

# 杉木人工林生长过程表编制的研究\*

刘景芳 童书振

**摘要** 利用近些年来在南方 14 省(区)有关单位搜集的杉木人工林(实生)标地 4 465 块材料,以杉木带、区及地位指数表为分类基础,编制了 5 组杉木人工林生长过程表(南带,北带及中带东区、中区、西区各编一组)。各表标准差大部分在 $\pm 5\%$ 以下,最大不超过 $\pm 7.8\%$ 。并根据各带、区生长过程表,提出经营意见及间伐、主伐年龄。

**关键词** 杉木、人工林、生长过程表

杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)是我国特有的速生树种,有悠久的栽培历史。为实现人工林科学的管理,必须了解不同立地条件,不同年龄阶段的主要测树因子生长规律,这就需要编制生长过程表。过去也曾编过一些地区性的杉木人工林生长过程表,但局限性大、代表性不广,故编此表。

国内外编制生长过程表或收获表主要有三种类型,其一为模式林分生长过程表,亦称标准(法正林)生长过程表,是以疏密度为 1,立木度及蓄积量接近最大编制的。过去国内外所编制的表多属于此类型,但对林分经营意义不大;其二为经营型生长过程表,是以近似平均密度为基础编制的,多用于编地方性的生长过程表,对某一地区的林分有充分代表性;其三为可变密度生长过程表,是以年龄、地位指数、密度指数为基础编制而成,国外<sup>[1]</sup>始于 1937 年,国内<sup>[2~6]</sup>近些年才采用。本研究根据国内当前的经营水平和现实材料,采用第二类型编表。

## 1 材料收集与选择

### 1.1 材料收集

材料主要来源于南方 14 省(区)杉木栽培科研协作组<sup>[4]</sup>,其次是林业部综合队、林研所经理室以及一些省(区)勘查设计院、林科所和大中专院校等,共有标地 4 465 块,其中北带 329 块,南带 650 块,中带东区 1 913 块,中带中区 1 331 块,中带西区 242 块。

### 1.2 材料选择

以新编的杉木断面积、蓄积量标准表<sup>[7]</sup>为准,根据各带、区标地数量和年龄结构,在中带东区和中区选择疏密度 1.0~0.6 的标地;南带、北带及中带西区选择疏密度 1.0~0.4 的标地作为编表的基础材料。

## 2 编表方法

生长过程表采用数式法编制;标地分类采用优势高地位指数法。北带、中带以地位指数一表为准;南带因杉木初期生长快,衰老亦快的特点,故用地位指数三表为分类标准。

1994—04—29 收稿。

刘景芳副研究员,童书振(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091)。

\* 本研究系国家“七五”科技攻关“杉木人工林集约栽培技术”专题内容之一。

## 2.1 平均高和平均胸径生长过程

选用  $\lg y = a + b/x$  ( $y$  为树高和胸径,  $x$  为年龄) 模型, 以 20 a 为标准, 采用标准差调整系数法<sup>[3]</sup>进行调整。计算步骤如下:

(1) 求导向曲线各年龄的树高、胸径和标准差。根据各带、区各指数级标准地材料, 用  $\lg y = a + b/x$  模型求出各指数级各年龄回归值, 然后将各指数级相同年龄的回归值相加, 用指数级数除之, 得出导向曲线各年龄平均回归值 ( $\bar{H}$ 、 $\bar{D}$ ) 和标准差 ( $S_H$ 、 $S_D$ )。

(2) 根据导向曲线各年龄平均回归值和标准差, 用  $\lg y = a + b/x$  式再次回归, 得出各带、区导向曲线树高、胸径及标准差参数  $a$ 、 $b$  值及相关系数  $r$ , 如表 1。

表 1 各带、区导向曲线树高、胸径及标准差经验式参数值

带 区	项目	$a$	$b$	$r$	项目	$a$	$b$	$r$
南 带		1.330 85	-4.021 61	-0.999 95	树 高 标 准 差	0.729 21	-3.721 17	-0.997 94
中 东区	树 高	1.346 39	-4.867 99	-0.999 98		0.841 48	-4.442 63	-0.999 64
中 中区		1.365 91	-4.767 74	-1.000 00		0.796 54	-4.477 53	-0.999 90
带 西区		1.326 15	-5.562 60	-1.000 00		0.842 55	-5.582 94	-1.000 00
北 带		1.265 74	-5.208 12	-1.000 00		0.686 85	-5.042 32	-1.000 00
南 带		1.342 00	-3.295 30	-1.000 00	胸 径 标 准 差	0.579 74	-2.145 52	-0.999 69
中 东区	胸 径	1.402 30	-4.221 14	-1.000 00		0.648 69	-2.408 68	-0.997 52
中 中区		1.340 71	-3.608 33	-1.000 00		0.531 44	-2.661 90	-0.999 90
带 西区		1.272 64	-3.438 02	-0.999 95		0.804 38	-4.942 21	-0.992 28
北 带		1.403 66	-5.152 11	-1.000 00		0.651 79	-4.291 49	-0.999 78

由表 1 组成的经验式, 算出各带、区导向曲线各年龄树高、胸径及标准差回归值。

(3) 根据各带、区各指数级用原始材料求得 20 a 时平均高和平均胸径回归值, 以最大值减最小值, 被  $n-1$  除之 ( $n$  = 指数级数), 得出级差值, 再根据级差值求出 20 a 时树高及胸径的修正值, 见表 2。

表 2 各带区各指数级 20 a 时平均树高、胸径及级差值

项目	带 区	级差(m)	指 数 级							
			8	10	12	14	16	18	20	22
树高	南 带	1.720	6.61	8.33	10.05	11.77	13.49	15.21	16.93	18.65
	中 东区	1.690	6.72	8.41	10.10	11.79	13.48	15.17	16.86	18.55
	中 中区	1.742	6.59	8.33	10.07	11.81	13.56	15.30	17.04	18.78
	带 西区	1.550	7.10	8.65	10.20	11.75	13.30	14.85	16.40	17.97
	北 带	1.735	6.73	8.46	10.20	11.94	13.67	—	—	—
胸径	南 带	1.300	9.50	10.80	12.10	13.40	14.70	16.00	17.30	18.60
	中 东区	1.420	10.36	11.78	13.20	14.62	16.04	17.46	18.88	20.30
	中 中区	1.205	9.84	11.04	12.24	13.45	14.66	15.86	17.06	18.27
	带 西区	1.258	9.19	10.45	11.71	12.97	14.22	15.48	16.74	18.00
	北 带	1.715	10.42	12.14	13.85	15.56	17.28	—	—	—

(4) 由表 1 经验式求得的树高、胸径及标准差导向曲线回归值, 与表 2 标准年龄时的树高和胸径, 用  $K_S = (H_{SAO} - H_{AO}) / S_{AO}$  和  $K_S = (D_{SAO} - D_{AO}) / S_{AO}$  求出树高、胸径标准差调整系数 (见表 3)。式中:  $K_S$  为树高及胸径标准差调整系数;  $H_{SAO}$ 、 $D_{SAO}$  为各指数级标准年龄时的树高、胸径;  $S_{AO}$  为导向曲线上标准年龄时的标准差。

表3 各带、区各指数级平均树高、胸径标准差调整系数

项目	带区	指数级							
		8	10	12	14	16	18	20	22
树高	南带	-1.967 00	-1.474 54	-0.982 07	-0.489 60	0.002 86	0.495 33	0.987 80	1.480 26
	中东区	-1.432 00	-1.025 95	-0.619 89	-0.213 84	0.192 22	0.598 27	1.004 32	1.410 38
	中中区	-1.853 93	-1.388 44	-0.922 95	-0.457 46	0.010 70	0.476 19	0.941 68	1.407 17
	中西区	-1.891 89	-1.368 24	-0.844 59	-0.320 95	0.202 70	0.726 35	1.250 00	1.773 65
北带	-1.245 86	-1.260 07	0.029 40	0.668 87	1.304 66	—	—	—	
胸径	南带	-1.866 58	-1.428 57	-0.990 57	-0.552 56	-0.114 56	0.323 45	0.761 46	1.199 46
	中东区	-1.531 85	-1.111 11	-0.690 37	-0.269 63	-0.151 11	0.571 85	0.992 59	1.413 33
	中中区	-1.846 52	-1.366 91	-0.887 29	-0.403 68	0.079 94	0.559 55	1.039 17	1.522 78
	中西区	-1.738 78	-1.229 28	-0.719 77	-0.210 27	0.295 19	0.804 69	1.314 19	1.823 70
北带	-1.308 18	-0.679 67	-0.054 81	0.570 04	1.198 55	—	—	—	

(5)由表3的标准差调整系数和导向曲线上各年龄平均树高、胸径及标准差,用  $H_{SA_i} = H_{Ai} \pm K_S \cdot S_{Ai}$  及  $D_{SA_i} = D_{Ai} \pm K_S \cdot S_{Ai}$ , 导出各带、区各指数级各年龄的树高和胸径。式中:  $H_{SA_i}$ 、 $D_{SA_i}$  为欲求的各指数级各年龄的平均树高和胸径;  $H_{Ai}$ 、 $D_{Ai}$  为导向曲线上各年龄的平均树高和胸径回归值;  $S_{Ai}$  分别为导向曲线上各年龄的平均树高和胸径标准差回归值。

由上法导出树高和胸径后,为进一步使其规律化,再用  $\lg y = a + b/x$  式进行第二次回归,其参数列于表4。由表4再导出各带、区各指数级各年龄的平均树高和胸径。

表4 各带区、各指数级平均树高和胸径对年龄的回归参数

项目	指数级	南带		中带东区		中带中区		中带西区		北带	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
树高	8	1.037 87	-4.351 55	1.090 64	-5.276 48	1.073 16	-5.047 4	1.130 23	-5.576 20	1.093 00	-5.298 03
	10	1.131 66	-4.219 00	1.179 14	-5.091 44	1.168 47	-4.954 74	1.201 26	-5.282 80	1.189 50	-5.242 53
	12	1.208 24	-4.121 81	1.253 10	-4.979 96	1.246 62	-4.869 93	1.263 10	-5.085 17	1.269 00	-5.207 69
	14	1.274 02	-4.063 97	1.316 39	-4.898 97	1.313 17	-4.808 00	1.317 13	-4.940 24	1.336 16	-5.181 39
	16	1.331 03	-4.019 35	1.371 74	-4.842 58	1.370 71	-4.766 26	1.365 80	-4.837 19	1.393 88	-5.160 44
	18	1.381 34	-3.983 31	1.420 77	-4.797 00	1.421 48	-4.733 92	1.408 09	-4.743 89	—	—
	20	1.426 55	-3.957 50	1.464 74	-4.757 87	1.466 81	-4.704 72	1.449 26	-4.687 87	—	—
22	1.467 48	-3.935 32	1.504 79	-4.729 49	1.507 97	-4.683 31	1.485 95	-4.637 72	—	—	
胸径	8	1.183 77	-4.121 90	1.284 10	-5.433 69	1.198 14	-4.113 50	1.193 04	-4.604 32	1.291 37	-5.476 29
	10	1.225 06	-3.833 66	1.317 22	-4.952 43	1.239 37	-3.933 71	1.228 21	-4.187 99	1.348 81	-5.296 41
	12	1.263 81	-3.620 50	1.350 57	-4.615 09	1.277 56	-3.797 39	1.262 59	-3.886 24	1.399 43	-5.160 77
	14	1.299 78	-3.454 70	1.382 64	-4.357 82	1.312 89	-3.682 73	1.295 59	-3.655 72	1.444 99	-5.059 64
	16	1.333 53	-3.324 28	1.412 94	-4.151 69	1.345 80	-3.591 02	1.326 54	-3.474 52	1.486 37	-4.975 38
	18	1.364 96	-3.217 55	1.441 92	-3.990 40	1.376 37	-3.518 48	1.356 30	-3.331 05	—	—
	20	1.394 41	-3.127 41	1.469 29	-3.855 31	1.404 86	-3.453 37	1.384 34	-3.211 80	—	—
22	1.422 17	-3.739 72	1.495 11	-3.739 72	1.431 84	-3.397 14	1.410 64	-3.108 48	—	—	

2.2 每公顷活立木和自然稀疏株数

(1)标地分类与筛选。将制表的标地以 2 cm 为一径级分类,剔除异常值,如标地过多,用机械抽样法减少标地数量,选出的标地按径级求出平均高、胸径及平均每公顷株数。

(2)选用数学模型。用  $N = a(D \cdot H)^b$ 、 $N = a(D^2 H)^b$  和  $N = a \cdot D^b H^c$  三个模型进行试验,结果选用  $N = a \cdot D^b \cdot H^c$  模型。

(3)将各带、区所选的标地材料用加权平均法,求出回归参数 a、b、c 值,见表5。

表 5 各带、区株数回归参数

带区	标地数	参 数			相关系数
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	
南 带	214	51 984.38	-1.691 325	0.533 410 8	0.843 01
中 东区	489	63 790.16	-1.846 180	0.729 054 4	0.982 38
中 中区	147	38 799.58	-1.160 328	0.124 979 8	0.901 10
带 西区	65	148 215.00	-2.219 232	0.755 366 1	0.961 15
北 带	125	115 707.00	-1.518 694	0.032 050 9	0.845 51

将平均高和胸径代入表 5 回归参数组成的经验式中,可求出各年龄每公顷活立木株数。上下两个龄级株数之差,则为自然稀疏株数。

### 2.3 每公顷断面积

将平均胸径和株数  $N$  代入  $G=[(D/2)^2 \cdot \pi \cdot 10\ 000^{-1}] \cdot N$ ,即可求出每公顷断面积  $G$ 。

### 2.4 其它因子

用  $V=0.000\ 058\ 777\ 042 \cdot D^{1.969\ 983\ 1} \cdot H^{0.896\ 461\ 57}$  式求出单株材积  $V$ ;用  $M=V \cdot N$  式求出每公顷蓄积  $M$ ;用  $Z_{\bar{x}}=M/A$  式求出平均生长量 ( $Z_{\bar{x}}$ ),  $A$  为年龄;用  $P=(M_2-M_1)/(M_2+M_1) \cdot 200/n$  式求出生长率  $P$ ,  $M_1$  为  $n$  年前的蓄积量,  $M_2$  为  $n$  年后的蓄积量,  $n$  为年数;用  $F=M/(G \cdot H)$  式求出胸高形数  $F$ 。

将求出的各因子数值分别汇总成表,即为各带、区各指数级的林分生长过程表。现将中带东区 16 指数级的生长过程表列于表 6,以示其例。

表 6 中带东区 16 指数级杉木林分生长过程表 (单位:hm<sup>2</sup>)

年龄 (a)	上层高 (m)	平均高 (m)	平均胸径 (cm)	株数	单株断面积 (m <sup>2</sup> )	总断面积 (m <sup>2</sup> )	单株材积 (m <sup>3</sup> )	蓄积量 (m <sup>3</sup> )	连年生长期 (m <sup>3</sup> )	平均生长量 (m <sup>3</sup> )	生长率 (%)	胸高形数	自然稀疏株数
6	4.7	3.67	5.26	7 680	0.002 17	16.67	0.004 96	38.1		6.35			0.623
8	7.1	5.84	7.83	5 170	0.004 82	24.92	0.016 48	85.2	23.55	10.65	38.20	0.585	2 510
10	9.3	7.72	9.95	4 071	0.007 78	31.67	0.033 43	138.1	26.45	13.81	23.69	0.565	1 099
12	11.1	9.29	11.67	3 471	0.010 70	37.14	0.054 84	190.3	26.10	15.86	15.90	0.552	600
14	12.6	10.61	13.07	3 102	0.013 42	41.63	0.077 23	239.6	24.65	17.11	11.47	0.542	369
16	13.8	11.72	14.24	2 848	0.015 93	45.37	0.099 97	284.7	22.55	17.79	8.60	0.535	254
18	14.9	12.67	15.22	2 666	0.018 19	48.49	0.122 22	325.8	20.55	18.10	6.73	0.530	182
20	15.6	13.48	16.05	2 528	0.020 23	51.14	0.143 45	362.6	18.40	18.13	5.35	0.526	138
22	16.7	14.18	16.76	2 422	0.022 06	53.43	0.163 47	395.9	16.65	18.00	4.39	0.522	106
24	17.4	14.79	17.38	2 335	0.023 72	55.35	0.182 35	425.8	14.95	17.74	3.64	0.520	87
26	18.0	15.33	17.92	2 266	0.025 22	57.15	0.200 01	453.2	13.70	17.43	3.12	0.517	69
28	18.5	15.80	18.39	2 208	0.026 56	58.64	0.216 25	477.5	12.15	17.05	2.61	0.515	58
30	19.0	16.23	18.82	2 158	0.027 82	60.04	0.231 84	500.3	11.40	16.68	2.33	0.513	50
32	19.4	16.61	19.20	2 115	0.028 95	61.23	0.246 21	520.7	10.20	16.27	2.00	0.512	43
34	19.8	16.96	19.54	2 079	0.029 99	62.35	0.259 68	539.9	9.60	15.88	1.81	0.511	36
36	20.1	17.27	19.84	2 048	0.030 92	63.32	0.271 97	557.0	8.55	15.47	1.56	0.509	31
38	20.5	17.55	20.12	2 019	0.031 79	64.18	0.283 65	572.7	7.85	15.07	1.39	0.508	29
40	20.8	17.81	20.38	1 993	0.032 62	65.01	0.294 77	587.5	7.40	14.69	1.28	0.507	26

## 3 精度检验

将参加编表和未参加编表的标地,分别带、区和指数级混合后,用机械抽样法抽出 40%~80%的标地检验。方法是表中各年龄总断面积为 1,求出各块标地疏密度乘以相应年龄的蓄积量,得出理论值再与标地实际值比较,求出系统误差和剩余标准差,见表 7。

表7 各带、区生长过程表检验

(单位:%)

指数级	南带		中带东区		中带中区		中带西区		北带	
	系统误差	标准差	系统误差	标准差	系统误差	标准差	系统误差	标准差	系统误差	标准差
8	1.82	6.80	0.71	7.06	0.81	6.66	0.38	7.23	0.78	7.78
10	0.64	5.80	-0.13	6.14	0.10	5.35	-3.08	5.86	0.04	6.26
12	0.46	4.90	-0.44	4.11	0.12	4.38	0.06	4.58	-1.36	5.49
14	-0.56	3.90	-0.28	3.54	0.14	3.22	1.30	3.83	-0.87	4.69
16	0.19	3.50	0.96	3.28	-0.30	3.10	1.79	3.66	1.54	4.30
18	-0.79	3.70	-0.01	2.96	-0.39	3.22	1.43	5.13	—	—
20	-0.59	3.05	0.21	2.98	-0.68	2.76	0.76	5.03	—	—
22	-0.70	3.60	-0.75	2.77	-0.99	3.28	3.76	5.75	—	—

由表7得知,所编各表标准差大部在 $\pm 5\%$ 以下,8~10指数级虽在 $\pm 5\%$ 以上,但最大亦未超过 $\pm 7.8\%$ ,说明各表精度均较高,可在生产上应用。

## 4 结果与分析

### 4.1 林分生长状况和经营意见

为便于分析,将各带、区16指数级20a的平均胸径、径高比、株数和蓄积量列于表8。由表8得知,胸径北带最大,中带东区次之,中带西区最小;径高比北带最大,中带东区次之,中带西区最小;株数中带西区最多,东区次之,北带最少;蓄积量中带东区最高,

西区次之,南带最小。其中,中带中区林分密度比中带东区小,而胸径亦比东区小,其原因可能是中区多为多代重茬林分,引起地力衰退或土壤管理不善所致。中带西区虽生产力较高,但因林分密度大,致使胸径变小,今后应加强抚育间伐,适当降低林分密度。北带树干尖削度大,密度偏小,应适当提高林分密度。南带存在早衰现象,产量偏低,应加强造林地选择和抚育管理。中带东区生长最好,产量最高,今后应注意改茬换代,以防地力衰退。

### 4.2 间伐和主伐年龄探讨

(1)间伐年龄。由各带、区生长过程表查知,连年生长量高峰期多为10a,最早8a,最迟12a,故第一次间伐应在10a前完成,最迟不超过12a。平均生长量高峰,南、北带和中带西区多为16a,最后一次间伐应在16a前完成;中带东、中区多为18~20a,最后一次间伐最好在18a前完成。

(2)主伐年龄。由连年生长量与平均生长量曲线查知相交年龄,南带为16~18a,中带东区为20~23a,中区为18~21a,西区为17~20a,北带为17~18a,经计算达上述相交年龄时,其生长率为4%~7%,尚有很大生长潜力,故单纯从数量成熟龄确定主伐年龄尚欠妥当。一般多按生长率降到3%时为准,本次亦以此为准并参考数量成熟龄来确定主伐年龄。经计算生长率降到3%时的年龄,南带为23~25a,中带东区为26~27a,中区为25~26a,西区为24~26a,北带为24a。根据上述情况,杉木主伐年龄暂定南带为17~23a,中带西区和北带为18~24a,中带东区和中区为20~26a。

表8 各带、区16指数级20a时生长状况

项目	胸径 (cm)	径高比	每公顷	
			株数	蓄积(m <sup>3</sup> )
南带	14.70	1/92	2 210	266.8
中带东区	16.05	1/84	2 528	362.6
中带中区	14.66	1/92	2 384	287.6
中带西区	14.22	1/94	2 892	322.9
北带	17.28	1/79	1 661	279.1

## 5 结 论

(1)采用标准差调整系数法编制树高、胸径生长过程表是可行的,符合杉木生长的规律。

(2)用树高、胸径二元法,采用  $N=a \cdot D^b \cdot H^c$  模型直接算出株数,符合密度效应理论,亦符合现实林分状况。

(3)所编各表,标准差大部在 5%以下,最大不超过 7.8%,其精度符合生产要求。

## 参 考 文 献

- 1 林 杰,陈平留.福建杉木实生林立地指数编制.林业调查规划,1979,(1):13~19.
- 2 南方 14 省(区)杉木栽培科研协作组.杉木地理分布及主要商品材生产基地规划的意见.林业科学,1981,17(2):134~144.
- 3 南方 14 省(区)杉木栽培科研协作组.全国杉木(实生)地位指数表的编制与应用.林业科学,1982,18(3):266~278.
- 4 胡希 B,米勒 C. I,比尔斯 T W(《测树学翻译组》译).测树学.北京:农业出版社,1979.
- 5 李希菲,唐守正,王松龄.大岗山实验局杉木人工林可变密度收获表的编制.林业科学研究,1988,1(4):382~389.
- 6 张少昂.兴安落叶松天然林林分生长模型和可变密度收获表的研究.东北林业大学学报,1986,14(3):17~26.
- 7 童书振,刘景芳.全国杉木断面面积蓄积量标准表的编制.林业科技通讯,1989,(8):9~11.

## Establishment of Stand Growth Tables for the National Chinese Fir Plantations

*Liu Jingfang Tong Shuzhen*

**Abstract** Making use of the data of 4 465 sample plots of Chinese fir plantation (seedling crop), which were collected all over China during the recent years and taking the site index tables of various Chinese fir belts and areas as the foundation for classification, 5 groups of stand growth table of Chinese fir plantation (each of the south belt, north belt, and east, middle and west areas of the middle belt was classified as a group) were established. The precision of each table was high and most of their standard deviations were lower than  $\pm 5\%$  with the largest no more than  $\pm 7.8\%$ . In addition, the managerial suggestions and thinning and harvest cutting age were put forward based on the growth tables of various Chinese fir belts and areas.

**Key words** Chinese fir, plantation, growth table