

马尾松人工林碳储量密度控制图的编制

靳爱仙¹, 周国英¹, 史大林^{2*}, 阎瑾³

(1. 中南林业科技大学, 湖南 长沙 410004; 2. 国家林业局 调查规划设计院, 北京 100714; 3. 北京林业大学, 北京 100083)

摘要:以湖南中部地区马尾松人工林为例, 探索编制马尾松碳储量密度控制图所需的数据、模型和方法, 并分析了碳储量密度控制图的在实际生产中的应用。

关键词:马尾松; 碳储量; 密度控制图

中图分类号: S791.248.06

文献标识码: A

文章编号: 1001-7461(2009)03-0054-04

Establishment of the *Pinus massoniana* Carbon Storage Density Control Graph

JIN Ai-xian¹, ZHOU Guo-ying¹, SHI Da-lin², YAN Jin³

(1. Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004, China; 2. Academy of Forest Inventory & Planning, State Forestry Administration, Beijing 100714, China; 3. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Taking the *Pinus massoniana* plantation in middle part of Hunan Province as the research target, *P. massoniana* carbon storage density control graph was established to explore the data, models, and methods needed in the organization progress. Practical application of the graph was discussed.

Key words: *Pinus massoniana*; carbon storage; density control graph

目前, 国内外林业碳汇项目开始实施, 相应的研究也逐步开展, 从目前国内外的研究进展来看, 对林业碳汇项目的交易机制和经济学原理的研究已经趋于成熟。随着项目的深入开展, 目前亟需经营管理方面的技术支持。通过编制马尾松人工林碳储量密度控制图并讨论其实际应用方法, 以期对碳汇林的经营提供理论依据。

1 密度效应

林分密度一直是林业科学研究的热点问题, 也是林业生产需要解决的关键技术之一。在影响林分生长的因素中, 密度是经营工作中能够有效控制的因子。日本学者吉良龙夫在 1 a 生草本群落中发现了密度效应法则^[1]。安腾贵^[2]研究表明, 竞争密度效应和收量密度效应也适用于林分单株材积和林分蓄积量。但密度效应法则在种群密度很大时并不适用, 这是由于密度很大时, 单株植物对其生活空间的竞争导致了自然稀疏现象, 这种现象可用最大密度法则进行描述。密度效应法则和最大密度法则相结

合, 就产生在森林经营实践和理论研究中占有重要地位的林分密度控制方法——密度控制图。

2 马尾松碳储量密度控制图的编制

国内外学者对于林分密度与林分蓄积量的研究已经很多, 提出了很多相关模型, 编制出一系列林分蓄积密度控制图^[5]。对于林分生物量的密度控制, 我国目前已有部分研究, 马钦彦对油松林林分密度与生物量的关系进行了研究, 提出了针对林分生物量的密度控制理论与方法, 同样也是基于密度效应法则和最大密度法则^[4]。研究表明, 蓄积量和生物量 2 个指标出自同一林分, 而且受林分、密度、立地条件的影响基本一致, 二者紧密相关且关系稳定, 因此可用蓄积量来估测生物量^[5]。成子纯等利用已有的马尾松林分蓄积密度控制图, 通过林分生物量与蓄积量之间的关系, 将二者结合起来推算马尾松林分生物量密度控制图^[6]。

2.1 马尾松碳储量密度控制图相关模型

2.1.1 等树高线、等直径线等模型 根据《湖南马

收稿日期: 2008-10-27 修回日期: 2008-11-26

作者简介: 靳爱仙, 女, 教授级高工, 在读博士研究生, 主要从事林业调查与森林资源信息化管理的研究。

* 通讯作者: 史大林, 男, 主要从事森林资源调查与管理研究。

尾松经营计算图的编制》，有如下模型：

等树高线：
$$1/V=0.124\ 52H^{-1.354\ 2}+7\ 859.612\ 76$$
$$H^{-2.804\ 8}/N \tag{1}$$

等直径线：
$$V=1.143\ 1\times 10^{-5}D^{2.830\ 7}N^{1.204\ 0} \tag{2}$$

最大密度线：
$$V_{\max}=565\ 855.817\ 7N^{-0.929\ 8} \tag{3}$$

自然稀疏线：
$$V=2\ 153\ 164.827\ 7(1-N/N_0)N_0^{-0.929\ 8} \tag{4}$$

式中： V 为林分蓄积量 ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)， D 为林分平均胸径 (cm)， H 为林分平均高 (m)， N 为林分密度 (株 $\cdot \text{hm}^{-2}$)， N_0 为林分初始密度 (株 $\cdot \text{hm}^{-2}$)^[6]。

2.1.2 马尾松林分碳储量与林分蓄积量的关系

目前林分碳储量与林分蓄积量的关系主要有以下几种形式：

$$T=(a+bV)\times C \tag{5}$$

$$T=aV^b\times C \tag{6}$$

$$T=[a+b\lg(V)]\times C \tag{7}$$

$$\lg(T/C)=a+bV \tag{8}$$

式中： T 为林分碳储量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)， V 为林分蓄积量 ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)， C 为树木含碳率， a 、 b 为待定系数^[7]。

根据表 1 至表 3，对 4 种模型进行回归分析 (表 4)，根据 R^2 选择模型 6 为最优，得：

$$T=1\ 244.3V^{0.868\ 0}\times C \tag{9}$$

式中： T 为林分碳储量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)， V 为林分蓄积量 ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)， a 、 b 为待定系数， C 为树木含碳率，取 0.5^[8]。

表 1 I 地位级马尾松人工林生物量生长过程

Table 1 Biomass growth table of *P. massoniana* plantation at I site class

年龄/a	平均直径/cm	平均树高/m	林分密度/ (株 $\cdot \text{hm}^{-2}$)	生物量		年平均生物量/ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	蓄积量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)
				单株/kg	林分/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)		
12	13.4	9.5	1 353	45.68	61.8	5.16	95.37
14	14.9	11.4	1 209	65.02	78.6	5.62	124.54
16	16.4	13.2	1 103	86.68	95.6	5.98	155.04
18	17.7	14.9	1 022	109.68	112.1	6.22	186.01
20	18.9	16.5	958	133.62	128.0	6.40	216.76
22	19.9	17.9	906	157.84	143.0	6.50	246.74
24	20.9	19.2	864	181.82	157.1	6.54	275.54
26	21.8	20.4	829	205.06	170.0	6.54	302.90
28	22.6	21.4	800	227.62	182.1	6.50	328.64
30	23.3	22.3	775	249.16	193.1	6.44	352.66
32	24.0	23.2	754	269.24	203.0	6.34	374.93
34	24.6	23.9	735	288.44	212.0	6.24	395.46
36	25.1	24.6	719	306.26	220.2	6.12	414.29
38	25.6	25.1	706	322.38	227.6	5.98	431.51
40	26.0	25.6	694	337.18	234.0	5.86	447.19

表 2 II 地位级马尾松人工林生物量生长过程

Table 2 Biomass growth table of *P. massoniana* plantation at II site class

年龄/a	平均直径/cm	平均树高/m	林分密度/ (株 $\cdot \text{hm}^{-2}$)	生物量		年平均生物量/ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	蓄积量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)
				单株/kg	林分/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)		
12	11.8	7.7	1 531	31.16	47.7	3.98	71.78
14	13.1	9.4	1 383	43.90	60.7	4.34	92.66
16	14.2	10.9	1 274	58.08	74.0	4.62	114.33
18	15.2	12.4	1 191	73.04	87.0	4.84	136.20
20	16.0	13.8	1 127	88.38	99.6	4.98	157.78
22	16.8	15.1	1 076	103.82	111.7	5.08	178.72
24	17.5	16.3	1 035	118.94	123.1	5.12	198.74
26	18.0	17.4	1 001	133.56	133.7	5.14	217.68
28	18.6	18.4	973	147.58	143.6	5.12	235.42
30	19.0	19.3	950	160.74	152.7	5.10	251.91
32	19.4	20.1	930	173.34	161.2	5.04	267.14
34	19.8	20.9	914	184.79	168.9	4.96	281.11
36	20.1	21.6	900	195.44	175.9	4.88	293.88
38	20.3	22.2	888	205.40	182.4	4.80	305.50
40	20.6	22.7	878	214.00	187.9	4.70	316.03

表 3 Ⅲ地位级马尾松人工林生物量生长过程
Table 3 Biomass growth table of *P. massoniana* plantation at Ⅲ site class

年龄/a	平均直径/cm	平均树高/m	林分密度/ (株·hm ⁻²)	生物量		年平均生物量/ (t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	蓄积量/ (m ³ ·hm ⁻²)
				单株/kg	林分/(t·hm ⁻²)		
12	8.9	4.8	2 025	12.80	25.9	2.16	26.716
14	9.9	6.2	1 831	19.34	35.4	2.52	37.926
16	10.7	7.6	1 689	26.94	45.5	2.84	50.64
18	11.4	9.0	1 582	35.14	55.6	3.08	64.323
20	12.1	10.3	1 498	43.86	65.7	3.28	78.466
22	12.6	11.5	1 432	52.72	75.5	3.44	92.628
24	13.1	12.7	1 379	61.20	84.4	3.52	106.458
26	13.5	13.7	1 335	69.66	93.0	3.58	119.695
28	13.9	14.6	1 299	77.60	100.8	3.60	132.157
30	14.2	15.4	1 270	85.04	108.0	3.60	143.736
32	14.5	16.2	1 245	91.80	114.3	3.58	154.374
34	14.8	16.8	1 224	98.12	120.1	3.54	164.061
36	15.0	17.4	1 206	103.90	125.3	3.48	172.812
38	15.2	17.9	1 191	108.90	129.7	3.42	180.669
40	15.3	18.3	1 178	113.58	133.8	3.34	187.684

2.1.3 马尾松碳储量密度控制图的相关模型 由公式 6 和公式 1 可得等树高线模型为:

$$\lg T = 2.7939 - 0.8679 \lg (7859.6128 H^{-2.8048} / N + 0.1245 H^{-1.3542}) \quad (10)$$

由公式 6 和公式 2 可得等直径线模型为:
$$T = 0.0319 D^{2.4568} N^{1.0449} \quad (11)$$

由公式 6 和公式 3 可得最大密度线模型为:
$$T_{\max} = 61188310.0 N^{-0.8069} \quad (12)$$

由公式 6 和公式 4 可得自然稀疏线模型为:
$$T = 195151941.0 (1 - N/N_0)^{0.8679} N_0^{-0.8069} \quad (13)$$

式中: T 为林分蓄积量(kg·hm⁻²), D 为林分平均胸径(cm), H 为林分平均高(m), N 为任意林分密度(株·hm⁻²), N_0 为初始密度(株·hm⁻²).

表 4 马尾松林分碳储量与林分蓄积量的回归分析

Table 4 Regression analysis table of the relationship between *P. massoniana* carbon storage and volume

模型	A	B	R ²
5	21 465.0	500.3	0.980 6
6	1 244.3	0.867 9	0.988 1
7	-343 059.0	90 531.0	0.947 3
8	4.6	0.001 9	0.852 2

2.2 马尾松碳储量密度控制图的绘制

根据模型 10~13, 林分密度 N 取任意值, 计算获得相关数据, 在 origin7.5 中采用双对数坐标系, 即可得到马尾松林分碳储量密度控制图(图 1).

图 1 包括等树高线、等直径线、等疏密线、最大密度线和自然稀疏线, 构成密度控制图。其中, 等树高线为斜向右上方的实心线, 单位为 m; 等直径线为斜向右上方的虚线, 单位为 cm; 等疏密度线为斜向右下的实心线, 疏密度为 1.0 的等疏密度线为最大

密度线, 自然稀疏线为向下的抛物线, 分别为 2 000、4 000、6 000、8 000、10 000, 单位为株·hm⁻²。

3 马尾松碳储量密度控制图的应用

3.1 产量预估

马尾松碳储量密度控制图可在已知林分的地位指数、林分密度、平均直径时, 进行产量估计。

例如, 某Ⅰ地位级马尾松人工林的平均直径 $D=12$ cm, 密度 $N=2\,000$ 株·hm⁻², 预估此林分的碳储量、碳储量成熟龄和碳储量的年平均生长量。可按以下步骤进行估算:

第一步: 利用附表 1(实际操作中利用地位指数表)查得该林分在 15、20、25、30 a 生时相应的林分上层木平均高分别为 12.3、16.5、19.8、22.3 m。

第二步: 根据各自的林分上层木平均高在密度控制图(图 1)上直径为 12 cm 的等直径线、密度为 2 000 株·hm⁻² 的自然稀疏线上查得相应 15~30 a 生的碳储量, 分别为 43、66、88、106 t·hm⁻²。

第三步: 计算林分碳储量的年平均生长量和连年生长量, 确定其二者相等时(也是林分碳储量平均生长量最大时)的年龄, 即为该林分碳储量成熟龄。在此例中, 林分碳储量成熟龄为 25 a, 此时林分碳储量为 88 t·hm⁻², 成熟林分的胸径为 20.3 cm, 碳储量的年平均生长量为 3.52 t·hm⁻²。

3.2 资源调查

在碳储量密度控制图中, 可以根据平均直径、林分密度、上层木平均高、疏密度等任意 2 个因子的值来推算其他 2 个林分因子和林分碳储量值。

例如: 某马尾松人工林的平均直径 $D=14$ cm, 密度 $N=2\,000$ 株·hm⁻², 测算林分碳储量(T)、疏

密度(P)和上层木高(H)。利用马尾松碳储量密度控制图(图1),可按以下步骤进行计算:

第一步:在密度控制图(图1)中,根据 D 和 N ,在标有14 cm的等直径线与横坐标为2 000株 \cdot hm $^{-2}$ 的纵线相交处,可查得碳储量 $T=59$ t \cdot hm $^{-2}$ 。

第二步:根据交点位于0.4与0.5的等疏密度线之间,可读出疏密度值 $P=0.45$ 。

第三步:根据交点落在14 m与16 m的2条等树高线之间,按上层木高增加的比例,可读出林分优势高 $H=14.9$ m。

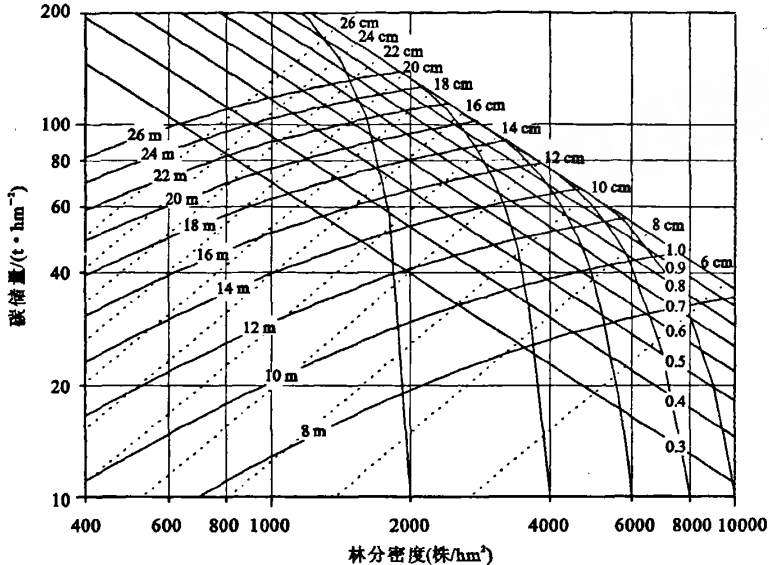


图1 马尾松林分碳储量密度控制图

Fig. 1 *P. massoniana* carbon storage control figure

3.3 造林设计

根据密度控制图,只要给定经营强度和立地条件,就可以确定造林密度、间伐年限等。

例如:某林地立地指数为16,拟采取集约经营的方式进行马尾松人工林的营造,第一次间伐强度设为保留疏密度0.6。可按以下步骤进行计算:

(1)根据地位指数表,查得立地指数为16的林分到碳储量成熟时(28 a)上层木平均高为23.9 m。

(2)在密度控制图中,由等树高线与最大密度线查得树高为23.9 m时的林分碳储量为114 t \cdot hm $^{-2}$ 。

(3)由此位置沿自然稀疏线反查可得到初植密度(设造林成活率为100%)为3 800株 \cdot hm $^{-2}$ 。

(4)在首次间伐疏密度0.6的等疏密度线与初植密度为3 800株 \cdot hm $^{-2}$ 的自然稀疏线相交处,查得首次间伐的林分平均胸径与上层木平均高分别为10.5 cm和11.8 m。

(5)根据上层木平均高11.8 m,由林分地位指数表查得首次间伐时的年龄为12 a。

4 讨论

通过建立等树高线、等直径线、最大密度线、自然稀疏线、蓄积量与碳储量关系的模型,可以编制不

同林分的碳储量密度控制图。

传统蓄积量密度控制图主要应用于定量间伐和产量预估等方面,对于确定造林密度、评定更新等级和资源调查以及划分经营类型等方面,也能提供比较可靠的数量指标。马尾松碳储量密度控制图并不包含林分蓄积量,因此,不能解决定量间伐的问题,但在产量预估、资源调查等方面应用方便,这对于马尾松林的经营有一定的意义。

参考文献:

- [1] 吉良龙夫,依田恭二.立木密度与生产量[J].北方林业,1957(9):2-6.
- [2] 安藤贵.林分的密度管理[M].东京,农林出版社,1985.
- [3] 尹泰龙.林分密度控制图[M].北京,中国林业出版社,1984.
- [4] 马钦彦.油松林生物量—密度管理图[J].北京林业大学学报,1988,10(3):67-76.
- [5] 温远光,秦武明,韦盛章.用蓄积量估测森林生物量的初步尝试[J].林业实用技术,1989(7):9-12.
- [6] 刘华,雷瑞德.我国森林生态系统碳储量和碳平衡的研究方法及进展[J].西北植物学报,2005,25(4):835-843.
- [7] 成子纯.湖南马尾松经营计算图的编制[J].林业科学,1984,20(1):91-95.
- [8] 黄秉聪,张炜平,李照波.亚热带主要人工林乔木层生物量影响因素研究[J].林业勘察设计,2007(1):146-150.