

# 山东省临沂地区杨树人工林 林分密度管理图的编制\*

刘景芳 童书振 郑世楷

(中国林业科学研究院林业研究所)

李富恩 魏效德 卢永农

(山东省莒县林业局) (山东省临沂市林业局) (山东省沂南县林业局)

**摘要** 山东省临沂地区杨树人工林林分密度管理图, 于1986年冬至1987年春在该地区设置69杨等临时标地356块资料基础上编制而成。密度为278—5952株/ha(其中500—1894株/ha者占89.1%); 优势高为5.9—28.6m; 平均胸径为3.8—28.6cm; 蓄积量为3.9—339.7 m<sup>3</sup>/ha。管理图编制方法: 等树高线选用  $M^{-1} = A_1 + B_1 N^{-1}$  式; 等直径线选用  $D^{-1} = A_2 + B_2 N$  式; 最大密度线采用  $M_{Rf} = K_2 \cdot N_{Rf}^{K_1'}$  式; 密度管理线采用  $M_{Ry} = K_3 \cdot N_{Ry}^{K_1'}$  式。本密度管理图的精度, 等树高线为97.6%; 等直径线为98.9%, 符合生产要求。

**关键词** 杨树人工林; 密度管理图

杨树是我国北方平原地区主要的速生用材树种之一。生长快, 伐期短, 一般7—8 a就可利用, 深受群众喜爱。随着林业科学的发展, 从国外引进很多优良品种, 如69杨、72杨、健杨、214杨等。当前面临的问题是, 在不同的立地条件下, 采用何种造林密度、间伐措施, 才能得到较高的出材量。为此, 试编山东省临沂地区杨树人工林林分密度管理图, 以期解决上述问题。

## 一、材料收集和整理

在山东省临沂地区共设置临时标准地356块: 其中莒县116块, 临沂市120块、沂南县120块; 按品种计算, 69杨326块、72杨15块、健杨和214杨15块。每块标准地在幼林阶段多进行农林间作, 主要农作物为小麦、红薯、花生等。

外业调查和内业整理:

(1) 采用无边界标地调查, 即在每块林内集中测量30—50株胸径和5株中央木、3株优势木的树高, 计算出平均高及优势高, 用株行距推算每公顷株数。

本文于1989年1月收到。

\*本文属“杨树丰产栽培中间试验”的一部分, 中国林科院刘奉觉参加试点工作, 联合课题组的张金平、田玉珩、刘玉运、尉春平、李环子、崔发良、郭同竹、吴衍德、杜佃桓、代海波、刘志晓、王克东、徐酉丰、周启宏同志参加。

(2) 每公顷蓄积量采用南京林业大学高丽春等所编黑杨派四个无性系二元立木材积表推算。

$$V = 0.00572 + 0.66667d^2h - 0.63862d^3h + 0.66056d^2 + 0.3945d^2h \cdot \lg d$$

(3) 利用257块标地材料算出优势高与平均高相关经验式。 $H_{\pm} = 0.68417 + 1.04387\bar{H}$ ,  $r = 0.99981$ 。

(4) 69杨、72杨、健杨品种间的生长规律经方差分析, 无显著差异<sup>[4]</sup>。

## 二、编制方法

林分密度管理图, 主要由最大密度线、等树高(优势高)线、等直径线、密度管理线和自然稀疏线所构成。这5种线既独立又互相联系, 同时均受密度制约, 与地位级年龄无关。

### (一) 等树高线<sup>[2,3]</sup>

经试验选用:  $M^{-1} = A_1 + B_1 \cdot N^{-1}$  (1)

用(1)式计算的各树高级  $A_1$ 、 $B_1$  参数值及相关系数  $r$  (表1)。

表1 各树高级参数及相关系数

树高级	优势高 (m)	标地数	参 数		相关系数 $r$
			$A_1$	$B_1$	
6	6.22	20	0.01222	101.97349	0.97349
8	8.01	41	0.00181	64.31615	0.71501
10	9.98	40	0.01361	22.13905	0.76258
12	11.96	46	0.00682	14.66748	0.86445
14	13.89	57	0.00770	7.43688	0.70365
16	15.99	33	0.00733	3.08529	0.65077
18	17.94	50	0.00499	2.87362	0.71184
20	19.87	32	0.00512	1.44157	0.70897
22	21.98	25	0.00164	2.32801	0.77082
24	23.83	7	0.00318	0.86804	0.61276
26	25.62	4	0.00123	1.46379	1.00000
28	28.60	1	—	—	—

为了使各等树高线规律化, 用(2)及(3)式将  $A_1$ 、 $B_1$  值与优势高的关系再进行回归, 得  $a_1$ 、 $b_1$ 、 $a_1'$ 、 $b_1'$  参数值。

$$A_1 = a_1 H^{b_1} \quad (2)$$

$$B_1 = a_1' H^{b_1'} \quad (3)$$

$$a_1 = 0.32156 \quad b_1 = -1.51734 \quad r = -0.8449$$

将  $a_1$ 、 $b_1$  代入(2)式得

$$A_1 = 0.32156 H^{-1.51734} \quad (4)$$

$$a_1' = 57782.98856 \quad b_1' = -3.40629 \quad r = -0.9817$$

将  $a_1'$ 、 $b_1'$  代入(3)式得

$$B_1 = 57782.98856 H^{-3.40629} \quad (5)$$

将(4)及(5)式代入(1)式, 即得等树高线经验式:

$$M^{-1} = 0.321\ 56\ H^{-1.517\ 34} + 57\ 782.988\ 56\ H^{-3.406\ 28} \cdot N^{-1} \quad (6)$$

将各树高级值和相应不同的株数密度(5个以上为宜),代入(6)式即为各等树高线。

### (二)等直径线<sup>[1]</sup>

选用:  $D^{-1} = A_2 + B_2 \cdot N \quad (7)$

(7)式有以下两个优点:

(1) 各等直径线可以直接和各等树高线中的密度及单位面积蓄积连在一起。

(2) 可以利用不同的树高和密度, 求算直径。其方法是利用各树高级中标准地株数与直径相关关系, 借助最小二乘法求出  $A_2$  及  $B_2$  参数值。再用(8)、(9)两式, 求算  $a_2$ 、 $b_2$ 、 $a_2'$  及  $b_2'$  值。

$$A_2 = a_2 H^{b_2} \quad (8)$$

$$B_2 = a_2' H^{b_2'} \quad (9)$$

$$a_2 = 1.859\ 12 \quad b_2 = -1.277\ 57 \quad r = -0.988\ 63$$

$$a_2' = 3.893\ 3 \times 10^{-5} \quad b_2' = -0.370\ 66 \quad r = -0.653\ 18$$

将  $a_2$  及  $b_2$  值代入(8)式得

$$A_2 = 1.859\ 12\ H^{-1.277\ 57} \quad (10)$$

将  $a_2'$  及  $b_2'$  值代入(9)式得

$$B_2 = 3.893\ 3 \times 10^{-5}\ H^{-0.370\ 66} \quad (11)$$

将(10)、(11)式代入(7)式得

$$\left. \begin{aligned} D^{-1} &= 1.859\ 12\ H^{-1.277\ 57} + 3.893\ 3 \times 10^{-5}\ H^{-0.370\ 66}\ N \\ \text{或 } N &= \frac{1 - D \cdot A_2}{D \cdot B_2} = \frac{1 - D \cdot 1.859\ 12\ H^{-1.277\ 57}}{D \cdot 3.893\ 3 \times 10^{-5} \cdot H^{-0.370\ 66}} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

利用(12)式, 求出各等直径线上各树高级株数, 再将株数代入(6)式求得的相应蓄积量, 点绘在双对数纸上, 连线即为各等直径线。

### (三)最大密度线<sup>[3]</sup>

#### 1. 求算最小竞争比数

单株材积的数学模型为  $V^{-1} = A_1 N + B_1 \quad (13)$

上式当  $N \rightarrow 0$  时, 单株材积最大, 设此时的单株材积为  $V_m$ , 则  $V_m = B_1^{-1}$ 。如各树高级受密度影响时的单株材积为  $V_{R_c}$ , 与  $V_m$  的比值为  $R_c$ ,  $R_c$  即为竞争比数。

$$R_c = \frac{V_{R_c}}{V_m} = \frac{V_{R_c}}{B_1^{-1}} = V_{R_c} \cdot B_1 \quad (14)$$

由(14)式得  $V_{R_c} = R_c \cdot B_1^{-1} \quad (15)$

$R_c$  表示竞争强度, 其变化范围为  $1 - 0$ , 如林分达到最大密度时, 其竞争比数最小。如此时的竞争比数为  $R_f$ , 则最大株数密度为  $N_{R_f}$ , 单株材积为  $V_{R_f}$ , 其竞争比数不因树高的不同而有变化。可见要想求算杨树最大密度线, 必须先求得最小竞争比数  $R_f$ 。

(1) 根据各等树高线不同密度的单株材积( $V$ )和  $V_m = B^{-1}$  公式, 求算各等树高线最大单株材积( $V_m$ )并绘制各单株等树高线曲线图(表 2, 图 1)。

(2) 设  $R_c = 0.3$ , 用(15)式求出各等树高线 0.3 时的单株材积, 点入图 1, 连成直线  $AB$ 。

(3) 选用较大密度的标地若干块, 将其单株材积和标地号点入图 1。再以  $AB$  直线向最

表 2 各等树高线  $B_1$  及  $V_m$  值

树高级	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
$V_m$	0.044 10	0.082 07	0.138 75	0.218 67	0.326 60	0.467 61	0.646 96	0.870 16	1.142 91	1.471 09
$B_1$	22.673 05	2.184 16	7.207 02	4.573 18	3.061 81	2.138 53	1.545 68	1.149 21	0.874 96	0.679 77

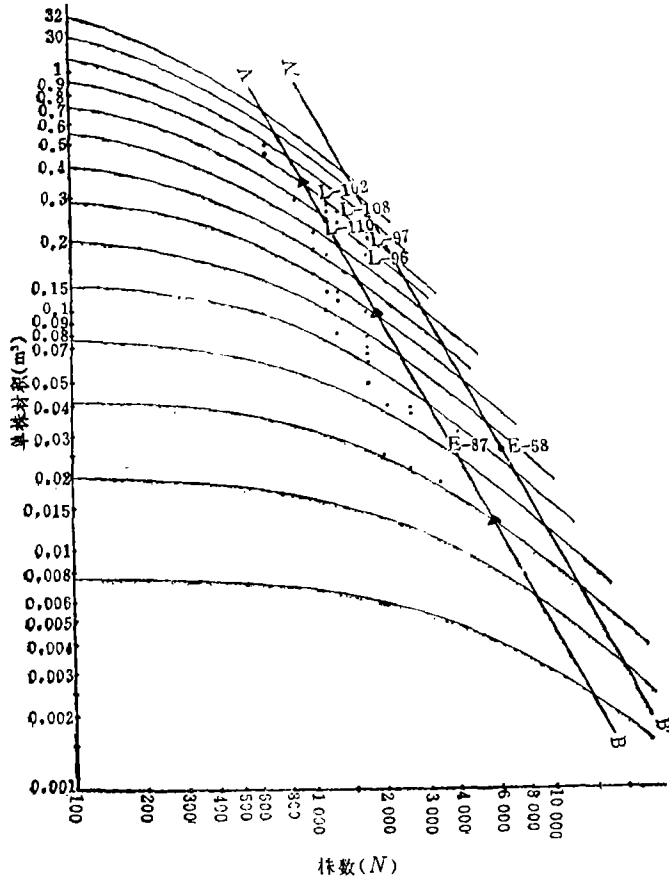


图 1 单株材积等树高曲线

外侧点平移提高，并通过此点绘直线  $A'B'$ ，即为单株材积最大密度线。查知最外侧点的标地为E-58号，其  $N=5\ 952$ ， $V=0.026\ 04\ m^3$ ，

(4) 在图 1 中选择五条等树高线，读出与  $A'B'$  线各交点值，即  $V_{Rf}$ ，以  $R_f = V_{Rf} \cdot V_m^{-1}$ ，求出各条线  $R_f$  值，其平均值即为最小竞争比数(表3)。

2. 求算单株最大密度线经验式

采用 
$$V_{Rf} = K_2' N_{Rf}^{K_1} \tag{16}$$

经推导 
$$K_1 = \frac{b_1'}{b_1 - b_1'}$$

$$K_2' = \frac{R_f}{a_1'} \left( \frac{R_f}{1 - R_f} \cdot \frac{a_1}{a_1'} \right)^{\frac{b_1'}{b_1 - b_1'}}$$

表 3 各等树高线  $R_f$  值

等树高线	$V_{Rf}$ ( $m^3$ )	$R_f$
10	0.007 0	0.158 73
14	0.021 5	0.154 96
18	0.051 0	0.156 15
22	0.100 0	0.154 57
26	0.175 0	0.153 12
合 计		0.777 53
平 均		0.155 51

$$M_{Rf} = K_2' N_{Rf}^{K_1'} \quad (18)$$

式中  $K_1' = K_1 + 1 = -1.803 27 + 1 = -0.803 27$ ，将  $K_2'$  及  $K_1'$  值代入(18)式，即得单位面积蓄积最大密度线经验式：

$$M_{Rf} = 169 403.23 N_{Rf}^{-0.803 27} \quad (19)$$

任意设两个以上的  $N$  值，代入(19)式得出  $M_{Rf}$  值，点绘在双对数纸上，连成线即为最大密度线。

#### (四) 密度管理线<sup>[3]</sup>

以最大密度线的蓄积量为 1，按 10 分法的比数下降的线。

由(19)式得知最大密度线蓄积为  $M_{Rf}$ ，设下降后的蓄积量为  $M_{Ry}$ ，比数为  $R_y$ ，则  $R_y = M_{Ry} \cdot M_{Rf}^{-1}$ ，经推导各比数的数学模型为

$$\left. \begin{aligned} M_{Ry} &= K_3 N_{Ry}^{K_1'} \\ \text{或} \quad M_{Ry} &= \frac{(1-R_f)R_y}{a_1} \left[ \frac{1-(1-R_f)R_y}{(1-R_f)R_y} \cdot \frac{a_1}{a_1'} \right]^{K_1'} \cdot N_{Ry}^{K_1'} \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

将已知的  $a_1$ 、 $a_1'$ 、 $R_f$  及  $K_1'$  值代入(20)式，即得密度管理线经验式。

$$M_{Ry} = 2.647 045 65 \cdot R_y \left[ \frac{5.565 \times 10^{-6} - 4.697 \times 10^{-6} \cdot R_y}{0.844 0 \cdot R_y} \right]^{-0.803 27} \cdot N_{Ry}^{-0.803 27} \quad (21)$$

按 10 分法，设  $R_y = 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, \dots$ ，在每个比数线上，任意设两个以上的株数密度( $N$ )，求出相应的蓄积量( $M$ )，点绘在双对数线上，连线即为各条密度管理线。

#### (五) 自然稀疏线(略)

以上几种线综合绘制的图，即为杨树人工林分密度管理图(图 2)。

已知  $a_1 = 0.321 56$   $b_1 = -1.517 34$

$a_1' = 57 782.988 56$   $b_1' = -3.406 29$

$R_f = 0.156$

则  $K_1 = -1.803 27$   $K_2' = 169 403.23$

将  $K_1$  及  $K_2'$  值代入(16)式，即得单株材积最大密度线经验式。

$$V_{Rf} = 169 403.23 N_{Rf}^{-1.803 27} \quad (17)$$

3. 求算单位面积蓄积最大密度线经验式

式

将(16)式两边乘以  $N$ ，则得

(18)

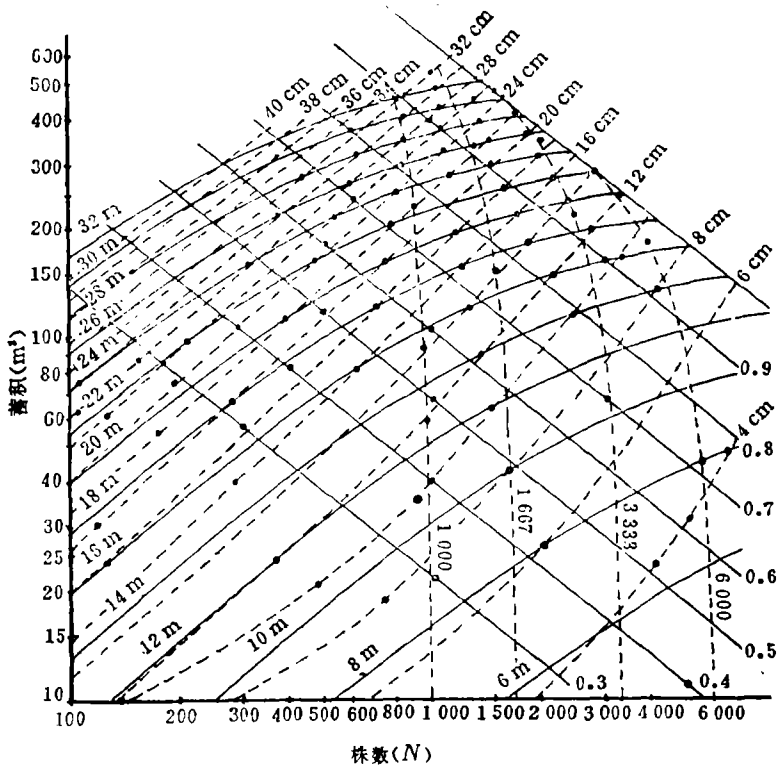


图2 山东省临沂地区杨树人工林林分密度管理图

### 三、精度检验[2]

林分密度管理图的精度是否符合生产要求，决定图本身的使用价值。为此利用356块标准地材料，检验等树高线各树高级理论蓄积量与等直径线各径级理论胸高直径的精度及总精度(表4)。

表4表明，由等树高线所计算的蓄积量理论值，总精度达到97.6%，除6及24—28树高级精度在90%以下外，其余各树高级均在90%以上。等直径线的总精度为98.9%，除4径级的精度为87.2%外，其余各径级的精度均在94%以上。因此本图的精度是符合生产要求的。

### 四、应用方法举例

本密度管理图，主要用于资源清查、预测生长量及数量成熟龄、确定采伐年龄及造林密度。应用时，必须借助杨树地位指数表始可。现以临沂地区杨树人工林地位指数表<sup>[6]</sup>为标准，举例说明应用方法。

#### (一) 资源清查

某69杨林，为500株/ha，林龄5a，优势高为20m，每公顷蓄积量多少？先在密管图上查出500株与优势高的交点，由此交点向左引垂线与纵坐标相交，查知该交点处的蓄积量为130m<sup>3</sup>，即为该林分每公顷的蓄积量。

表 4 精 度 检 验

等 树 高 线					等 直 径 线					
树 高 级	标 地 数	剩 余 标 准 差 (m <sup>3</sup> /ha)	可 靠 性 95 % 时 的 相 对 误 差 (%)	精 度 (%)	径 级	标 地 数	剩 余 标 准 差 (cm)	可 靠 性 95 % 时 的 相 对 误 差 (%)	精 度 (%)	
6	20	2.5	16.8	83.2	4	11	0.9	12.8	87.2	
8	41	3.0	6.8	93.2	6	26	0.6	4.3	95.7	
10	40	5.4	6.3	93.7	8	36	1.0	4.9	95.1	
12	46	12.9	7.4	92.6	10	36	1.3	4.8	95.2	
14	57	11.8	4.4	95.6	12	52	1.3	3.3	96.7	
16	33	12.7	4.8	95.2	14	47	1.5	3.5	96.5	
18	50	24.2	5.5	94.5	16	44	1.3	2.5	97.5	
20	32	20.0	5.0	95.0	18	37	1.5	2.8	97.2	
22	25	45.7	9.8	90.2	20	32	2.0	3.4	96.6	
24	7	40.2	11.8	88.2	22	19	2.4	5.4	94.6	
26	4				16	24	6	2.8	5.8	94.2
28	1					26	3			
						28	7			
总 计	356	22.5	2.4	97.6	总 计	356	1.5	1.1	98.9	

## (二) 预测生长量及数量成熟龄

某72杨林为400株/ha，林龄5 a，优势高为16 m，不间伐，预测5—11 a的优势高、平均胸径、每公顷蓄积量、材积连年生长量、平均生长量及数量成熟龄。先由杨树地位指数表查知该林分林龄5 a，优势高16 m时为22指数级。以22指数级中值为准，计算出6—11 a相应的优势高分别为18.8 m、20.5 m、23.2 m、24.3 m、25.1 m。然后在密管图优势高16 m处垂直向上，查出各年龄优势高与400株交点处的蓄积量及平均胸径。再用公式计算材积连年生长量及平均生长量(表5)。根据连年生长量及平均生长量的交点，得知数量成熟龄为10 a。

表 5 各 因 子 生 长 预 测 值

林 龄 (a)	优 势 高 (m)	平 均 胸 径 (cm)	蓄 积 量 (m <sup>3</sup> /ha)	连 年 生 长 量 (m <sup>3</sup> /ha)	平 均 生 长 量 (m <sup>3</sup> /ha)
5	16.0	16.8	61.6		12.32
6	18.8	20.4	96.6	35.0	16.10
7	20.5	22.6	121.9	25.3	17.40
8	22.0	24.5	146.7	24.8	18.33
9	23.2	26.1	168.1	21.4	18.68
10	24.3	27.5	188.9	20.8	18.89
11	25.1	28.6	204.7	15.8	18.61

## (三) 确定造林密度

某造林地经调查属24指数级，栽植69杨，培养大径材，不间伐，要求平均胸径达到28 cm，林分优势高生长到密度管理线0.7时，进行采伐，每公顷应栽多少株？其采伐年龄应多大？先由密管图查出28 cm等直径线与密度管理线0.7的交点，由该点向下引垂线与横坐标相交处，查知为570株/ha，即为适宜的造林密度，其株行距可定为4×4.4 m。再由上述交点处，

查知优势高为25.8 m, 查24指数级相应的年龄为9 a, 即为采伐年龄。

#### (四) 确定采伐年龄

某健杨林, 林龄为4 a, 优势高为14 m, 栽植密度为625株/ha, 培养中径材, 平均胸径达到20 cm时采伐, 其采伐年龄多少? 由杨树地位指数表查知林龄4 a, 优势高14.0 m属22指数级。再由密管图查出625株与20 cm等直径线的交点处的优势高为19.4 m。最后在22指数级中, 查知优势高生长到19.4 m时为6 a, 即为采伐年龄。

#### 参 考 文 献

- [1] 尹泰龙等, 1978, 林分密度控制图的编制与应用, 中国林业科学, (3), 1—11。  
 [2] 刘景芳等, 1980, 编制杉木林分密度管理图研究报告, 林业科学, 16(4), 241—251。  
 [3] 安藤贵, 1968, 同齡单纯林の密度管理に关する生态学的研究, 林业试验场研究报告, 210。  
 [4] 刘景芳等, 1989, 山东临沂地区杨树人工林地位指数表的编制, 林业科学研究, 2(4)。

## ESTABLISHMENT OF STAND DENSITY CONTROL DIAGRAM FOR POPLAR IN LINGYI PREFECTURE, SHANDONG PROVINCE

Liu Jingfang    Tung Shuzhen    Zheng Shikai

(The Research Institute of Forestry CAF)

Li Fuen

Wei Xiaode

(Forest Bureau of Ju County)

(Forest Bureau of Lingyi City)

Lu Yongnun

(Forest Bureau of Yinan County)

**Abstract** Data of 356 temporary sample plots of intensively cultivated poplar plantations (*Populus deltoides* cv. "Lux" I-69/55) were collected for establishment of stand density control diagram. The densities of poplar plantation ranged from 278 to 5 952 plants per ha.. Among all 317 sample plots, the densities are ranging from 500 to 1 894 plants per ha., accounting for 89.1%. The dominant height varied from 5.9 to 28.6 m, the average *D. B. H.* 3.8—28.6 cm, the volume per ha. 3.9—339.7 m. The formulars used are as follows:  $\frac{1}{M} = A_1 + B_1 \cdot \frac{1}{N}$  for equivalent height curve,  $\frac{1}{D} = A_2 + B_2 \cdot N$  for equivalent diameter curve,  $M_{RI} = K_2 \cdot N_{RI}^{K_1'}$  for full density curve,  $M_{Ry} = K_3 \cdot N_{Ry}^{K_1'}$  for density control curve. The accuracy of the stand density control diagram is 97.0% for equivalent height curve, 98.9% for equivalent diameter curve.

**Key words** poplar plantation, stand density control diagram