

## 日本落叶松林分密度控制图的编制及应用

张铁砚

姜文南

王义廷

(辽宁省林业勘测设计院) (中国林业科学研究院林业研究所) (辽宁抚顺矿务局林业处)

**关键词** 日本落叶松; 林分密度控制图

辽宁省东部山区自然条件优越,雨量充足,土壤肥沃,适宜落叶松生长发育。日本落叶松在辽宁省占人工林总面积15%,蓄积量占20.9%。为提高经营水平,掌握林木生长与林分密度之间数量关系,在吸收国内外编制密度控制图理论和方法的基础上,编制了日本落叶松林分密度控制图,以期达到科学营林的目的。

### 一、材料的收集与整理

基础材料来自辽宁省东部山区534块标地和15株平均胸径解析木。其中526块用于确定最大密度线及适宜密度。落叶松标地为纯林,最低组成为8;林分郁闭度在0.7以上;林龄4—43a;平均直径4—29.4cm;平均树高1.4—29.0m;林分密度120—6000株/ha;产量17—528m<sup>3</sup>/ha。此外收集了在空旷地上生长正常的日本落叶松364株资料,用于建立树冠面积与平均直径相关模式,作为确定最大密度线的依据。林分上层树高及蓄积量采用辽宁省林业勘测设计院编制的日本落叶松立地指数表、立木材积表换算而来。

### 二、林分密度控制图的编制

#### (一) 最大密度线的编制

最大密度线即最高蓄积量线,在一定立地密度条件下林分产量最大时的曲线,其模式<sup>[1,2,3]</sup>

$$y = a_1 \rho_1^{b_1} \quad (1)$$

$y$  = 蓄积量;  $\rho_1$  = 株数/ha;  $a_1$ 、 $b_1$  参数,应用上述526块标地资料求出各株数组平均密度,蓄积量及频度,分别不同株数范围再用最小二乘法求解  $a_1$ 、 $b_1$  参数。

表1 日本落叶松平均最大密度线  $R_1 S_{余}$  与  $a_1 b_1$  参数比较

模 式	适用范围	$n$	$R$	$S_{余}$	$a_1$	$-b_1$
$y_1$	500—5000	526	0.8914	17.7455	5700.98	0.51269758
$y_2$	500—3500	487	0.9229	15.4146	7591.81	0.516928708
$y_3$	500—4000	519	0.9011	17.325	5824.68	0.524726286
$y_4$	500—3000	330	0.9914	19.34	13235.46	0.652843085
$y_5$	500—2500	260	0.9537	13.43	33787.20	0.794145008

从表 1 看出  $y_2$ 、 $y_5$  相关系数紧密，剩余标准差最小，用两条回归线进行显著性检验， $y_2b_1$  与  $y_5b_1$  在 95 % 可靠性下差异  $t$  值， $t_{\text{计}} = 3.02 > t_{0.05} = 1.96$ ；差异显著， $y_2a_1$  与  $y_5a_1$  差异  $t$  值， $t_{\text{计}} = 3.87 > t_{0.05} = 1.96$  则差异也显著，这两条曲线不能合并。 $y_2$  式样本数量占总数 93 %，代表性强，故采用  $y_2$  为平均最大密度线。

$$y_2 = 7591.81035\rho_i^{-0.561928708}, (n=487, R=0.922) \quad (2)$$

最大密度线上限用树冠面积比率法确定。林分标地总树冠面积比率 ( $\Sigma TAR$ ) 是该林分总树冠面积与每公顷面积之比值，林木总树冠面积 ( $\Sigma TA$ ) 是各径级空旷地平均树冠面积乘各径级数总和：

$$\Sigma TA = n(-9.43907148 + 2.59508246\bar{D} - 0.0040576951\bar{D}^2) \quad (3)$$

$$n = 364 \quad R = 0.999 \quad S_{\text{余}} = 4.56 \text{ m}^2$$

$$\Sigma TAR = \frac{\Sigma TA}{10000} \times 100 = (\Sigma TA \times n) \times 0.01 \quad (4)$$

从 12 块资料分析得知石文大房子 - 3 号标地  $\Sigma TAR = 571$  为最高， $y = 336 \text{ m}^3/\text{ha}$ ， $\rho = 2430 \text{ 株}/\text{ha}$ ，代入  $y_2$  式即能求出最大密度线的截距  $a_1$  参数。

$$a_1 = y_2(\rho_i^{-b_1})^{-1} = 336 \times [(2430)^{-0.561928708}]^{-1} = 26841.61461 \quad (5)$$

故日本落叶松最大密度线模式为：

$$y_{\text{max}} = 26841.61461\rho_i^{-0.561928708} \quad (6)$$

任意  $\rho_i$  代入 (6) 即得  $y_i$ ， $y_i, \rho_i$  值即可在双对数纸上绘制成最大密度线。

(二) 等上层树高线(等直径线)选用产量密度倒数式<sup>[1,2,3]</sup>

$$y^{-1} = A + B\rho^{-1} \quad (7)$$

其中  $A$ 、 $B$  参数是生育参数与上层树高(直径)呈幂函数相关

$$A_{H_{\text{上}i}} = aH_{\text{上}i}^b; B_{H_{\text{上}i}} = CH_{\text{上}i}^d (A_{D_i} = a\bar{D}^b; B_{D_i} = CD^d) \quad (8)$$

为提高  $A$ 、 $B$  参数精度，用三种迭代法求解  $A$ 、 $B$  参数，即：① 线性回归法；② 二次线性迭代法；③ 总非线性迭代法<sup>[9,4]</sup>。用 (7) 式计算进行比较，③ 法相关系数最高，剩余标准差为最小，它是用 BFCS 法求算估计值 ( $\hat{y}$ ) 与实测蓄积量  $y_i$  最小二乘解，求残差平方和为最小  $[\Sigma \omega(y_i - \hat{y})^2]$ <sup>[4]</sup>， $S_{\text{余}} = [\Sigma \omega(y_i - \hat{y})^2 / n - 2]^{1/2}$ ， $\omega$  为频度，其结果见表 2、3。

表 2 日本落叶松上层树高曲线各种参数、 $R_1$  与  $S_{\text{余}}$  比较

计算方法	参 数				相关系数 $R$	剩余标准差
	$a$	$b$	$c$	$d$		
I	6.762600	-2.85448	165904.80	-3.662020	0.9693	15.38
II	6.762821	-2.856056	20724.68	-2.813656	0.9179	24.84
III	6.799127	-2.827512	158358.27	-3.613966	0.9875	9.87

表 3 日本落叶松等直径线各参数、 $R$  与  $S_{\text{余}}$  比较

计算方法	参 数				$R$	$S_{\text{余}}$
	$a$	$b$	$c$	$d$		
I	0.595783	-2.4807	7776.85	-2.6447	0.9730	17.07
II	3.361320	-3.294334	9646.19	-2.74883	0.9106	30.56
III	0.753503	-2.81302	7714.18	-2.601835	0.9796	14.85

从表 2、3 选出相关系数最紧密剩余标准差最小的  $A$ 、 $B$  参数, 确定等上层树高(或等直径线)模式如下:

$$y_{H_{\uparrow}} = \rho[(6.799\ 127H_{\uparrow}^{-2.827\ 612} \cdot \rho) + (158\ 358.27H_{\uparrow}^{-3.813\ 886})]^{-1} \quad (9)$$

$$y_{D_i} = \rho[(0.753\ 503D^{-2.813\ 02} \cdot \rho) + (7\ 714.18D^{-2.601\ 836})]^{-1} \quad (10)$$

取  $\rho_i$  代入(9)或(10)式即得相应  $y_i$ , 即在双对数纸上绘出各条上层树高线(或等直径线)。

### (三) 自然稀疏线的编制<sup>[1,2,3,5]</sup>

自然稀疏线选用

$$y_i = K_1 \cdot K_2 = \left[ (b_1 + 1)a_1 \left( \frac{b_1}{b_1 + 1} \right)^{-b_1} \right] \left[ 1 - \frac{\rho_i}{\rho_0} \right] \rho_0^{-b_1} \quad (11)$$

已知  $a_1 = 26\ 841.614\ 61$ ;  $b_1 = 0.561\ 928\ 708$ , 则  $K_1 = 74\ 465.471\ 62$ ;  $K_2 = \left[ 1 - \frac{\rho_1}{\rho_0} \right] \rho_0^{-0.561\ 928\ 708}$ ,

$\rho_0$  为开始密度;  $\rho_i$  任意密度;  $a_1$ 、 $b_1$  是最大密度线的参数。从(11)式先确定  $\rho_0$  开始密度, 自然稀疏线用  $\rho_i$  代入(11)式即得相应  $y_i$ , 在双对数纸上绘出  $\rho_0$  的自然稀疏线, 以此类推可以绘出不同  $\rho_0$  的自然稀疏线。

### (四) 经营管理指数线的编制

经营管理指数线(相对密度  $Rd$ )<sup>[1,3]</sup> 是沿上层树高与最大密度线交点处  $y_i$  值, 等比下降 10% 产量的一组曲线(1.0; 0.9; 0.8...0.3)其模式为

$$Rd(\text{经营管理指数}) = y_{Rd} \cdot y_{max}^{-1} \quad (12)$$

将(6)式、(9)式合并, 求出

$$\rho_{Rd} = B_{H_{\uparrow i}} \cdot y_{Rd} (1 - A_{H_{\uparrow i}} \cdot y_{max})^{-1} \quad (13)$$

经营管理指数越高则单产越大, 适宜经营指数直接受树种、年龄、立地、经济条件等因子影响。适宜密度的林分, 既优质高产, 又稳定性强, 是以发挥最大经济效益为原则, 因此最适宜经营指数是从几方面来确定的。

1. 采用平均生长量  $6\ m^3/ha$  标地材料, 建立回归模式

$$y = 14\ 076.805\ 5\rho^{-0.699\ 386\ 36} \quad (n = 314; R = 0.912\ 2; S_{\text{余}} = 38.48\ m^3) \quad (14)$$

在密度图上  $Rd$  的范围 0.6—0.72 间; 中等立地适宜密度经营指数为 0.6—0.7。

2. 用平均解析木生长量最大时的经营指数, 采用 13 立地指数<sup>[6]</sup> 不同年龄、不同密度的 10 块实测样地, 分析得出适宜经营指数范围在 0.6—0.8 之间, 用样地回归得

$$y_i = 154\ 002.028\rho_i^{-0.893\ 822\ 8} \quad (n = 10, R = 0.914\ 1) \quad (15)$$

用  $\rho_i$  代入(15)即相应  $y_i$  在密控图上经营指数范围 0.6—0.8 之间, 平均适宜密度经营指数 0.65—0.75 之间, 从中可得出高密度高产林分  $Rd$  为 0.7 以上; 中密度中产  $Rd$  为 0.6—0.7; 低密度低产林分为 0.5—0.6。一般中等立地条件要获得高产,  $Rd$  须超过 0.7; 中产在 0.65 以上, 一次采伐不得超过 0.1—0.2 经营指数。

3. 用年生长量  $8\ m^3/ha$ , 以活树冠长度与树高比值来确定适宜经营指数, 选用 7 块标地分析得知高生长量适宜经营指数  $Rd$  在 0.5—0.7 之间, 高产时活树冠长度与树高的比率近 1/2。

### 三、精 度

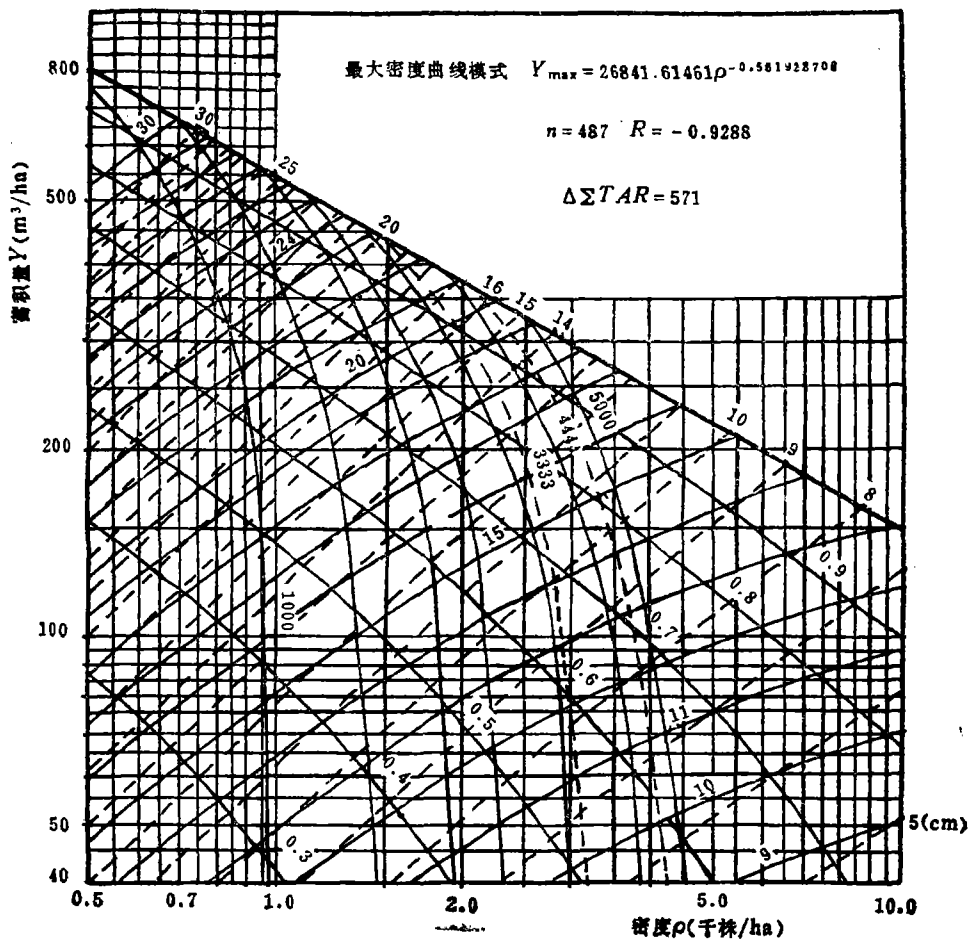
1. 编图精度 主要检验图上等上层树高线(等直径线)的精度。用451块标地数据与相应图上查出 $\hat{y}_i$ 之差, 求出编图精度, 等上层树高为95.6%; 等直径线为96.49%, 等直径等上层树高线精度为97.32%。

2. 适用性检验 未参加编图的53块实测标地数据用图上值求出适用性精度, 等直径线为95.83%; 等上层树高线为96.42%; 直径、上层树高合起来精度为97.68%。

### 四、林分密度控制图的应用

1. 资源清查 如某林分每公顷2500株, 平均直径 $\bar{D}=10$  cm, 上层树高 $H_{上}=14$  m, 求该林分蓄积量?

在下图上横坐标查 $\rho=2500$ 株,  $\bar{D}=10$  cm,  $H_{上}=14$  m处的 $y_i$ 值,



日本落叶松林分密度控制图

求其平均数即得所求蓄积量  $(120 + 122) \div 2 = 121 \text{ m}^3/\text{ha}$ 。

2. 生长预测 某林分  $\rho_0 = 3\ 333$ ,  $\bar{D} = 11 \text{ cm}$ ,  $H_{\text{上}} = 15.1 \text{ m}$ ,  $A = 20 \text{ a}$ ,  $SI$  (立地指数)  $= 16$ , 求35 a 间定期  $y$  ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )? 年生长量? 35 a 后胸径?

用立地指数表<sup>[4]</sup>找出20、25、30、35 a 相应的上层树高为15.0、17.3、19.2、21.0 m, 用  $\rho_0$  自然稀疏线与相应上层树高交处  $y$ , 即151、250、290、360  $\text{m}^3/\text{ha}$ , 查出35 a 后 直径为17.4 cm。

3. 间伐 如某林分  $\rho = 3\ 000 \text{ 株}/\text{ha}$ ,  $H_{\text{上}} = 15 \text{ m}$ ,  $y = 160 \text{ m}^3/\text{ha}$ , 问该林分要不要间伐? 间伐强度? 保留株数及经营指数? 先找出  $Rd$ ,  $Rd = y_{Rd} \cdot y_{\text{max}}^{-1} = 160 \times 208^{-1} = 0.77$ , 确定间伐设计(表4), 间伐方法多用下层抚育法。

表4 间伐设计

项 目	Rd	$H_{\text{上}}$ (m)	$y$ ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )	$\rho$ (株/ha)	间 伐 量			
					$N$ (株/ha)	%	$V$ ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )	%
伐 前 因 子	0.77	15	160	3 000	—	—	—	—
伐 后 因 子	0.70	15	145	2 500	500	16.0	15	9.4
伐 后 因 子	0.65	15	138	2 200	800	26.6	22	13.75

4. 经营类型确定 按  $Rd$  大小进行分类,  $Rd$  在0.7以上为抚育型; 0.6—0.7为缓抚型; 0.5—0.6为封护型; 0.4—0.3为改造型。如某林分  $\bar{H} = 13 \text{ m}$ ,  $y = 150 \text{ m}^3/\text{ha}$ , 应属那个经营型? 求  $H_{\text{上}} = 0.9427 \bar{H} + 2.8374 = 15.09 \text{ m}$ <sup>[6]</sup>, 相应  $Rd = y_{Rd}/y_{\text{max}} = 150/212 = 0.71$ , 属抚育型。

5. 定量间伐<sup>[1,2]</sup> 如某林分  $\rho = 2\ 500 \text{ 株}/\text{ha}$ ,  $\bar{D} = 13.1 \text{ cm}$ ,  $A = 20 \text{ a}$ ,  $H_{\text{上}} = 17 \text{ m}$ ,  $SI = 18$ ,  $Y = 185 \text{ m}^3/\text{ha}$ , 若预期胸径18 cm, 单产328  $\text{m}^3/\text{ha}$ , 如何进行定量间伐? 用开始  $\bar{D}_i, \rho_i, y_i$  值查图, 沿上层树高下降到相应经营指数交点  $\bar{D}$ ,  $\rho, y$  即一次间伐量。以此类推求出35 a 间的间伐量(见表5)。

表5 定量间伐设计

间 隔 年 (a)	$H_{\text{上}}$ (m)	胸 径 (cm)		密 度 (株/ha)		单 产 ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )		间 伐 量			
		伐 前	伐 后	伐 前	伐 后	伐 前	伐 后	$N$ (株/ha)	%	$V$ ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )	%
	17.0	12.7	13.4	2 500	1 820	219	184	680	27	35	15.9
5	18.7	15.0	15.7	1 820	1 450	250	201	370	20.3	49	19.6
5	21.2	15.7	18.0	1 450			328				

### 五、结 语

1. 最大密度线模式  $y = a_1 \rho^{b_1}$  日本落叶松密度效应式  $b_1 = -0.56$ , 是符合于  $\frac{3}{2}$  乘则, 确定最大密度线用总树冠面积比率法( $\Sigma TAR$ )有科学的依据。

2. 等上层树高线(等直径线)应用产量密度倒数式A、B参数的总非线性迭代法, 是提高

编制精度的一个改进方法，编图精度96—97%，适用性精度95—97%。

3. 适宜经营指数( $Rd$ )受树种、年龄、立地、经济效益多种因子影响，如进一步探求还需深入调查及建立固定长期观察标地。

4. 林分密度控制图上有五组曲叠合在一张双对数纸上，查图时因格子比例较小，可能出现较大误差，应将图变成数表或放大图纸，更便于生产应用。

### 参 考 文 献

- [1] 姜文南等, 1981, 长白落叶松坑木林分密度控制图的研究, 林业科技通讯, (3)。
- [2] 尹泰龙等, 1987, 林分密度控制图编制与应用, 林业科学, (3)。
- [3] 安滕贵等, 1968, 关于同龄单纯林密度管理的生态学研究, 林试研报, (210)。
- [4] 饭盛功, 1979, 关于日本扁柏林分密度管理图的编制, 林试研报, (305)。
- [5] 张铁砚等, 1981, 辽宁省落叶松油松立地指数编制的研究, 辽宁省林业勘测设计, (1)。
- [6] 姜文南等, 1983, 日本落叶松林分密度控制图中上层树高曲线和等直径曲线求精的计算, 北京林业, (1)。

## ESTABLISHMENT AND APPLICATION OF DENSITY CONTROL DIAGRAM OF JAPANESE LARCH STAND

Zhang Tieyan

*(The Forest Inventory and Planning Academy of Liaoning Province)*

Jiang Wennan

*(The Research Institute of Forestry CAF)*

Wang Yiting

*(Bureau of Coal Mine, Liaoning Province)*

**Abstract** In this paper, the proportional method of total area of tree crown was used to establish the density control diagram of Japanese Larch stand for determining the maximum density line.

In order to improve the precision of the stand density control diagram, we used the total nonlinear interactive method to improve the values of equivalent diameter and equivalent tree height line. When determining the most suitable stand density that is the management index, the index of annual mean increment of the standard plot, the index of mean value of annual maximum increment of analytic trees and the ratio index of crown length to tree height were adopted. These methods were used for the first time in China.

**Key words** Japanese Larch; density control diagram