

泡桐无性系苗期年生长动态分析*

赵丹宁 熊耀国 宋露露 李峰 徐刚

摘要 用Logistic曲线模拟泡桐19个无性系苗期的年生长动态,估测了它们日生长速率的最大点和速生期的两个拐点及长度。用正交多项式逼近无性系的增长曲线,对组成曲线的回归系数 β_0 、 β_1 和 β_2 进行了多元方差检验,差异显著。泡桐无性系年生长进程可分为早、中、后三个时期。

关键词 泡桐无性系、Logistic曲线、速生点、速生期

泡桐(*Paulownia Sieb. et Zucc.*)苗木在一个生长时期内生长性状表型值的递增,是其基因型对不同环境适应性的反映。不同的基因型具有不同的生长型。因此,泡桐无性系苗期年生长动态的研究,目的在于试图通过苗木速生期的确定,来区分不同基因型的生长型式,进一步了解不同生长阶段苗木群体的遗传结构变化,为林木生产力的改良和苗木的经营管理提供依据。

1 自然概况

试验地点设在山东省兖州市林科所,地处 $116^{\circ}35' E$, $35^{\circ}30' N$,海拔55 m,属暖温带东亚季风大陆性气候。年均温 $13.6^{\circ}C$,极端最高温度 $41^{\circ}C$,平均年降水量725.9 mm,多集中在夏季。全年日照2610.7 h。试验地土壤为潮褐土,质地为沙壤, pH 7.5。

2 材料和方法

2.1 材料

参试材料有19个无性系,其中有白花泡桐(*P. fortunei* (Seem.) Hemsl.)无性系南京白花、C83-101、C84-85、C007-3、C861、C84-831、C85-071;兰考泡桐(*P. elongata* S. Y. Hu)无性系C125、中林3号、C136、C137、C87-007、C87-008;毛泡桐(*P. tomentosa* (Thunb.) Steud.) \times 白花泡桐的杂种无性系毛白33号、白杂26、C12F17、C12F31、C12F33-1和C12F33。1991年4月30日采用一年生苗木的根埋根育苗,随机区组设计,3次重复,10~15株小区,株行距 $1 m \times 1 m$ 。在育苗后40 d开始按区组调查苗高、地径,随后每隔10 d观测一次,直至10月10日,共调查13次。

2.2 计算方法

广义遗传力(h^2)^[1]

1992-03-20收稿。

赵丹宁助理研究员,熊耀国,宋露露(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091);李峰,徐刚(山东省兖州市林业科学研究所 山东兖州)。

*本项研究得到加拿大国际发展研究中心(IDRC)的资助,谨表谢意。

$$h^2 = \sigma_g^2 / \sigma_p^2 \times 100 = (M_1 - M_2) / [M_1 + (r-1)M_2] \times 100$$

苗高、地径的年生长规律用Logistic曲线^[2]拟合,即

$$Y = K / [1 + m \text{Exp}(-Rx)]$$

苗高、地径生长的增量模型采用二次三项式(正交化)回归模型。

3 结果与分析

3.1 广义遗传力的年动态变化

广义遗传力是数量遗传的重要参数之一,它反映了整个基因型方差占表型总方差的百分率。由图1可看出:①苗高广义遗传力在生长的前40 d内保持较低水平,随后迅速增长,至第70 d出现一个高峰,以后开始下降并保持相对平缓,到第120 d时又开始上升,第150 d时又出现一个高峰。②地径的广义遗传力在第40 d时已到达一个较高水平,第80 d时到达一个高峰,随后陡然下降,在90 d和130 d出现2个谷值,到150 d时又出现第二个高峰。③地径的广义遗传力相对而言,比苗高的广义遗传力要大,变幅更大。

广义遗传力的动态变化,从一个侧面反映了苗木生长性状变化的动态特征。广义遗传力剧烈变化之点,正是苗木群体内个体竞争进入激烈状态的始点或终点的交界。由此可推断,泡桐无性系苗高年生长可分为三个时期:早期——从发芽到生长的第70 d;中期——从第70 d至130 d;后期——从第130 d至休眠。地径生长也是如此,但比苗高提前10 d进入中期,推迟10 d进入后期。

3.2 年生长动态的数学模拟

3.2.1 无性系生长的S型曲线 利用Logistic曲线对无性系的苗高、地径生长进行了拟合,其

相关系数都在-0.91以上,并经方差检验,都达到了极显著水平,结果见表1和图2、3。由图2、3可见,在生长初期,各无性系的苗高、地径生长基本同步,70 d后差异逐渐拉大。无性系C137从第70 d至休眠前,高生长一直位于领先地位。C12 F31在生长早期生长较慢,但到100 d时苗高生长加速,逐渐超过其他无性系,居第三位。中林3号高生长早期居中,90 d后生长逐渐落后于其他无性系。C861地径生长在三个时期均处于前列。毛白33号早期地径生长较慢,100 d后生长速度加快。在早期,C125地径生长较慢,从120 d开始生长速度加快。

3.2.2 S型曲线的差异性检验 表1列出的泡桐无性系S型曲线参数值,虽然都达到了极显著差异,但要真实地反映出无性系之间的差异水平,仍需经过差异性检验。

生物增长曲线多是一种多项式函数。如令无性系在某点的增量 y 遵循二次曲线,则增量模型^[3]为

$$y_{ij} = a_{0j} + X_{i1j} + X_{i2j}^2 + \varepsilon_{ij} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, n \\ j = 1, 2, \dots, p \end{cases} \quad (1)$$

若用矩阵形式,(1)式可表示为

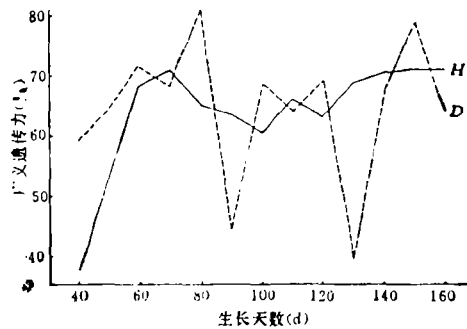


图1 泡桐无性系苗高(H)地径(D)广义遗传力年动态变化

$$Y = X_0 + E \tag{2}$$

$$\text{使 (2) 式变为正交多项式, } Y = Z\beta + E \tag{3}$$

通过计算，求出了每个无性系的系数矩阵、正规方程、相关矩阵、偏相关系数和复相关系数。表 2 仅列出系数矩阵中每个无性系 β_0 、 β_1 、 β_2 的均值及复相关系数。

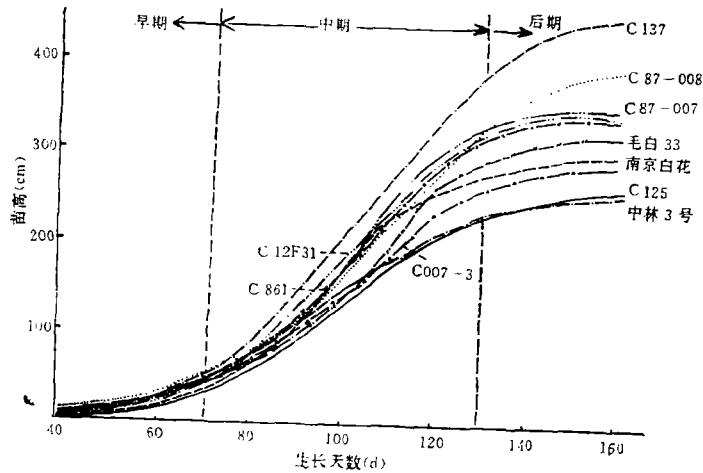


图 2 无性系苗高年生长的 S 型曲线

注：因幅面限制仅列出其中的 10 个无性系、地径同

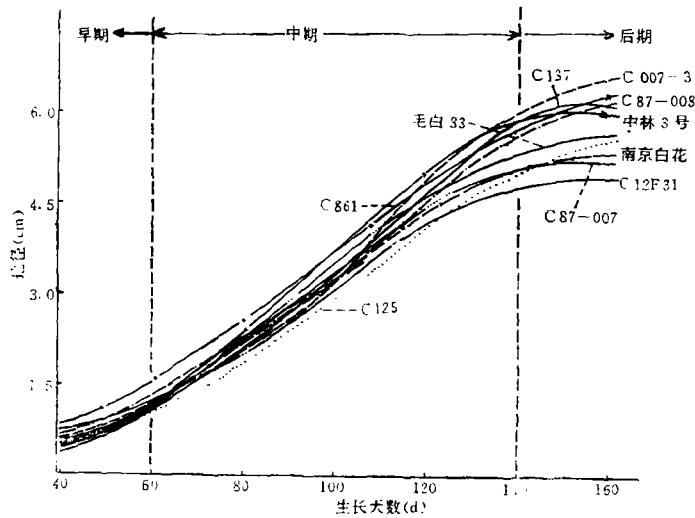


图 3 泡桐无性系地径年生长 S 型曲线

无性系增长曲线是回归系数 β_0 、 β_1 和 β_2 的线性组合，故无性系增长曲线的差异可通过对 β_0 、 β_1 和 β_2 的方差分析予以检验。表 3 的结果表明，无性系苗高、地径的 β 值差异都达到极显著水平。

无性系增长曲线是由 β_0 、 β_1 和 β_2 共同制约的，只有应用多元方差分析对回归系数 β_0 、 β_1 和 β_2 进行假设检验，才能判明自变量对因变量是否有作用^[4]。将方差分析中的总离差剖分

表1 无性系S型曲线拟合苗高(H)、地径(D)生长量参数值

无性系		参 数 值			相关系数	F 值
		M	R	K		
中林3号	H	163.91	0.0464	301.06	-0.9883	453.17**
	D	60.78	4.0621 E-02	6.5	-0.9913	595.55**
C136	H	146.89	4.4747 E-02	302.17	-0.9928	492.25**
	D	66.94	3.9846 E-02	5.5	-0.9921	619.89**
白杂26	H	258.30	5.5263 E-02	321.03	-0.9939	323.38**
	D	51.36	0.0405	6.0	-0.9954	605.13**
南京白花	H	136.62	4.5522 E-02	350.90	-0.9964	473.34**
	D	94.14	4.9206 E-02	5.5	-0.9930	478.00**
C83-101	H	187.03	5.0214 E-02	349.74	-0.9921	390.39**
	D	50.17	4.3715 E-02	6.0	-0.9931	629.76**
C137	H	242.03	5.0770 E-02	451.72	-0.9944	383.73**
	D	51.65	3.7975 E-02	7.0	-0.9956	687.31**
C87-007	H	237.05	5.6304 E-02	362.92	-0.9918	310.33**
	D	56.18	4.4007 E-02	5.5	-0.9973	513.57**
C84-85	H	184.84	4.7231 E-02	301.11	-0.9923	441.32**
	D	86.82	4.3001 E-02	6.0	-0.9900	530.04**
C12F17	H	148.59	0.0469	252.92	-0.9951	454.55**
	D	40.32	3.6713 E-02	5.0	-0.9761	725.68**
C007-3	H	140.97	0.0475	319.76	-0.9928	437.08**
	D	109.04	4.8146 E-02	7.0	-0.9112	363.42**
C125	H	117.73	0.0442	300.0	-0.9917	505.56**
	D	47.17	4.0930 E-02	5.5	-0.9735	568.57**
毛白33	H	170.97	4.9671 E-02	329.10	-0.9938	404.44**
	D	45.09	3.8886 E-02	6.0	-0.9977	657.04**
C87-008	H	307.66	5.3944 E-02	421.46	-0.9976	343.40**
	D	77.45	4.3641 E-02	6.5	-0.9809	505.28**
C861	H	344.95	6.0867 E-02	350.91	-0.9939	596.63**
	D	59.33	4.1989 E-02	6.6	-0.9940	560.43**
B84-831	H	266.41	5.5453 E-02	380.0	-0.9956	322.37**
	D	69.82	4.4280 E-02	6.6	-0.9887	497.90**
C12F31	H	373.37	5.9000 E-02	359.10	-0.9878	280.28**
	D	51.73	4.2189 E-02	5.6	-0.9905	544.46**
C85-071	H	144.87	4.9387 E-02	350.91	-0.9957	402.20**
	D	31.02	3.6483 E-02	6.0	-0.9901	744.87**
C12F33	H	233.88	5.4514 E-02	259.10	-0.9885	328.79**
	D	45.45	3.8850 E-02	5.5	-0.9938	654.32**
C12E33-1D	H	357.53	5.5977 E-02	350.91	-0.9892	312.31**
	D	69.29	4.2890 E-02	6.0	-0.9901	532.88**

为重复离差、无性系离差和剩余离差,取两个广义方差之比的 Wilks 统计量 λ 做差异检验,结果表明,泡桐无性系苗高、地径集合了 β_0 、 β_1 和 β_2 的 λ 值分别为 0.0162 和 0.1794,与 $A_{0.01}(3, 38, 18) = 0.1735$ 和 $A_{0.05}(3, 38, 18) = 0.2107$ 相比,苗高达到极显著差异,地径达到显著差异。

3.2.3 生长最大点及连生期估算 对 Logistic 曲线进行一阶和二阶求导,并分别令 $d^2Y/dX^2 = 0$ 和 $d^3Y/dX^3 = 0$, 得到下列两式

表2 泡桐无性系苗高(H)、地径(D)平均 β 值及复相关系数

无性系	H				D			
	β_0	β_1	β_2	复相关系数	β_0	β_1	β_2	复相关系数
中林3号	127.2813	8.7813	6.0E-04	0.9767	2.0049	1.1880	1.10E-04	0.9964
C136	60.0313	70.2200	0.0061	0.9794	1.3438	1.2144	1.50E-04	0.9981
白杂26	164.2813	-1.4688	-0.0004	0.9788	4.0513	-0.8779	-1.3E-04	0.9940
南京白花	147.5938	14.2188	0.0010	0.9790	3.6846	-0.4399	2.0E-05	0.9799
C83-101	120.1250	47.8750	0.0040	0.9785	2.4058	0.6455	1.7E-04	0.9922
C137	168.1251	39.9688	0.0032	0.9816	3.6143	-0.2080	-0.0003	0.9956
C87-007	177.0625	12.0000	0.0008	0.9743	3.7983	-0.7080	-0.0001	0.9927
C84-85	27.1250	103.4688	0.0090	0.9780	0.6230	2.1846	2.4E-04	0.9935
C12F17	55.5938	60.5938	0.0052	0.9812	1.1926	1.2520	1.2E-04	0.9957
C007-3	105.3125	47.5313	0.0040	0.9800	1.3555	2.0522	2.7E-04	0.9979
C125	123.6250	14.5625	0.0011	0.9801	2.6567	0.2769	1.4E-05	0.9977
毛白33	92.4375	65.2188	0.0056	0.9798	2.6465	0.4517	1.2E-04	0.9962
C87-008	101.6875	93.8438	0.0080	0.9837	2.0308	1.1929	1.4E-04	0.9973
C861	204.0000	-17.6250	-0.0019	0.9731	3.2993	0.1309	2.1E-04	0.9959
C84-831	142.4688	46.7188	0.0039	0.9798	2.8555	0.6060	1.0E-06	0.9961
C12F31	80.8770	94.7436	0.0082	0.9738	2.8770	0.1436	1.4E-04	0.9978
C85-071	162.9063	13.4063	0.0009	0.9745	3.7095	-0.4512	-0.0001	0.9982
C12F33	78.2969	51.2188	0.0044	0.9778	2.3330	0.4873	1.1E-06	0.9935
C12F33-1	71.9663	93.0625	0.0080	0.9802	2.6211	0.4409	2.3E-06	0.9958

表3 泡桐无性系 β 值方差分析

变异来源	树高			地径		
	β_0	β_1	β_2	β_0	β_1	β_2
无性系间	67.33	403.8	5.6E-05	0.2920	0.2091	1.7E-04
重复间	1.18	108.6	9.1E-06	0.0033	0.0035	9.3E-06
F 值	57.06**	3.72**	6.15**	88.48**	59.71**	18.2796**

$$X = \ln A/B \quad (1)$$

$$\text{和} \begin{cases} X_1 = \frac{1}{B} \ln \left(\frac{A}{3.7321} \right) \\ X_2 = \frac{1}{B} \ln \left(\frac{A}{0.2680} \right) \end{cases} \quad (2)$$

(1) 式可求出生长量最大时的 X 值, (2) 式可求出连日生长量变化最快的两个点, 即由萌动到速生, 由速生转入缓慢生长的分界点, 两点之间即为速生期。表 4 提供了以下信息: 一是泡桐无性系苗高生长的峰值位于 8 月上中旬。最早的是白花泡桐无性系 C861, 峰值位于 8 月 6 日; 其次是兰考泡桐无性系 C87-007, 位于 8 月 7 日; C136 最晚, 出现在 8 月 21 日。早晚相隔 15 d。地径生长的最大点位于 8 月初至 8 月中。最早的是南京白花和 C87-007, 出现在 8 月 2 日, C136 最晚, 出现在 8 月 15 日, 早与晚相距 13 d。地径生长的峰值一般早

于苗高,只有C861例外。二是苗高速生期始点在7月初到7月中,最早的是C861、C87-007和C85-071,出现在7月14日;最晚的是C84-85,始于7月23日。地径生长速生期始点在6月底至7月上旬。最早的是C85-071,始于6月28日;最晚的是C84-85,始于7月13日。三是苗高速生期终点在8月底至9月中旬。C136速生期终点在9月21日,是参试无性系中最晚的。地径速生期终点在9月上中旬。C136、C137最晚,终点在9月18日。四是泡桐无性系苗高、地径生长速生期持续44~60d和54~72d。苗高速生期最长的是C125,最短的是C861。地径速生期最长的是C85-071,南京白花最短。多数无性系的地径速生期比苗高的长10d左右。

表4 由导出方程估算的泡桐无性系苗高、地径最大生长期和速生期

无性系	最大生长期		速生期				
	$x(d)$	日期(月-日)	$x_1(d)$	$x_2(d)$	起点(月-日)	终点(月-日)	持续天数(d)
中林3号	109/101	08-19/08-11	81/68	138/133	07-21/07-08	09-18/09-13	57/65
C136	111/105	08-21/08-15	82/72	141/138	07-22/07-12	09-21/09-18	59/66
白杂26	100/97	08-10/08-06	76/64	124/129	07-16/07-04	09-04/09-09	48/65
南京白花	108/92	08-18/08-02	79/65	137/119	07-19/07-05	08-29/09-10	54/52
C83-101	104/99	08-14/08-09	78/66	130/132	07-18/07-06	09-10/09-12	52/66
C137	108/104	08-18/08-14	82/69	134/138	07-22/07-09	09-14/09-18	52/69
C87-007	97/92	08-07/08-02	74/62	121/122	07-14/07-02	08-31/09-01	47/60
C84-85	110/104	08-20/08-14	83/73	138/134	07-23/07-13	09-18/09-14	55/61
C12F17	107/101	08-17/08-11	79/65	135/137	07-19/07-05	09-15/09-17	56/72
C007-3	104/97	08-14/08-07	76/70	135/125	07-16/07-10	09-12/09-05	56/55
C125	108/94	08-18/08-04	78/62	138/126	07-18/07-02	09-18/09-06	60/64
毛白33号	103/98	08-13/08-08	77/64	130/132	07-17/07-04	09-10/09-12	53/68
C87-008	106/100	08-16/08-10	82/69	131/130	07-22/07-09	09-11/09-10	49/61
C861	96/97	08-06/08-07	74/66	118/129	07-14/07-06	08-28/09-09	44/63
C84-831	100/96	08-10/08-06	77/66	124/126	07-17/07-06	09-04/09-06	47/60
C12F31	100/94	08-10/08-04	78/62	123/125	07-18/07-02	09-03/09-05	45/63
C85-071	101/94	08-11/08-04	74/58	127/130	07-14/06-28	09-07/09-10	53/72
C12F31	99/98	08-09/08-08	75/64	123/132	07-15/07-04	09-03/09-12	48/68
C12F31-1	105/99	08-15/08-09	82/68	128/129	07-22/07-08	09-08/09-09	46/61

注:表内斜分线上、下分别为苗高、地径有关数值。

4 结 论

(1) 用 Logistic 曲线模拟泡桐无性系的高、地径年生长量,发现它们在三个生长时期的生长差异是十分明显的。利用二次三项式逼近生长量,对组成增长曲线的回归系数 β_0 、 β_1 和 β_2 进行显著性检验,不论从整体上看(对 β_0 、 β_1 和 β_2 的多元方差分析),还是从阶段上看(对 β_0 、 β_1 和 β_2 的单独方差分析),无性系间的差异都是显著的,说明以三个生长阶段的生长量或年生长量为选择尺度对泡桐无性系的评价是有效的。

(2) 泡桐无性系苗期生长可分为早、中、后三个阶段。可根据无性系在不同阶段的表现,判明其生长型式。以苗高生长为例,C137和C87-008在三个阶段均居上中游,具有较强的同化环境能力和适应性^[6];C861、中林3号、白杂26等无性系早期生长较快,中后期逐渐

缓慢, 它们早期获取、利用本身必需元素的竞争能力较强; C12F31、C12F31-1、C125、C007-3和毛白33号等无性系, 早期或早中期生长较慢, 中后期加快, 后期竞争能力较强。

(3) 在华北、中原地区, 泡桐无性系苗期年生长动态, 如按种来分析, 白花泡桐的速生点早于兰考泡桐, 毛泡桐×白花泡桐的杂种无性系居中。速生期的始点, 兰考泡桐早于白花泡桐, 而速生期的终点, 白花泡桐早于兰考泡桐。速生期的长短兰考泡桐长于白花泡桐。

(4) Logistic 曲线确定的无性系速生点和速生期, 在苗木管理上有重要的现实意义。可根据苗木的速生期、速生点来制订合理的水肥管理措施, 促进苗木生长, 提高苗木质量, 降低生产成本, 提高经济效益。

参 考 文 献

- 1 吴仲贤. 统计遗传学. 北京: 科学出版社, 1979. 94~135.
- 2 郎奎健, 唐守正. IBM-PC系列程序集. 北京: 中国林业出版社, 1986.
- 3 郭荣领, 王明麻, 黄敏仁, 等. 黑杨派新无性系研究, VII. 苗期年生长动态分析. 南京林业大学学报, 1998, 12(4): 1~13.
- 4 裴鑫德. 多元统计分析及其应用. 北京: 北京农业大学出版社, 1991. 331~333.
- 5 Tuskan G A, Van Buijtenen J P. Inherent difference in family response to inster-family competition in loblolly Pine. *Silvae Genetica*, 1986, 35(2~3): 112~118.

Dynamic Analysis of the Annual Growth of Paulownia Clones in Seedling Stage

Zhao Danning Xiong Yaoguo Song Lulu

Li Feng Xu Gang

Abstract The properties of annual growth of *Paulownia* clones were simulated by Logistic curve, and the maximum points of growth rate per day and durations of fast-growing stage were estimated. The clonal growth curves were approached by cross cut polynomiad and the coefficients β_0 , β_1 and β_2 which made up the growth curves were tested. The results show that the differences of growth curves are significant. The annual growth process of *Paulownia* clones was classed into early, intermediate and later three periods.

Key words *Paulownia* clones, Logistic curve, fast-growing point, fast-growing stage

Zhao Danning, Assistant Professor, Xiong Yaoguo, Song Lulu (The Research Institute of Forestry, CAF Beijing, 100091), Li Feng, Xu Gang (The Research Institute of Forestry of Yanzhou, Shandong Province).