

1年生楸树无性系苗期生长特性

麻文俊¹, 张守攻¹, 王军辉^{1*}, 张建国¹, 赵 鲲²

(1. 林木遗传育种国家重点实验室, 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091;

2. 河南省洛阳市林业科学研究所, 河南 洛阳 471002)

关键词: 楸树; 无性系; 生长模式

中图分类号: S718.4

文献标识码: A

Growth Traits of One-Year-Old *Catalpa bungei* Clones in Seedling Stage

MA Wen-jun¹, ZHANG Shou-gong¹, WANG Jun-hui¹, ZHANG Jian-guo¹, ZHAO Kun²

(1. State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. Luoyang Forestry Research Institute, Luoyang 471002, He'nan, China)

Abstract: In order to study the growth traits of *Catalpa bungei* clones in various growth periods during the nursery stage so as to provide a theoretical basis for genetic improvement, the authors matched the height and diameter in nursery stage by Logistic equation. The results showed that the mean height of clones was 325.19 cm, with the range of 253.48–402.88 cm, the mean basal diameter of clones was 4.29 cm, with the range of 3.61–5.05 cm. The height increment could be divided into two stage, i. e. the early-growing period and the fast-growing period, while the basal diameter increment could be divided into three stage, i. e. the early-growing period, the fast-growing period and the late-growing period. The beginning of fast-growing period, the end of fast-growing period, the duration of fast-growing period, and the daily mean height increment in fast-growing period were May 26–July 2, September 11–October 15, 72–128 days, and 1.70–2.88 cm, while that for basal diameter increment were May 9–June 5, August 23–October 3, 95–138 days, and 0.021–0.032 cm. The variation of traits in fast-growing period was more significant. The height and basal diameter were significantly correlated to their increments in early-growing period (0.744, 0.928), fast-growing period (0.965, 0.804), and their daily mean increment in fast-growing period (0.733, 0.811).

Key words: *Catalpa bungei*; clones; growth pattern

楸树 (*Catalpa bungei* C. A. Mey.) 为紫葳科 (Bignoniaceae) 梓树属 (*Catalpa* Scop.), 原产我国, 适应性强、分布范围广、栽培历史悠久, 至今已有 2 600 年, 是我国传统栽培的珍贵优质用材树种和著名园林观赏树种, 喜温暖湿润, 适生于年均气温 10~15℃, 年降水量 500~1 000 mm 的气候条件。楸材作为优质上等木材可以满足国内对高级木材的需

要, 缓解上等材供不应求的矛盾。到目前为止, 我国对楸树的研究主要集中在楸树资源收集、繁殖方式和抗性研究等方面^[1-4], 如马雪范、赵鲲、王秋霞、黄秋萍等^[5-8] 分别从家系或无性系水平入手, 进行了苗期对比选择研究; 通过对扦插繁殖、嫁接繁殖、组织培养技术的广泛研究, 使楸树的繁殖效率显著提高^[9-11]; 对不同无性系 (品种) 的抗旱性和抗盐性研

收稿日期: 2010-01-26 修回日期: 2012-05-09

基金项目: 林业公益性行业科研专项经费项目 (201104001) 和农业成果转化资金项目“珍贵用材树种楸树优良新品种的中试与示范” (2008GB24320414)

作者简介: 麻文俊 (1984—), 男, 甘肃陇西人, 在读博士研究生, 从事楸树遗传育种研究, Email: mwjlx@sina.com

* 通讯作者: 王军辉, 研究员, 从事楸树和云杉遗传育种研究, Email: wangjh@caf.ac.cn

究发现,无性系间(品种间)抗性存在较大差异^[12-13]。

林木的年生长过程存在着慢或快的不同生长期交替的生长模式,但是对不同生长期在无性系、家系等不同水平上是否存在变异,变异程度大小,以及不同生长期与年生长量的相关性方面的研究报道较少。目前,在楸树优良新品系选育中主要是依据生长性状的比较筛选^[14-15],能否将年生长过程的某一生长期作为优良无性系选育的间接性状,目前尚未见报道。本研究以30个楸树无性系为试材,于2006年对各无性系苗期苗高和地径进行了定期连续调查,运用 Logistic 模型拟合年生长过程,以苗期年生长过程中不同生长期为研究对象,研究了无性系水平上不同生长期,以及不同生长期生长量的遗传变异,期望找到无性系生长期或不同生长期生长量方面的差异,提出速生优良无性系的间接选育性状,为速生无性系早期评价和选择提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于河南省洛阳市洛龙区白马寺镇三里桥村,112°42' E, 34°41' N,造林前为农耕地,地势平坦,土壤为沙壤土,肥力中等,pH 值 7.5,海拔 150 m,年平均降水量 600 mm,年平均气温 14.5 °C,无霜期限 238 d。

1.2 试验材料

供试楸树优良无性系 30 个,包括 19 个新选杂种无性系和其他各类对照无性系 11 个(表 1)。2004 年在洛阳林业科学研究所苗圃繁育梓树(*Catalpa ovata* G. Don)实生苗作为砧木,2005 年进行楸树无性系嫁接,2006 年 3 月在各无性系内选择生长较为一致的嫁接苗进行实验林营造,采用穴植,规格为 40 cm × 50 cm,造林后平茬。试验采用随机完全区组设计,4 株方块小区,4 次重复,株行距为 2 m × 2 m。

1.3 调查观测方法

从 2006 年 5 月 10 日开始每 10 d 观测 1 次,记录每株苗的苗高与地径,至 11 月 1 日为止。

1.4 数据处理

用 Logistic 方程对苗期年生长进程进行拟合,拟合采用曲线拟合过程。Logistic 方程表达式如下:

$$y = A / (1 + e^{-bx}) \quad (1)$$

式(1)中: A 是估算的苗木年生长量,即内禀生长量; a、b 是参数,用最小二乘法求得。

表 1 参试无性系的来源及编号

序号	无性系	来源	序号	无性系	来源
1	1-1	新选杂种无性系	16	004-1	新选杂种无性系
2	1-2	新选杂种无性系	17	008-1	新选杂种无性系
3	1-3	新选杂种无性系	18	011-1	新选杂种无性系
4	1-4	新选杂种无性系	19	015-1	新选杂种无性系
5	2-1	新选杂种无性系	20	6523	“七五”选无性系
6	2-2	新选杂种无性系	21	4001	“七五”选无性系
7	2-5	新选杂种无性系	22	4002	“七五”选无性系
8	2-6	新选杂种无性系	23	4038	“七五”选无性系
9	2-7	新选杂种无性系	24	7080	“七五”选无性系
10	2-8	新选杂种无性系	25	灰 3	“七五”选无性系
11	13-1	新选杂种无性系	26	小叶金丝楸	“七五”选无性系
12	9-1	新选杂种无性系	27	大叶金丝楸	“七五”选无性系
13	9-2	新选杂种无性系	28	洛灰	无性系化苗木
14	001-1	新选杂种无性系	29	光叶楸	无性系化苗木
15	002-1	新选杂种无性系	30	线灰	无性系化苗木

采用等差“三点法”估算苗木的年生长量(A)^[16]。

速生期特征点估算:

$$\text{速生点: } t = ab^{-1}$$

$$\text{速生始期: } t_1 = (a - 1.317) b^{-1}$$

$$\text{速生结束期: } t_2 = (a + 1.317) b^{-1}$$

速生点:指速生期内生长速度最大的时间;速生始期:指速生期开始的时间;速生结束期:指速生期结束的时间。

重复力: $H^2 = \sigma_g^2 / (\sigma_g^2 + \sigma_e^2)$; 式中: σ_g^2 为遗传方差值, σ_e^2 为环境方差值。

变异系数: $C = S / \bar{X}$; 式中: S 为标准差, \bar{X} 为某一性状的群体平均值。

以小区平均值参与 Logistic 方程拟合和其他分析,用 Excel 2003 和 SPSS13.0 进行数据分析和图表制作^[17]。

2 结果与分析

2.1 楸树无性系苗期生长差异

对参试无性系停止生长后的苗高和地径调查结果进行方差和遗传参数估算(表 2,3),结果表明:无性系间苗高($F = 7.912^{**}$)和地径($F = 6.182^{**}$)差异极显著。苗高均值为 325.19 cm,变异系数为 15.16%,高于均值的无性系有 16 个,基本属新选育杂种无性系,分别为:9-1、1-4、1-1、2-7、2-2、2-5、2-8、4038、001-1、2-1、015-1、2-6、9-2、008-1、1-3 和 1-2,其中,苗高最高的无性系是 9-1,达 402.88 cm,苗高最小的无性系是大叶金丝楸(253.48 cm),仅为 9-1 的 62.92%;地径均值为 4.29 cm,变异系数为

10.16%,高于均值的无性系有16个,分别为:1-1、008-1、015-1、1-4、1-2、1-3、2-8、13-1、2-5、001-1、9-1、2-7、2-6、灰3、4001和2-1,其中地径最大的无性系是1-1,达5.05 cm,地径最小的无性系是7080(3.61

cm),仅为1-1的71.49%。苗期以苗高为选育性状,以20%的入选率进行选择,入选无性系为9-1、1-4、1-1、2-7、2-2和2-5,苗高平均值为379.50 cm,较群体平均值增大了16.7%。

表2 楸树无性系生长性状遗传变异分析

性状	均值/cm	变幅/cm	无性系变异系数/%	均方	F值	Sig.	重复力
苗高	325.19	253.48~402.88	15.16	7 161.255	7.912**	0.000	0.87
地径	4.29	3.61~5.05	10.16	0.520	6.182**	0.000	0.83

无性系变异系数可以反应参试无性系间生长差异的大小,由表2分析可知:苗高的变异较大,地径则较小,无性系苗高和地径的重复力分别为:

0.87和0.83,属于强度遗传控制,受环境影响较弱,利用苗高和地径进行优良楸树无性系苗期选择较为可靠。

表3 楸树无性系苗高、地径差异

无性系	苗高/cm	地径/cm	无性系	苗高/cm	地径/cm
9-1	402.88 ± 20.60	4.44 ± 0.19	1-2	328.71 ± 12.07	4.70 ± 0.14
1-4	394.31 ± 11.83	4.76 ± 0.10	13-1	324.58 ± 23.68	4.46 ± 0.18
1-1	377.92 ± 23.47	5.05 ± 0.15	004-1	308.52 ± 4.50	4.19 ± 0.05
2-7	372.54 ± 20.20	4.41 ± 0.18	灰3	306.04 ± 4.81	4.38 ± 0.03
2-2	366.79 ± 9.64	4.26 ± 0.08	011-1	305.00 ± 16.10	3.83 ± 0.12
2-5	362.54 ± 22.15	4.44 ± 0.16	线灰	304.94 ± 13.47	4.24 ± 0.08
2-8	360.92 ± 14.37	4.61 ± 0.21	4001	299.06 ± 5.39	4.32 ± 0.11
4038	359.63 ± 18.64	4.18 ± 0.16	002-1	285.94 ± 11.82	3.93 ± 0.13
001-1	357.47 ± 11.72	4.44 ± 0.13	7080	282.46 ± 4.97	3.61 ± 0.11
2-1	348.31 ± 2.98	4.31 ± 0.05	光叶楸	272.02 ± 13.58	3.79 ± 0.13
015-1	347.92 ± 8.34	4.76 ± 0.13	小叶金丝楸	268.19 ± 14.38	3.68 ± 0.17
2-6	346.69 ± 22.95	4.40 ± 0.25	6523	268.10 ± 8.61	4.05 ± 0.06
9-2	346.38 ± 21.01	4.04 ± 0.17	洛灰	265.31 ± 13.99	3.97 ± 0.13
008-1	338.46 ± 18.33	4.88 ± 0.13	4002	265.00 ± 11.56	3.95 ± 0.20
1-3	335.48 ± 12.92	4.66 ± 0.12	大叶金丝楸	253.48 ± 16.17	4.01 ± 0.21

2.2 楸树无性系苗期不同生长期的遗传变异

2.2.1 不同生长期划分 依据速生始期(t_1)和速生结束期(t_2)将苗木的生长进程划分为3个时期,即:生长前期、速生期和生长后期,再加上苗木的成活期(从定植到苗木发芽的时期),共4个阶段。不同生长期的起始和结束时间计算以1月1日为时间零点。

根据物候观察结果可知:参试无性系一般从4月上旬开始生长,在10月上旬封顶停止生长,其生长期为4月上旬至10月上旬,约200 d。用Logistic方程对不同无性系苗高和地径的年生长动态进行拟合,拟合相关系数均达到0.9以上,本文以无性系2-1为例进行详细介绍(图1)。苗高年生长动态见图1A,因为速生结束期苗木已逐步开始封顶,不再进行高生长,无生长后期,所以苗高生长过程划分为2个阶段,分别是生长前期和速生期;地径年生长动态

见图1B,地径生长过程划分为3个阶段,分别是生长前期、速生期和生长后期。

2.2.2 无性系速生期遗传变异分析 利用Logistic方程对苗高和地径的年生长动态进行拟合后,分别将苗高和地径的速生始期、速生结束期进行了划分(表4)。

由表4可得:总体上参试无性系在6月12日进入高生长速生期,9月28日速生期结束,其中,4002的速生始期最早(5月27日),同时速生结束期也最早(9月12日),002-1的速生始期最晚(7月3日),008-1速生结束期最晚(10月16日),4002的速生始期比002-1早37 d,008-1的速生结束期比4002晚34 d,速生期持续时间最长的无性系是2-1(128 d),最短的无性系是002-1(72 d),平均为108 d。速生期持续时间占总生长期的比率平均为48.13%,变幅为:32.73%~57.58%。

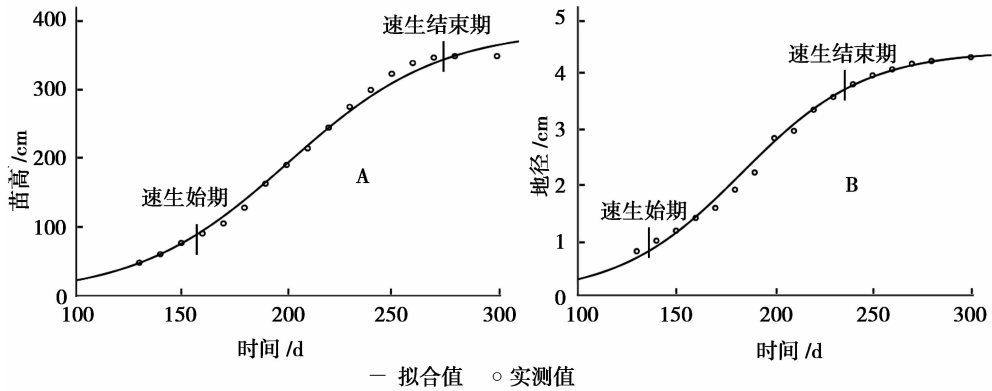


图1 无性系2-1 苗期苗高和地径年生长动态

表4 不同无性系生长性状速生期的划分

无性系	苗高				地径			
	速生始期 /(月-日)	速生结束期 /(月-日)	速生期持续 时间/d	速生期内日均 生长量/cm	速生始期 /(月-日)	速生结束期 /(月-日)	速生期持续 时间/d	速生期内日均 生长量/cm
2-8	06-11	10-10	121	2.19	05-23	08-31	100	0.030
001-1	06-12	10-10	120	2.22	05-23	08-27	96	0.029
4038	06-02	10-07	109	2.41	05-29	09-19	112	0.026
小叶金丝楸	06-02	09-25	115	1.70	05-10	09-01	124	0.022
13-1	06-18	09-23	97	2.34	05-26	09-26	123	0.026
015-1	06-12	10-06	116	2.26	05-31	09-24	116	0.028
2-1	06-06	10-12	128	2.04	05-21	08-24	96	0.028
1-4	06-02	10-10	112	2.61	05-29	09-02	114	0.029
线灰	06-08	09-17	101	2.09	05-23	09-15	115	0.026
004-1	06-12	10-04	114	2.07	05-21	09-04	106	0.027
1-3	06-01	09-22	104	2.41	05-24	09-14	114	0.028
7080	06-15	09-19	96	2.06	05-19	09-28	132	0.021
9-2	06-16	09-26	102	2.46	05-18	09-02	126	0.023
2-6	06-15	10-10	117	2.10	05-22	09-14	115	0.026
6523	06-01	09-19	110	1.81	05-23	09-01	110	0.024
1-2	06-25	10-11	108	2.13	06-02	10-01	121	0.026
光叶楸	06-05	09-17	104	1.93	05-23	09-01	109	0.026
4001	06-04	09-16	104	2.10	05-23	09-27	127	0.025
1-1	06-19	09-25	98	2.88	05-31	09-15	107	0.030
灰3	06-04	09-18	106	2.15	05-21	09-01	112	0.026
011-1	06-01	09-20	102	2.19	05-16	09-15	122	0.023
2-5	06-24	09-25	93	2.88	06-06	09-09	95	0.032
大叶金丝楸	06-01	09-13	104	1.83	05-28	09-22	117	0.025
落灰	06-03	09-15	104	1.95	05-26	09-03	128	0.023
2-7	06-01	10-15	127	2.15	05-22	09-16	118	0.027
4002	05-27	09-12	108	1.80	05-02	10-04	138	0.021
008-1	06-16	10-16	122	2.00	05-25	09-08	106	0.030
9-1	06-15	10-15	122	2.47	05-26	09-24	121	0.026
2-2	06-14	10-09	117	2.30	05-22	09-27	128	0.024
002-1	07-03	09-13	72	2.40	05-24	09-21	120	0.024

总体上参试无性系在5月24日进入地径生长速生期,9月16日速生期结束,其中,4002的速生始期最早(5月12日),2-5的速生始期最晚(6月6日),2-1的速生结束期最早(8月24日),4002的速生结束期最晚(10月4日),4002的速生始期比2-5早36 d,4002的速生结束期比2-1晚41 d,速生期持续时间最长的无性系是4002(138 d),最短的无性系是2-5(95 d),平均为116 d。速生期持续时间占总生长期的比率平均为51.36%,变幅为41.92%~62.32%。

由以上分析可知:不同的无性系高生长速生期与地径生长速生期持续时间差异较大,高生长速生始期比地径晚。苗高速生期特征点在无性系间的变异高于地径。

2.2.3 无性系不同生长期生长量变异 速生期苗

高的平均生长量为237.39 cm,生长前期的生长量平均为87.79 cm,速生期生长量是生长前期生长量的2.7倍,速生期日均生长量平均为2.20 cm,是生长前期日均生长量均值的1.6倍。地径在速生期的生长量均值为2.983 cm,生长前期的生长量平均为1.010 cm,生长后期的生长量平均为0.302 cm,速生期生长量是生长前期生长量的3倍,是生长后期生长量的9.9倍,速生期日均生长量平均为0.026 cm,分别是生长前期日均生长量均值和生长后期日均生长量均值的1.2和6.5倍。

对不同无性系同一生长期的生长量进行方差分析(表5)。高生长不同阶段的生长量以及日均生长量在无性系间差异极显著,地径生长除速生期生长量在无性系间差异达显著外,其他阶段的生长量以及日均生长量差异极显著。

表5 无性系不同阶段生长量方差分析

性状	苗高				地径			
	均值/cm	均方	F值	方差分量百分比/%	均值/cm	均方	F值	方差分量百分比/%
速生期生长量	237.39	4 537.322	6.384 **	57.37	2.983	0.137	1.603 *	13.10
速生期日均生长量	2.20	0.327	5.294 **	51.66	0.026	3.258E-05	5.318 **	51.91
生长前期生长量	87.79	696.497	6.186 **	56.45	1.010	0.040	3.400 **	37.50
生长前期日均生长量	1.37	0.070	2.840 **	32.39	0.022	2.407E-05	4.858 **	49.09
生长后期生长量	—	—	—	—	0.302	0.113	13.258 **	75.40
生长后期日均生长量	—	—	—	—	0.004	1.611E-05	7.213 **	60.83

注:“*”表示在0.01 < P < 0.05水平上差异显著,“**”表示在P < 0.01水平上差异显著,无“*”表示在P < 0.05水平上差异不显著,“—”表示没有。

从表6发现:在苗高年生长量中,生长前期生长量所占的比率为27.05%,速生期则达到72.95%;地径年生长量中生长前期所占比率为23.49%,生长后期为6.82%,速生期为69.69%,说明在楸树无

性系苗期年生长中速生期是其生长的最关键阶段,针对速生期进行合理的水肥管理将有效提高苗木的生长量,同时,速生期生长量决定了无性系间的生长差异。

表6 无性系不同生长期生长量比率的比较

性状	生长前期生长量比率/%			速生期生长量比率/%			生长后期生长量比率/%		
	均值	变幅	变异系数	均值	变幅	变异系数	均值	变幅	变异系数
苗高	27.05	39.89~23.76	11.15	72.95	76.24~60.11	4.13	—	—	—
地径	23.49	25.47~20.34	4.11	69.69	77.25~61.90	5.10	6.82	14.75~2.25	51.55

注:“—”表示没有。

2.3 无性系苗高、地径与各生长期有关参数的相关性分析

表7表明:苗高和地径均与速生始期、生长前期持续时间、生长前期生长量、速生期生长量、速生期日均生长量呈极显著的正相关关系,苗高与速生期

持续时间、生长前期日均生长量呈极显著的相关关系,地径与生长后期持续时间呈显著的相关关系,和生长后期生长量、生长后期日均生长量呈极显著的相关关系,而与速生期持续时间呈显著的负相关关系。

表7 苗高、地径与各生长期有关参数的相关性分析

项目	苗高	地径	苗高		地径	
			速生期生长量	速生期日均生长量	速生期生长量	速生期日均生长量
生长前期持续时间	0.496 **	0.574 **	-	-	-	-
速生期持续时间	0.395 **	-0.441 *	0.524 **	-0.296	0.026	-0.835 **
生长后期持续时间	-	0.410 *	-	-	-	-
速生始期	0.531 **	0.610 **	-	-	-	-
速生结束期	0.082	-0.140	-	-	-	-
速生点	0.270	0.147	-	-	-	-
生长前期生长量	0.744 **	0.928 **	-	-	-	-
速生期生长量	0.965 **	0.804 **	-	0.655 **	-	0.518 **
生长后期生长量	-	0.711 **	-	-	-	-
生长前期日均生长量	0.492 **	0.170	-	-	-	-
速生期日均生长量	0.733 **	0.811 **	0.655 **	-	0.518 **	-
生长后期日均生长量	-	0.784 **	-	-	-	-

注：“*”表示在 $0.01 < P < 0.05$ 水平上差异显著，“**”表示在 $P < 0.01$ 水平上差异显著，无“*”表示在 $P < 0.05$ 水平上差异不显著，“-”表示未进行相关性分析。

3 结论与讨论

苗期生长模式受到高度的遗传控制^[18-19]，并且苗木年生长过程可以划分为苗木成活期、生长前期、速生期和生长后期^[20-21]。与其它树种的年生长过程划分结果不同，楸树无性系的高生长过程可划分为2个阶段，即生长前期和速生期，因为速生期结束时即开始封顶，所以高生长没有生长后期；地径生长过程可划分为：生长前期、速生期和生长后期，即封顶后仍有地径生长。在参试无性系中，9-1、1-4、1-1和2-7生长表现最好，其苗高生长量排在前4位，并且它们的地径生长量均高于平均值。无性系的苗高速生始期为5月27日至7月3日，速生结束期为9月12日至10月16日，速生期持续时间变幅为72~128 d，速生期日均生长量变幅为1.70~2.88 cm，速生期生长量比率变幅为60.11%~76.24%；地径速生始期为5月2日至6月6日，速生结束期为8月24日至10月4日，速生期持续时间变幅为95~138 d，速生期日均生长量变幅为0.021~0.032 cm，速生期生长量比率变幅为61.90%~77.25%。总体上，苗高速生期时间点在无性系间的变异程度稍高于地径，所以，楸树的生长模式在无性系水平上存在较为丰富的变异，这可能是无性系生长存在极显著差异的原因之一。

对林木生长量与生长物候相关性方面的研究较多，但结论相差较大。如Jayawickrama等^[22]研究表明，火炬松树高和直径与生长速率的相关性较高，与生长物候相关性较低；而通过对温带地区白杨杂种

无性系的研究表明，高生长量在很大程度上是由长生长期决定的^[23]，同时Veronica等^[24]通过对火炬松和湿地松生长节律研究发现，生长持续时间与生长结束期的相关性高于生长开始期。本文通过对苗高、地径与不同生长期的相关性分析可知，虽然年生长量与各生长期均有较强的相关性，但与速生期生长量、速生期日均生长量、生长前期生长量的相关性最高，均达到0.73以上；所以，楸树在无性系水平上的生长差异在一定程度上是由速生期生长量、速生期日均生长量或生长前期生长量差异所致。

在林木年生长过程中，生长前期生长量和速生期生长量的测定不具备可操作性，只能通过估算得出，而速生期日均生长量可通过测定速生期内一段时间的生长量而求得，具有较强的实用性。因此，用速生期日均生长量来预估苗木年生长量较为可靠，并且可行，可作为优良无性系的苗期间接选育性状。

参考文献：

- [1] 郭丛俭. 楸树栽培[M]. 北京: 中国林业出版社, 1988
- [2] 董凡. 楸树扦插繁殖技术[J]. 甘肃科技, 2007, 23(6): 222-224
- [3] 韩恩贤, 张卫兵. 楸树育苗造林技术的研究[J]. 西北林学院学报, 2002, 17(1): 19-23
- [4] 王改萍, 岑显超, 何力, 等. 水分胁迫对楸树苗木光合特性的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2007, 31(6): 57-60
- [5] 马雪范, 王秋霞, 翟文继, 等. 南阳楸树优良家系和优良无性系收集保存与利用研究[J]. 河南林业科技, 2010, 30(1): 4-5
- [6] 赵鲲, 王军辉, 焦云德, 等. 楸树杂种无性系苗期生长参数的分析研究[J]. 河南林业科技, 2010, 30(3): 1-3

- [7] 王秋霞, 翟文继, 王平, 等. 南阳楸树优良家系苗期对比试验[J]. 湖北林业科技, 2010(3): 27-29
- [8] 黄秋萍. 楸树优良家系苗期选择研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(36): 18219-18220
- [9] 赵坤, 吴际友, 程勇, 等. 楸树无性系嫩枝扦插繁殖的研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2010, 30(7): 66-69
- [10] Lin Juan, Wu LiHua, Liang Jing, *et al.* Effect of different plant growth regulators on callus induction in *Catalpa bungei*[J]. African Journal of Agricultural Research, 2010, 5(19): 2699-2704
- [11] 江荣翠, 彭方仁, 谭鹏鹏, 等. 楸树体细胞胚胎发生的研究[J]. 南京林业大学学报, 自然科学版, 2010, 34(2): 15-18
- [12] 王臣, 虞木奎, 张翠, 等. 盐胁迫下3个楸树无性系光合特征研究[J]. 2010, 23(4): 537-543
- [13] 岑显超, 彭方仁. 水分胁迫条件下不同品种(类型)楸树的叶绿素荧光特性研究[J]. 福建林业科技, 2010, 37(2): 5-9
- [14] 焦云德, 熊贵来, 赵鲲. 楸树优良家系苗期选择研究[J]. 河南林业科技, 1997, 17(2): 20-23
- [15] 杜超群, 许业洲, 胡兴宜, 等. 楸树优良无性系组培苗苗期试验研究[J]. 湖北林业科技, 2010(5): 23-25
- [16] 周元满, 谢正生, 刘素青, 等. Logistic模型在校树生长过程估计中的应用[J]. 南京林业大学学报, 自然科学版, 2004, 28(6): 107-110
- [17] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002
- [18] Gwaze D, Bridgwater F, Williams C. Genetic analysis of growth curves for woody perennial species, *Pinus taeda* L [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2002, 105(4): 526-531
- [19] Notivol E, Garcia-Gil M R, Alia R, *et al.* Genetic variation of growth rhythm traits in the limits of a latitudinal cline in Scots pine [J]. Canadian Journal of Forest Research, 2007, 37(3): 540-551
- [20] 游水生, 王海为, 廖祖辉. 锥栗1年生播种苗的年生长规律[J]. 福建林学院学报, 2003, 23(2): 102-105
- [21] 秦光华, 乔玉玲, 孟昭和. 美洲黑杨新无性系 T26 和 T66 苗期年高生长节律的研究[J]. 江苏林业科技, 2002, 29(4): 6-8
- [22] Jayawickrama K J S, McKeand S E, Jett J B. Phenological variation in height and diameter growth in provenances and families of loblolly pine[J]. New Forests, 1998, 16(1): 11-25
- [23] Yu Q, Tigerstedt P M A, Haapanen M. Growth and phenology of hybrid aspen clones (*Populus tremula* L. \times *Populus tremuloides* Michx.) [J]. Silva Fennica, 2001, 35(1): 15-25
- [24] Veronica I E, Timothy A M, Timothy L W, *et al.* Genetic variation in basal area increment phenology and its correlation with growth rate in loblolly and slash pine families and clones [J]. Canadian Journal of Forest Research, 2006, 36(4): 961-971