

马尾松胸径与根径和冠径的关系研究

卢昌泰^{1,2} 李吉跃² 康强¹ 黄玉梅¹ 何茜² 陶建军¹ 向劲松¹

(1 四川农业大学城乡建设学院 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)

摘要:利用在川渝地区进行的马尾松天然林标准地(含样木)调查资料,研究了马尾松根径(树干基部3个不同部位的直径 $d_{0.00}$ 、 $d_{0.05}$ 、 $d_{0.10}$)与胸径($d_{1.3}$)和冠径(C_w)的相关关系。结果表明, $d_{0.00}$ 与 $d_{1.3}$ 、 $d_{0.05}$ 与 $d_{1.3}$ 、 $d_{0.10}$ 与 $d_{1.3}$ 的相关关系模型都以二次抛物线回归方程为最优,且 $d_{0.10}$ 与 $d_{1.3}$ 的相关关系最为紧密;描述川渝地区马尾松天然林立木胸径与冠径关系的最佳回归模型为 $\ln C_w = -0.69690 + 0.71934 \ln d_{1.3}$ 。该研究还编制了马尾松根径立木材积表,探讨了马尾松天然林的理论密度、最大密度和郁闭度为0.6~0.9时的适宜经营密度,对马尾松天然林的盗伐案件处理及经营管理有一定的参考价值。

关键词:马尾松天然林; 根径立木材积表; 适宜经营密度

中图分类号:S758.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1522(2008)01-0058-06

LU Chang-tai^{1,2}; LI Ji-yue²; KANG Qiang¹; HUANG Yu-mei¹; HE Qian²; TAO Jian-jun¹; XIANG Jin-song¹.
Relationship between DBH and ground diameter as well as crown diameter of *Pinus massoniana*.
Journal of Beijing Forestry University (2008)30(1) 58-63 [Ch., 16 ref.]

1 Town and Country Development College, Sichuan Agricultural University, Dujiangyan City, 611830, P. R. China;

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

Based on the data from sample plots of *Pinus massoniana* natural forest in Sichuan and Chongqing areas, this paper studies the regression models of DBH and ground diameter (including $d_{0.00}$, $d_{0.05}$ and $d_{0.10}$), as well as crown diameter (C_w). The results showed that quadratic parabola regression function is the optimal one of $d_{0.00}$ - $d_{1.3}$, $d_{0.05}$ - $d_{1.3}$, $d_{0.10}$ - $d_{1.3}$ and the relationship of $d_{0.00}$ - $d_{1.3}$ is the tightest. The optimal regression model of DBH- C_w is $\ln C_w = -0.69690 + 0.71934 \ln d_{1.3}$. In addition, a ground diameter volume table of *P. massoniana* was established. And the theoretical density, maximum density and optimal management density under a series of crown density between 0.6-0.9 were also discussed in this paper.

Key words *Pinus massoniana* natural forest; ground diameter volume table; optimal management density

马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)为长江流域以南广褒酸性土荒山荒地的先锋树种,常飞籽成林,也是我国主要的采脂树种。产于秦岭、淮河流域以南,东起沿海低山丘陵,西至川西大相岭东坡,南达华南南部,在台湾也有少量分布,资源蕴藏量大^[1]。在森林资源与林政管理工作中,往往会遇到盗伐、滥伐或放火、失火等毁林案件。出现毁坏森林及林木事件,其涉案材积的数量大小是行政处罚或刑事处罚的重

要依据,且要求具有唯一性和合法性。从林学角度,根径在森林调查、森林资源与林政管理领域,可表述为伐根根颈以上某部位直径或林木根颈以上干基某部位直径;同一林木或伐根,其根径数值由于测定部位不同是不定的,也是多个的,应根据实际需要确定,如 $d_{0.00}$ 、 $d_{0.05}$ 、 $d_{0.10}$ 、 $d_{0.15}$ 等;根径立木材积表是根据根径与立木材积相关关系编制的,适用于测算盗伐、滥伐等的立木材积。20年来,许多林业科技人

收稿日期:2006-11-28

http://www.bjfujournal.cn; http://journal.bjfu.edu.cn

基金项目:四川省教育厅自然科学科研项目(2005A021)。

第一作者:卢昌泰,副教授。主要研究方向:森林资源经营管理。电话:028-87144791 Email: letwjy@163.com 地址:611830 四川省都江堰市建设路288号四川农业大学城乡建设学院。

责任作者:李吉跃,教授,博士生导师。主要研究方向:森林培育及栽培生理生态。电话:010-62338128 Email: ljyymy@vip.sina.com 地址:100083 北京林业大学林学院。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

员就一定区域(或某一森林经营单位)主要树种的根径与胸径相关关系(相关模型)进行了研究^[2-11],编制了相应树种的根径立木材积表,作为相应地区林业案件查处中盗伐、滥伐等立木材积测算等的依据,同时为森林资源档案更新等提供了方便。林木胸径与冠径(冠幅直径)的大小有密切关系,胸径越大,冠径就越大,所占的营养面积也越大,单位面积上林木株数随之也越少,利用胸径与冠径生长之间的密切相关关系探讨林分的适宜经营密度已成为一个主要的方法^[12-15]。Reineke^[16]曾指出,具有完满立木度的同龄纯林,相同的林分平均直径,具有相同的单位面积株数而与立地和年龄无关。只要能建立起完满林分的标准立木株数与林分平均直径的回归模型,便可将各不同龄级标准林分平均直径生长过程信息代入回归模型,求得相应的标准株数密度。本文通过研究川渝地区马尾松天然林立木根径与胸径相关关系编制其根径立木材积表,通过研究胸径与冠径相关关系,建立理论密度、最大密度计算模型,并以此确定郁闭度为 0.6~0.9 时的适宜经营密度,为提高马尾松林区森林资源经营管理水平和林政执法估计

材积的准确度提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 标准地及样木调查

在重庆市南川、綦江、万县、开县、云阳以及四川省南充、蓬安、仪陇、渠县、岳池、长宁、邛崃等县(市)马尾松天然林中设立 225 块标准地,标准地面积 0.1 hm²,郁闭度 0.6 以上。

在标准地内先进行常规调查,郁闭度调查采用测线法,精度达到 0.01;然后选择生长正常的径阶平均木进行胸径与冠径对应值的测定,对其中部分林木进行根径与胸径对应值的测定。根径(根颈直径 $d_{0.00}$ 、0.05 m 高处直径 $d_{0.05}$ 、0.1 m 高处直径 $d_{0.10}$)、胸径($d_{1.3}$)统一在上坡方向采用测树钢围尺量测,精度达到 0.1 cm;冠径使用皮尺,利用树冠投影从南北、东西两个方向量测,精度达到 0.05 m,然后取平均值。

共调查根径与胸径对应值测定样木 1 884 株(表 1),胸径与冠径对应值测定样木 10 178 株(表 2)。

表 1 根径与胸径对应值测定样木株数按径阶分布情况

TABLE 1 Distribution of numbers of sample trees at different diameter grades based on the values of ground diameter and DBH

径阶	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
株数	48	62	75	98	150	183	234	272	215	159	131	85	67	50	31	16	8

表 2 胸径与冠径对应值测定样木株数按径阶分布情况

TABLE 2 Distribution of numbers of sample trees at different diameter grades based on the values of crown diameter and DBH

径阶	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
株数	1 421	1 423	1 241	1 090	1 062	916	907	758	546	388	245	105	36	21	6	2	6	5

1.2 检验样本资料的收集

为对所编根径立木材积表进行适应性检验,收集了详测标准地中 278 株马尾松标准木伐倒实测材料。

1.3 数据统计与分析

采用 Excel 将根径与胸径对应值数据按径阶进行整理,胸径与冠径对应值数据按径阶及标准地郁闭度进行整理。采用含有 9 个函数形式(直线方程、倒数方程、双曲线方程、幂函数方程、指数方程、对数方程、Logistic 生长方程、Mitscherlich 生长方程、二次抛物线方程)的回归组程序进行统计分析。

表 3 马尾松干基不同部位直径与胸径的最优回归模型

TABLE 3 The optimal regression models of DBH-ground diameter at different heights of the stem of *P. massoniana*

	回归模型	相关系数
$d_{0.00}$ 与 $d_{1.3}$	$d_{1.3}=0.742\ 703\ 82+0.619\ 280\ 91d_{0.00}+0.003\ 227\ 95d_{0.00}^2$	0.997 881**
$d_{0.05}$ 与 $d_{1.3}$	$d_{1.3}=0.532\ 839\ 93+0.695\ 954\ 10d_{0.05}+0.002\ 417\ 22d_{0.05}^2$	0.999 459**
$d_{0.10}$ 与 $d_{1.3}$	$d_{1.3}=0.776\ 460\ 56+0.699\ 229\ 31d_{0.10}+0.002\ 674\ 44d_{0.10}^2$	0.999 521**

注:**表示相关极显著($\alpha=0.01$)。

2 结果与分析

2.1 根径与胸径相关关系分析及根径材积表的编制

2.1.1 根径与胸径相关关系分析

将样木调查数据采用回归组程序进行统计分析,结果表明, $d_{0.00}$ 与 $d_{1.3}$ 、 $d_{0.05}$ 与 $d_{1.3}$ 及 $d_{0.10}$ 与 $d_{1.3}$ 的相关关系模型都以二次抛物线回归方程为最优,其相关系数最大,剩余平方和最小。3 个最优模型的相关系数(r)在 0.997 881~0.999 521 之间(见表 3),剩余平方和(Q)在 340.039 9~76.854 7 之间。

由表3可知, $d_{0.10}$ 与 $d_{1.3}$ 回归方程的相关系数(r)最大(0.999 521), 剩余平方和(Q)最小(76.854 7), 可见 $d_{0.10}$ 与 $d_{1.3}$ 相关关系最为紧密。

2.1.2 根径立木材积表的编制与检验

使用四川省林业厅于1980年10月批复启用的《四川省一元立木材积表》(适用范围含四川省及重庆市)中提出的马尾松胸径与树高经验公式 $h = d_{1.3}/(a + bd_{1.3})$ 及其参数 $a = 1.138 883 8$ 和 $b = 0.020 715 501$, 以及按《四川省森林资源二类调查办法(试行)》的有关规定选择的《马尾松二元立木材积表(二)》作为本次编制马尾松根径立木材积表的基础依据。

马尾松二元立木材积式为: $V = 0.000 060 049 144 d_{1.3}^{1.871 975 3} h^{0.971 802 32}$, 引入拟合的 $d_{0.00}$ 与 $d_{1.3}$ 、 $d_{0.05}$ 与 $d_{1.3}$ 及 $d_{0.10}$ 与 $d_{1.3}$ 3个回归方程, 并导入马尾松胸径与树高经验公式及参数, 使用计算机进行计算, 编制出马尾松根径立木材积表(表4)。

表4 马尾松根径立木材积表

TABLE 4 Ground diameter volume table of *P. massoniana*

利用根颈直径估计		利用0.05 m高处直径估计		利用0.10 m高处直径估计	
$d_{0.00}/\text{cm}$	V/m^3	$d_{0.05}/\text{cm}$	V/m^3	$d_{0.10}/\text{cm}$	V/m^3
6	0.003 7	6	0.004 2	6	0.004 9
8	0.007 5	8	0.008 8	8	0.009 9
10	0.013 2	10	0.015 6	10	0.017 4
12	0.021 1	12	0.025 3	12	0.027 7
14	0.031 8	14	0.038 1	14	0.041 5
16	0.045 5	16	0.054 5	16	0.058 9
18	0.062 5	18	0.074 9	18	0.080 5
20	0.083 4	20	0.099 5	20	0.106 6
22	0.108 4	22	0.128 8	22	0.137 7
24	0.137 9	24	0.163 1	24	0.174 0
26	0.172 3	26	0.202 8	26	0.216 0
28	0.212 0	28	0.248 2	28	0.264 1
30	0.257 3	30	0.299 6	30	0.318 5
32	0.308 7	32	0.357 3	32	0.379 7
34	0.366 4	34	0.421 8	34	0.447 9
36	0.430 9	36	0.493 2	36	0.523 6
38	0.502 5	38	0.571 9	38	0.607 1
40	0.581 7	40	0.658 2	40	0.698 7
42	0.668 8	42	0.752 4	42	0.798 8
44	0.764 1	44	0.854 9	44	0.907 7
46	0.868 1	46	0.965 8	46	1.025 8
48	0.981 2	48	1.085 6	48	1.153 3
50	1.103 7	50	1.214 6	50	1.290 7
52	1.236 0	52	1.352 9	52	1.438 1

对收集的278株马尾松标准木伐倒实测数据进行整理, 得到每株标准木单株材积(y_i); 再根据每株

标准木 $d_{0.00}$ 、 $d_{0.05}$ 、 $d_{0.10}$ 值, 用马尾松根径立木材积表进行内查, 得到利用不同部位根径查定的每株标准木单株材积估计值(y'_i), 用 $d_i = (y'_i - y_i)/y_i \times 100\%$, 计算各检验样本的实测材积与估计材积的相对误差(d)。各径阶不同部位根径估计材积的相对误差(平均值)见表5。

表5 各径阶不同部位根径估计材积的相对误差 %

TABLE 5 Relative error of the estimative stem volume of different ground diameters at different diameter grades

利用根颈直径估计		利用0.05 m高处直径估计		利用0.10 m高处直径估计	
$d_{0.00}$	d	$d_{0.05}$	d	$d_{0.10}$	d
6	2.89	6	-1.93	6	2.84
8	2.94	8	2.88	8	-2.65
10	2.91	10	2.72	10	2.18
12	2.65	12	2.09	12	2.48
14	2.20	14	2.18	14	2.31
16	1.27	16	2.06	16	2.21
18	2.31	18	2.12	18	1.77
20	2.63	20	2.77	20	2.62
22	2.49	22	2.48	22	2.43
24	2.13	24	2.09	24	2.17
26	2.29	26	-1.83	26	1.39
28	2.48	28	2.15	28	1.26
30	2.57	30	1.39	30	1.65
32	2.24	32	2.63	32	-1.47
34	2.88	34	2.81	34	2.50
36	2.85	36	-1.84	36	2.80
38	1.98	38	1.86	38	2.36
40	2.67	40	2.54	40	-1.37
42	2.61	42	2.19	42	0.83
44	2.00	44	-1.37	44	1.27
46	2.49	46	2.81	46	2.40
48	2.60	48	2.99	48	-1.88
50	2.77	50	-2.72	50	2.76
52	2.38	52	2.94	52	-2.25

马尾松根径立木材积表在四川省及重庆市马尾松林区使用的系统误差采用 $S = \sum_{i=1}^{24} d_i n_i / \sum_{i=1}^{24} n_i$ 计算, 利用表5各径阶不同部位根径估计材积的相对误差和各径阶检验样本株数加权计算得出, 使用 $d_{0.00}$ 、 $d_{0.05}$ 、 $d_{0.10}$ 估计材积的系统误差分别为2.43%、1.60%和1.54%, 表明应用马尾松根径立木材积表估计材积的误差为 $d_{0.10} < d_{0.05} < d_{0.00}$ 。根据原林业部颁布的《林业专业调查主要技术规定》, 蓄积量计量数表的系统误差不超过3%, 因此, 所编马尾松根径立木材积表能在检验地区参考使用。

2.2 胸径与冠径相关关系分析及适宜经营密度确定

2.2.1 胸径与冠径相关关系分析

根据冠径与直径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 10 178 株马尾松天然林立木胸径与冠径对应值数据,采用回归程序进行统计分析。结果表明,描述川渝地区马尾松天然林立木胸径与冠径相关关系的函数以 $\ln C_w = a + b \ln d_{1.3}$ 拟合效果最好,其回归模型为:

$$\ln C_w = -0.696\ 90 + 0.719\ 34 \ln d_{1.3}$$

$$r = 0.988\ 52 \quad (1)$$

式中, C_w 为马尾松天然林立木冠径。

2.2.2 理论密度的确定

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^[12],其公式为:

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

式中, C_{ws} 为一定林分平均直径的树冠垂直投影面积 (m^2); N_0 为单位面积 (hm^2) 的立木株数,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。

根据标准地郁闭度和胸径与冠径对应值分析,其冠径有随林分郁闭度增大而减小的规律。将胸径与冠径对应值数据按所在标准地郁闭度分为 4 组: 0.60~0.69、0.70~0.79、0.80~0.89 和 0.90~1.0, 并采用函数 $\ln C_w = a + b \ln d_{1.3}$ 拟合各不同林分平均郁闭度的胸径与冠径的回归模型(见表 6)。

表 6 不同林分平均郁闭度的胸径与冠径回归模型

TABLE 6 The optimal regression models of $DBH-C_w$ with different crown density

平均郁闭度	回归模型	相关系数	剩余标准差	样木株数
0.926	$\ln C_w = -0.845\ 03 + 0.701\ 75 \ln d_{1.3}$	0.987 69	0.094 41	972
0.846	$\ln C_w = -0.757\ 39 + 0.717\ 81 \ln d_{1.3}$	0.987 13	0.063 38	2 437
0.771	$\ln C_w = -0.712\ 21 + 0.718\ 69 \ln d_{1.3}$	0.990 52	0.058 29	4 035
0.645	$\ln C_w = -0.628\ 45 + 0.720\ 34 \ln d_{1.3}$	0.991 73	0.074 87	2 734

从表 5 可知,各不同郁闭度林分胸径与冠径回归模型的参数 b 相近,接近式(1)常数 $b(0.719\ 34)$; 参数 a 随林分郁闭度降低而增大,其回归模型为:

$$a = -0.138\ 72 - 0.749\ 13p$$

$$r = 0.990\ 84 \quad (3)$$

式中, p 为林分郁闭度,用式(3)替换式(1)中 a , 则得到冠径与林分郁闭度和胸径的回归模型为:

$$\ln C_w = -0.138\ 72 - 0.749\ 13p + 0.719\ 34 \ln d_{1.3} \quad (4)$$

将郁闭度 1.0 代入式(4),得到郁闭度为 1.0 时的川渝地区马尾松天然林立木胸径与冠径的回归模型:

$$\ln C_w = -0.887\ 85 + 0.719\ 34 \ln d_{1.3} \quad (5)$$

由式(5)计算马尾松天然林不同径阶林分的冠径理论值(见表 7),并可导出树冠垂直投影面积与胸径的回归模型为:

$$C_{ws} = \frac{\pi}{4} e^{-1.775\ 70} d_{1.3}^{1.438\ 63} \quad (6)$$

由式(6)计算树冠理论垂直投影面积,并将其代入式(2)求得林分理论密度 N_0 ,列入表 7。

2.2.3 最大密度的确定

确定最大密度林分的标准往往是树冠完全郁闭、林分中无间隙和规整的林分空间。从林分中树冠结构来看,树冠要完全郁闭,不重叠是不可能的,

因此用式(2)求得理论密度不可能达到无林间空隙的结果,也不可能形成具有最大密度的林分。1990 年,吴志德等^[15]定义林分郁闭度刚达到 1.0(即刚消除林木树冠间隙时)的单位面积林木株数为最大密度,同时为了便于论证,假定此时林分平均木树冠为正圆,且株行距为等距对应(此时林分郁闭度为 1.0,林间无空隙),用数学方法证明树冠总面积为林地总面积的 1.57 倍,并将其定义为林分郁闭度刚达到 1.0 时的林分树冠面积指数。据此结论,将式(2)乘树冠面积指数 1.57,得马尾松天然林分的最大密度(N_m)的估测模型为:

$$N_m = 1.57 \times 10\ 000 / C_{ws}$$

$$= 62\ 800 / (e^{-1.775\ 70} d_{1.3}^{1.438\ 63} \pi) \quad (7)$$

用式(7)求出川渝地区马尾松天然林不同径阶林分的最大密度,列入表 7。

2.2.4 适宜经营密度的确定

林分处于最大密度时,需要进行抚育间伐,伐出部分林木,使保留木有足够的营养空间,改善林分生长状况。因此,在确定川渝地区马尾松天然林不同径阶林分最大密度的基础上,推导出郁闭度为 0.6~0.9 的适宜经营密度(单位面积保留株数),列入表 7,供进行抚育间伐时参考。

3 结论与讨论

马尾松根径与胸径相关关系的根径测定样木取

自四川省及重庆市马尾松林区, $d_{0.00}$ 与 $d_{1.3}$ 、 $d_{0.05}$ 与 $d_{1.3}$ 及 $d_{0.10}$ 与 $d_{1.3}$ 的相关关系模型都以二次抛物线回归方程为最优。其中 $d_{0.10}$ 与 $d_{1.3}$ 回归方程的相关系数 (r) 最大 (0.999 521), 剩余平方和 (Q) 最小 (76.854 7), 可见 $d_{0.10}$ 与 $d_{1.3}$ 相关关系最为紧密。所编马尾松根径一元材积表经使用检验样本进行检验, 结果表明, 使用 $d_{0.00}$ 、 $d_{0.05}$ 、 $d_{0.10}$ 估计材积的系统误差分别是 2.43%、1.60%、1.54%, 说明应用马尾松根径立木材积表估计材积的误差 $d_{0.10} < d_{0.05} <$

$d_{0.00}$, 系统误差不超过 3%, 可在四川省及重庆市马尾松林区解决和处理盗伐、滥砍乱伐案件中对已采伐马尾松林木进行材积估计等方面使用。根径与胸径相关关系相对稳定, 且根径量测部位越高, 其相关关系越紧密, 且用于估计材积的误差越小。因而建议尽量调查和使用 $d_{0.10}$ 估计采伐木材积; 量测 $d_{0.10}$ 有困难时, 也可量测 $d_{0.05}$ 或 $d_{0.00}$ 进行采伐木材积的估计。

表 7 马尾松天然林不同径阶林分所对应的密度指标

TABLE 7 The optimal management density of *P. massoniana* natural forest at different diameter grades

胸径/cm	冠径理论值/m	冠幅理论面积/m ²	理论密度/(株·hm ⁻²)	最大密度/(株·hm ⁻²)	适宜经营密度/(株·hm ⁻²)			
					0.6	0.7	0.8	0.9
6	1.49	1.75	5 709	8 963	5 378	6 274	7 170	8 067
8	1.84	2.65	3 774	5 925	3 555	4 148	4 740	5 333
10	2.16	3.65	2 738	4 298	2 579	3 009	3 439	3 896
12	2.45	4.75	2 106	3 307	1 984	2 315	2 645	2 976
14	2.74	5.93	1 687	2 648	1 589	1 854	2 119	2 384
16	3.02	7.18	1 392	2 186	1 312	1 530	1 749	1 967
18	3.29	8.51	1 175	1 845	1 107	1 292	1 476	1 661
20	3.55	9.90	1 010	1 586	951	1 110	1 269	1 427
22	3.80	11.36	881	1 383	830	968	1 106	1 244
24	4.05	12.87	777	1 220	732	854	976	1 098
26	4.28	14.44	692	1 087	652	761	870	978
28	4.52	16.07	622	977	586	684	782	879
30	4.75	17.74	564	885	531	619	708	796

根径立木材积表具有很强的区域性, 其编表单元划分应考虑区域、立地条件及林分密度等因素, 提倡分县(甚至更小区域)、分树种编制根径立木材积表。资料收集可采用样木调查法, 也可利用区域内以往进行的标准木伐倒实测调查、树干解析等精细测定资料, 但使用的测定部位必须一致。研究分析根径与胸径的相关关系, 应采用多个回归方程拟合选优, 从而编制根径立木材积表。应调查收集足够数量的标准木伐倒实测材料即检验样本进行适用性检验, 蓄积量计量数表的系统误差不超过 3%。其他地区借用也应对其加以检验, 超过 3% 的系统误差时应对材积表进行校核。

描述川渝地区现实马尾松天然林立木胸径与冠径关系的最佳回归模型为: $\ln C_w = -0.696 90 + 0.719 34 \ln d_{1.3}$ 。利用现实林分标准地资料建立郁闭度为 1.0 时林分胸径与冠径的回归模型, 必须充分考虑林分郁闭度对林木树冠生长的影响, 否则会导致树冠面积估计不准确, 从而使确定的经营密度不准确。本研究表明郁闭度为 1.0 时的马尾松天然林立木胸径与冠径的关系为: $\ln C_w = -0.887 85 +$

$0.719 34 \ln d_{1.3}$ 。确定的川渝地区马尾松天然林不同径阶林分的适宜经营密度指标可在川渝地区马尾松天然林抚育间伐中参考应用, 如用于确定林分是否需要间伐, 并确定间伐强度、间伐间隔期等。

直接将林分平均直径代入式(5)计算林分平均木的冠径理论值, 与考虑林分林木径阶株数分布而计算的林分平均冠径理论值之间应该有一定误差。这种误差, 侯箕^[14]曾对云杉天然林进行了探讨, 结果两者有 0.05~0.18 m 的正偏差。这种误差会使确定的经营密度产生误差, 有待于进一步探讨。

参 考 文 献

[1] 祁承经, 汤庚国. 树木学(南方本)[M]. 2版. 北京: 中国林业出版社, 2005: 45.
 QI C J, TANG G G. *Dendrology (South)* [M]. 2nd ed. Beijing: China Forestry Publishing House, 2005: 45.
 [2] 卢昌泰, 谭经正, 冯永林. 都江堰杉木、柳杉、水杉地径一元材积表的编制[J]. 中南林业调查规划, 1994, 13(2): 6-9.
 LU C T, TAN J Z, FENG Y L. Establishment of local collar diameter volume table on *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.), *Cryptomeria japonica* and *Metasequoia glyptostrobodies* in Dujiangyan [J]. *Central South Forest Inventory and Planning*, 1994, 13(2): 6-9.

- [3] 刘憬志, 官义学. 落叶松人工林地径一元立木材积表的编制[J]. 河北林业科技, 1995(1): 32-33.
LIU J Z, GONG Y X. Establishment of single collar diameter volume table on artificial forestry of *Larix olgensis* [J]. *Journal of Hebei Forestry Science and Technology*, 1995(1): 32-33.
- [4] 光增云, 刘国伟, 赵义民, 等. 河南刺槐根径立木材积表编制的研究[J]. 河南农业大学学报, 1998, 32(1): 60-67.
GUANG Z Y, LIU G W, ZHAO Y M, et al. Study on stumpage volume table-making based on diameter at stump level of *Robinia pseudoacacia* in Henan Province [J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 1998, 32(1): 60-67.
- [5] 吴玉德, 金春德, 罗广军, 等. 天然赤松根径与立木材积相关关系的研究[J]. 延边大学农学学报, 1999, 21(4): 288-290.
WU Y D, JIN C D, LUO G J, et al. The correativity of root diameter and stand tree volume of natural Japanese red pine [J]. *Journal of Agricultural Science Yanbian University*, 1999, 21(4): 288-290.
- [6] 邓绍林. 桂西北杉木人工林伐根直径材积表编制及应用[J]. 广西林业科技, 1999, 28(3): 138-141.
DENG S L. Establishment and application of diameter volume table on Chinese fir forest plantation in the northwest of Guangxi [J]. *Guangxi Forestry Science & Technology*, 1999, 28(3): 138-141.
- [7] 于成景, 莫雁. 泗洪县杨树根径一元材积表的编制[J]. 江苏林业科技, 2001, 28(4): 19-20.
YU C J, MO Y. Establishment of local volume table on ground diameter of poplar in Sihong County [J]. *Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology*, 2001, 28(4): 19-20.
- [8] 王玉学, 张素华, 常金龙, 等. 柞树根径材积表的编制[J]. 河北林业科技, 2001(5): 22-24.
WANG Y X, ZHANG S H, CHANG J L, et al. Establishment of rhizome volume table of *Quercus* sp. [J]. *Journal of Hebei Forestry Science and Technology*, 2001(5): 22-24.
- [9] 孙洪运, 杨占军, 陈国华, 等. 落叶松等根径立木材积表的编制与应用[J]. 辽宁林业科技, 2002(4): 17-18.
SUN H Y, YANG Z J, CHEN G H, et al. Establishment and application of tree volume table on ground diameter of hybrid larch [J]. *Journal of Liaoning Forestry Science and Technology*, 2002(4): 17-18.
- [10] 肖纪浩, 周士杰, 钟志岩, 等. 辽宁省根径材积表的编制[J]. 林业资源管理, 2003(5): 26-28.
XIAO J H, ZHOU S J, ZHONG Z Y, et al. Establishment of diameter-at-foot volume tables for Liaoning Province [J]. *Forestry Resources Management*, 2003(5): 26-28.
- [11] 卢昌泰. 四川的云南松地径胸径相关关系及其应用研究[J]. 四川林业科技, 2004, 25(2): 46-49.
LU C T. A study of the relations between the basal diameter and diameter at breast height of *Pinus yunnanensis* in Sichuan and their application [J]. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2004, 25(2): 46-49.
- [12] 许绍远. 浙江省杉木林抚育间伐研究[G]//中国林学会. 造林论文集. 北京: 中国林业出版社, 1985: 81-88.
XU S Y. Study on precommercial thinning on Chinese fir forest in Zhejiang Province [G]//Chinese Society of Forestry. Paper volume on forestation. Beijing: China Forestry Publishing House, 1985: 81-88.
- [13] 郑勇平. 杉木人工林树冠最大重叠系数及适宜经营密度的研究[J]. 浙江林学院学报, 1991, 8(3): 300-306.
ZHENG Y P. Study on maximum crown overlappable coefficient and optimum managing density of Chinese fir forest plantation [J]. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 1991, 8(3): 300-306.
- [14] 侯箕. 云杉天然林合理经营密度探讨[G]//山西省林业科学研究所. 山西省林业科学研究所科研论文集. 太原: 山西省林业科学研究所, 1989: 280-285.
HOU J. Discussion on rational density for natural *Picea asperata* forest [G]//Paper volume for Shanxi Forestry Research Institute. Taiyuan: Shanxi Forestry Research Institute, 1989: 280-285.
- [15] 吴志德, 骆期邦. 林分标准密度(立木株数)确定方法的研究[J]. 中南林业调查规划, 1989, 8(2): 26-28.
WU Z D, LUO Q B. Study on methods for determining standard stand density (stem number) [J]. *Central South Forest Inventory and Planning*, 1989, 8(2): 26-28.
- [16] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1986: 132.
MENG X Y. *Natural resources measurement* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1986: 132.

(责任编辑 冯秀兰)