

浙江省马尾松人工林多形地位指数表 及林分生长过程表的编制*

迟 健 李桂英 王伟雄 高智慧 陈家明 蔡富春

摘要 根据浙江省 21 个县(市)290 块样地的优势解析木和平均解析木数据,以修正的 Richards 函数为数学模型,用 Marquardt 迭代法求出优势高、平均高和平均胸径生长曲线的拟合方程,从而编制出多形地位指数表和多形林分生长过程表。拟合方程中引入一系列形状系数(B_1 、 B_2 等),因此对该省不同地区、不同生长条件下具有不同线形的马尾松生长曲线,有较好拟合效果。无论在全省或 I₂、I、II 类产区(每区含样地 90~100 块),模拟精度都很高,其中复相关系数达 0.99 以上,剩余标准差为 0.1~0.3。另据 Reineke(1993)关于完满立木度同龄纯林胸径与单位面积株数关系的理论,用函数 $N=C_0+C_1/(C_2+D)$ 进行林分胸径—立木株数相关关系模拟,最后编制出浙江省 8~16 指数级的马尾松人工林生长过程表。

关键词 马尾松、多形地位指数表、林分生长过程表、浙江省

我国从 70 年代起,各地就开始编制松、杉等主要树种地位指数表。但同一树种由于种源、生长地区和立地条件等差异,生长过程曲线的线形可能有所不同,即曲线有不同拐点。如用一种线形曲线去硬套,必然与实际情况有出入,为此近年来有人^[1]开始编制马尾松多形地位指数表。鉴于浙江省尚无此类指数表,为此进行本项研究。我国的马尾松生长过程表,早在 50 年代就已出现^[2],但随着立地指数概念和多形化生长预测模型概念的引进,有必要用新的数学方法编制新的马尾松生长过程表,为此用修正后的 Richards 函数编制了浙江省的马尾松生长过程表。

1. 材料和方法

1.1 调查样地概况

1985~1990 年在浙江省有代表性的 21 个县(市),分不同立地类型设置马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)调查样地 424 块,从中精选出 290 块,每块面积 500~600 m²,林龄 20~36 a,含优势解析木及平均解析木各 1 株。这些林分初植密度多为 4 500 株/hm²,中龄林经 1~2 次疏伐;经营较粗放,多为小块状(50 cm×50 cm)或穴状(30 cm×30 cm×25 cm)整地,造林头 3 年每年除草 1 次,不施肥。每块样地每木检尺,分径级测树高。角规测胸高断面面积。解析木为 2 m 区分段,2 a 为一径阶。

1994-07-18 收稿。

迟健研究员,李桂英、王伟雄(中国林业科学研究院亚热带林业研究所 浙江富阳 311400);高智慧(浙江省林业科学研究所);陈家明(浙江省建德县林场);蔡富春(浙江省龙泉市岩樟林业站)。

* 本研究为“八五”国家攻关课题“马尾松建筑材、纸浆材优化栽培模式研究”的子专题内容。

1.2 计算步骤和方法

1.2.1 优势解析木的数据处理 根据优势解析木 20 年生实际树高,按 2 m 分级划为 6 个指数级(6~16),将各指数级解析木的每个龄阶树高标在方格纸上,这些解析木经逐株、逐龄阶检查,凡一株解析木有 2 个龄阶超出 3 个标准差时,即加以剔除。在方格纸上用手绘法画出各指数级的 $H-A$ 匀滑曲线,从曲线上读出各指数各龄阶优势高平均值(表 1)。

表 1 各指数级(SI)各龄阶(A)实际优势高平均值 (单位:m)

SI	A									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
6	0.9	1.6	2.3	3.0	3.7	4.3	4.9	5.5	6.0	6.5
8	1.2	2.2	3.2	4.2	5.1	6.0	6.9	7.7	8.4	9.0
10	1.4	2.5	3.7	4.9	6.1	7.2	8.2	9.1	10.0	10.8
12	1.7	3.0	4.4	5.8	7.2	8.5	9.7	10.9	11.9	12.9
14	1.9	3.4	5.0	6.7	8.3	9.8	11.2	12.6	13.8	14.9
16	2.1	3.8	5.6	7.5	9.3	11.1	12.7	14.2	15.7	17.0

1.2.2 平均解析木的数据处理 根据多形立地指数表,确定各株平均解析木所属的指数级。将平均解析木胸径高处与各区分段带皮与去皮直径数据建立回归模型,然后将解析木各龄阶的去皮 $D_{1.3}$ 转换成带皮 $\bar{D}_{1.3}$ 。将各解析木经逐株、逐龄阶检查,剔除异常株后,按 4 个指数级归类(8~14 m, 2 m 级距),分别将各指数级的各龄阶 \bar{H} 和带皮 $\bar{D}_{1.3}$ 标在方格线上,用手绘法画出各指数级 $H-A$ 和 $\bar{D}_{1.3}-A$ 匀滑曲线,得出各龄阶数值如表 2。

表 2 各指数级平均树高、平均胸径

SI	类别	A											
		4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
8	$\bar{H}(m)$	0.80	1.70	2.60	3.50	4.40	5.20	6.00	6.60	7.20	7.70	8.10	8.40
	$\bar{D}_{1.3}(cm)$	0	0.9	1.9	3.0	4.1	5.1	6.0	6.7	7.3	7.7	8.1	8.3
10	$\bar{H}(m)$	1.10	2.10	3.20	4.30	5.40	6.40	7.30	8.10	8.90	9.50	10.00	10.50
	$\bar{D}_{1.3}(cm)$	0	1.4	2.7	4.1	5.4	6.5	7.5	8.3	8.9	9.4	9.7	10.0
12	$\bar{H}(m)$	1.30	2.50	3.80	5.10	6.30	7.50	8.50	9.50	10.30	11.00	11.70	12.20
	$\bar{D}_{1.3}(cm)$	0.7	1.9	3.4	5.0	6.4	7.6	8.7	9.5	10.1	10.6	11.0	11.3
14	$\bar{H}(m)$	1.80	3.20	4.70	6.20	7.60	8.90	10.10	11.20	12.10	13.00	13.70	14.40
	$\bar{D}_{1.3}(cm)$	1.0	2.5	4.2	6.0	7.6	8.9	10.0	10.9	11.6	12.1	12.5	12.8

1.2.3 立木株数的标准化 Reinek^[3]的研究表明,同一树种具有完满立木度(疏密度 1.0)的同龄纯林,若林分胸径相同,则单位面积的株数也相同,而与立地和年龄无关。这一观点在我国已被广泛应用。有人^[4]曾选用原林业部森林综合调查队编制的中南地区马尾松生长过程表,论证了马尾松立木株数随林分胸径的变化规律是可靠的,通过株数标准化方法还可消除抚育间伐影响。本文在计算中选用 5 个模型模拟林分胸径—立木株数的相关关系,经比较选用公式: $N=C_0+C_1/(C_2+D)$ 。

1.2.4 单株材积的计算 根据部颁马尾松二元材积公式

$$V=0.000\ 062\ 341\ 803 \times D^{1.855\ 149\ 7} \times H^{0.956\ 824\ 92}$$

1.2.5 每公顷蓄积量 $M=V(\text{单株}) \times N(\text{株}/\text{hm}^2)$

1.2.6 胸高断面面积 G 和形数 f $G=N\pi D^2/4$, $f=M/(G\times H)$

1.2.7 每公顷平均生长量 $Q_v=M/A$

1.2.8 连年生长量 $Z_v=(M_2-M_1)/n$

1.2.9 生长率 $P=(M_2-M_1)/(M_2+M_1)\times 200/N$

其中 A =年龄; M_1 = n 年前的公顷蓄积; M_2 = n 年后公顷蓄积; N =株数。

2 结 果

2.1 数学模型的选择与求解

2.1.1 多形地位指数表编制中的数学模型 选用能较好地反映林分优势木高生长进程,并在立地指数表编制中得到普遍应用的理查德函数^[4~7],作为编制多形地位指数表的数学模型:

$$H=B_0\times[1-e^{-B_1\times t}]^{1/B_2}$$

式中 B_0 、 B_1 、 B_2 是待定参数, t 为时间。据有关研究^[1],不同立地条件下的林分优势高生长过程用下列各式描述它们的关系较好:

$$B_0=\begin{cases} a\times S^b \\ a+b\times S+C\times S^2 \end{cases} \quad -B_1=\begin{cases} a+b/S \\ a+b\times S+C\times S^2 \end{cases} \quad B_2=\begin{cases} a\times e^{b\times S} \\ a+b\times S+C\times S^2 \end{cases}$$

B_0 、 B_1 和 B_2 的不同组合形成不同的优势高生长模型。用表 1 资料采用 Marquardt 迭代法分别对不同组合模型求解,结果以下面的模型拟合效果最好:

$$H=C_0\times S^{C_1}\times\{1-e^{-(C_2+C_3/S)\times t}\}^{1/(1-C_4-C_5\times S-C_6\times S^2)}$$

其中 C_0 、 C_1 ... C_6 为待定参数, t 为年龄, S 为立地指数。

为了分析方程特性和观察各指数级的参数变化,分别计算了拐点、 B_0 、 B_1 和 B_2 ,结果见表 3。

表 3 不同立地指数的优势高生长曲线参数值

SI	拐 点	B_0	B_1	B_2
6	7.566 358	10.252 53	$6.313\ 504\times 10^{-2}$	0.379 793 2
8	7.854 576	13.897 14	$6.242\ 466\times 10^{-2}$	0.387 569 1
10	8.102 758	17.594 86	$6.199\ 843\times 10^{-2}$	0.394 897 9
12	8.325 398	21.335 45	$6.171\ 428\times 10^{-2}$	0.401 779 5
14	8.528 674	25.112 10	$6.151\ 131\times 10^{-2}$	0.408 213 8
16	8.715 555	28.919 86	$6.135\ 909\times 10^{-2}$	0.414 200 9

拟合方程的精度主要由复相关系数、剩余标准差、方差比等来检验,本拟合方程在浙江全省和 3 个不同产区(每一产区含 90~100 块样地)检验结果见表 4。

2.1.2 林分生长过程表编制中的数学模型 采用上述同一数学模型,只是将变量改为 \bar{H} 和 $\bar{D}_{1.3}$,拟合方程的各项参数值及检验精度见表 5。

2.2 多形地位指数表

根据各参数、各指数级上下限值及各龄阶值,即可算出马尾松多形地位指数表(见表 6)。

2.3 胸径与株数的相关方程

用(1) $N=C_0\times D^{C_1}$; (2) $N=C_0\times e^{(C_1\times D)}$; (3) $N=C_0\times e^{(C_1/D)}$; (4) $N=C_0+C_1/(C_2+D)$; (5) $N=C_0+C_1D+C_2/D$,这 5 个模型分别模拟并比较,其中以公式(4)的拟合效果最佳,相关系数

$R=0.99946^{**}$, 剩余标准差 $S=28.131$; 参数 $C_0=-19.8169$; $C_1=20776.00$; $C_2=-0.7411$ 。从而得出相关方程: $N=-19.8169+20776/(D-0.7411)$ 。根据各指数级各龄阶的平均胸径, 由上式可得到所对应的每公顷立木株数。前后两个年龄的立木株数之差即为两者间的自然稀疏株数。

表 4 不同产区多形地位指数方程的参数及精度检验

项 目	I ₂ (产区)	Ⅰ(产区)	Ⅱ(产区)	全 省	
C_0	4.13180	2.96000	3.14568	1.542	
C_1	0.72186	0.90510	0.77859	1.057	
参 数	C_2	-5.44296×10^{-2}	-3.44931×10^{-2}	-5.51647×10^{-2}	-6.029×10^{-2}
	C_3	6.94855×10^{-2}	-6.35886×10^{-3}	-2.82221×10^{-3}	-1.705×10^{-2}
	C_4	0.44876	0.35571	0.50676	0.354
C_5	-4.53578×10^{-3}	-0.18331	-1.85662×10^{-2}	4.671×10^{-3}	
C_6	-3.24642×10^{-4}	3.93720×10^{-4}	-6.55770×10^{-6}	-5.590×10^{-5}	
复相关系数 R	0.99940	0.99689	0.99947	0.99888	
剩余标准差 S	0.16089	0.33495	0.12426	0.16680	
方差比 F	86.43 ^{**}	43.31 ^{**}	92.20 ^{**}	—	

表 5 林分平均高、平均胸径生长方程的参数及精度

项 目	树 高	胸 径	
C_0	1.06921	1.94204	
C_1	1.08474	0.74415	
参 数	C_2	-0.05680	-0.15185
	C_3	-0.30615	0.03025
	C_4	0.57195	0.90977
C_5	3.22944×10^{-3}	-1.96413×10^{-2}	
C_6	-9.06386×10^{-4}	2.81749×10^{-4}	
复相关系数 R	0.9990738	0.9964704	
剩余标准差 S	0.1451795	0.2851198	

表 6 浙江省马尾松人工林多形地位指数表

A	SI					
	6	8	10	12	14	16
4	0.8~0.9	1.0~1.2	1.3~1.5	1.6~1.7	1.8~1.9	2.0~2.2
6	1.3~1.7	1.8~2.2	2.3~2.7	2.8~3.1	3.2~3.6	3.7~4.0
8	1.9~2.6	2.7~3.3	3.4~4.0	4.1~4.7	4.8~5.3	5.4~6.0
10	2.5~3.4	3.5~4.3	4.4~5.3	5.4~6.2	6.3~7.1	7.2~8.0
12	3.1~4.2	4.3~5.4	5.5~6.5	6.6~7.7	7.8~8.8	8.9~10.0
14	3.6~4.9	5.0~6.4	6.5~7.8	7.9~9.1	9.2~10.5	10.6~11.9
16	4.1~5.7	5.8~7.3	7.4~8.9	9.0~10.5	10.6~12.1	12.2~13.7
18	4.6~6.3	6.4~8.1	8.2~9.9	10.0~11.7	11.8~13.5	13.6~15.3
20	5.0~6.9	7.0~8.9	9.0~10.9	11.0~12.9	13.0~14.9	15.0~16.9
22	5.4~7.4	7.5~9.6	9.7~11.8	11.9~14.0	14.1~16.1	16.2~18.3
24	5.7~7.9	8.0~10.3	10.4~12.6	12.7~14.9	15.0~17.3	17.4~19.6
26	6.0~8.4	8.5~10.8	10.9~13.3	13.4~15.8	15.9~18.3	18.4~20.8
28	6.3~8.8	8.9~11.4	11.5~14.0	14.1~16.6	16.7~19.2	19.3~21.9
30	6.5~9.1	9.2~11.9	11.9~14.6	14.7~17.3	17.4~20.1	20.2~22.8

注:SI 为地位指数;A 为龄阶。

2.4 林分生长过程表

将各指数级中值不同年龄分别代入 \bar{H} 和 $\bar{D}_{1.3}$ 方程中,便可得出不同指数在不同龄阶的 \bar{H} 和 $\bar{D}_{1.3}$,再加上按前述单株材积、每公顷蓄积、胸高断面积、形数、平均生长量、生长率等公式求出各项,按指数级和年龄汇总成表,即为马尾松人工林多形生长过程表(表 7、8),另 8、10 和 16 指数级生长过程表因限于篇幅从略)。

表 7 浙江省 12 指数级马尾松人工林分生长过程表

A	H_{tt} (m)	\bar{H} (m)	$\bar{D}_{1.3}$ (cm)	立木株数 (株/hm ²)	断面积 (m ² /hm ²)	蓄积量 (m ³ /hm ²)	单株材 积(m ³)	胸高 形数	材 积(m ³ /a)			自然稀 疏株数
									平均 生长	连年 生长	生长率 (%)	
6	3.0	2.59	2.0	13 380	4.05	7.2	0.000 5	0.691 0	1.21	4.65	39.15	6 260
8	4.4	3.90	3.5	7 120	6.80	16.5	0.002 3	0.624 6	2.07	6.20	27.27	2 391
10	5.8	5.21	5.1	4 729	9.51	28.9	0.006 1	0.584 5	2.89	7.07	19.64	1 147
12	7.2	6.46	6.5	3 583	11.94	43.1	0.012 0	0.558 2	3.59	7.31	14.51	631
14	8.5	7.63	7.8	2 951	14.00	57.7	0.019 6	0.540 3	4.12	7.19	11.72	212
15	9.2	8.17	8.3	2 739	14.88	64.9	0.023 7	0.533 4	4.33	6.98	10.21	168
16	9.8	8.69	8.8	2 572	15.68	71.9	0.027 9	0.527 6	4.49	6.56	8.37	243
18	10.9	9.64	9.6	2 329	17.00	85.0	0.036 5	0.518 4	4.72	5.90	6.49	162
20	12.0	10.49	10.3	2 168	18.04	96.8	0.044 7	0.511 6	4.84	5.18	5.08	111
22	13.0	11.23	10.8	2 057	18.83	107.2	0.052 1	0.506 6	4.87	4.48	4.01	78
24	13.9	11.88	11.2	1 979	19.43	116.1	0.058 7	0.502 8	4.84	3.99	3.38	30
25	14.3	12.18	11.3	1 949	19.68	120.1	0.061 6	0.501 3	4.80	3.68	3.02	25
26	14.7	12.45	11.5	1 924	19.89	123.8	0.064 3	0.499 9	4.76	3.25	2.56	40
28	15.4	12.94	11.7	1 884	20.23	130.3	0.069 1	0.497 7	4.65	2.75	2.07	29
30	16.0	13.36	11.9	1 856	20.49	135.8	0.073 2	0.496 0	4.53			

表 8 浙江省 14 指数级马尾松人工林分生长过程表

A	H_{tt} (m)	\bar{H} (m)	$\bar{D}_{1.3}$ (cm)	立木株数 (株/hm ²)	断面积 (m ² /hm ²)	蓄积量 (m ³ /hm ²)	单株材 积(m ³)	胸高 形数	材 积(m ³ /a)			自然稀 疏株数
									平均 生长	连年 生长	生长率 (%)	
6	3.4	3.27	2.6	9 995	5.14	11.1	0.001 1	0.658 2	1.85	6.40	36.59	4 339
8	5.1	4.81	4.3	5 596	8.28	23.9	0.004 3	0.599 6	2.99	8.18	25.49	1 753
10	6.7	6.33	6.1	3 843	11.27	40.3	0.010 5	0.563 9	4.03	9.06	18.38	865
12	8.4	7.77	7.7	2 978	13.90	58.4	0.019 6	0.540 5	4.86	9.20	13.61	485
14	9.9	9.10	9.1	2 493	16.08	76.8	0.030 8	0.524 3	5.48	8.95	11.02	165
15	10.7	9.72	9.6	2 328	17.01	85.7	0.036 8	0.518 2	5.71	8.66	9.61	131
16	11.4	10.31	10.2	2 197	17.84	94.4	0.043 0	0.512 9	5.90	8.10	7.90	191
18	12.7	11.40	11.0	2 006	19.22	110.6	0.055 1	0.504 6	6.14	7.25	6.15	128
20	14.0	12.37	11.7	1 879	20.29	125.1	0.066 6	0.498 5	6.25	6.36	4.84	88
22	15.2	13.22	12.2	1 790	21.10	137.8	0.077 0	0.493 9	6.26	5.51	3.84	62

续表

A	H_{10} (m)	\bar{H} (m)	$\bar{D}_{1.3}$ (cm)	立木株数 (株/hm ²)	断面积 (m ² /hm ²)	蓄积量 (m ³ /hm ²)	单株材 积(m ³)	胸高 形数	材 积(m ³ /a)			自然稀 疏株数
									平均 生长	连年 生长	生长率 (%)	
24	16.2	13.97	12.6	1 729	21.72	148.8	0.086 1	0.490 5	6.20			
25	16.7	14.31	12.8	1 705	21.97	153.7	0.090 2	0.489 1	6.15	4.91	3.25	24
26	17.1	14.62	12.9	1 684	22.19	158.3	0.094 0	0.487 8	6.09	4.54	2.91	20
28	18.0	15.19	13.2	1 653	22.54	166.3	0.100 6	0.485 8	5.94	4.03	2.48	32
30	18.8	15.68	13.3	1 630	22.80	173.1	0.106 3	0.484 2	5.77	3.42	2.01	23

3 讨 论

(1)多形地位指数表及多形生长过程表,与以往单纯按行政区域编制的指数表和生长过程表相比较,前者能解决不同地区生长曲线线形多变的矛盾^[8],因此适用性更广。从表 4、表 5 可看出:多形生长曲线模拟方程的剩余标准差仅 0.1~0.3,复相关系数达 0.99 以上,为进一步作直观比较,可参看图 1,图中多形生长曲线介于浙江 3 个马尾松产区生长曲线之间(根据全国和浙江省马尾松产区区划)。

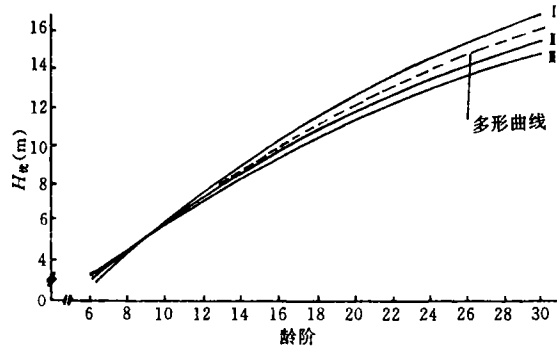


图 1 浙江省多形立地指数曲线与省内 3 产区指数曲线比较(12 指数级)
I₂:浙西南; I₁:浙西北; I₃:浙东、浙西丘陵

(2)本研究编制的马尾松生长过程表中有“自然稀疏株数”一栏,表明不同立地指数林分在不同年龄的可保留株数,因此对疏伐有一定的指导作用。

参 考 文 献

- 1 丁贵杰,杨世逸,周政贤.贵州省马尾松人工林多形曲线地位指数表的研制.贵州农学院丛刊,1991,(2):15~21.
- 2 林业部调查规划设计院(修订).森林调查常用表.北京:中国林业出版社,1988.
- 3 J W 丹尼尔(赵克绳等译).森林经营原理.北京:中国林业出版社,1987.
- 4 丁贵杰,杨世逸,周政贤.贵州省马尾松、杉木标准蓄积量收获模型的研究.贵州农学院丛刊,1993,(1):78~86.
- 5 温佐吾,杨世逸.黔东南东部地区杉木立地指数预测模型的研究.贵州农学院丛刊,1993,(1):66~77.
- 6 骆期邦. Richards 函数拟合多形地位指数曲线模型的研究.林业科学研究,1989,2(6):534~539.
- 7 Trousdell K B, Beck D E, Lloyd F T. Site index for loblolly pine in Atlantic Coastal Plain on Carolinas and Virginia. U S Forest Serv. Southeast For. EXP. Sta Res, 1974.
- 8 丁贵杰,周政贤.贵州省马尾松人工林林分生长过程表研制及应用研究.贵州农学院丛刊,1991,(2):32~44.

The Establishment of Multi-formed Site Index and Growth Processing Tables for Plantation of *Pinus massoniana* in Zhejiang Province

Chi Jian Li Guiying Wang Weixiong
Gao Zhihui Chen Jiamin Cai Fuchun

Abstract According to the data of 290 oriented plots and 580 analysis trees (both average and dominated ones) from plantation of *Pinus massoniana* in 21 counties of Zhejiang Province, and the revised Richards function is selected as a mathematical model. The domination and average height and DBH of the growing process have been simulated by the imitated equations which calculated through Marquardt repeat replacement method. The Multi-formed site index and Growth Processing Tables have been established. A series of form coefficients are introduced into the equations (such as B_1, B_2 etc.). So they have fine simulating effect to the different formed growth curves of the species in different region of the province. The statistical tests shows: the complex relative coefficients are all higher than 0.99 and the remainder S. D. are 0.1~0.3 in the the province or its three productive regions (I₂, II and III degree regions, each contained 90~100 plots). In addition the relationship between the density per unit area of standard stand (density of the crop is 1.0) and DBH is simulated according to the theory of Reineke (1933) on full density of stocking and the function of $N=C_0+C_1/(C_2+D)$ has been used. At last, the growing process table of the species in Zhejiang is established.

Key words *Pinus massoniana*, multi-formed site index and growing process tables, Zhejiang Province

Chi Jian, Associate Prof. Li Guiying, Wang Weixiong (The Research Institute of Subtropical Forestry, CAF Fuyang, Zhejiang 311400); Gao Zhihui (The Forestry Research Institute of Zhejiang); Chen Jiamin (The Jiande Forest Farm of Zhejiang); Cai Fuchun (Yanzhang Forestry Station of Longquan City, Zhejiang).