

一球悬铃木无性系苗期生长性状遗传变异与选择研究

蔡晓明¹, 卢宇蓝², 施季森³

(1. 川北医学院 基础医学院, 四川 南充 637007; 2. 复旦大学 生命科学学院, 上海 200433; 3. 南京林业大学, 江苏 南京 210037)

摘要:无性系生长性状是无性系选育的重要指标,对50个一球悬铃木初选无性系进行苗期生长分析,结果表明:树高、地径、体积在不同无性系间达到极显著($P < 0.01$)差异水平。利用 Logistic 方程拟合当年生苗高、地径、叶片数等年生长节律发现,无性系呈现慢、快、慢的阶段生长节律。综合分析苗期生根、生长性状,初步选出 NY36、SJ8、SJ36、ZJ9、SX1、ZJ36、NY44、DY10、DY36、ZJ14、ZJ29、DY14、DY16、SX36、NY14 等生长优、生长性状重复力高的无性系,它们的平均遗传增益为 17.0%~33.5%。

关键词:一球悬铃木;无性系;生长性状;遗传变异

中图分类号:S722.33

文献标识码:A

文章编号:1001-7461(2009)03-0063-05

Genetic Variations and Growth Traits on Clones of *Platanus occidentalis* during Seeding Stage

CAI Xiao-ming¹, LU Yu-lan², SHI Ji-sen³

(1. North Sichuan Medical College, Nanchong, Sichuan 637007, China; 2. Life Science School, Fudan University, Shanghai 200433, China;

3. Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037, China)

Abstract: The growth traits of 50 preliminarily selected clones during their seeding stages were investigated. The results showed that significant differences ($P < 0.01$) among different clones in traits, such as height, ground diameter and volume. The fitting of the growth rhythms of the seedling height, ground diameter and number of leaves with Logistic equation indicated that these clones exhibited a staggered slow-fast-slow growth rhythm. After considering over their root growth and other growth traits, 15 clones which grew well and had a higher genetic repeatability with mean genetic gains between 17.0% and 33.5% were selected: NY36, SJ8, SJ36, ZJ9, SX1, ZJ36, NY44, DY10, DY36, ZJ14, ZJ29, DY14, DY16, SX36, NY14.

Key words: *Platanus occidentalis*; clone; growth trait; genetic variation

一球悬铃木(*Platanus occidentalis*)为速生乔木,其树型好、姿态优美、冠幅大、遮荫效果好;抵抗空气污染能力较强;对土壤条件要求不高,容易移植成活,且繁殖容易,生长迅速^[1-3]。无性系生长性状是无性系选育的重要指标之一,其生长特性、遗传变异和遗传参数估算对无性系选育具有重要意义^[4-5]。本试验研究了50个无性系苗期生长性状的遗传变异规律,并对初选优良无性系的生长性状进行了初步评价。

1 材料与方法

1.1 材料

材料为不同年份的扦插苗,来源于1999年引进的47个一球悬铃木种源一家系联合试验林。5~8 a生时,按优良种源选择、优良家系选择和优良单株选择相结合的方法选择,并繁殖成50个无性系。无性系田间生长试验地位于南京林业大学校园内苗圃,属北亚热带季风气候,四季分明,雨量充沛。常

年平均气温 15.3℃,夏季最高气温 43.0℃,冬季最低气温 -14.0℃,年均降水量 1 033.0 mm,其中 60%~70%降水集中在 6—9 月(汛期),土壤为黄棕壤^[6-7]。

1.2 方法

无性系扦插成活后,每年按不同无性系选出大小规格基本一致的植株定植,田间试验按完全随机区组巢式试验设计,每个无性系设 5 次重复,每个重复 4 株小区。栽植的株行距为 50 cm×50 cm。对当年扦插的苗木,生长期按不同无性系每月调查高度、叶片增加数、地径等生长指标。对 2~3 a 生定植苗,每年冬季调查植株高度、地径、胸径等指标。以近似圆锥形计算其材积。

1.3 数据分析

对植株高度、地径、叶片数、体积等进行分析时,方差分析采用 SAS GLM 软件,方差分量估算采用 SAS VARCOMP 过程完成,线性模型为:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_j \quad (1)$$

式中: μ 为总体平均值, α_i 为无性系效应, ϵ_j 为随机误差。

重复力(H^2)的估算公式为:

$$H^2 = \sigma_e^2 / \sigma_p^2 \quad (2)$$

式中: σ_e^2 为无性系遗传方差分量, σ_p^2 为总的表型方差。

无性系年生长规律通过 SAS NLIN 过程完成,曲线效果相关指数(R^2)通过 SAS REG 过程完成。无性系生长性状的多重比较分析为最小显著差数法(LSD, $\alpha=0.05$),通过 SAS MEANS 过程完成;无性系生长性状的主成分分析由 SAS PRINCOMP 完成^[8]。

2 结果与分析

2.1 无性系苗期生长形态变异

一球悬铃木 50 个无性系叶片变异最为丰富,叶片 3~6 浅裂居多,裂片宽三角形,具粗齿,下面有绒毛,叶基呈三角状、截形或心形,有的呈羽状,有的呈蝴蝶结形(图 1)。叶柄长 4~7 cm,基部膨大包含幼芽,叶、芽均互生,具有叶、芽对生突变枝条(图 2)。且突变枝的颜色明显不同,呈淡黄色。

2.2 无性系扦插苗生长性状遗传变异

2.2.1 无性系生长性状方差分析 一球悬铃木无性系当年扦插苗高为 23.0~155.0 cm,年均 94.2 cm;地径为 0.7~1.8 cm,平均为 1.2 cm;叶片数 10~27 片,平均 16 片;材积年平均 3.04 cm³。方差分析(表 1)表明,树高、地径在不同无性系间差异达

到极显著($P<0.01$)差异水平,区组间无显著差异。材积在不同无性系间、区组间均无显著差异。一球悬铃木无性系 2 a 生定植苗高平均 213.3 cm,变幅为 130.0~353.0 cm;地径平均 2.5 cm,变幅为 1.7~4.3 cm;材积平均 32.00 cm³,变幅为 14.00~91.33 cm³。3 a 生定植苗高平均 341.2 cm,变幅为 251.0~520.0 cm;地径平均 4.1 cm,变幅为 3.3~5.8 cm;材积平均 133.00 cm³,变幅为 87.33~227.00 cm³。方差分析(表 1)表明,树高、地径、材积在不同无性系间差异达到极显著($P<0.01$)水平,区组间无显著差异。



图 1 无性系叶片基部形态变异

Fig. 1 Morphological variations of clone leaf base

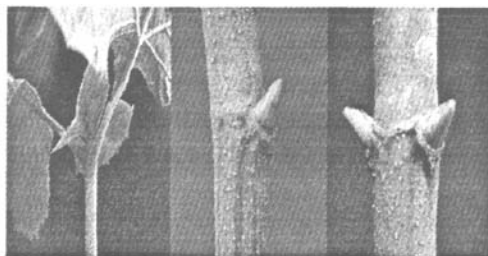


图 2 无性系变异枝的形态变异(对生叶、对生芽与互生芽)

Fig. 2 Shape of clone transient branch (opposite leaf, opposite bud and alternate bud)

2.2.2 无性系生长性状遗传参数 由表 2 知,1 a 生扦插苗表型变异系数较大,以后 2 a 逐渐变小,为 14.82%~108.70%;遗传变异系数随树龄增加而减小,为 11.79%~73.58%;各性状无性系重复力为 45.81%~65.28%,达到中等重复力水平。表明在无性系生长 3 a 后,苗高、地径、材积的表型变幅缩小,预示早期选择有可能获得较好的选择效果。

2.2.3 无性系树高、地径、材积多重比较 无性系各性状的方差分析结果(表 1)表明,50 个无性系的苗高、胸径、材积生长量在无性系间均存在极显著差异。以 3 a 生单株材积数据对 50 个无性系进行排序和多重比较(表 3),共有 25 个无性系的材积生长超过总体材积平均值,生长最优的是 SJ8 号无性系,其平均单株材积、树高、胸径分别为 159.1 cm³、3.668 m、4.345 cm,是总体平均值的 119.35%、107.5%、105%。

2.2.4 1 a 生扦插苗苗高、地径、叶片数年生长节律

研究表明,无性系苗高、地径、叶片数等的速生期 59%。且无性系苗高、地径、叶片数等生长量与温度在 6 月中旬至 8 月初,其生长量约占 51.36%~ (x_1)、降水(x_2)的关系密切(表 4)。

表 1 一球悬铃木无性系定植苗生长性状方差分析^①

Table 1 Variance analysis of planting stock growth traits of *P. occidentalis* clones

性 状	变异来源	1 a 生			2 a 生			3 a 生		
		df	MS	F	df	MS	F	df	MS	F
树 高	无性系间	49	3 267.38	2.32**	49	2 464.80	2.50**	49	2 731.31	2.46**
	区组间	4	2 200.86	1.56	4	2 282.50	2.31	4	1 505.57	1.35
	误差	946	1 407.08		946	987.64		946	1 111.75	
地 径	无性系间	49	0.32	2.37**	49	0.32	2.54**	49	0.38	2.84**
	区组间	4	0.31	2.29	4	0.05	0.36	4	0.26	1.96
	误差	946	0.13		946	0.13		946	0.13	
材 积	无性系间	49	6.72-5E	1.85**	49	8.00-3E	2.35**	49	7.46-3E	2.88**
	区组间	4	3.62-5E	0.99	4	3.00-3E	0.89	4	3.30-3E	1.31
	误差	946	3.64-5E		946	3.40-3E		946	2.60-3E	

①*表示 $\alpha=0.05$ 显著性水平,**表示 $\alpha=0.01$ 显著性水平。

表 2 一球悬铃木无性系生长性状遗传参数

Table 2 Genetic parameter analysis of growth traits of *P. occidentalis* clones

性状	遗传参数	1 a 生	2 a 生	3 a 生
树 高	遗传变异系数/%	46.39	18.02	11.79
	表型变异系数/%	61.47	23.28	15.31
	无性系重复力/%	56.93	59.93	59.30
	单株重复力/%	20.91	23.02	22.56
地 径	遗传变异系数/%	38.93	17.94	11.94
	表型变异系数/%	51.25	23.04	14.82
	无性系重复力/%	57.72	60.58	64.84
	单株重复力/%	21.45	23.51	26.95
体 积	遗传变异系数/%	73.58	44.71	35.54
	表型变异系数/%	108.70	59.01	42.76
	无性系重复力/%	45.81	57.48	65.28
	单株重复力/%	14.47	21.28	27.32

表 3 一球悬铃木无性系树高、胸径和材积多重比较

Table 3 Multiple comparison of tree height, breast diameter and volume of *P. occidentalis* clones

无性系	材积/cm ³	LSR	无性系	树高/cm	LSR	无性系	地径/cm	LSR
SJ8	159.1	a	ZJ14	369.60	a	DY10	4.395	a
ZJ14	156.5	a	SJ8	366.80	ab	DY14	4.375	ab
DY16	156.4	ab	ZJ29	357.40	abc	DY16	4.370	ab
DY14	153.1	ab	SX1	357.10	abc	SJ8	4.345	abc
DY10	153.0	abc	NY44	356.00	abcd	SJ36	4.325	abcd
ZJ9	152.7	abc	NY14	355.90	abcd	ZJ9	4.315	abcde
ZJ36	150.8	abcd	DY36	355.90	abcd	DY36	4.300	abcdef
SJ36	150.6	abcde	ZJ9	355.20	abcde	NY36	4.300	abcdef
NY36	150.4	abcde	NY36	354.45	abcde	ZJ36	4.280	abcdefg
DY36	149.8	abcdef	SJ36	354.35	abcde	SX36	4.270	abcdefgh
SX1	147.6	abcdefg	DY16	351.85	abcdef	NY44	4.260	abcdefgh
NY44	146.7	abcdefgh	DY14	350.75	abcdef	ZJ10	4.255	abcdefghi
SX36	146.0	abcdefghi	ZJ36	350.45	abcdef	SX1	4.255	abcdefghi
NY14	145.7	abcdefghi	ZJ41	348.55	bcddefg	NY14	4.245	abcdefghij
ZJ29	145.0	abcdefghij	SX9	347.35	bcddefgh	ZJ7	4.230	abcdefghij
ZJ10	140.4	abcdefghijk	SX36	346.60	bcddefgh	SJ30	4.230	abcdefghij
SJ30	140.4	abcdefghijk	DY10	346.00	cdefgh	ZJ14	4.230	abcdefghij
SJ14	139.8	abcdefghijk	SJ14	344.55	cdefghi	SJ14	4.215	abcdefghijk
ZJ41	139.0	abcdefghijk	DY2	342.95	cdefghi	SJ31	4.195	abcdefghijkl
SX9	138.2	abcdefghijk	SJ7	342.80	cdefghi	SJ7	4.190	abcdefghijkl
SJ7	137.8	bcddefghijk	NY38	342.70	cdefghi	ZJ29	4.185	abcdefghijkl
SJ31	137.7	bcddefghijk	SJ30	341.85	cdefghij	ZJ41	4.170	abcdefghijkl
ZJ7	135.0	cdefghijkl	NY18	341.35	cdefghij	SX6	4.155	bcddefghijklm
SX6	135.0	cdefghijkl	SJ31	340.40	cdefghijk	SJ28	4.155	bcddefghijklm
SJ28	133.7	cdefghijklm	SX6	340.05	cdefghijk	SX35	4.150	bcddefghijklm

表 4 一球悬铃木无性系苗高、地径、叶片数生长与温度、降水的关系

Table 4 Relationships of seedling height, ground diameter and leaf number of *P. occidentalis* clones with temperature and precipitation

项目	数学模型	相关系数(R)	F	P
树高	$Y = -0.5148 + 0.0287x_1 + 0.0026x_2$	0.9459	34.95**	0.0029
地径	$Y = -1.3631 + 0.1729x_1 - 0.0189x_2$	0.9801	49.13**	0.0199
叶片数	$Y = -1.3606 + 0.1729x_1 - 0.0184x_2$	0.9800	48.89*	0.0200

对当年扦插的苗木,每月调查各无性系树高、地径、叶片数增长情况,以分析不同无性系的年生长节律。将每月调查的 50 个无性系的各 20 株树高、地径、叶片数观测值平均,利用 Logistic 方程 $Y = K/[1 + e^{(A+Bx)}]$ 拟合树高、地径、叶片数年生长节律,其相关指数(R^2)均在 0.95 以上,拟合效果显著(表

5),均达极显著($P < 0.01$)水平。各无性系的苗高、地径、叶片数等的生长在生长前期、速生期和生长后期呈现出慢、快、慢的节律,具有明显的阶段性特点,因此应加强对苗木在速生期内的管理,促进其生产更多生物量。

表 5 一球悬铃木无性系扦插苗树高、地径、叶片生长拟合方程及相关系数

Table 5 Fitted equation and related coefficients of cutting seedling tree height, breast diameter and leaf number growth of *P. occidentalis* clones

无性系	树高				地径				叶片数			
	K	A	B	R ²	K	A	B	R ²	K	A	B	R ²
SJ7	93.48	29.63	0.9413	0.977	1.35	8.71	0.6632	0.982	16.08	13.63	0.8025	0.985
SJ8	121.34	32.22	0.9604	0.978	1.40	8.07	0.5948	0.984	21.32	19.13	0.7927	0.990
SJ14	96.17	29.97	0.9336	0.980	1.26	6.39	0.5324	0.980	17.48	14.59	0.7733	0.990
SJ26	94.54	31.42	0.9548	0.974	1.23	7.39	0.6658	0.983	16.26	20.66	0.8418	0.988
SJ28	100.20	31.29	0.9523	0.978	1.49	7.91	0.5194	0.975	16.56	20.56	0.8388	0.986
SJ30	87.53	31.40	0.9537	0.977	1.13	9.39	0.6650	0.979	14.49	16.96	0.8296	0.988
SJ31	98.21	30.86	0.9563	0.973	1.31	7.69	0.6230	0.986	17.38	23.11	0.8521	0.985
SJ32	95.45	30.54	0.9511	0.977	1.19	5.67	0.5239	0.985	15.36	21.01	0.8207	0.987
SJ35	97.26	31.03	0.9544	0.973	1.23	7.39	0.6558	0.983	17.38	23.11	0.8521	0.985
SJ36	124.89	29.31	0.9481	0.977	1.54	9.28	0.6468	0.985	22.57	20.64	0.8166	0.992
ZJ5	90.07	30.69	0.9498	0.968	1.36	6.62	0.4957	0.982	14.55	18.29	0.8031	0.989
ZJ7	84.51	30.64	0.9511	0.974	1.31	7.69	0.6228	0.986	14.07	18.55	0.8400	0.982
ZJ9	121.33	30.67	0.9491	0.972	1.46	8.99	0.6730	0.985	20.85	19.64	0.8380	0.993
ZJ10	90.21	31.94	0.9591	0.975	1.24	6.95	0.6200	0.988	15.04	16.27	0.7911	0.991
ZJ14	121.35	29.64	0.9394	0.974	1.31	6.96	0.5803	0.993	20.01	21.16	0.8288	0.990
ZJ18	94.04	31.79	0.9542	0.974	1.26	6.39	0.5324	0.980	15.17	20.08	0.8131	0.991
ZJ29	109.34	31.16	0.9588	0.973	1.27	6.79	0.5814	0.988	19.23	27.09	0.8872	0.990
ZJ34	92.09	30.93	0.9502	0.971	1.11	8.11	0.6672	0.987	15.88	18.37	0.8026	0.990
ZJ36	131.68	32.57	0.9676	0.971	1.57	9.79	0.6830	0.989	22.92	22.46	0.8459	0.991
ZJ41	101.07	30.90	0.9567	0.970	1.24	6.95	0.6200	0.988	16.67	17.91	0.8462	0.985
SX1	117.75	31.95	0.9611	0.975	1.11	5.82	0.6195	0.989	20.79	18.65	0.7912	0.994
SX3	88.09	30.81	0.9567	0.975	1.18	6.46	0.6156	0.987	14.91	19.31	0.8706	0.985
SX5	76.06	30.99	0.9513	0.972	1.11	5.82	0.6195	0.989	13.31	15.94	0.7618	0.986
SX6	120.94	33.14	0.9720	0.971	1.29	7.31	0.6296	0.991	18.23	16.85	0.7597	0.991
SX7	90.92	31.82	0.9635	0.969	1.13	6.08	0.6041	0.980	15.63	19.06	0.8353	0.986
SX9	103.62	31.81	0.9675	0.973	1.25	10.38	0.6774	0.974	19.45	16.97	0.7326	0.987
SX11	88.76	30.55	0.9502	0.974	1.19	5.67	0.5239	0.985	17.24	18.74	0.7321	0.977
SX12	97.06	31.62	0.9607	0.975	1.11	5.82	0.6195	0.989	15.86	16.32	0.7590	0.990
SX35	84.05	31.31	0.9600	0.969	1.27	6.79	0.5814	0.988	14.31	14.80	0.7542	0.981
SX36	110.16	31.69	0.9537	0.971	1.35	8.71	0.6632	0.982	18.76	19.36	0.8014	0.986
NY5	80.04	32.60	0.9906	0.973	1.22	6.43	0.5689	0.982	14.09	14.92	0.7887	0.990
NY6	80.47	32.75	0.9609	0.966	1.20	6.79	0.6061	0.977	13.99	19.19	0.8437	0.986
NY8	85.82	31.62	0.9533	0.968	1.09	8.49	0.7138	0.983	14.09	14.92	0.7887	0.990
NY14	98.66	31.00	0.9598	0.973	1.31	7.69	0.6228	0.986	17.79	16.16	0.7567	0.987
NY18	94.55	31.77	0.9587	0.973	1.29	7.19	0.5767	0.978	17.38	23.11	0.8521	0.985
NY26	75.09	30.74	0.9491	0.970	0.98	6.96	0.5914	0.976	12.75	14.66	0.7908	0.988
NY36	97.73	29.46	0.9376	0.977	1.17	8.70	0.6721	0.988	17.23	14.25	0.6942	0.982
NY37	86.72	29.78	0.9414	0.974	1.02	6.56	0.6099	0.986	14.75	19.10	0.8095	0.985
NY38	94.38	31.06	0.9596	0.975	1.13	6.08	0.6041	0.980	17.14	20.45	0.8347	0.993
NY44	123.47	31.29	0.9511	0.971	1.35	8.71	0.6632	0.982	21.35	19.71	0.8345	0.992
DY2	95.15	30.21	0.9471	0.975	1.02	6.56	0.6099	0.986	15.88	18.37	0.8026	0.990
DY6	91.86	30.25	0.9462	0.976	1.16	6.71	0.6589	0.983	16.90	14.42	0.7188	0.980
DY8	93.98	29.97	0.9349	0.969	1.19	5.67	0.5239	0.985	16.19	18.29	0.7989	0.988
DY10	108.35	30.21	0.9447	0.977	1.59	10.39	0.6499	0.987	18.98	16.74	0.7799	0.992
DY14	96.74	30.59	0.9506	0.973	1.52	9.49	0.6414	0.990	17.17	14.92	0.7481	0.984
DY16	116.98	32.36	0.9604	0.970	1.35	8.71	0.6632	0.982	20.80	21.19	0.8065	0.988
DY17	71.04	33.39	0.9798	0.970	1.02	6.56	0.6099	0.986	12.36	12.68	0.7428	0.991
DY18	98.29	30.84	0.9553	0.974	1.29	7.19	0.5767	0.978	15.63	19.06	0.8533	0.986
DY36	116.24	32.58	0.9557	0.975	1.68	10.76	0.6531	0.992	20.64	21.55	0.8482	0.989
DY38	80.24	32.76	0.9608	0.970	1.05	9.08	0.7036	0.976	16.36	13.84	0.7115	0.986

2.3 优良无性系评选

2.3.1 无性系主成分分析 对一球悬铃木无性系树高、地径、材积等指标进行主成分分析,采用前2个主成分(材积、树高)作图(图3),50个无性系的苗期生长性状散点大致可以分为6类,以第1类和第2类生长性状优良,它们是 NY36、SJ8、SJ36、ZJ9、SX1、ZJ36、NY44、DY10、DY36、ZJ14、ZJ29、DY14、DY16、SX36、NY14 等16个无性系。

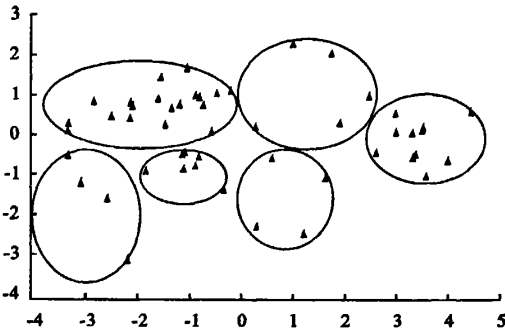


图3 无性系第1主成分(体积)对第2主成分(树高)散点图

Fig.3 Scattergraph of first two principal components

2.3.2 无性系综合评分 对50个无性系的生长性状、生根性状按位次分别排列,其中生根时间由小到大排列,这是因为生根时间越早,个体生长产量越大,因而可进行逆向选择;其余性状均为由大到小排列。每项的第一位赋予50分,第二位赋予49分,依此类推,最后一位赋予1分。然后将每一无性系各项得分相加并排序,以此评定各无性系的优劣(表6),排名前15位的为 NY36、SJ8、SJ36、ZJ9、SX1、ZJ36、NY44、DY10、DY36、ZJ14、ZJ29、DY14、DY16、SX36、NY14, 这些无性系的生长、生根性状均较优良。

3 结论与讨论

对一球悬铃木50个初选无性系进行苗期生长试验表明,树高、地径、材积在不同无性系间达到极显著($P<0.01$)差异水平。利用 Logistic 方程拟合当年生苗高、地径、叶片数等年生生长节律发现,无性系呈现慢、快、慢的阶段性生长节律。因此,应加强对苗木在速生期内的管理,促进其快速生长。综合分析苗期生根、生长性状,初步选出 NY36、SJ8、SJ36、ZJ9、SX1、ZJ36、NY44、DY10、DY36、ZJ14、ZJ29、DY14、DY16、SX36、NY14 等生长优良的无性系15个,其平均遗传增益为17.0%~33.5%。

表6 一球悬铃木无性系综合评分

Table 6 Comprehensive evaluation of *P. occidentalis* clones

无性系	综合得分值	排名	无性系	综合得分值	排名
NY36	338	1	SJ31	191	26
SJ8	330	2	DY38	187	27
SJ36	327	3	SJ26	186	28
ZJ9	322	4	NY18	184	29
SX1	306	5	SJ35	184	30
ZJ36	305	6	NY38	182	31
NY44	302	7	ZJ41	177	32
DY10	295	8	ZJ7	175	33
DY36	295	9	DY2	170	34
ZJ29	295	10	NY8	168	35
DY14	285	11	DY8	165	36
SX36	276	12	DY18	148	37
ZJ14	272	13	SX3	140	38
DY16	250	14	NY6	138	39
NY14	249	15	SX12	138	40
SJ14	248	16	NY37	130	41
SX6	221	17	NY26	129	42
DY6	218	18	DY17	125	43
SJ7	203	19	SX35	123	44
SJ30	202	20	ZJ34	122	45
ZJ18	201	21	NY5	115	46
ZJ10	200	22	ZJ5	111	47
SX9	198	23	SX7	110	48
SX11	197	24	SJ32	98	49
SJ28	191	25	SX5	78	50

无性系早期选择的关键是如何确定选择的年龄^[7,9]。本研究无性系树龄为3a,存在选择时间偏早的问题。这些无性系的生长性状是否稳定,尚须进一步观察验证。

参考文献:

[1] 蔡晓明. 北美一球悬铃木无性系选育及其体胚发生等快繁技术研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2008.

[2] 蔡晓明, 杨立伟, 施季森. 北美悬铃木无性系间组胚特性差异研究[J]. 江苏农业科学, 2008(4), 89-93.

[3] 蔡晓明, 施季森. 北美悬铃木无性系生根特性遗传差异研究[J]. 林业科技开发, 2008, 22(4), 13-17.

[4] 王明庥. 论无性系林业的概念和应用[J]. 南京林业大学学报, 1993, 17(1), 1-5.

[5] 丁振芳, 王景章. 日本落叶松家系早期选择技术[J]. 东北林业大学学报, 1997, 25(3), 65-67.

[6] 江文波. 北美一球悬铃木种源内家系生长遗传变异及遗传多样性[D]. 南京: 南京林业大学, 2004.

[7] 杨立国. 北美一球悬铃木无性系选育及相关性状分析研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2006.

[8] 黄少伟, 谢维辉. 实用 SAS 编程与林业试验数据分析[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2001.

[9] 胡德活, 林绪平. 杉木无性系早-晚龄相关性及早选研究[J]. 林业科学研究, 2001, 14(2), 168-175.