

刺槐无性系G×E互作的研究

——遗传稳定性和生长适应性的评价*

顾万春

(中国林业科学研究院林业研究所)

摘要 总结初选刺槐48个无性系8年的多点试验林资料,对其中6个地点共有的13个无性系进行G×E互作分析。利用Eberhart等人的性状值回归参数 b_i 和 s_d^2 , Tai's的结构模型参数 $\hat{\alpha}_i$ 和 $\hat{\lambda}_i$,评价基因型稳定性和生长适应性,结合生产力选择无性系。为不同地点选出优良无性系共10个,平均材积增益61%。

关键词 无性系;遗传稳定性;生长适应性

刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)无性系育种从表型选择着手,选择优树和超级苗,经无性系繁殖率筛选和早期生长选择,初选出的无性系投入多点试验,根据多点试验资料选择出优良无性系10个,单点试验选择优良无性系3个。前后历时14年。本文报道6个地点,共有13个无性系G×E互作分析,以及遗传稳定性、生长适应性和生产力的综合评价。

1 试材和方法

1.1 试材和试验设计

在16~23年生2.1万亩刺槐的优良林分中,选出优树263株和子代超级苗200株。平均入选率为1%~3%。中选463个优良单株插根苗,经2~3年重复无性系繁殖率和生长量选择¹⁾,插根成活率在85%以上,苗高生长量大于1个标准差($\bar{x}+1s$)的无性系有48个,入选率10.4%。被选无性系在河北省漳河林场育苗,1982年与1983年将苗木运至7省(区)、市的8个地点营造试验林。统一采用随机区组设计,4~7次重复,4株小区,4m×2m造林密度,各点用生产用苗的混合无性系苗作CK。满足统计分析的6个地点(表1),4次重复,各点共有无性系12个,加CK共13个处理,8年生试验资料。

1.2 统计分析方法

各地点用树高、胸径、单株材积的小区均值,材积形数0.37。在G×E互作分析的诸方法中^[1],应用Tai's的结构模型^[2]和Eberhart等人回归模型^[6]。Tai's模型是在互作效应值基础上的结构回归分析,被认为是基因型与环境的互作关系;Eberhart模型是各点性状值与环境的回归分析,是表型与环境的互作关系。遗传参数估算按照相应模型的方差组成分解

本文于1991年6月27日收到。

*刺槐种源选种研究组主要参加人有:王全元、张英脱、杨继敏、吴理安、周士万、乔宏治、杜灿章、牛金星、孙三虎、杨宝奎、何仙珍、刘德安、吴彪、赵毓桂、魏昌振。胡新生、王维胜、李斌、郭文英协助资料整理和电算,1)顾万春等,1983,刺槐插根育苗方法的研究与利用,研究报告,83(1):43~49。

计算。

表1 试验地基本生态条件

试 验 地	地 理 坐 标			气 象 生 态 因 子 ^①			立 地 条 件 与 栽 培 措 施
	北 纬 (°')	东 经 (°')	海 拔 高 (m)	年 均 温 (℃)	年 降 水 (mm)	无 霜 期 (d)	
内蒙磴口(1)	40 3	107 0	1 055.1	7.4	148.6	161.7	细沙土, 土层厚, 每年黄河淤灌3~4次
山西怀仁(7)	39 9	113 3	1 131.7	6.5	384.0	151.5	粉沙土, 地下水10m以下, 无灌溉条件
天津武清(13)	39 2	117 1	4.3	12.2	569.9	200.1	沙壤土, 土层厚, 前2年每年灌水1~2次
秦皇岛市(14)	39 7	119 7	13.3	10.9	711.8	197.8	海滨沙地, 地下水2m左右, 无灌水条件
河北磁县(16)	36 3	114 4	75.5	13.6	604.6	197.5	河床细沙土, 地下水8m, 年灌水1~2次
江苏睢宁(25)	33 9	119 9	21.7	13.8	932.1	223.8	沙壤土, 丢弃农耕地, 无灌水条件

① 据近20年气象资料平均值。

2 试验结果分析

2.1 G×E 互作分析结果

6地点共有的13个无性系方差分析结果认为树高、胸径和单株材积的差异都极显著, 环境(地点)间差异极显著, 无性系×环境互作也都极显著。表2表明各试验点环境因子存在较大差异, 无性系在不同环境下的表型值的相对位次不同。

表2 刺槐无性系G×E互作方差分析结果

变 异 来 源	自 由 度	均 方 值 ^①		
		树 高	胸 径	单 株 材 积
总	311			
品 种	12	11.76**	14.93**	1.58E-03**
环 境	5	669.50**	672.29**	6.51E-02**
品种×环境	60	3.42**	6.34**	6.53E-04**
重复×环境	18	0.72	1.18	1.20E-04
机 误	216	0.66	0.57	8.88E-05

①简化掉F检验; **表示 $\alpha=0.01$ 水平差异显著; 根据统计模型I和III检验结果一致。

2.2 无性系表型值与环境交互作用的剖析

在确认刺槐无性系存在G×E互作的前提下, 根据Eberhart模型, 进行无性系表型值对环境反应的互作分析(表3), 估算参数 b_i 和无性系稳定性参数 S_d^2 (表4)。表3看到, 相

表3 刺槐无性系表型值(估算 b_i 和 s_d^2 参数)的方差分析

变 异 来 源	自 由 度	树 高	胸 径	单 株 材 积
总 的	77			
品 种	12	2.94**	3.73**	3.95E-04**
环 境	5	167.37**	168.07**	1.63E-02**
环境+(品种×环境)	60	0.86*	1.58*	1.63E-04
环境(线性)	1	836.87	840.36	8.14E-02
品种×环境(线性)	12	1.95*	1.62	4.38**
综合离差	52	0.63	1.45	8.74E-05

注: 表中品种×环境(线性)的检验; $\alpha=0.05$ 时, $F=1.94$; $\alpha=0.01$ 时, $F=2.55$ 。

对于综合(合并)离差, 树高、胸径、材积在无性系(品种)和环境两个变因中差异都极显著。无性系×环境线性互作显著性不同, 树高显著, 胸径不显著, 材积极显著, 表明3个性状的线性回归显著性程度不同。综合离差均方的齐性检验, 利用Bartlett的 x^2 方法, 发现综合离差达不到显著水平, 因此可以认为非线性离差均方不能解释无性系间的差异。

表4汇集了无性系对环境反应的参数 b_i 和测定无性系稳定性参数 S_d^2 。 b_i 是描述无性系对不同环境适应能力, 同时也反应稳定性, 当 $b=0$ 时, 对环境完全没有反应; 当 $b=1$ 时与环境改良成正比例增加, 适应性和稳定性处于平均水平; 该类无性系中, 凡在中等环境下表现优良而被选择者, 谓之“中产型品种”。当 $b>1$ 时表示对优良环境有特定适应能力, 其优良无性系属于“高产型品种”。当 $b<1$ 时有两种可能性, 即①在环境条件差的地点选出的优良无性系, 属于“低产型品种”。②在所有环境都表现差的无性系, 属于平均适应性差的无性系。3个性状对应的13个无性系分析结果: $b \approx 1$ 的有 A_{05} 、 D_{109} 、 E_{92} ; b 明显 >1 的有 D_{15} 、 D_{18} 、 D_{69} 、 D_{163} 以及 D_{175} ; b 明显 <1 的有 A_{01} 、 B_{49} 、 D_{59} 、 D_{60} 和CK。 S_d^2 是互作分析中非线性回归的方差, 即无性系能否保持生长速度的稳定性。稳定性较差的无性系有 D_{59} 、 D_{60} 、 E_{92} 以及 D_{18} 、 D_{15} 和 D_{109} ; 稳定性好的有 A_{01} 、 D_{175} 、CK、 D_{69} 以及 B_{49} 。表4看到, $b>1$ 的无性系多数 S_d^2 值也大, 反之亦然。有关结果连同生长表现和Tai's参数一起评价。

表4 刺槐无性系Eberhart参数分析结果

无性系	树 高		胸 径		单 株 材 积	
	b_i	S_d^2	b_i	S_d^2	b_i	S_d^2
A_{05}	0.9615	0.4901	0.9447	0.8835	1.0534	0.00094
A_{01}	0.8797	0.0093	0.9454	0.5330	0.6902	0.00005
B_{49}	0.8774	0.2367	0.9271	1.0194	0.8556	0.00001
D_{15}	1.1016	0.6113	1.3116	0.4059	1.1749	0.00092
D_{18}	1.0981	0.6098	1.1065	1.2396	1.2436	0.00147
D_{59}	0.7672	1.0605	0.6758	1.7230	0.7587	0.00174
D_{60}	0.8034	1.0697	0.8317	2.5385	0.7757	0.00183
D_{69}	1.1813	0.1254	1.2946	0.8624	1.3663	0.00108
D_{163}	1.2559	0.2713	1.2571	1.1874	1.3419	0.00015
D_{175}	1.0575	0.0969	1.0684	2.5103	1.2494	0.00118
D_{109}	1.0877	0.6939	1.0088	0.3850	0.9583	0.00064
E_{92}	1.0936	0.6310	1.1246	1.9852	0.9860	0.00152
CK ₁	0.8351	0.1328	0.8737	0.6187	0.5461	0.00006

2.3 基因型与环境互作评价和无性系选择

Tai's模型是互作效应值 $(gI)_{ij}$ 与环境指数 \hat{I}_j 的结构回归, 揭示基因型与环境互作关系。参数 α_i 与 λ_i 描述无性系生长适应性和遗传稳定性, 在 $\hat{\alpha}_i$ 和 $\hat{\lambda}_i$ 都为0时, 遗传稳定性好, 具有平均适应性, 谓之“理想型”品种。表5列出了性状均值和有关参数, $\lambda \approx 0$ 的有 A_{05} 、 D_{109} 和 E_{92} , 表示适应性近乎平均水平; $\lambda > 0$ 的有 D_{15} 、 D_{18} 、 D_{69} 、 D_{163} 和 D_{175} , 适应较好的环境; $\lambda < 0$ 的 A_{01} 、 B_{49} 、 D_{59} 、 D_{60} 和CK, 适应较差的环境。表5和表4对比看出, $\hat{\alpha}_i \approx b_i - 1$, 与以往研究结论一致^[1,3]。参数 α_i 与 S_d^2 相对应, $\hat{\alpha}_i$ 值接近于0表示遗传稳定性好, A_{01} 、 D_{175} 、CK、 D_{69} 和 B_{49} 属于此类无性系; $\hat{\alpha}_i$ 值较大的有 D_{59} 、 D_{60} 、 E_{92} 以及 D_{109} 、 D_{15} 、 D_{18} , 遗传稳定性较差; 其余无性系遗传稳定性居中。

表5 刺槐无性系平均生长量及Tai's参数 $\hat{\alpha}_i$ 与 $\hat{\lambda}_i$ 值

无性系	树 高 (m)			胸 径 (cm)			单 株 材 积 (m ³)		
	均 值	$\hat{\alpha}_i$	$\hat{\lambda}_i$	均 值	$\hat{\alpha}_i$	$\hat{\lambda}_i$	均 值	$\hat{\alpha}_i$	$\hat{\lambda}_i$
A ₀₅	10.070	-0.0386	3.4662	11.829	-0.0555	6.3601	0.0511	0.0534	4.5834
A ₀₁	7.9416	-0.1205	0.9211	9.2791	-0.0547	4.3319	0.0270	-0.3104	0.3836
B ₄₉	8.4791	-0.1229	2.1239	9.5666	-0.0731	7.1926	0.0309	0.1752	4.4803
D ₁₅	8.4583	0.1017	4.1062	9.7749	0.0316	3.4294	0.0346	0.1752	4.4803
D ₁₈	8.5958	0.0982	4.0986	9.4666	0.1066	8.5668	0.0346	0.2440	3.6828
D ₅₉	8.6374	-0.2331	6.4783	9.6541	-0.3248	11.485	0.0290	-0.2418	3.7855
D ₆₀	8.5541	-0.1969	6.5285	10.221	-0.1687	22.642	0.0343	-0.2247	8.0423
D ₆₉	9.3791	0.1814	1.5337	10.021	0.2049	6.2228	0.0419	0.3670	2.3357
D ₁₆₃	9.2625	0.2561	2.3028	10.471	0.2575	8.2126	0.0451	0.3425	3.1085
D ₁₇₅	9.5083	0.0575	1.3862	10.617	0.0685	16.338	0.0436	0.2498	3.9198
D ₁₉₉	8.5791	0.0878	4.5433	9.1375	0.0088	3.3018	0.0305	-0.0419	0.5566
E ₉₂	8.9708	0.0937	4.2105	10.050	0.1248	13.115	0.0385	-0.0141	6.9781
CK	7.3583	-0.1651	1.5735	8.7083	-0.1265	4.7325	0.0223	-0.4549	1.6023

双曲线方程 $\lambda = 44.14096 \hat{\alpha}_i^2$ $\lambda = 51.36913 \hat{\alpha}_i^2$ $\lambda = 29.02979 \hat{\alpha}_i^2$

13个无性系3个性状 Tai's 参数的遗传稳定性和生长适应性分析与 Eberhart 性状值回归参数几乎一致，而且判别效果大体相同，表明刺槐无性系性状的遗传分量占表现值的比值稳定；性状间有关参数的变动，主要受无性系 × 环境(线性)回归所决定(表3)。

Tai's的 $\hat{\alpha}_i$ 、 $\hat{\lambda}_i$ 分布图能简便直观地判别基因型稳定区域。下边从树高与材积的 $\hat{\alpha}_i$ 与 $\hat{\lambda}_i$ 分布图判别各无性系的遗传稳定性(图1、2)。图中纵线为 $\lambda = 1, 2, 3$ 时 $P = 0.95$ 的估算值，曲线为 $\alpha = 0$ 时 $P = 0.95$ 和 0.99 的区间估计。 $(\alpha, \lambda) = (0, 1)$ 是平稳区域， $(\alpha, \lambda) = (<0, 1)$ 是超平稳区域，在 $\hat{\alpha}$ 双曲线范围内 $\hat{\lambda}$ 值越大稳定性越差。树高、胸径、材积的 $\hat{\alpha}_i$ 与 $\hat{\lambda}_i$ 的综合评判结果是：A₀₁、B₄₉、CK 以及 D₀₉、D₁₇₅ 属于稳定的无性系，适应于较差的环境；A₀₅、D₁₆₃、D₁₅、D₁₈ 等是中度稳定性的无性系，适应中等到良好的环境；D₆₀、E₉₂ 是稳定性差的无性系，适应于中等环境；D₅₉、D₁₉₉ 在性状间变动较大，其中 D₅₉ 树高稳定性差，适应较差环境，D₁₉₉ 胸径稳定性差，适于较好的环境。

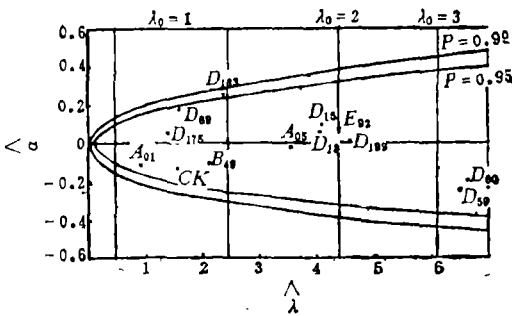


图1 刺槐无性系树高Tai's参数 $\hat{\alpha}_i$ ($p = 0.95$ 和 0.99) 与 $\hat{\lambda}_i$ ($p = 0.95$) 分布

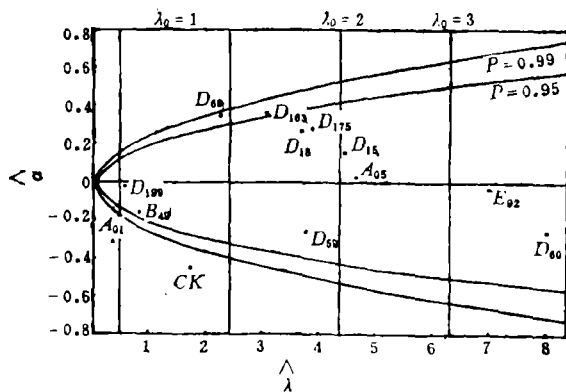


图2 刺槐无性系材积Tai's参数 $\hat{\alpha}_i$ ($p = 0.95$ 和 0.99) 与 $\hat{\lambda}_i$ ($p = 0.95$) 分布

在无性系的遗传稳定性和生长适应性分析基础上, 再结合无性系生产力评价, 包括多点平均值 \bar{x}_i , 基因型效应值 \hat{g}_i , G×E 互作效应值 $(\hat{gI})_{ij}$ 以及地点效应值 \hat{b}_j 的比较, 最终为各试验地点选择优良的无性系。无性系经济性状选择以树高为主要依据, 参考胸径和材积生长量。选择结果是: ① 6 个地点都优良的无性系有 1 个即 A₀₅, 遗传稳定性一般, 适应性广; ② 3 个地点优良的无性系有 1 个即 D₁₆₃, 遗传稳定性一般, 适应于较好的环境; ③ 2 个地点优良的无性系有 1 个即 D₅₉, 遗传稳定性较差, 适应于较差的环境; ④ 1 个地点优良的无性系有 7 个, D₁₅、D₁₈、D₆₀、D₆₉、D₁₇₅、D₁₉₉、E₉₂, 其中 D₆₉、D₁₇₅ 遗传稳定性较好, 其余遗传稳定性较差, 除 D₆₀、E₉₂ 适应中等环境之外, 其他都适应于较好环境。各地点中选优良无性系平均树高与材积的育种增益, 列于表 6。

表 6 刺槐无性系树高的 $(\hat{gI})_{ij}$ 、 \hat{I}_j 、 \hat{g}_i 和各点中选无性系〔单位: 树高(m), 材积(m³)〕

$(\hat{gI})_{ij}$	怀仁	磴口	秦皇岛	武清	磁县	睢宁	\hat{g}_i	
A ₀₅	-0.575 1	-0.052 0	0.836 5	0.082 6	0.757 6	-1.050 1	1.317 3	
A ₀₁	0.129 1	0.602 2	0.540 7	-0.488 2	0.061 8	-0.845 9	-0.811 9	
B ₄₀	0.366 6	1.214 7	-0.146 8	-0.450 7	-0.850 7	-0.133 4	-0.274 4	
D ₁₅	0.037 4	-0.089 5	-0.476 0	0.070 1	-1.079 9	1.537 4	-0.295 2	
D ₁₈	0.499 9	-0.402 0	-0.588 5	-0.292 4	-0.742 4	1.524 9	-0.157 7	
D ₅₉	1.533 3	1.306 4	-0.605 2	-0.134 0	-1.984 0	-0.116 7	-0.116 1	
D ₆₀	0.566 6	0.014 7	1.503 2	0.549 3	-2.050 7	-0.583 4	-0.199 4	
D ₆₉	-0.883 4	-0.360 3	0.103 2	-0.750 7	0.999 3	0.891 6	0.625 6	
D ₁₆₃	-1.166 7	-0.743 6	-0.955 2	0.641 0	1.466	0.758 3	0.509 0	
D ₁₇₅	-0.462 6	-0.364 5	0.799 0	-0.404 9	0.120 1	0.312 4	0.754 8	
D ₁₉₉	-0.233 4	-0.335 3	-0.871 8	0.074 3	1.699 3	-0.333 4	-0.174 4	
E ₉₂	-0.575 1	-0.702 0	-0.388 5	0.782 6	1.382 6	-0.500 2	0.217 3	
CK	0.762 4	-0.089 5	0.249 0	0.320 1	0.220 1	-1.462 6	-1.395 2	
\hat{I}_j	-4.146	-2.894	-1.408	0.421	2.521	5.504	8.753 5	
中选无性系	A ₀₅	A ₀₅	A ₇₆	A ₀₅	A ₀₅	A ₀₅	括号内为单点	
	D ₅₉	D ₅₉	D ₆₀	D ₁₆₃	D ₁₆₃	D ₁₆₃	选择优良无性	
	(D ₁₆₂)	(D ₆₃)	(D ₁₇₁)	E ₉₂	D ₁₉₉ △	D ₁₅ △	系; △为未鉴	
						D ₁₈	定的无性系	
						D ₆₉		
					D ₁₇₅			
平均育种增益 (%)	树高	20.1	21.3	16.4	13.6	14.7	16.2	平均18.0%
	材积	69.4	71.0	57.5	51.4	56.0	63.3	平均61.4%

3 结论

(1) 刺槐主要栽培区中 6 个试验地点共有的 13 个无性系, 8 年试验分析结果认为, G×E 互作真实存在。无性系在生产力、遗传稳定性和生长适应性方面都不同, 根据综合评价选出适应于不同地点的优良无性系有 A₀₅、D₁₆₃、D₅₉、D₆₀、E₉₂、D₁₉₉、D₁₅、D₁₈、D₆₉ 和 D₁₇₅。选择分析表明, 刺槐无性系 G×E 互作显著, 选择要在多点试验基础上进行, 才能做到“适地

适无性系”。

(2) Tai's模型对遗传稳定性判别($\hat{\lambda}_i$)略高于Eberhart模型(S_d^2),对适应性判别 \hat{a}_i 与 b_i 相似,在简单情况下 $\hat{a}_i = b_i - 1$ [3]。本研究结果认为, $\hat{\lambda}_i$ 与 S_d^2 , \hat{a}_i 与 b_i 判别效果几乎一致,这表明试验地点在较多情况下,两组参数可以只用一组[2]。另外,Tai's的 $\hat{\lambda}_i$ 与 \hat{a}_i 在相应可靠性(P)前提下分布图,对无性系遗传稳定性和生长适应性综合判别具有直观性,实用性较好。

(3) 从 $G \times E$ 互作研究结果看出,基因型与表型之间并不存在一对一的对应关系,相反,基因型只是确定了可能发育的范围,形成特定的表型是基因型和发育时所处的特定环境条件相互作用的结果。同一基因型在不同环境中产生不同表型,每一种表型都比其他表型更适应造成这一表型的环境, A_{00} 等基因型对环境变化有缓冲作用,在一定范围的不同环境中出现同样适应或相同生长表现。

(4) 经多点试验 $G \times E$ 互作分析选出10个优良无性系,另有单点试验选择的3个优良无性系,适用于特定试验点及其相同环境下推广。

参 考 文 献

- [1] 顾万春, 1990, 毛白杨优良无性系选育——生产力、遗传稳定性和适应性评价, 林业科学研究, 3(3): 222~228。
 [2] Eberhart. S. A. et al., 1966, Stability parameters for comparing varieties, *Crop. Sci.*, (6), 36~40。
 [3] Tai, G. C. C, 1971, Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials, *Crop. Sci. C*, (1), 184~190。

Study on the Interaction of Genotype-Environment of the Block Locust's Clones — Evaluation of the Genetic Stability and Growth Adaptability

Gu Wanchun

(The Research Institute of Forestry CAF)

Abstract The 8 year's data of 48 clones of *Robinia pseudoacacia* selected preliminarily from the poly-site experimental stands have been summarized and the interaction between genotype and environment has been made for the 13 clones from 6 experimental sites. Their genetic stability and growth adaptability have been evaluated using Eberhart's b_i and S_d^2 of the trait regressive parameters and Tai's \hat{a}_i and $\hat{\lambda}_i$ of the structural model parameters, and the superior clones have been selected after the consideration of their productivity. A number of 10 superior clones have been selected for different regions and the average gain for the volume is 61%.

Key words clone; genetic stability; growth adaptability