

不同密度 I-69 杨树生长规律的研究*

徐宏远 陈章水

摘要 利用 11 种密度 I-69 杨树人工林的胸径及树高生长材料, 建立树高及胸径的生长模型。通过 6 种模型比较, 选出最适宜的 Logistic 树高生长模型及单分子胸径生长模型。探讨了树木的径、高生长规律。11 种密度的胸径生长可划分成 5 个密度组 (4 m×6 m, 4 m×7 m), (5 m×6 m, 6 m×6 m), (5 m×8 m, 6 m×8 m, 7 m×7 m), (5 m×10 m, 7 m×8 m, 8 m×8 m), (5 m×15 m)。密度对树高生长影响不大。通过对胸径连年生长量的分析, 划分了不同密度组 I-69 杨树生长的 VI 个阶段, 为合理培育杨树人工林提供科学的理论根据。

关键词 杨树、人工林、生长模型

对于用材树种而言, 林木最重要的生长现象为单株生长和林分生长, 而单株生长及林分生长都与造林密度紧密相关。因此, 可以根据林木生长特性及培育目标, 设计、控制林分的密度, 生产出所需要的木材。作为杨树丰产林造林树种之一的 I-69 杨 (*Populus deltoides* Bartr. cv "Lux") 是 70 年代初引入我国的, 80 年代初开始大面积造林, 到现在为止, 约有 20 a 左右的栽培历史。以前一些对栽植密度的研究仅限于 5~6 年生的林分^[1], 这对于正确估测各种密度的生长状况有一定局限性。目前, 在湖南汉寿有目的地比较不同密度杨树的生长状况所设的试验对比林已有 10 a, 其设计范围基本概括了杨树造林所应用的几种密度。本文着重探讨 I-69 杨在同等立地条件下, 相同的抚育措施, 不同密度的生长规律。

1 自然概况

湖南省汉寿县位于洞庭湖西南部、沅江下游南岸。处于 112°20' E、28°47' N, 属于亚热带大陆季风气候, 年平均降水量 1337 mm, 5~7 月最大降雨量可达 443~625 mm, 年蒸发量 1400 mm, 相对湿度 75%, 年平均气温 16.3℃, 年极端最低温 -13℃, 年极端最高温 40.5℃, 无霜期 274 d, 年日照 1688.4 h。

2 试验方法

2.1 立地条件

试验地是沅江淤积的壤质灰湖潮土, 土壤肥力较高。地下水位 2~2.5 m, 矿化度为

1993-04-13 收稿。

徐宏远助理研究员, 陈章水(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091)。

*该文是“八五”攻关课题“北方杨树纸浆与胶合板材优化栽培模式研究”的一部分。

0.25 k, 属钙镁质碳酸盐水, 土壤深厚疏松、地形平坦、平均海拔32 m。

2.2 丰产林密度试验设计

11种密度及造林面积见表1。

表1 不同栽植密度及造林面积

项 目	密 度(m × m)										
	4×6	4×7	5×6	6×6	5×8	6×8	7×7	7×8	8×8	5×10	5×15
面积(hm ²)	2	2.6	2	4.7	2	2	8.6	2	2	2	1.6

在具有相同立地条件围湖淤积地上, 对不同的密度采用随机区组设计, 重复三次。每个重复内设30株固定标号观测小区, 各密度及试验小区间设置至少5行以上的隔离带, 互不影响。造林用苗均为二根一杆一级苗, 植穴0.5 m × 0.5 m × 1 m。造林后, 对各个密度所设固定标准地进行连年观测, 主要测树高和胸径。各密度每年的树高及胸径平均生长量, 由三组重复90株样木计算求得。

3 模型的选择

根据实测树高和胸径的散点图, 选用4种具有S型增长特征的生长模型^[2]: Logistic模型、Richards模型、Chanter模型、Gomportz模型及单分子模型和多项式回归模型模拟树高和胸径的累积生长量。

利用非线性回归及多元回归方法估计模型参数, 并检验各模型的适合程度, 通过相关系数的大小进行初步选择, 在相关系数接近的情况下, 又通过对各方程进行数值微分, 计算出各方程的连年生长数据, 再与实测连年生长数据比较, 选出最适宜的模型^[3]。逐年生长的数据吻合较好, 就能更精确地描述树木每年的生长特征。

用上述方法对树高及胸径生长模型进行选择, 确定 Logistic 生长模型拟合树高生长, 单分子模型拟合胸径生长。方程及参数见表2、3。

$$\text{Logistic模型 } W = \frac{W_0 W_f}{W_0 + (W_f - W_0)e^{-ut}}$$

$$\text{单分子模型 } W = W_f - (W_f - W_0)e^{-qt}$$

式中: W 为生长变量(直径或高); t 为时间变量(年龄)、 W_f 、 W_0 、 u 、 q 等为模型参数。其中: W_0 为生长初值, W_f 为生长限值, 其它的为生长速率式形状参数等。

表2 不同密度胸径生长方程参数

方 程	参 数	密 度(m × m)										
		4×6	4×7	5×6	6×6	5×8	6×8	7×7	5×10	7×8	8×8	5×15
单分子方程	W_0	5.248	5.808	4.668	5.618	4.777	5.132	4.691	3.619	4.497	4.264	2.639
	W_f	48.906	47.997	58.137	57.166	61.627	61.786	62.432	66.700	66.428	65.724	70.655
	q_2	0.076	0.083	0.069	0.074	0.074	0.072	0.069	0.069	0.070	0.074	0.071
	R	0.995	0.992	0.994	0.993	0.994	0.996	0.995	0.996	0.994	0.995	0.996

表3 不同密度树高生长方程参数

方 程	参 数	密 度(m × m)										
		4×6	4×7	5×6	6×6	5×8	6×8	7×7	5×10	7×8	8×8	5×15
Logistic	W_0	5.320	5.733	4.611	5.423	4.986	5.094	4.414	4.607	5.032	4.552	4.272
	W_f	31.408	31.499	31.919	31.912	31.787	31.737	31.745	31.863	31.821	31.891	31.812
	u_2	0.338	0.327	0.383	0.328	0.361	0.370	0.427	0.372	0.383	0.392	0.397
	R	0.995	0.994	0.995	0.995	0.997	0.995	0.996	0.998	0.993	0.995	0.994

4 结果分析

4.1 各种密度的胸径生长比较及树高生长比较

由选定的单分子胸径生长模型和Logistic树高生长模型计算各密度的胸径生长量及树高生长量，结果见表4、5。

表4 不同密度的胸径生长量

(单位: cm)

年 龄	密 度(m × m)											
	(a)	4×6	4×7	5×6	6×6	5×8	6×8	7×7	5×10	7×8	8×8	5×15
1		8.23	8.82	8.12	8.93	8.61	8.88	9.16	7.76	8.47	8.32	7.17
5		19.31	20.74	20.62	22.19	22.77	22.79	21.23	22.40	23.20	23.78	23.35
10		28.53	29.77	31.46	32.79	34.60	34.45	33.29	35.25	35.73	36.49	37.36
15		34.34	34.81	38.73	39.22	42.17	41.95	42.34	43.95	43.97	44.46	46.71
20		38.22	37.95	43.89	43.54	47.37	47.14	48.85	50.09	49.74	49.87	53.25

表5 不同密度的树高生长量

(单位: m)

年 龄	密 度(m × m)											
	(a)	4×6	4×7	5×6	6×6	5×8	6×8	7×7	5×10	7×8	8×8	5×15
1		6.40	6.96	6.11	6.52	6.20	6.46	6.13	5.96	6.52	5.97	5.59
5		17.35	17.57	18.03	17.33	17.79	18.28	19.10	17.62	18.67	18.26	17.93
10		25.65	25.70	26.94	25.87	26.53	26.96	28.08	26.51	27.42	27.24	27.02
15		29.82	29.83	31.19	30.41	30.80	31.00	31.76	30.92	31.33	31.36	31.25
20		31.43	31.46	32.57	32.34	32.30	32.27	32.52	32.49	32.39	32.55	32.57

将表4中胸径生长非常接近的密度划分成5个密度组(4 m × 6 m, 4 m × 7 m); (5 m × 6 m, 6 m × 6 m); (5 m × 8 m, 6 m × 8 m, 7 m × 7 m); (5 m × 10 m, 7 m × 8 m, 8 m × 8 m); (5 m × 15 m)。为更清晰地描述这几组密度的生长状况,将相应的组内数据合并在一起,建立胸径密度组的生长模型(表6),用同样分析方法,分析树高生长,发现不同的密度对树高影响不大,即可以用一个模型表示树高的生长,其模型参数见表6。

4.2 平均单株的胸径生长

胸径的累积生长量可用单分子模型直接计算。很明显,密度越大随着树木的生长可利用

表6 不同密度组的树高方程参数

胸径方程	参数	密 度 (m × m)					树高方程	参数
		4×6 4×7	5×7 6×6	5×8 6×8 7×7	5×10 7×8 8×8	5×15		
单分子方程	W_0	5.551	5.144	4.872	4.134	2.639	W_0	4.909
	W_f	48.467	57.621	61.944	66.284	70.655	Logistic W_f	31.742
	q_2	0.079	0.072	0.072	0.071	0.072	u_2	0.370
	R	0.990	0.988	0.989	0.990	0.996	R	0.990

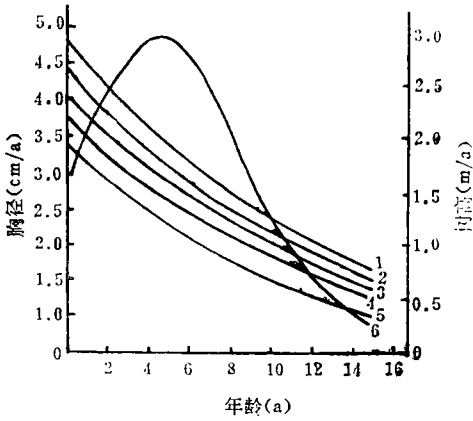


图1 各密度组胸径及树高连年生长曲线

1. (4m × 6m, 4m × 7m)D
2. (5m × 6m, 6m × 6m)D
3. (5m × 8m, 6m × 8m, 7m × 7m)D
4. (5m × 10m, 7m × 8m, 8m × 8m)D
5. (5m × 15m)D
6. H

的环境空间越小，光线、水分及营养的吸收越受到限制，胸径随密度的增大呈递减趋势。胸径的连年生长反映胸径逐年的生长状况。通过上述5组胸径单分子生长模型对时间 t 微分，可获得各密度组胸径的连年生长方程。

由图1可以看出，杨树丰产林初期的胸径生长量最大(3.4~4.9 cm)，随着年龄的增加，逐年减小，并且密度大的林分，平均单株的胸径连年生长量相对低于密度小的林分。

4.3 平均单株的树高生长

树高的累积生长量由建立的Logistic 树高生长模型计算。由于受水分供应及其它综合因子的影响，树木生长到一定高度后，就停止生长。由图1可以看出 I-69 杨树生长到11~12 a 时，基本接近树木生长的最高值(30~31 m)。树木几个生长阶段的初期树高见表7。

连年生长曲线是通过Logistic 树高生长模型数值微分获得。树高的连年生长在1~4 a 时，为增值生长(1.5~2.6 m/a)；在5~6 a 时达到生长高峰(2.8~2.9 m/a)；达最大值后，逐年下降，在10~11 a 时，连年高生长降到1 m/a

表7 树木各生长阶段初期胸径及树高

生长阶段	I	II	III	IV	V	VI	密 度
年 龄 (a)	栽植~1	2~4	5~6	7~11	12~16	>17	
持续年限 (a)	1	3	2	5	5		(m × m)
胸径连年生长 (cm/a)	3.5/4	3.0/8	2.4/17	2.0/22	1.4/31	0.9/36	4×6
	3.6/4	3.6/8	2.7/18	2.4/24	1.7/34	1.2/41	6×6
胸径 (cm)	4.0/4	3.7/8	3.0/19	2.6/25	1.8/36	1.3/44	6×8
	4.3/4	4.0/8	3.2/20	2.8/26	2.0/38	1.4/46	7×8
树高连年生长 (m/a)	4.9/4	4.4/9	3.5/20	3.1/26	2.1/40	1.5/49	5×15
树高 (m)	1.7/4	2.2/6	2.8/14	2.6/20	0.8/29	0.1/31	

以下。最大连年径生长与高生长相差 4~5 a, 径达到最大连年生长的时期为栽植初期, 高达到最大连年生长时为 5~6 a, 这时树高 17~19.9 m。径的生长先于树高生长, 并且径的连年生长逐年递减的速率较缓慢, 在 9~12 年生时连年生长在 2 cm/a 以上; 在 16~22 a 时才降到 1 cm/a 以下。

4.4 杨树人工林的生长特征

杨树丰产林在大多数情况下要求造林时进行苗木的选择, 苗木分级, 同样等级的苗木及同种无性系栽植在一起, 这样就有同等的竞争能力, 使林木生长比较整齐, 70%~80% 的直径分布在平均值左右 (2 个径级范围内, 每个径级 2 cm)。结合林木结构的研究及上述树木生长特征的分析, 提出以下杨树人工林生长发育的几个阶段。

栽植缓苗期 I (栽植~1 a): 各地栽植杨树的时间不一样, 但栽植后树木需要有一个适应新环境的过程, 这就或多或少地影响了生长势。这个时期对栽植苗的影响程度, 主要因栽植方法 (起苗、运苗、浸水、栽植、灌水)、造林地环境因素及抚育管理程度而异。一般造林方法得当, 选择林地适宜, 管理及时, 缓苗期的影响就会减小。

径的速生期及高的初期生长阶段 II (2~4 a): 经过缓苗期, 由于光线、水分充足, 林木之间的相互作用较小, 每个单株好似处于孤立木状态, 树木的径生长迅速, 连年高生长也随着年龄的增加逐渐加快。

高生长盛期及径生长持续期 III (5~6 a): 从上一个阶段, 林木生长到第 4 年, 树高达 15.8 m, 林分逐渐郁闭, 到了 5~6 a, 林分完全郁闭, 树木间竞争激烈, 为争得上方光源, 高的连年生长达最大值 (2.8~2.9 m/a)。径的连年生长缓慢递减, 但仍保持较高的生长量 (2.3~3.5 cm/a)。

径、高持续生长阶段 IV (7~11 a): 这个阶段, 林木的竞争更为激烈, 为争得更多的光能、水分及养分, 树木之间相互抑制生长。树高及径的连年生长量逐年降低, 但是仍保持较高的生长量。树高连年生长量在 1 m/a 以上, 胸径连年生长在 1.8 cm/a 以上。

径、高生长缓慢期 V (12~16 a): 这一阶段径、高生长逐渐减缓, 径连年生长量为 1.4~0.8 cm/a, 高只有 0.2 m/a 左右。树木的径、高生长逐渐趋于平稳。

生长衰退阶段 VI (>17 a): 这一阶段径、高生长基本处于停止状态, 随着年龄的增加, 树干中部出现变色、心腐, 木材质量逐渐降低。

杨树人工林前三个生长发育阶段是杨树速生丰产的关键, 尤其是第 II 及第 III 阶段是杨树径生长及高生长的速生期, 这两个阶段持续时间分别为 3 a 和 2 a, 虽然仅有 5 a 的时间, 胸径和树高的生长却占总生长量的 50% 以上 (以衰退期为限)。

5 讨 论

杨树丰产林是以速生丰产为目的, 同时, 还应结合培育的目标, 选择适当的造林密度。杨树密度对树木的高生长影响很小, 但对径生长影响很大, 不同密度达到某一径级的年限不一样, 而径级在工业用材方面是一个重要的衡量指标。这就需要了解不同密度树木的生长规律。明确各个生长阶段的生长特性。根据培育目的, 选择恰当的造林、管理及采伐方案, 获得最大的经济效益。目前, 许多杨树丰产林造林的最终目标不明确, 不了解杨树的生长规

律,只追求速生,以至于造成管理不善、虫害严重,降低了木材的质量;或者只求丰产,虽然对林木的管理不错,但到了采伐年龄,培育的木材不符合工业用材及市场需求,有木材卖不出去或者不得不降等级卖出,影响了经济效益。因此,了解杨树的生长规律,对造林成活、管理采伐至最后的经济收益都有重要的意义。

参 考 文 献

- 1 吕士行. 黑杨派南方型无性系人工林造林密度的研究. 见: 南京林业大学杨树课题组. 黑杨派南方型无性系速生丰产林技术论文集. 北京: 学术书刊出版社, 1989. 72~80.
- 2 France J(金之庆, 高亮之译). 农业中的数学模型. 北京: 农业出版社, 1991.
- 3 葛剑平. 天然红松树木生长特征与林分结构的研究. 东北林业大学学报, 1992, 20(2): 9~16.

Studies on the Growth of Poplar Plantation of Different Spacings

Xu Hongyuan Chen Zhangshui

Abstract Data of I-69 poplar plantations of 11 different spacings was used to build the D.B.H. and H growth models. Through comparison of 6 kinds of different models, one best suitable model was selected for the H growth (Logistic model) and one for the D.B.H. growth model (mitscherlich model). The D.B.H. growth of trees of 11 different spacings can be classified into 5 groups: (4 m×6 m, 4 m×7 m); (5 m×6 m, 6 m×6 m); (5 m×8 m, 6 m×8 m, 7 m×7 m); (5 m×10 m, 7 m×8 m, 8 m×8 m); (5 m×15 m). Different spacings didn't affect the H growth of poplar plantations. Through the analysis of annual D.B.H. growth, the tree growth in different stages was studied in detail. It provides a scientific and theoretical basis for the cultivation and management of poplar plantation.

Key words Poplar, plantation, growth model

Xu Hongyuan, Associate Professor, Chen Zhangshui (The Research Institute of Forestry, CAF Beijing 100091).