

文章编号: 1001-1498(2001) 0301-06

泡桐苗期年生长参数的分析研究

傅大立, 杨绍彬, 丛培生, 李宗然

(国家林业局 泡桐研究开发中心, 河南 郑州 450003)

摘要: 对位于河南省通许县试验点的 16 个泡桐无性系进行苗期测定的基础上, 研究分析其苗期生长规律及生长参数。结果表明, 泡桐苗期年生长符合 S 型生长曲线, 16 个无性系 185 株苗木年生长进程平均为: 地径生长速生始期为 6 月 12 日, 此时生长速度为 $0.033 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$, 生长量达 1.08 cm; 7 月 16 日达到全年最大生长速度 ($0.049 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$), 此时生长量达 2.57 cm, 8 月 20 日生长量达到 4.05 cm。速生期 6 月 12 日至 8 月 20 日, 持续 69 d。全年生长量 5.13 cm。苗高速生始期晚于地径, 为 7 月 8 日, 此时生长速度为 $0.049 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$, 生长量达 0.86 m; 7 月 27 日达到最大生长速度 ($0.073 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$), 此时生长量达到 2.04 m; 8 月 15 日生长量达到 3.22 m。速生期 7 月 8 日至 8 月 15 日, 持续 37 d。全年生长量为 4.09 m。地径与苗高生长量均与各自的速生持续期及最大生长速度有极显著的正相关关系。

关键词: 泡桐; 苗木; 年生长参数; S 型曲线

中图分类号: S723.1 **文献标识码:** A

泡桐属 (*Paulownia*) 假二叉分枝, 其顶芽常在当年冬季枯死, 翌年侧芽发育, 并“接干”延续主干的生长。由于有些无性系的接干性能较差或其它原因, 泡桐有时不能正常“接干”, 或“接干”与主干间接合处变形, 降低工业用材出材率。为解决这一问题, 可利用泡桐苗期的速生性, 使泡桐在苗期即能达到工业用材对无节主干的高度要求 (4.2 m), 而不依赖于接干的生长。因此, 泡桐工业用材林定向培育模式以大苗造林为佳, 其中, 苗高将成为一个重要的指标。

研究泡桐苗期年生长规律并建立苗期生长模型, 对泡桐苗木培育有重要的理论指导作用。泡桐苗期年生长节律及无性系间的差异已有过较多的报道^[1-5], 但多停留在宏观的描述上。本文对泡桐苗期年生长规律及其变异特性作了进一步研究, 现报告如下。

1 试验地概况

试验点设在河南省通许县通许林场, 34°18' N, 114°26' E, 地处豫中黄泛区冲积平原, 土壤为沙壤土, 属暖温带大陆性季风气候, 四季分明、雨热同季。年平均气温 14.3℃, 年平均降水量 689.7 mm, 年平均日照时数 1 883 h。

收稿日期: 2000-08-27

基金项目: 国家“九五”攻关子专题“泡桐单板类人造板材林优良无性系选育技术研究”的部分内容

作者简介: 傅大立 (1965-), 男, 河南潢川人, 副研究员。

2 材料与方方法

供试泡桐无性系有 16 个, 分别是 PT01~PT16。试验设计为 5 株小区, 3 次重复。

地膜覆盖埋根育苗, 1997 年 3 月埋根, 4 月底出苗。出苗后, 每 10 d 观测 1 次, 记录每株苗木的苗高与地径等, 直至生长停止。最后以生长时间与生长量两个指标对全部苗木的生长进程用 S 生长曲线模拟^[6~8]。

S 生长曲线方程:

$$x = \frac{K}{1 + e^{-a(t-t_0)}} \quad (1)$$

是基于生长方程:

$$v = \frac{dx}{dt} = ax \left(1 - \frac{x}{K}\right) \quad (2)$$

式中, x 为任一时刻 t 时生物个体的生物量或生物群体数量, a 为所考虑的生物量的内禀自然增长率, K 为环境容纳量或极限生长量, v 为生长速度。

S 生长曲线方程 (1) 上的拐点为 $(t_0, K/2)$, 该点的生长速度 v 达到最大值, 即:

$$v_0 = \max\left(\frac{dx}{dt}\right) = \frac{1}{4}aK \quad (3)$$

生物在整个生长期内的平均生长速度或称总平均生长速度(相对于生物量的平均):

$$\bar{v} = \frac{1}{K} \int_0^K x(t) dx = \frac{1}{K} \int_0^K ax \left(1 - \frac{x}{K}\right) dx = \frac{1}{6}aK = \frac{2}{3}v_0 \quad (4)$$

生长方程 (2) 上有 2 个拐点 (t_1, x_1) 和 (t_2, x_2) , 其中:

$$\begin{aligned} x_{1,2} &= \frac{1}{6}(3 \mp \sqrt{3})K \\ t_{1,2} &= t_0 \mp \frac{1}{a} \ln(2 \mp \sqrt{3}) \end{aligned} \quad (5)$$

2 个拐点处的生长速度为:

$$v_1 = v_2 = \frac{1}{6}aK = \frac{2}{3}v_0 = \bar{v} \quad (6)$$

2 个拐点间的平均生长速度为:

$$v(t_1, t_2) = \frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} ax \left(1 - \frac{x}{K}\right) dx = \frac{2}{9}aK = \frac{8}{9}v_0 = \frac{4}{3}\bar{v} \quad (7)$$

因此, 可借助 t_1 和 t_2 将生物的生长过程划分为 3 个阶段: $(0, t_1)$ 、 (t_1, t_2) 、 $(t_2, +\infty)$ 。第一个阶段称为“前慢期”, 生物处于生长初期, 生长速度逐渐加快; 当生长速度达到总平均生长速度 \bar{v} 时, 进入生长的第二阶段, 即“速生期”, 该期生物处于持续速生阶段, 生长速度大于平均生长速度, 并在期中达到最大生长速度 v_0 , 随后, 生长速度逐渐减慢; 当生长速度低于平均生长速度时, 即进入生长的第三阶段, 称为“后慢期”, 该阶段生物处于成熟阶段, 生长速度逐渐放慢, 以致最后接近 0。

可见, 在符合 S 生长曲线的林木个体生长过程中, “速生期”是生长过程的关键阶段。同时, S 生长曲线有几个重要的参数是值得重视的。其一是生长极值 K , 它常常是培育的直接目标; 其二是生长速度, 由于最大生长速度为平均生长速度的 1.5 倍, 可以代替平均生长速度进行比较, 是重要的生长速度参数; 其三是物候期参数: 速生期始点 t_1 、终点 t_2 、中点 t_0 及速生持续期

($t_2 \sim t_1$), 其中 t_1 与 t_2 点的生长速度为平均生长速度, t_0 点的生长速度为最大生长速度, 这在林木培育上具有重要的价值。

3 泡桐无性系苗期年生长参数分析

3.1 泡桐无性系苗期年生长曲线

泡桐各无性系的苗高与胸径生长量均可用 S 曲线方程(1)进行拟合。以无性系 PT08 的一个单株为例, 其拟合状况如图 1。从图 1 可以看出, 泡桐苗期年生长动态规律高度符合 S 型生长曲线。拟合的参数、参数分析及回归曲线方差分析结果见表 1。从表 1 可看出, 泡桐苗期年生长 S 型曲线的 3 个模型参数, 即极值 K 、内禀增长率 a 和速生期中点 t_0 的拟合值均达极显著水平; 方差分析也表明, 拟合的曲线均达极显著水平。因此, 泡桐苗期年生长动态可以用 S 型生长曲线来描述。

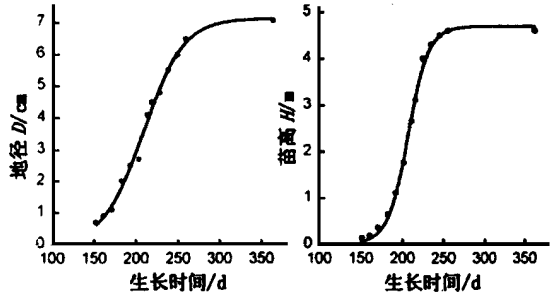


图 1 泡桐无性系 PT08 单株苗木年生长动态

表 1 泡桐无性系 PT08 的单株苗木年生长动态拟合参数与方差分析

项 目	参 数 分 析					方 差 分 析				
	参 数	参 数 值	标 准 差	t 值	显 著 性	变 异 来 源	自 由 度	均 方 差	F 值	显 著 性
地 径	K	7.16	0.179 1	39.95	< 0.000 1	回 归	2	29.45	730.19	< 0.000 1
	a	0.041 8	0.002 4	17.2	< 0.000 1	剩 余	10	0.040 3		
	t_0	208.7	1.849 4	112.8	< 0.000 1					
苗 高	K	4.70	0.060 6	77.62	< 0.000 1	回 归	2	207.024	2 455.7	< 0.000 1
	a	0.076 9	0.003 5	22.12	< 0.000 1	剩 余	10	84.3		
	t_0	208.8	0.692 1	301.67	< 0.000 1					

对泡桐 16 个无性系 185 株苗木的年生长动态用 S 型曲线拟合, 结果表明拟合均达极显著相关水平, 相关系数最小为 0.913, 其参数变化范围见表 2。表 2 表明, 185 株泡桐无性系苗木地径年生长参数变化范围为: 极值 K 为 2.4~9.3 cm, 速生点 t_0 在每年的第 183~215 天, 即 7 月 2 日至 8 月 3 日间, 速生持续期($t_2 \sim t_1$)为 36~97 d, 最大生长速度 v_0 为 0.026~0.076 $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$; 苗高年生长参数为: 极值 K 为 2.41~5.44 m, 速生点 t_0 在 7 月 18 日至 8 月 10 日间, 速生持续期($t_2 \sim t_1$)为 23~50 d, 最大生长速度 v_0 为 0.045~0.094 $\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

表 2 泡桐无性系苗期生长参数变化范围

参 数	地 径 参 数			参 数	苗 高 参 数		
	最 小 值	最 大 值	平 均 值		最 小 值	最 大 值	平 均 值
K/m	2.39	9.33	5.13	K/m	2.41	5.44	4.09
$a/\%$	2.714	7.282	3.902	$a/\%$	5.266	11.41	7.282
t_0/d	183	214.8	197.7	t_0/d	199	222.4	208.4
t_1/d	142.7	194.4	163.1	t_1/d	176.8	206.6	189.9
t_2/d	207.1	255.9	232.3	t_2/d	213.2	238.2	226.8
$(t_2 - t_1)/\text{d}$	36.2	97.1	69.1	$(t_2 - t_1)/\text{d}$	23.08	50.02	36.96
$v_0/(\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$	0.026	0.076	0.049	$v_0/(\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$	0.045	0.094	0.073

图2更直接地显示了泡桐苗期年生长进程。从图中可以看出,泡桐苗期地径年生长(图2-A)速生始点为6月12日,生长速度为 $0.033 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$,生长量达 1.08 cm ;7月16日达最大生长速度 $0.049 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$,生长量达 2.57 cm ;速生期至8月20日终止,生长量达 4.05 cm ;速生持续期为69 d;年生长量 5.13 cm 。苗高年生长(图2-B)速生始点晚于地径,为7月8日,生长速度 $0.049 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$,生长量达 0.86 m ;7月27日达最大生长速度 $0.073 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$,生长量达 2.04 m ;速生期至8月15日终止,生长量 3.22 m ;速生持续期为37 d;年生长量 4.09 m 。

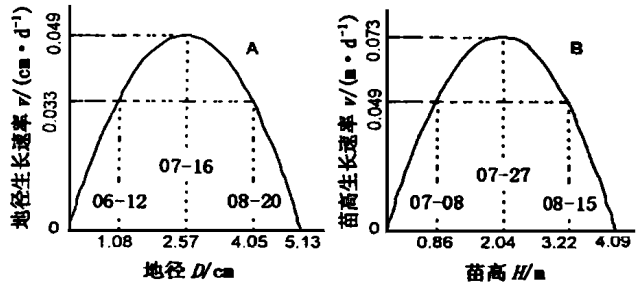


图2 泡桐苗木年生长进程

3.2 泡桐无性系苗期年生长参数与生长量的关系

3.2.1 极值 K 与苗期年生长量的关系 极值 K 是苗期年生长拟合的极限值,即最大值。从理论上讲,极值 K 与苗期的年生长量应该一致。对16个无性系185株苗木年生长极值与苗期年实测生长量进行比较,结果如图3。

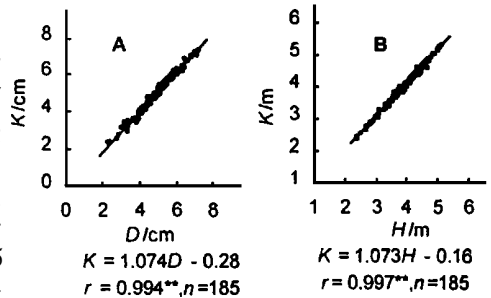


图3 模拟极值与实测值间的关系

从图3可以看出,泡桐苗期年生长拟合极值与年生长实测值呈极显著的直线相关关系,其185个散点均重叠在回归直线附近,地径(图3-A)和苗高(图3-B)与相应 K 值的相关系数分别达到0.994和0.997。因此,可以用 K 值来替代苗期的年生长量实测值,并可用 K 值作为苗期年生长量的选择与培育指标。

3.2.2 极值 K 与物候期的关系 S 生长曲线的物候期指标主要表现在速生点(t_0)、速生期始点(t_1)、终点(t_2)及速生持续期($t_2 \sim t_1$)4个指标。对185株泡桐苗期年生长极值(K)与物候期指标($t_0, t_1, t_2, t_2 \sim t_1$)间相关关系分析结果,如图4。图4表明,速生持续期与地径(图4-A2)、苗高(图4-B2)均有极显著的正相关关系,相关系数分别达0.543和0.647。同时,还表明地径速生期终点(t_2)与地径年生长有极为显著的正相关关系,即终点值越大,则地径生长也越大(图4-A1);苗高速生期始点与苗高生长量则有极显著的负相关关系,即速生期始点值越小或进入

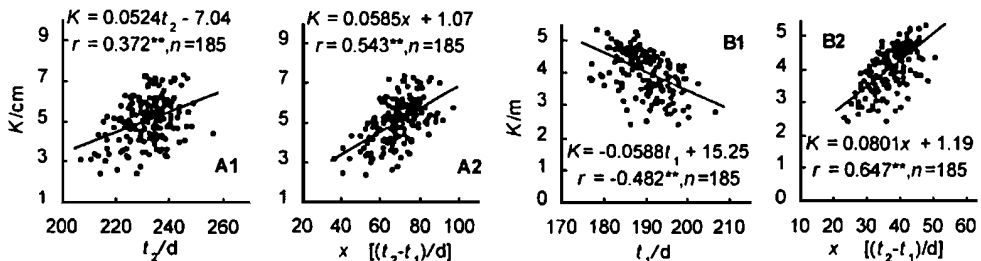


图4 模拟极值(A:地径, B:苗高)与物候期指标间的关系

速生期的时间越早, 则其苗高生长量越大(图 4-B1)。

由于速生持续期是速生始点、中点和终点的综合指标, 且与泡桐苗期年生长量间有最大的相关系数, 可作为重要的苗期物候生长评价指标。在苗期选择时, 要选择速生始点较早、速生终点较晚、速生持续期较长的无性系, 在苗木培育时, 采取适当措施延长速生期, 将有利于苗期年生长量的增加。

3.2.3 极值 K 与最大生长速度的关系 最大生长速度和平均生长速度是 S 生长曲线的又一重要生长指标。由于平均生长速度为最大生长速度的 $2/3$, 因而, 讨论它们与年生长量的关系时只需考虑最大生长速度即可。图 5 为泡桐无性系苗期年生长极值与最大生长速度的相关分析。可以看出, 泡桐苗期地径年生长极值与最大生长速度呈极显著的直线相关, 相关系数达 0.735(图 5-A); 苗高年生长极值与最大生长速度也呈极显著的直线相关, 相关系数为 0.526(图 5-B)。由此表明, 最大生长速度与泡桐年生长量间相关紧密, 也是泡桐苗期培育的重要指标之一。

4 小结与讨论

泡桐苗期年生长动态规律符合 S 型生长曲线。地径年生长速生始点为 6 月 12 日, 生长速度 $0.033 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$, 生长量 1.08 cm ; 最大生长速度(7 月 16 日)达 $0.049 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$, 生长量 2.57 cm ; 速生期至 8 月 20 日终止, 生长量 4.05 cm ; 速生持续期 69 d; 年生长量 5.13 cm 。苗高年生长速生始点晚于地径, 为 7 月 8 日, 生长速度 $0.049 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$, 生长量 0.88 m ; 7 月 27 日达到最大生长速度 $0.073 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$, 生长量 2.04 m ; 速生期至 8 月 20 日终止, 生长量 3.22 m ; 速生持续期为 37 d, 年生长量 4.09 m 。

泡桐苗期年生长拟合极值与年生长实测值呈极显著的直线相关关系, 其 185 个散点均重叠在回归直线附近, 地径和苗高与相应 K 值的相关系数分别达到 0.994 和 0.997, 因此, 可以用 K 值来替代苗期的年生长量实测值, 并可用 K 值作为苗期年生长量的选择与培育指标。

地径与苗高年生长量均与其各自的速生持续期有极显著的正相关关系, 相关系数分别为 0.543 和 0.647。由于速生持续期是速生始点、中点和终点等 3 个物候指标的综合, 可作为重要的苗期生长评价指标。在苗期选择时, 要选择速生始点较早、速生终点较晚、速生持续期较长的无性系, 在苗木培育时, 采取适当措施延长速生期, 有利于苗期年生长量的增加。

最大生长速度与泡桐苗期年生长极值呈极显著的直线相关, 地径和苗高与其最大生长速度的相关系数分别达 0.735 和 0.526。据研究最大生长速度的遗传稳定性要好于年生长量, 因此认为, 最大生长速度是泡桐苗期选择与苗期培育的重要指标之一。

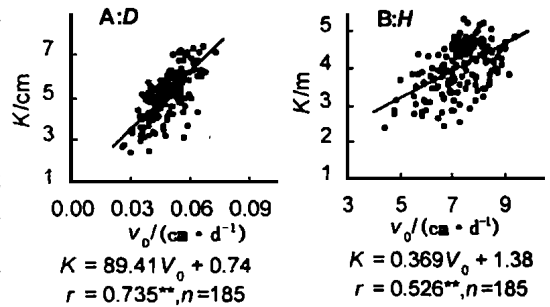


图 5 年生长极值 K 与最大生长速度 v_0 相关关系

参考文献:

- [1] 徐凤兰. 杉木幼林中混交泡桐年生长动态的研究[J]. 福建林学院学报, 1997, 17(2): 169 ~ 171.
- [2] 赵丹宁, 熊耀国. 泡桐无性系苗年生长动态分析[J]. 林业科学研究, 1993, 6(1): 29 ~ 45.
- [3] 周永学, 宋进德. 泡桐苗期高生长曲线的拟合及其分析[J]. 陕西林业科技, 1996, (3): 1 ~ 4.
- [4] 武禄光. 经济效益模型在泡桐壮苗培育中的应用[J]. 河南农业大学学报, 1991, 25(2): 117 ~ 124.
- [5] 刘玉礼. 泡桐萌芽更新造林苗期生长规律[J]. 河南农业科技, 1994, (4): 33.
- [6] 蒋建平, 王保林, 武禄光. 泡桐高干壮苗培育措施数学模型的研究[J]. 泡桐与农用林业, 1990, (1): 1 ~ 9.
- [7] 张连翔. 逻辑斯蒂曲线上的两个重要特征点的分析及其应用[J]. 河北林学院学报, 1992, 7(2): 154 ~ 158.
- [8] 莫惠栋. Logistic 方程及其应用[J]. 江苏农学院学报, 1993, 4(2): 53 ~ 57.
- [9] 赵天榜, 傅大立, 田国行, 等. 厚朴生长规律的研究[J]. 中南林学院学报, 1993, 13(1): 34 ~ 43.

The Annual Growth Parameters and Their Variation of *Paulownia* Seedlings

FU Da-li, YANG Shao-bin, CONG Pei-sheng, LI Zong-ran

(Paulownia Research and Development Center of China, Zhengzhou 450003, Henan, China)

Abstract: Based on testing 16 *Paulownia* clones in seedling stage, the growth pattern and growth parameters in seedling stage were studied. The results indicated that the growth of *Paulownia* seedlings can be modeled by sigmoid curve, and can be divided into 3 stages: first slow growth stage, fast growth stage and second slow growth stage. The main parameters are the beginning date of fast growth (DB), the middle date of fast growth (DM), the ending date of fast growth (DE), the length of fast growth (LG), the growth rate (RG) and increment at each date, the average growth rate (ARG), the maximum rate of growth (XRG), and the maximum value of diameter (KD) and height (KH) of annual growth of *Paulownia* seedlings. The annual growth parameters of diameter of 185 seedlings of 16 clones are as follows: DB June 12, RG $0.033 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$, diameter 1.08 cm; DM July 16, XRG $0.049 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$, diameter 2.57 cm; DE August 20, diameter 4.06 cm; LG 69 days, total annual growth 5.13 cm. The annual growth parameters of seedling height are: DB July 8, RG $0.049 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$, height 0.88 m; DM July 27, XRG $0.073 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$, seedling height 2.57 m; DE August 20, seedling height 3.22 cm; LG 37 days, total annual growth 4.09 m. The diameter and height of total annual growth are distinctively correlative with XRG respectively.

Key words: *Paulownia*; seedling; annual growth; sigmoid model