optimal regression model of DBH- C_{ws} was $C_{ws} = 0.0446D^2 - 0.7551D + 6.7533$. 2) the table of theoretical density and optimal management density were established under a series of canopy densities between 0.7~0.9 of *L. principis-rupprechtii* plantations. 3) the canopy density of 0.7 was the optimal management density.

Key words: *Larix principis-rupprechtii*; plantation; the optimal management density; crop tree management

华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)自上世纪 50 年代在陕西黄龙林区引种栽培, 90 年代开始大面积造林。截至 2004 年, 陕西省落叶松人工林面积达 0.87 万 hm², 其中秦岭林区面积达 0.79 万 hm², 在人工林中占有很大比例。华北落叶松具有生长快, 材质优良, 用途广, 抵抗不良气候的能力较强等特点, 并对水源涵养、水土保持和林区生态系统的形成与维护起着重要的作用^[1]。但是, 近年来的研究证实, 由于该区林分密度过大等原因, 造成落叶

松人工林生长缓慢、更新不良、物种多样性下降等问题^[2-3]。但是, 至今林分经营过程的最优密度管理问题尚未得到很好解决, 研究落叶松人工林不同生长阶段的适宜经营密度和应用目标树单株木作业方式制定采伐方案将对提高该林区落叶松人工林林分质量和生长量, 维持其森林生态系统的稳定性, 提升该林分的水源涵养功能和健康等级具有重要意义。以宁东林业局华北落叶松人工林为研究对象, 在不同立地条件和年龄阶段的落叶松林分中设置标准地进

收稿日期: 2012-03-08 修回日期: 2012-06-13

基金项目: 林业公益性行业科研专项“我国典型森林类型健康经营关键技术研究”(20100400206)。

作者简介: 张丽楠, 女, 硕士研究生, 研究方向: 森林生态与森林可持续经营。E-mail: linanliaoning86@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

行调查,利用胸径、冠幅和林木密度的相关规律,推算出该区落叶松人工林不同生长阶段的最适经营密度,以期为宁东林区落叶松不同生长阶段的抚育间伐和森林经营管理提供重要理论依据和关键技术。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于秦岭陕西省宁东林业局的火地塘林场和旬阳坝林场,地处秦岭南坡中段,属中国北亚热带和暖温带的过渡地带,海拔850~2 450 m。该区属暖温带向北亚热带过渡的气候类型,年平均气温8~10℃;年日照1 100~1 300 h;年降水量900~1 200 mm;年蒸发量为800~950 mm;相对湿度77.1%;平均无霜期199 d,最长216 d,最短140 d。土壤类型有黄棕壤、棕壤、暗棕壤和草甸土,但主要以山地棕壤为主,土层厚度>50 cm。

华北落叶松人工林内几乎无其他乔木与之伴生混交;灌木种类较少,主要有鞘柄菝葜(*Smilax stans*)、白檀(*Symplocos paniculata*)、喜阴悬钩子(*Rubus mesogaeus*)、大叶小檗(*Berberis ferdinandi-coburgii*)、峨眉蔷薇(*Rosa omeiensis*)、灰栒子(*Cotoneaster acutifolius*)等;草本植物主要有风毛菊(*Saussurea japonica*)、酢浆草(*Oxalis corniculata*)。

表1 胸径与冠径的回归模拟与拟合结果

Table 1 Regression models of DBH-Cws of *Larix principis-rupprechtii* plantations

序号	模型	b_0	b_1	b_2	b_3	R^2	残差平方和
1	$C_{ws} = b_0 + b_1 D$	-4.149 2	0.709 7			0.584	11 267.9
2	$C_{ws} = b_0 + b_1 \ln D$	-19.192 3	9.652 6			0.488	13 866.5
3	$C_{ws} = b_0 + b_1 D + b_2 D^2$	6.753 3	-0.755 1	0.044 6		0.675	8 792.7
4	$C_{ws} = b_0 + b_1 D + b_2 D^2 + b_3 D^3$	0.797 0	0.427 1	-0.027 4	0.001 4	0.674	8 799.0
5	$C_{ws} = b_0 D^{b_1}$	0.111 3	1.449 0			0.453	14 604.3
6	$C_{ws} = b_0 e^{b_1 D}$	1.169 8	0.100 1			0.479	13 900.5
7	$C_{ws} = 1/(1/u + b_0 b_1 D)$	0.854 9	0.904 8			0.479	13 900.5

从表1可以看出,结合相关分析、残差平方和可知,模型3最好,确定系数为0.675,残差平方和为8 792.7。因此可以确定,宁东林区落叶松人工林林木树冠面积依胸径变化规律呈二次函数关系,其回归方程为:

$$C_{ws} = 0.044 6D^2 - 0.755 1D + 6.753 3 \quad (1)$$

$$(R^2 = 0.675, p < 0.001)$$

式中:D为胸径(cm), C_{ws} 为树冠垂直投影面积(m^2),公式适用条件为 $D \geq 8.5$ (由于二次方程的对称轴是 $D=8.5$,当 $D < 8.5$ 时,随着胸径的增加,冠幅面积是逐渐减小的,这不符合自然规律)。

按照这一方程求出不同径阶的冠幅理论值,推测出不同径阶的林木所需要的营养面积,从而确定出落叶松人工林在不同胸径阶段应保留的理论密度。

ta)、大披针薹草(*Carex lanceolata*)、蟹甲草(*Parasenecio forrestii*)、四叶葎(*Galium bungei*)、六叶葎(*Galium asperuloides*)、紫菀(*Aster tataricus*)等。

1.2 方法

1.2.1 样地设置与调查 在研究区内对照林相图,结合实地踏查选择不同立地条件和年龄阶段的落叶松林分,共设置标准地21块,标准地面积为54 m×54 m。在标准地内对乔木进行每木检尺,用测高器测定树高,围尺测定胸径,皮尺测定林木东西向和南北向的冠幅,取其平均值作为林木的平均冠幅。

1.2.2 数据分析 利用宁东林业局华北落叶松人工林标准地调查资料,研究落叶松胸径与树冠面积的相关关系;在此基础上,利用胸径、树冠面积和立木密度的相关规律,推算出不同径阶林分的理论密度和适宜经营密度;应用目标树单株木作业方式制定采伐方案。

2 结果与分析

2.1 胸径与树冠面积相关关系分析

根据胸径与冠幅关系一般不受立地条件和林龄差异影响这一规律,在不考虑林分郁闭度情况下利用落叶松人工林立木胸径与冠幅对应值数据,进行回归分析(表1)。

2.2 理论密度与最适经营密度的确定

林分的理论密度为假定树冠之间既不重叠,也不出现空隙时单位面积上的立木株数,要求林分中每株林木都有一个适宜的生长空间。根据立木密度与胸径、胸径与树冠垂直投影面积的相关规律来推算不同平均直径林分的密度指标是一种常用的方法^[4-7],其公式为:

$$N_0 = 10 000 / C_{ws} \quad (2)$$

式中: C_{ws} 为一定林分各径级平均树冠垂直投影面积(m^2); N_0 为单位面积的立木株数(株·hm⁻²),通常称为理论密度,这时林分理论上既无林间空隙,又无树冠重叠。

由方程(1)、(2)求得落叶松各径阶冠幅理论值和理论密度,并在此基础上,推导出郁闭度为0.7~

0.9 的适宜经营密度,建立宁东林区落叶松人工林 不同径阶林分密度表(表 2)。

表 2 落叶松人工林不同径阶林分密度

Table 2 Optimal management density of *L. principis-rupprechtii* plantations at different diameter grades

径阶 /cm	冠幅实 测值/m ²	冠幅预 报值/m ²	冠幅差 值/m ²	理论密度 (株·hm ⁻²)	最适经营密度/(株·hm ⁻²)		
					郁闭度 0.7	郁闭度 0.8	郁闭度 0.9
7	3.03	3.65	-0.62	2 737	1 916	2 190	2 463
8	3.6	3.57	0.03	2 804	1 963	2 243	2 524
9	4.14	3.57	0.57	2 801	1 961	2 241	2 521
10	3.08	3.66	-0.58	2 731	1 912	2 185	2 458
11	4.37	3.84	0.53	2 602	1 821	2 082	2 342
12	3.96	4.11	-0.15	2 430	1 701	1 944	2 187
13	4.87	4.47	0.40	2 235	1 565	1 788	2 012
14	4.62	4.92	-0.30	2 031	1 422	1 625	1 828
15	5.74	5.46	0.28	1 831	1 282	1 465	1 648
16	5.69	6.09	-0.40	1 642	1 149	1 314	1 478
17	8.76	6.81	1.95	1 469	1 028	1 175	1 322
18	7.21	7.61	-0.40	1 314	920	1 051	1 183
19	8.48	8.51	-0.03	1 176	823	941	1 058
20	8.31	9.49	-1.18	1 054	738	843	949
21	10.36	10.56	-0.20	947	663	758	852
22	11.21	11.73	-0.52	853	597	682	768
23	12.91	12.98	-0.07	770	539	616	693
24	13.2	14.32	-1.12	698	489	558	628
25	16.97	15.75	1.22	635	445	508	572
26	17.06	17.27	-0.21	579	405	463	521
27	18.63	18.88	-0.25	530	371	424	477
28	18.85	20.58	-1.73	486	340	389	437
29	19.76	22.36	-2.60	447	313	358	402
30	23.88	24.24	-0.36	413	289	330	372
31	24.31	26.21	-1.90	382	267	306	344

表中实测值为各径级林木实测树冠面积,冠幅理论值是由(1)式计算出的各径级树冠面积的理论值 C_{ws} , 理论密度是由(2)式计算出的单位面积的立木株数 N_0 。

由表 2 可以准确的判断出林分是否应进行抚育间伐及确定抚育强度的大小。根据林分的平均胸径和所要达到的郁闭度得出该林分的适宜经营密度,当现实株数大于适宜经营密度时,即可确定该林分属于间伐对象,此时,现实株数与适宜经营密度之差即为间伐量(间伐株数)。

2.3 利用不同径阶密度表确定采伐强度

根据林分的一般生长规律,郁闭度为 0.7 时既能保证林木的正常生长,又能充分的利用光照和土壤营养^[8]。依据宁东林区落叶松人工林的立地条件和落叶松的生长状况现状,以及疏开林冠促进林下更新的经营目标,确定宁东林区的落叶松人工林郁闭度为 0.7 时的林分密度为最适经营密度。

利用以上编制的宁东林区落叶松人工林不同径阶密度表,依照林分平均胸径和郁闭度为 0.7 即可查出单位面积应保留株数,林分现有株数与最适经营密度的差值为间伐株数,间伐株数与现实林分密度的比值即为抚育间伐株数强度(见表 3)。

表 3 宁东林区落叶松人工林抚育间伐强度

Table 3 Thinning intensity table of *L. principis-rupprechtii* plantations at Ningdong Forest Region

样地号	林分密度/(株·hm ⁻²)	平均胸径/cm	理论密度/(株·hm ⁻²)	郁闭度 0.7/(株·hm ⁻²)	间伐株数/(株·hm ⁻²)	间伐强度/%
1	706	20.7	947	663	43	6.15
2	1 073	18.7	1 176	823	250	23.33
3	836	19.3	1 176	823	14	1.64
4	634	21.6	853	597	37	5.90
5	610	20.5	947	663	-53	0.00
6	877	20.1	1 054	738	140	15.94
7	847	21.0	947	663	184	21.73
8	1 059	19.0	1 176	823	237	22.33
9	847	19.8	1 054	738	109	12.87
10	1 210	14.5	1 831	1 282	-71	0.00
11	2 016	12.5	2 235	1 565	451	22.39
12	1 652	12.6	2 235	1 565	88	5.32
13	1 824	11.1	2 602	1 821	3	0.19
14	1 436	14.5	1 831	1 282	155	10.78
15	1 406	14.3	2 031	1 422	-16	0.00
16	1 220	15.5	1 642	1 149	72	5.89
17	1 481	13.8	2 031	1 422	59	4.02
18	1 258	15.8	1 642	1 149	110	8.71
19	1 306	15.6	1 642	1 149	158	12.06
20	1 371	15.5	1 642	1 149	223	16.24
21	1 659	15.4	1 831	1 282	378	22.76

出现间伐株数负值的原因是,5、10、15号样地中林木风倒、雪折现象比较严重,造成部分林木死亡,林分密度略低于适宜经营密度,因此不需要进行间伐抚育。

2.4 目标树单株木作业

目标树单株木作业是欧洲广泛使用的有效的近自然经营实践手段之一,它能有效刺激树木高生长,提高树木质量和蓄积量,缩短收获时间,丰富林分物种,促进林下更新,提高生态效益,也是进行林分物种改良的有效手段^[9]。具体做法是把所有林木分类为目标树、干扰树、生态保护树和其他树木等4种类型,使每株树都有自己的功能和成熟利用特点,在林分的每一定面积中选一棵最好的林木作为目标树,经营过程中主要以目标树为核心进行,定期确定并伐除与其形成竞争的树木,直到其达到目标直径后采伐利用。

2.4.1 目标树的选择 目标树是决定林分发展方向的林木,能代表林分,体现林分的生态效益、经济效益等,应该是长期保留,完成天然下种更新并达到目标直径后才采伐利用的。目标树应该是实生起源、生活力强、干材质量高、树冠饱满、损伤少、无病虫害、经济价值高的健康植株。目标树应尽量均匀地分布于林分内^[10]。

2.4.2 目标树的密度 目标树的生长需要一定的空间,密度过大会影响目标树的生长,密度过小又难以充分发挥林地生产力。因此,根据目标树要尽量均匀的分布在整個林分内的原则以及直径和树冠面积的关系确定其密度^[11]。根据加工要求和落叶松的生长特点,将落叶松的目标直径暂定为50 cm^[10]。根据落叶松直径和树冠面积的关系,当其达到目标直径时,可求出落叶松的理论树冠面积为80.5 m²。所以,保留的落叶松目标树为124株·hm⁻²左右。

2.4.3 目标树空间释放 选择好目标树后,下一步工作就是给目标树提供充足的生长空间,也叫“砍伐竞争树”或“目标树空间释放”。光照是影响树木生长的首要因子,目标树树冠与周围树冠相交错,大大影响了生长速度。干扰树就是指那些与目标树树冠交叉,或在未来几年将与目标树树冠交叉,或树冠在目标树上方影响其光照的树木^[12]。干扰树就是采伐的对象,根据采伐株树和目标树的密度可以估计出每株目标树周围采伐干扰树的数量。从表2可以看出,各个标准地的间伐株树在50~380株·hm⁻²,应根据林分间伐株树和干扰树对目标树的干扰程度,间伐掉目标树周围1~2株干扰树。

3 结论与讨论

利用陕西省宁东林业局华北落叶松人工林标准

地调查资料对胸径和冠幅进行回归分析,得出宁东林业局华北落叶松人工林立木胸径和树冠面积关系的最佳回归模型为: $C_{ws} = 0.0446D^2 - 0.7551D + 6.7533$,并根据胸径、冠幅和立木株数之间的规律,编制出宁东林业局落叶松人工林不同径阶密度指标表(表1),该表适用于陕西省宁东林业局各个年龄阶段的华北落叶松人工林,依据该表可以准确的判断出该区落叶松人工林是否应进行抚育间伐及确定抚育强度的大小。

根据宁东林业局落叶松人工林的立地条件和落叶松的生长状况及经营目标,确定宁东林业局落叶松人工林郁闭度为0.7时的林分密度为最适经营密度,这与张星云^[13]等的研究结果一致。

从数据分析中得出,该区落叶松人工林普遍密度较大,需要采取目标树经营等适当的间伐措施来达到林分的最适密度,从而促进养分、光照和水分等生长因子由不平衡达到平衡状态,以便获得高质量的林木,促进林下更新,提高落叶松人工林生态系统的稳定性、健康性和生物多样性。宁东林业局华北落叶松人工林目标树的密度为124株·hm⁻²左右,应根据林分间伐株树和干扰树对目标树的干扰程度,间伐掉目标树周围1~2株干扰树。

在确定林分合理经营密度时,一些学者们曾采用间伐试验或密度试验^[14-15]、遗传算法^[16]、密度指数法^[17]、动态规划法^[18]、变分法和最优控制理论^[19]等,但这些方法存在周期过长、所建模型过于依赖现存数学模型等问题。而本文利用胸径、树冠面积和立木株数的相关规律求取最适经营密度的方法是非常重要的方法,由于林分的平均胸径比较容易测定,并且不用考虑立地条件、林分年龄等因素,因此应用较为方便,但是用该方法计算的密度值较动态规划法略偏小,由于在现实林分中林木的树冠总是存在相互重叠的现象^[6]。

我国在目标直径方面报道尚少,本文主要是借鉴国外的研究成果确定落叶松的目标直径。而针对主要树种提出具体的指标成果可通过系统设计和试验基础上,采集大量林学与经济学结合的长期记录数据并分析后才能实现,建议今后对不同树种的目标直径进行系统的研究。

参考文献:

- [1] 石慧,王孝安,郭华.秦岭华北落叶松人工林群落结构及物种多样性[J].安徽农学通报,2008,14(15):159-162.
- SHI H, WANG X A, GUO H. Community structure and species diversity of *Larix principis-rupprechtii* plantation in Qinling Mountains[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2008, 14(15):159-162. (in Chinese)

- [2] 王俊玲,金红喜,杨占彪,等.六盘山华北落叶松人工林多样性、生产力研究[J].兰州大学学报:自然科学版,2008,44(1):31-36.
WANG J L, JIN H X, YANG Z B, et al. Species diversity and productivity of *Larix principis-rupprechtii* plantation woods in Liupan Mountains[J]. Journal of Lanzhou University: Natural Sciences Edition, 2008,44(1):31-36. (in Chinese)
- [3] 刘春延,谷建才,李吉跃,等.塞罕坝华北落叶松生长与气候因子的相关分析[J].北京林业大学学报,2009,32(4):102-105.
LIU C Y, GU J C, LI J Y, et al. Correlated analysis between the growth of *Larix principis-rupprechtii* and climatic factors in Saihanba of Hebei Province[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2009,32(4):102-105. (in Chinese)
- [4] 卢昌泰,李吉跃,康强,等.马尾松胸径与根径和冠径的关系研究[J].北京林业大学学报,2008,30(1):58-63.
LU C T, LI J Y, KANG Q, et al. Relationship between DBH and ground diameter as well as crown diameter of *Pinus massoniana*[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2008,30(1): 58-63. (in Chinese)
- [5] 沈国舫.森林培育学[M].北京:中国林业出版社,2001.
- [6] 漆良华.湖南省马尾松飞播林综合经营技术研究[D].湖南:中南林学院,2003.
- [7] 涂育合,叶功富,林武星,等.杉木大径材定向培育的适宜经营密度[J].浙江林学院学报,2005,22(5):530-534.
TUY H, YE H F, LIN W X, et al. Big-diameter-oriented cultivation techniques of *Cunninghamia lanceolata* with suitable management density[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2005,22(5):530-534. (in Chinese)
- [8] 顾丽,王新杰,龚直文,等.落叶松人工林根径材积表和合理经营密度研究[J].西北林学院学报,2009,24(5):180-185.
GU L, WANG X J, GONG Z W, et al. Ground diameter volume table and reasonable density management of *Larix gmelinii* stand[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24 (5):180-185. (in Chinese)
- [9] BRENDAL W, ARLYN W P. Crop tree management quick reference[EB/OL]. <http://www.dnr.cornell.edu/ext/info/pubs/index.htm>.
- [10] 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.
- [11] 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-natureforestry management of *Pinus yunnanensis* pure forests [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006,21 (4) : 85-88. (in Chinese)
- [12] 李慧卿,江泽平,雷静品,等.近自然森林经营探讨[J].世界林业研究,2007,20(4):6-11.
LI H Q, JIANG Z P, LEI J P, et al. Exploitation of the theory and application of close to nature forest management in europe[J]. World Forestry Research, 2007,20(4):6-11. (in Chinese)
- [13] 张星云,刘善喜.森林定量抚育采伐强度的研究[J].林业勘查设计,2004(4):48.
- [14] 潘建中,潘攀,牟长城,等.长白落叶松人工林的适宜经营密度[J].东北林业大学学报,2007,35(9):4-6.
PAN J Z, PAN P, MU C C, et al. Suitable management density of *Larix olgensis* plantation[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2007,35(9):4-6. (in Chinese)
- [15] 童书振,盛炜彤,张建国.杉木林分密度效应研究[J].林业科学研究,2002,15(1):66-75.
TONG S Z, SHENG W T, ZHANG J G. Studies on the density effects of Chinese fir stands[J]. Forest Research, 2002, 15 (1):66-75. (in Chinese)
- [16] 吴承祯,洪伟.马尾松人工林经营过程密度优化研究[J].林业科学,2001,37(专刊1):72-77.
WU C Z, HONG W. A study on density optimizing during stand management for *Pinus massoniana* plantation[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2001,37(Sup. 1):72-77. (in Chinese)
- [17] 黄家荣,温佐吾.贵州马尾松人工林密度和结构控制初步研究[J].贵州林业科技,1999,27(2):16-20.
- [18] 李梦,匡莹,刘刚,等.长白落叶松人工林最优密度及其控制技术的研究(Ⅱ)[J].林业勘查设计,1996,97(1):1-5.
LI M, KUANG Y, LIU G. Study on optimal stand density and control techniques for *Larix olgensis* plantations(Ⅱ)[J]. Forest Investigation Design, 1996,97(1):1-5. (in Chinese)
- [19] 张彩琴,郝敦元,李海平.人工林林分密度最优控制策略的数学模型[J].东北林业大学学报,2006,34(2):24-26.
ZHANG C Q, HAO D Y, LI H P. Mathematical models for optimal control strategy of stand density[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2006,34(2):24-26. (in Chinese)