

# 欧美杨无性系区域试验的效应分析与稳定性测定\*

王克胜 卞学瑜 李淑梅 佟永昌 韩一凡

关键词 欧美杨无性系、区域试验、稳定性、基因型和环境互动

基因型和环境互动日益受到遗传育种工作者的重视,选育出的优良品系,要经过区域试验来确定其适应性和适生范围,才能推广。在50年代人们分别在朝鲜鸡眼草(*Korean lospedeza*)、大豆(*Glycine max* (L.) Merr)上作了基因型和环境互动的研究。60年代起广泛地对农作物和牧草作了遗传稳定性研究,并提出了多种分析品种稳定性的统计模型和方法<sup>[1~5]</sup>。稳定性分析在林木上的应用开始于70年代后。迄今有关基因型和环境互动研究只涉及个别的统计方法或统计量,尚缺乏统计量间以及统计量与生长量间的关系分析和比较分析;而且目前尚未见有关于欧美杨无性系稳定性分析的报告。本文试对3年生19个欧美杨无性系在河南、河北、山东的3个区试点的无性系与环境的互动效应、生长适应性和基因型稳定性作一分析,并探讨生长量、适应性统计量、稳定性统计量之间的关系,以期为杨树和林木优良无性系选择和品种推广提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 参试材料和试验设计

对本课题在“六五”、“七五”期间选出的18个欧美杨无性系(*Populus × euramericana* cl),于1990年按气候类型和地理差异设置区域化试验点:河南许昌、河北保定、山东莱西。19个无性系(加对照1-214)分别为1-214、254-55、W1-299、7909、83-62、84-1、84-137、84-321、84-322、910-107、910-140、910-210、W1-115、W1-255、W1-29、欧-1、欧-2、欧-4、中林-28。各点1991年春育苗,1992年春造林。按完全随机区组设计,3次重复,6株小区,株行距5 m × 6 m,各点用当地生产用无性系(或品种)作对照。每年进行形态、物候、生长量、病虫害等观测。本文以3年生(包括苗期)杨树胸径的小区均值进行分析。

### 1.2 统计分析方法

无性系联合区域试验的方差分析;稳定性分析模型采用Eberhart和Russel的回归模型、Tai's的结构模型、Wricke的生态价、Shukla的稳定性方差、Nassar和Huhn的非参数统计量校正秩均差和校正秩方差<sup>[1~5]</sup>;生长量、适应性统计量、稳定性统计量之间的相关分析;基因型和环境互动效应估计。

## 2 结果与分析

### 2.1 无性系联合区域试验的方差分析

1994-03-26 收稿。

王克胜助理研究员、卞学瑜、李淑梅、佟永昌、韩一凡(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091)。

\* 本研究属“八五”攻关“欧美杨胶合板材纸浆材新品种选育”课题的一部分。

表 1 表明胸径在无性系间、环境间和 G×E 互作间的差异达极显著水平。说明 19 个无性系在生长上有差异,3 个环境条件不一致,无性系在不同环境下的表型值的相对位次不同,可进一步作稳定性分析和稳定性统计量估计。

表 1 无性系与环境互作和估计稳定性统计量的方差分析

| 变异来源   | 自由度 | 均方值       | 变异来源      | 自由度 | 均方值       |
|--------|-----|-----------|-----------|-----|-----------|
| 无性系    | 18  | 1.069**   | 无性系       | 18  | 0.356*    |
| 环境     | 2   | 190.327** | 环境+无性系×环境 | 38  | 3.529**   |
| 无性系×环境 | 36  | 0.604**   | 环境(直线)    | 1   | 126.882** |
| 重复×环境  | 6   | 1.644**   | G×E(直线)   | 2   | 2.653**   |
| 机误     | 108 | 0.175     | 合并离差      | 19  | 0.161     |
| 总和     | 170 |           | 总和        | 56  |           |

\* 5%水平上显著; \*\* 1%水平上显著。

## 2.2 稳定性测定

2.2.1 估计稳定性统计量的方差分析 表 1 还可看出,相对于合并离差,无性系胸径效应是显著的,无性系和地点线性互作达极显著,表明性状的回归系数之间存在极显著的差异。利用 Bartlett 的  $\chi^2$  检验,发现合并离差不显著,故非线性离差均方不能解释无性系间的差异。

2.2.2 适应性和稳定性统计量估计 采用 Eberhart<sup>[1]</sup>、Tai's<sup>[2]</sup>的线性回归模型及 Wricke<sup>[3]</sup>、Shukla<sup>[4]</sup>的非回归方法以及 Nassar<sup>[5]</sup>的非参数方法。算出 8 个适应性和稳定性统计量列于表 2,回归系数( $b_i, \alpha_i$ )为 2 个适应性统计量,回归离差( $Sd^2, \hat{\lambda}_i$ )、生态价( $W_i$ )、稳定性方差( $\sigma_i$ )、校正秩均差  $S_i^{(a)}$ 、校正秩方差  $S_i^{(b)}$  为 6 个稳定性统计量。表 3 列出了无性系胸径生长表现( $\bar{X}$ )及其效应( $\hat{g}_i$ )和 8 个统计量,并对适应性和稳定性进行了排序(No.)。

表 2 欧美杨无性系胸径、适应性与稳定性统计量和位次

| 序号 | 无性系     | $\bar{X}$ | $\hat{g}_i$ | $b_i$ | No | $\alpha_i$ | No | $Sd^2$  | No | $\hat{\lambda}_i$ | No | $W_i$ | No | $\sigma_i$ | No | $S_i^{(a)}$ | No | $S_i^{(b)}$ | No |
|----|---------|-----------|-------------|-------|----|------------|----|---------|----|-------------------|----|-------|----|------------|----|-------------|----|-------------|----|
| 1  | I-214   | 4.59      | -0.80       | 0.68  | 1  | -0.52      | 1  | 0.161   | 16 | 1.78              | 16 | 6.01  | 19 | 0.560      | 19 | 11.4        | 18 | 79.0        | 17 |
| 2  | 254-55  | 5.41      | 0.03        | 1.19  | 18 | 0.19       | 18 | 0.040   | 11 | 0.87              | 11 | 1.02  | 14 | 0.094      | 14 | 10.3        | 14 | 60.3        | 14 |
| 3  | W1-299  | 5.14      | -0.24       | 1.09  | 11 | 0.08       | 11 | 0.021   | 9  | 0.71              | 9  | 0.39  | 9  | 0.035      | 8  | 6.2         | 7  | 24.3        | 7  |
| 4  | 7909    | 5.94      | 0.56        | 1.16  | 17 | -0.16      | 17 | 0.041   | 4  | 0.14              | 4  | 0.57  | 11 | 0.052      | 11 | 8.0         | 10 | 39.0        | 10 |
| 5  | 83-62   | 4.85      | -0.54       | 0.72  | 2  | -0.30      | 2  | 0.096   | 13 | 1.34              | 13 | 2.26  | 17 | 0.210      | 17 | 10.7        | 15 | 72.3        | 16 |
| 6  | 84-1    | 5.80      | 0.41        | 1.12  | 13 | -0.11      | 13 | 0.034   | 5  | 0.21              | 5  | 0.34  | 6  | 0.031      | 6  | 5.3         | 4  | 19.3        | 5  |
| 7  | 84-137  | 5.31      | -0.075      | 1.21  | 19 | 0.21       | 19 | 0.125*  | 15 | 1.63              | 15 | 1.39  | 15 | 0.128      | 15 | 11.3        | 17 | 82.3        | 18 |
| 8  | 84-321  | 5.58      | 0.21        | 1.13  | 15 | -0.13      | 15 | 0.045   | 3  | 0.11              | 3  | 0.36  | 7  | 0.032      | 7  | 6.0         | 6  | 20.3        | 6  |
| 9  | 84-322  | 5.53      | 0.15        | 1.01  | 9  | 0.01       | 9  | 0.112   | 14 | 1.54              | 14 | 0.51  | 10 | 0.047      | 10 | 8.7         | 11 | 43.0        | 11 |
| 10 | 910-107 | 6.01      | 0.63        | 0.83  | 4  | -0.17      | 4  | 1.082** | 19 | 10.29             | 19 | 4.04  | 18 | 0.380      | 18 | 12.0        | 19 | 93.0        | 19 |
| 11 | 910-140 | 5.46      | 0.079       | 0.93  | 5  | -0.07      | 5  | 0.023   | 7  | 0.32              | 7  | 0.21  | 3  | 0.019      | 3  | 7.3         | 8  | 30.3        | 8  |
| 12 | 910-210 | 5.32      | -0.067      | 1.09  | 12 | -0.09      | 12 | 0.034   | 6  | 0.22              | 6  | 0.23  | 4  | 0.021      | 4  | 4.1         | 2  | 9.0         | 2  |
| 13 | W1-115  | 5.12      | -0.27       | 0.99  | 8  | -0.01      | 8  | 0.057   | 2  | 0.01              | 2  | 0.01  | 1  | 0.004      | 1  | 3.3         | 1  | 6.3         | 2  |
| 14 | W1-255  | 5.25      | -0.01       | 0.94  | 6  | -0.06      | 6  | 0.244** | 17 | 2.73              | 17 | 0.98  | 13 | 0.091      | 13 | 8.7         | 12 | 49.0        | 12 |
| 15 | W1-29   | 5.41      | 0.03        | 1.16  | 16 | 0.16       | 16 | 0.074   | 12 | 1.18              | 12 | 0.89  | 12 | 0.082      | 12 | 10.0        | 13 | 58.3        | 13 |
| 16 | 欧-1     | 5.17      | -0.20       | 0.81  | 3  | -0.19      | 3  | 0.247** | 18 | 2.75              | 18 | 1.62  | 16 | 0.151      | 16 | 10.7        | 16 | 69.3        | 15 |
| 17 | 欧-2     | 5.62      | 0.24        | 1.08  | 10 | 0.08       | 10 | 0.035   | 10 | 0.84              | 10 | 0.39  | 8  | 0.036      | 9  | 7.4         | 9  | 32.3        | 9  |
| 18 | 欧-4     | 5.45      | 0.066       | 1.13  | 14 | -0.12      | 14 | 0.058   | 1  | -0.01             | 1  | 0.31  | 5  | 0.027      | 5  | 4.7         | 3  | 13.0        | 3  |
| 19 | 中林-28   | 5.31      | -0.071      | 0.98  | 7  | -0.02      | 7  | 0.007   | 8  | 0.59              | 8  | 0.19  | 2  | 0.018      | 2  | 5.4         | 5  | 19.0        | 4  |

采用 Eberhart<sup>[1]</sup>模型,对各品种回归离差与 0 作差异显著性测验, I-214、84-137、910-107、W1-255、欧-1 共 5 个无性系其回归离差与 0 差异达显著水平。表明除 I-214、84-137、910-

107、W1-255、欧-1 基因型与环境互动不符合线性模型外,其余皆符合线性模型,可用回归系数  $b_i$  来预测。 $b_i=1$  表明无性系对环境无特殊适应性,适应性和稳定性处于中等,属稳定类型,其中有 W1-299、84-322、910-140、910-210、W1-115、欧-2、中林-28 等。 $b_i$  大( $b_i>1$ )表示环境改变时,表型值将产生更大的变化,即品种对环境的变化是敏感的,适于生产水平较高的环境,对优良环境有特殊适应能力,是优良无性系,属于“高产型”品种,有 254-55、7909、84-1、84-321、W1-29、欧-4 等。 $b_i$  小( $b_i<1$ )表示品种对环境的变化不敏感,高生产潜势易在不良环境里出现,代表高于平均稳定性,有 83-62。

生态价是 Wricke<sup>[3]</sup>提出的一个稳定性统计量,测量的是指每个基因型的基因型×环境互动平方和,又称共斜度。 $W_i$  小,则基因型的共斜度高。如果一个基因型对地点的反应类似于所有被测基因型的群体平均数,则可认为该基因型属于表型稳定类型。根据表 2 的生态价: $W_i$  值大于该统计量平均值的系号有: I-124、83-62、84-137、910-107、欧-1。其余的系号在胸径上属于稳定类型。

稳定性方差也是反应无性系(或品种)稳定性的统计量,统计量的值大,则稳定性差;统计量值小,说明无性系具广泛适应性,属稳定性类型。把各无性系稳定性方差求平均,然后用每个无性系的统计量值与均值比较。表 2 的稳定性方差表明,高于均值的无性系有: I-124、83-62、84-137、910-107、欧-1。其余的系号在胸径上属于稳定类型。

校正秩均差和校正秩方差是 Nassar<sup>[5]</sup>提出的非参数方法,从品种在不同环境中所处等级是否相似来衡量稳定性。校正秩均差和校正秩方差愈小品种愈稳定。表 2 中  $S_i^{(a)}$  和  $S_i^{(b)}$  值表明 I-124、83-62、84-137、910-107、欧-1 为不稳定无性系。其余的系号在胸径上属于稳定类型。

表 2 从统计量判断各无性系的稳定性位次表明, Tai's<sup>[2]</sup>的估测遗传稳定性的两个统计量  $\hat{a}_i$ 、 $\hat{\lambda}_i$  与 Eberhart<sup>[1]</sup>估测表型稳定性的两个统计量  $b_i$  和  $Sd^2$  的判断结果是一致的。非回归方法计算出的 2 个稳定性统计量生态价( $W_i$ )、稳定性方差( $\sigma_i$ )的判断结果基本一致。Nassar<sup>[5]</sup>的非参数统计量校正秩均差  $S_i^{(a)}$ 、校正秩方差  $S_i^{(b)}$  与非回归方法的 2 个稳定性统计量的判断结果基本一致。

2.2.3 适应性统计量与稳定性统计量之间的相关分析 为了进一步比较各种统计量间的相互关系,计算了生长量、生长效应和 8 个统计量之间的相关系数,表 3 列出了生长量( $\bar{X}$ ,  $\hat{g}_i$ )、适应性统计量( $\hat{a}_i$ ,  $b_i$ )及稳定性统计量( $\hat{\lambda}_i$ ,  $Sd^2$ ,  $W_i$ ,  $\sigma_i$ ,  $S_i^{(a)}$ ,  $S_i^{(b)}$ )之间的相关系数。可以看出:生长量与适应性统计量显著正相关,与稳定性统计量间无显著相关;适应性统计量与稳定性统计

表 3 19 个欧美杨无性系的胸径与适应性和稳定性统计量的相关系数

| 参数                | $\bar{X}$ | $\hat{g}_i$ | $b_i$    | $Sd^2$  | $\hat{a}_i$ | $\hat{\lambda}_i$ | $W_i$   | $\sigma_i$ | $S_i^{(a)}$ |
|-------------------|-----------|-------------|----------|---------|-------------|-------------------|---------|------------|-------------|
| $\hat{g}_i$       | 0.997**   |             |          |         |             |                   |         |            |             |
| $b_i$             | 0.513*    | 0.504*      |          |         |             |                   |         |            |             |
| $Sd^2$            | 0.249     | 0.264       | -0.441*  |         |             |                   |         |            |             |
| $\hat{a}_i$       | 0.579**   | 0.574*      | 0.978**  | -0.383  |             |                   |         |            |             |
| $\hat{\lambda}_i$ | 0.261     | 0.276       | -0.432   | 0.999** | -0.371      |                   |         |            |             |
| $W_i$             | -0.357    | -0.359      | -0.686** | 0.609** | -0.772**    | 0.592**           |         |            |             |
| $\sigma_i$        | -0.354    | -0.357      | -0.688** | 0.613** | -0.774**    | 0.597**           | 1.000   |            |             |
| $S_i^{(a)}$       | -0.125    | -0.117      | -0.388   | 0.598*  | -0.401      | 0.588**           | 0.698** | 0.698**    |             |
| $S_i^{(b)}$       | -0.151    | -0.145      | -0.437   | 0.673** | -0.448      | 0.663**           | 0.760** | 0.760**    | 0.982**     |

量间存在显著负相关或弱的负相关;适应性统计量间高度相关;稳定性统计量间显著相关。

### 2.3 区域试验交互作用的估算及其适宜性分析

为进一步了解各无性系在具体环境的适应情况,在无性系的稳定性和适应性分析基础上进行了优良无性系的综合评价、选择。同时用无性系 $\times$ 地点互作效应值以及基因型主效应值(表4)来确定供试无性系的适宜种植范围。基因型和地点互作效应用 LSD 法进行检验。主效应用 LSR 法进行检验。

表4 杨树无性系 G $\times$ E 互作、速生性和适生范围

| 无性系     | G $\times$ E            |                         |                         | 速生性             |               | 适生范围   |
|---------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|---------------|--|
|         | 河南<br>(D <sub>1</sub> ) | 河北<br>(D <sub>2</sub> ) | 山东<br>(D <sub>3</sub> ) | 主效<br>( $g_i$ ) | 显著性<br>(0.05) | 特适地区   |
| 910-107 | -0.346                  | 0.937*                  | -0.592                  | 0.631           | a             | D <sub>2</sub>                               |
| 7909    | 0.334                   | -0.269                  | -0.065                  | 0.557           | ab            | D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> D <sub>3</sub> |
| 84-1    | 0.248                   | -0.019                  | -0.228                  | 0.414           | abc           | D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> D <sub>3</sub> |
| 欧-2     | 0.150                   | -0.296                  | 0.145                   | 0.237           | abc           | D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> D <sub>3</sub> |
| 84-321  | 0.268                   | -0.059                  | -0.208                  | 0.206           | abc           | D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> D <sub>3</sub> |
| 84-322  | -0.003                  | -0.290                  | 0.294                   | 0.152           | abc           | D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> D <sub>3</sub> |
| 910-140 | -0.155                  | -0.052                  | 0.206                   | 0.079           | abc           | D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> D <sub>3</sub> |
| 欧-4     | 0.259                   | -0.148                  | -0.111                  | 0.066           | abc           | D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> D <sub>3</sub> |
| W1-29   | 0.323                   | -0.427                  | 0.104                   | 0.028           | abc           | D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> D <sub>3</sub> |
| 254-55  | 0.409                   | 0.006                   | -0.416                  | 0.025           | abc           | D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> D <sub>3</sub> |
| 910-210 | 0.186                   | -0.208                  | 0.023                   | -0.067          | bcd           | D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> D <sub>3</sub> |
| 中林-28   | -0.025                  | -0.168                  | 0.193                   | -0.071          | bcd           | D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> D <sub>3</sub> |
| 84-137  | 0.443                   | 0.069                   | -0.513                  | -0.075          | bcd           | D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> D <sub>3</sub> |
| W1-255  | -0.116                  | 0.450                   | -0.334                  | -0.013          | bcd           | D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> D <sub>3</sub> |
| 欧-1     | -0.411                  | -0.175                  | 0.586                   | -0.204          | bcd           | D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> D <sub>3</sub> |
| W1-299  | 0.175                   | -0.291                  | 0.116                   | -0.241          | bcd           | D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> D <sub>3</sub> |
| W1-115  | -0.018                  | -0.015                  | 0.032                   | -0.27           | bcd           | D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> D <sub>3</sub> |
| 83-62   | -0.642                  | 0.061                   | 0.582                   | -0.536          | cd            | D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> D <sub>3</sub> |
| I-214   | -1.081**                | 0.895*                  | 0.186                   | -0.797          | d             | D <sub>1</sub> D <sub>2</sub>                |

表4表明无性系主效应存在一定差异,相对于 I-214,10个无性系(910-107、7909、84-1、欧-2、84-321、84-322、910-140、欧-4、W1-29、254-44)生长达显著水平, I-214 主效应最小。从 G $\times$ E 互作效应可以看出: I-214 对河南、河北有特殊适应性,910-107 对河北有特殊适应性。其余各系号皆具广泛适应性,在三个地点的差别不大。

根据以上适应性和稳定性测定以及区域试验的效应分析,从性状的速生指标及适应性和稳定性指标来看:生长较快又比较稳定的无性系有 254-55、7909、84-1、84-321、84-322、910-140、W1-29、欧-2、欧-4;生长最快的是 910-107,特别适于河北省种植。

### 3 结语与讨论

(1)经区域试验与基因型和环境互作的分析,从性状的速生指标、适应性和稳定性指标选出 9 个无性系:254-55、7909、84-1、84-321、84-322、910-140、W1-29、欧-2、欧-4,这些无性系均可在河南、河北、山东平原地区推广。910-107 特别适于河北省生长。

(2)从统计量值的相关看:胸径与  $b_i$ 、 $\hat{\alpha}_i$  呈显著的正相关;与  $Sd^2$ 、 $\hat{\lambda}_i$ 、 $W_i$ 、 $\sigma_i$ 、 $S_i^{(a)}$ 、 $S_i^{(b)}$  呈弱的

负相关。表明生长性状与适应性呈正相关,与稳定性呈弱的负相关或不相关。适应性统计量  $b_i$ 、 $\hat{\alpha}_i$  与  $Sd^2$ 、 $W_i$ 、 $\sigma_i$  呈极显著的负相关,与  $\hat{\lambda}_i$ 、 $S_i^{(a)}$ 、 $S_i^{(b)}$  呈弱的负相关。由  $b_i$  与  $\hat{\alpha}_i$  之间,  $Sd^2$  与  $\hat{\lambda}_i$  之间呈高度正相关及其对应的适应性或稳定性位次的一致性表明: E 和 R 型的表型稳定性分析和 T 法的遗传稳定性分析结果基本一致。  $W_i$  和  $\sigma_i$  之间的极显著相关和一致的稳定性位次,表明非回归方法求得的稳定性统计量  $W_i$  和  $\sigma_i$  在评价无性系或品种稳定性方面是等价的。

(3) 非参数统计量  $S_i^{(a)}$ 、 $S_i^{(b)}$  间高度相关,与适应性统计量呈不相关,与稳定性统计量回归离差、生态价和稳定性方差呈显著相关,表明非参数统计量  $S_i^{(a)}$ 、 $S_i^{(b)}$  属于稳定性统计量范畴。

### 参 考 文 献

- 1 Eberhart S A, Russel W A. Stability parameters for comparing varieties, *Crop Sci.*, 1966, 6: 36~40.
- 2 Tai G C C. Genotypic stability analysis and its application topotato regional trials. *Crop Sci.*, 1971, 11: 184~190.
- 3 Wricke G. Uber eine methode zur erfassung der ökologischesstreuung in feldversuchen, *Pflanzenzucht*, 1962, 47: 92~96.
- 4 Shukla G K. Some statistical aspects of partitioning genotype -environmental components of variability. *Heredity*, 1972, 29: 237~245.
- 5 Nassar R. Huhn M. Studies on estimation of phenotypic stability; tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. *Biometrics*, 1987, 43: 45~53.

## Analysis on Effect and Stability of the Regional Test of *Populus × euramericana* Clones

Wang Kesheng    Bian Xueyu    Li Shumei    Tong Yongchang    Han Yifan

**Abstract** This paper analysed the interaction between genotype and environment for the 19 *Populus × euramericana* clones in a regional test. Their growth adaptability and genotypic stability have been evaluated by using 8 statistics. The regression coefficient ( $b$ ) and deviation from regression meansquare ( $Sd^2$ ) of Eberhart-Russel model, the structural analysis parameters  $\alpha$  and  $\lambda$  of Tai model, the Ecovalence ( $W$ ) of Wricke, the variance of stability of Shulka and nonparametric measures of Nassar-Huhn wre used. The correlations among statistics of adaptability are highly significant and the correlations among statistics of stability are highly significant too. The correlation among statistics of adaptability and statistics of stability are negative correlation or insignificant. Their application regions were predicted according to the statistics of adaptability and stability and the effect of  $G \times E$ . A number of 10 super clones have been selected.

**Key words** *Populus × euramericana* clone, regional test, stability, genotype-environment interaction