林业科学研究 1995,8(4):429～436
*Forest Research*

# 杨树抗云斑天牛纤维材无性系选育*

王克胜 卞学瑜 李淑梅 佟永昌 韩一凡

**摘要** 以较抗天牛的 I-69 杨为母本,以 I-63 杨、欧洲黑杨和晚花杨 272 为父本,于 1983 年春进行人工控制授粉,组合编号分别为 34、32 和 37。经苗期选择选出优良单株营造比较林,经 5 年生无性系比较林和 9 年生无性系比较林测定,采用主成分分析、主成分遗传距离聚类分析和选择指数,选出速生、抗虫和材质较好的纤维材无性系 34-301 和 34-286。这两个新选出的无性系(34-301 和 34-286),在 9 年生时与对照 I-69 杨相比材积分别提高 24.9%和 16.6%,抗虫性明显提高(单株幼虫数分别为 0.4 和 0.5,而 I-69 杨为 5.38);与 34-314 相比材积分别提高 16.7%和 8.9%。化学物质测定表明,抗虫性与树皮中酚类含量和丹宁含量呈正相关。分子生物学测定表明,杨树对云斑天牛的抗性受基因控制,找到了与抗虫基因连锁的 RAPD 分子标记。

**关键词** 杨树无性系、抗虫育种、云斑天牛、虫口密度、抗虫机制

云斑天牛 *Batocera horsfieldi* (Hope.)是杨树主要蛀干害虫之一,在长江、汉水流域对杨树的危害严重。实践证明培育杨树抗虫新品种是防治云斑天牛危害的最为经济有效的途径[1,2]。抗虫纤维材的育种目标是在速生的基础上,降低虫口密度,净化环境,提高纤维得率。目前国内外对杨树抗云斑天牛新品种选育成功的报道甚少[3],本文以 5 年生和 9 年生无性系比较林为材料,采用主成分分析、主成分遗传距离聚类分析和选择指数选择出抗虫、速生和材质优良的纤维材无性系 34-301 和 34-286,为杨树无性系的多性状选择提供了依据,为生产提供了抗虫新品种。

## 1 材料与方法

### 1.1 参试材料和试验设计

1.1.1 *亲本选择与杂交组合配置* 以较抗云斑天牛的 I-69 杨[2~4] *Populus deltoides* Bartr. cl. 'Lux' (I-69/55 为母本,以 I-63 杨 *P. deltoides* Bartr. cl. 'Harvard' (I-63/51),欧洲黑杨 *P. nigra* L.,晚花杨 272(*P.* × *euramericana* (Dode) Guineir cv. 'Serotina 272')为父本,1983 年进行杂交组合配置,后代编号分别为 34、32 和 37,分别获 $F_1$ 杂种苗 388 株、40 株和 656 株。根据抗叶部病害叶锈病 *Melampsora larici-populina* Kleb.,黑斑病 *Marssonina brunnea* (Ell. et Ev.) Sacc.,炭疽病 *Glomerella cingutata* (Stonem.) Spauld. et Schrenk 和生长指标[5],选出 133 株杂种苗。

1.1.2 *苗期测试和选择* 从 133 株杂种苗中选出 69 株进行苗期测试。69 株中有 27 株来自 34 组合,39 株来自 32 组合,3 株来自 37 组合。1985 年春,69 株杂种苗加对照 I-69 杨、I-63 杨、欧洲黑杨和晚花杨进行苗期测试,采用随机区组设计,3 次重复,10 株小区,株行距 70 cm

1995—03—14 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)。
* 本研究属国家"八五"攻关欧美杨胶合板材纸浆材新品种选育"专题的一部分。陕西省城固县林业局淡克德,杨明珍参加田间试验工作,特此致谢。

×60 cm。测试结果表明:$F_1$ 杂种的树高和成活率存在显著差异,经苗期综合选择(首先淘汰感病虫植株,然后再按树高和成活率进行比较)共得无性系 21 个,树高遗传增益为 7.98%,成活率遗传增益为 2.62%。22 个无性系(加对照 I-69 杨)分别为 34-17,34-135,34-314,34-301,34-133,34-212,34-215,34-286,34-4,34-43,34-52,I-69,34-23,34-271,34-300,32-186,32-518,32-246,32-98,32-115,32-492,32-142,代号分别为 1~22。

1.1.3 无性系测定 1985 年秋陕西省勉县营造 22 个无性系的比较林,以完全随机区组设计,3 次重复,5 株小区,株行距 5 m×6 m,试验地周围有云斑天牛虫源,每年进行形态、物候、生长量、云斑天牛幼虫数等观测。1987 年春在陕西省城固县梁家庵营造 24 个无性系(加对照 I-69 杨、陕-1 和陕-2)的比较林,以完全随机区组设计,3 次重复,5 株小区,株行距 5 m×6 m。1991 年从以上两块比较林中选出较好无性系送江西省余干县营造比较林和区试林。

### 1.2 材性测定方法

1989 年冬,对(勉县比较林)14 个 I-69 杨×I-63 杨全同胞无性系和 I-69 杨在每重复中(3 次重复)各取代表性植株 1 株,用孔径 0.5 cm 的生长锥在胸高处与树干垂直钻取木芯。每无性系取 3 株共取 15 个系号,45 株。按 Smith[6]饱和含水量法测定木材密度。按 Taylor[7]法测纤维长、纤维宽。

### 1.3 化学分析

1993 年对 7 个具有不同抗虫性的杨树无性系(34-17,34-135,34-314,34-286,34-297,34-179,I-69)进行化学分析,测定树皮和叶中所含营养物质和次生代谢物质含量[8](营养物质为 16 种氨基酸、7 种维生素和 5 种糖含量,次生代谢物质分别为酚类化合物、丹宁、水溶性化合物和挥发性化合物),并与虫口密度进行相关分析。

### 1.4 分子生物学测定

1993 年和 1994 年利用 RAPD 方法[9]以 I-69(抗虫亲本)、I-63(感虫亲本)、34-17(抗虫后代)、34-135(抗虫后代)、34-188(抗虫后代)和 34-215(感虫后代)叶片中的核 DNA 为材料,进行了与抗云斑天牛基因连锁的 RAPD 标记的筛选。

### 1.5 统计分析方法

1.5.1 主成分分析和主成分遗传距离聚类分析 虫口密度为各无性系各重复的幼虫数,因遵循泊松分布对原始数据进行平方根 $\sqrt{x+1}$ 转换。对无性系按树高、胸径、基本密度、纤维长、纤维长宽比和虫口密度小区均值进行主成分分析和主成分遗传距离聚类分析。主成分分析采用基因型相关阵,进行主成分特征根、特征向量和主成分值计算。主成分遗传距离聚类分析用主成分欧氏距离计算无性系间的遗传距离,聚类分析采用系统聚类的离差平方和法[10~13]。

1.5.2 选择指数 对 9 年生(勉县比较林)22 个无性系树高、胸径和虫口密度采用等权法[14]进行生长和抗虫性指数选择。

1.5.3 化学物质含量与虫口密度的相关性分析 化学分析中水溶性化合物和挥发性化合物测定数据为百分数,进行反正弦转换。

## 2 结果与分析

### 2.1 主成分分析

方差分析表明:5 年生 22 个无性系树高、胸径和虫口密度,5 年生 15 个无性系树高、胸径、

基本密度、纤维长度、纤维长宽比和虫口密度，9 年生 22 个无性系树高、胸径和虫口密度在无性系间均存在显著差异。计算各个性状的基因型相关阵，用 Jacobi 方法[11~13]求出特征根和各特征根的贡献率并计算出各特征根所对应的特征向量 $q$，见表 1。无性系的主成分用 $Y_1 \sim Y_4$ 表示。

**表 1　基因型相关阵的特征根及特征向量**

| 树龄 (a) | 性　状 | | 特征向量 $q_1$ | 特征向量 $q_2$ | 特征向量 $q_3$ | 特征根 | 贡献率 | 累积贡献率 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 树高 | ($x_1$) | 0.703 1 | 0.063 0 | −0.708 2 | 1.959 4 | 0.653 2 | 65.32 |
| | 胸径 | ($x_2$) | 0.700 1 | 0.113 3 | 0.705 0 | 0.986 0 | 0.328 7 | 98.18 |
| | 虫口密度 | ($x_3$) | −0.124 7 | 0.991 5 | −0.035 5 | 0.054 4 | 0.018 2 | 1.000 |
| 5 | 树高 | ($x_1$) | 0.518 0 | −0.186 0 | −0.458 1 | 2.111 1 | 0.351 8 | 35.18 |
| | 胸径 | ($x_2$) | 0.400 5 | −0.420 8 | −0.381 4 | 2.021 3 | 0.336 8 | 68.87 |
| | 木材基本密度 | ($x_3$) | 0.190 6 | 0.501 0 | −0.400 4 | 1.240 9 | 0.206 8 | 89.55 |
| | 纤维长度 | ($x_4$) | 0.528 3 | −0.044 8 | 0.560 4 | 0.414 9 | 0.069 1 | 96.47 |
| | 纤维长宽比 | ($x_5$) | 0.505 7 | 0.381 7 | 0.336 9 | 0.211 1 | 0.035 2 | 99.98 |
| 9 | 树高 | ($x_1$) | 0.629 1 | 0.255 3 | 0.734 2 | 2.195 9 | 0.732 0 | 73.20 |
| | 胸径 | ($x_2$) | 0.6067 | 0.429 2 | −0.669 2 | 0.638 4 | 0.212 8 | 94.48 |
| | 虫口密度 | ($x_3$) | −0.485 9 | 0.866 4 | 0.115 1 | 0.165 6 | 0.055 2 | 1.000 |

表 1 累积贡献率可知 5 年生 3 性状只需求出前 2 主成分就够了，因为前 2 个主成分的累积贡献率已达 98.18%，主成分的表达式分别为 $Y_1=0.703\ 1x_1+0.700\ 1x_2-0.124\ 7x_3$，$Y_2=0.060\ 0x_1+0.113\ 3x_2+0.991\ 5x_3$。从 $Y_1$ 看 $x_1$、$x_2$ 的系数比较大；$x_3$ 的系数是负值，当第一主成分值较大时，树高和胸径较大，虫口密度小，因此第一主成分为生长和抗虫的综合因子。$Y_2$ 中 $x_3$ 的系数比较大表明虫口密度大；因此 $Y_2$ 以小为好。

5 年生 5 性状只需求出前 3 个主成分就够了，前 3 个主成分的累积贡献率已达 89.55%，主成分的表达式分别为 $Y_1=0.518\ 0x_1+0.400\ 5x_2+0.190\ 6x_3+0.528\ 3x_4+0.505\ 7x_5$，$Y_2=-0.186\ 0x_1-0.421\ 0x_2+0.501\ 0x_3-0.044\ 8x_4+0.382\ 0x_5$，$Y_3=-0.458\ 0x_1-0.381\ 0x_2-0.400\ 4x_3+0.560\ 4x_4+0.337\ 0x_5$。从 $Y_1$ 看 $x_1$，$x_2$，$x_4$ 和 $x_5$ 的系数较大，当第一主成分值较大时，树高和胸径较大，纤维较长，因此第一主成分为生长和纤维的综合因子。$Y_2$ 反映基本密度和纤维长宽比较大，而生长慢；$Y_3$ 反映纤维较好，但木材密度小，生长慢。因此 $Y_1$ 中等，$Y_2$ 和 $Y_3$ 以中等或较小为好。

9 年生 3 性状只需求出前 2 主成分就够了，前 2 个主成分的累积贡献率已达 94.48%，主成分的表达式分别为 $Y_1=0.629\ 1x_1+0.606\ 7x_2-0.485\ 9x_3$，$Y_2=0.255\ 3x_1+0.429\ 2x_2+0.866\ 4x_3$。从 $Y_1$ 看 $x_1$，$x_2$ 的系数比较大；$x_3$ 的系数是负值，当第一主成分值较大时，树高和胸径较大，虫口密度小，因此第一主成分为生长和抗虫的综合因子。$Y_2$ 反映生长快，但抗性差。

## 2.2　主成分遗传距离聚类分析

采用前几个主成分的欧氏距离，系统聚类的离差平方和法进行聚类分析，主成分遗传距离聚类结果，各类群前几个主成分值均值及 *LSR* 法多重比较列于表 2。

系统聚类的离差平方和法是聚类效果较好的方法之一[10~12]，对各主成分进行不等重复观测值的方差分析表明各主成分在各类群间均存在显著的差异，表明分类结果较好，从表 2 多重

比较可以看出：

表2 各类群主成分均值

| 项目 | 类群 | 无性系 | 类群 | $Y_1$ 比较 | 类群 | $Y_2$ 比较 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5年生3性状 | Ⅰ | 5 7 9 10 11 12 13 14 15 | Ⅱ | 1.25 a | Ⅰ | 0.92 a |
| | Ⅱ | 1 2 3 4 6 8 | Ⅰ | 0.53 b | Ⅲ | −0.36 b |
| | Ⅲ | 16 17 18 19 20 21 22 | Ⅲ | −1.76 c | Ⅱ | −0.96 b |
| 5年生5性状 | Ⅰ | 5 6 7 10 12 13 15 | Ⅰ | 0.52 a | Ⅰ | 1.21 a |
| | Ⅱ | 2 4 9 | Ⅲ | 0.51 a | Ⅱ | −0.18 b |
| | Ⅲ | 1 3 8 11 14 | Ⅱ | −2.06 b | Ⅲ | −1.59 c |
| 9年生3性状 | Ⅰ | 1 2 3 4 6 8 13 | Ⅰ | 1.27 a | Ⅲ | 0.70 a |
| | Ⅱ | 16 17 19 20 | Ⅲ | 0.48 a | Ⅳ | 0.57 a |
| | Ⅲ | 5 7 9 10 12 14 15 | Ⅱ | −1.30 b | Ⅱ | −0.43 b |
| | Ⅳ | 11 18 21 22 | Ⅳ | −1.78 c | Ⅰ | −1.06 c |

5年生3性状，第Ⅱ类的 $Y_1$ 较大，$Y_2$ 较小，为速生且抗虫性好的无性系，有1，2，3，4，6，8。

5年生5性状，第Ⅲ类的 $Y_1$ 较大，$Y_2$ 较小，为速生和纤维较好的无性系，有1，3，8，11，14；第Ⅱ类 $Y_1$ 较小，$Y_2$ 中等，也是较理想的无性系，有2，4，9。

9年生3性状，第Ⅰ类的 $Y_1$ 较大而 $Y_2$ 较小，为速生且抗虫性好的无性系，有1，2，3，4，6，8，13。

### 2.3 杨树无性系生长与抗虫性状的联合选择

基因型相关系数表明生长性状与基本密度和虫口密度相关不显著，遗传相关系数表明生长性状与虫口密度存在一定的负相关。为了进一步丰富多性状选择无性系理论，对9年生3性状配合了选择指数。纤维材新品种选育是以生物量为主，要求速生、木材密度大、纤维得率高，但仍兼顾抗虫性，此地为虫害严重地区，为了净化环境必需降低虫口密度。本文对树高、胸径采用正向选择，对虫口密度采用负向选择。利用9年生树高($x_1$)、胸径($x_2$)和虫口密度($x_3$)来配合选择指数，按照等权法[14]确定经济权重，$x_1$，$x_2$，$x_3$ 的经济权重向量为 $a=(0.347\ 5, 0.220\ 1, -0.617\ 1)$。选择指数方程式为 $Y=0.184\ 0x_1+0.218\ 6x_2-0.472\ 7x_3$，选择指数的遗传力 $h_I^2$(%)为77.93%，选择指数与聚合遗传型的相关 $r_{IY}$ 为0.909 5，选择指数的效率 $E_I$ 为70.87%。可见 $r_{IY}$、$h_I^2$(%)、$E_I$ 较高，表明 $x_1$，$x_2$，$x_3$ 配合的选择指数较好。根据指数方程计算出的各无性系选择指数值，排在前5位的5个无性系分别为34-17，34-135，34-301，34-314，34-286(选择指数值分别为9.175，8.152，7.808，7.577，7.440)，I-69的选择指数值为4.654，其中34-17，34-135，34-314为“七五”选出的品种。

### 2.4 中选无性系生长和抗虫性比较

主成分分析、主成分遗传距离聚类分析和选择指数分析表明34-301和34-286这两个美洲黑杨无性系是速生、材质较好和抗虫性较好的无性系。

表3所列中选无性系34-301和34-286的性状均值和选择指数值，以及在城固县比较林(8年生)，江西省余干县区试林(3年生)和比较林(3年生)各无性系生长状况和单株虫口密度(未经平方根转换)可以看出新选出的无性系(34-301，34-286)与亲本对照I-69杨相比树高提高7.17%和4.05%，胸径分别提高7.19%和4.59%，材积分别提高24.9%和16.6%，单株虫

口密度分别为 0.4 和 0.5,与 34-314 相比材积分别提高 16.7%和 8.9%(勉县比较林)。在 8 年生时与 I-69 杨相比胸径分别提高 20.65%和 20.09%,材积分别提高 79.7%和 76.3%;单株虫口密度分别为 0.5 和 0.0(城固县比较林)。32-186 为组合 32 中生长和抗虫最好的,37-115 为 37 组合中生长和抗虫最好的;可以看出 34-286 和 34-301 在生长和抗虫性上明显超过 32-186 和 37-115。

**表 3　入选无性系生长和抗虫性状及选择指数值**

| 无性系 | 比较林(勉县) | | | | | 比较林(城固县) | | | 区试林(江西) | | 比较林(江西) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 树高 | 胸径 | 材积 | 虫口密度 | 选择指数 | 树高 | 胸径 | 虫口密度 | 树高 | 胸径 | 树高 | 胸径 |
| 34-301 | 17.833 | 24.953 | 0.301 | 0.4 | 7.808 | 14.88 | 27.45 | 0.5 | 3.8 | 3.6 | | |
| 34-286 | 17.570 | 24.225 | 0.281 | 0.5 | 7.440 | 14.67 | 27.32 | 0 | 3.6 | 4.0 | 8.0 | 13.3 |
| 34-314 | 16.153 | 24.055 | 0.258 | 0.15 | 7.577 | 15.2 | 27.07 | 0.67 | | | 7.8 | 13.5 |
| 32-186 | 14.667 | 19.817 | 0.168 | 0.92 | 5.817 | 14.16 | 22.60 | 0.63 | | | | |
| 37-115 | 9.663 | 13.360 | 0.060 | 2.18 | 3.109 | 9.26 | 13.16 | 1.3 | | | | |
| I-69 | 15.983 | 23.280 | 0.241 | 5.38 | 4.654 | 12.59 | 22.75 | 0.6 | 3.8 | 2.9 | 7.6 | 13.2 |

## 2.5　杨树无性系比较林虫口密度次数分布和抗虫机制

2.5.1　*杨树无性系比较林虫口密度次数分布*　表 4 为勉县和城固县两块比较林虫口密度的次数分布,虫口密度经平方根转换。

**表 4　试验地杨树无性系虫口密度次数分布**

| 试验地 | 组值 | 分组数列 | 次数 | 系号 |
|---|---|---|---|---|
| 勉县(22个无性系) | 1.00 | 0.77～1.23 | 5 | 34-17,34-135,34-286,34-301,34-314 |
| | 1.46 | 1.23～1.69 | 5 | 34-212,34-23,34-300,32-186,32-518 |
| | 1.92 | 1.69～2.15 | 7 | 34-133,34-4,34-98,34-43,34-271,32-246,37-115 |
| | 2.38 | 2.15～2.61 | 3 | I-69,34-52,32-142 |
| | 2.89 | 2.61～3.07 | 2 | 34-215,32-492 |
| 勉县(16个无性系) | 1.00 | 0.77～1.23 | 5 | 34-17,34-135,34-286,34-301,34-314 |
| | 1.46 | 1.23～1.69 | 3 | 34-212,34-23,34-300 |
| | 1.92 | 1.69～2.15 | 5 | 34-133,34-271,34-98,34-4,34-43 |
| | 2.38 | 2.15～2.61 | 2 | I-69,34-52 |
| | 2.89 | 2.61～3.07 | 1 | 34-215 |
| 城固县(21个无性系) | 1.0 | 0.89～1.11 | 8 | 34-17,34-135,34-4,34-52,34-133,34-271,34-286 |
| | 1.22 | 1.11～1.33 | 6 | 34-314,34-301,34-300,I-69,32-186,37-115 |
| | 1.44 | 1.33～1.55 | 3 | 34-119,34-212,34-215 |
| | 1.66 | 1.55～1.77 | 3 | 34-43,32-246,32-492 |
| | 1.88 | 1.77～1.99 | 1 | 32-142 |
| 城固县(16个无性系) | 1.0 | 0.91～1.09 | 6 | 34-17,34-135,34-286,34-271,34-4,34-52 |
| | 1.22 | 1.09～1.27 | 5 | 34-133,34-301,34-300,34-37 |
| | 1.34 | 1.27～1.45 | 3 | 34-314,34-212,34-119 |
| | 1.46 | 1.45～1.63 | 1 | 34-215 |
| | 1.58 | 1.63～1.81 | 1 | 34-43 |

表 4 表明,在 3 个组合内(包括 34,32,37)各无性系虫口密度呈连续分布,在 34 组合内各无性系虫口密度也表现连续分布。初步表明杨树对云斑天牛的抗性受多基因控制,34-17,34-135,34-314,34-286 和 34-301 属于高抗无性系,I-69 杨属于中抗无性系,34-43,34-215,32-492,32-142 等属于低抗或感虫无性系。

2.5.2　*杨树无性系抗虫的化学机制*　表 5 所列为部分无性系树皮和叶中营养物质和次生代谢物质含量以及与虫口密度的相关系数($r$)。

虫口密度与苏氨酸、甘氨酸、丙氨酸和异亮氨酸呈正的相关关系，其中与甘氨酸的相关达显著，与赖氨酸呈负的相关关系。与7种维生素和5种糖含量相关性较小。

**表5 树皮和叶中化学成分与虫口密度的关系**

| | 无性系号 | 17 | 135 | 69 | 314 | r |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 氨基酸(%) | 苏氨酸 | 0.259 | 0.322 | 0.427 | 0.237 | 0.890 4 |
| | 甘氨酸 | 0.336 | 0.317 | 0.446 | 0.309 | 0.967 9* |
| | 丙氨酸 | 0.417 | 0.392 | 0.519 | 0.480 | 0.807 3 |
| | 异亮氨酸 | 0.308 | 0.386 | 0.512 | 0.284 | 0.890 7 |
| | 赖氨酸 | 0.543 | 0.510 | 0.361 | 0.667 | −0.805 5 |
| 酚酸①(%) | 邻苯二酚 | 0.291 | 0.174 | 0.116 | 0.174 | −0.645 1 |
| | 对羟基苯甲酸 | 6.2 | 6.1 | 4.2 | 7.6 | −0.833 7 |
| | 间苯二酚 | 0.859 | 0.391 | 0.078 | 0.938 | −0.788 5 |
| | 丁香酸 | 0.561 | 0.280 | 0.000 | 0.374 | −0.884 8 |
| | 香豆酸 | 4.105 | 5.579 | 2.105 | 5.579 | −0.874 6 |
| | 肉桂酸 | 1.370 | 1.644 | 0.685 | 1.644 | −0.467 8 |
| 水溶性化合物② | 对羟基环乙酮 | 7 | 6 | 2 | 6 | −0.993 1** |
| | 水杨酸 | 35 | 15 | 10 | 19 | −0.640 6 |
| | 肉桂醛 | 2 | 2 | 9 | 0 | 0.801 5 |
| | 苯酚 | 9 | 7 | 10 | 10 | 0.494 6 |
| | 二十九烷 | 62 | 3 | 62 | 2 | 0.523 2 |
| | 苯甲醛 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0.956 9* |

| | 无性系号 | 17 | 135 | 69 | 314 | r |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 酚类(吸光值) | | 1 | 0.920 | 0.883 | 1.032 | −0.706 8 |
| | | 1 | 0.803 | 0.682 | 0.866 | −0.808 9 |
| | | 1 | 0.983 | 0.656 | 0.871 | −0.957 1* |
| | | 1 | 1.010 | 0.929 | 1.067 | −0.810 9 |
| 丹宁(吸光值) | | 0.178 | 0.172 | 0.169 | 0.170 | −0.596 5 |
| | | 0.135 | 0.146 | 0.126 | 0.160 | −0.654 1 |
| | | 0.223 | 0.211 | 0.194 | 0.188 | −0.487 6 |
| | | 0.138 | 0.143 | 0.121 | 0.128 | −0.811 |

| | 无性系号 | 17 | 69 | 271 | 297 | r |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 酚性化合物② | 苯甲酸 | 15 | 4 | 6 | 25 | −0.919 4 |
| | 甲基苯酸 | 6 | 3 | 2 | 5 | −0.959 3* |
| | 氧化里哪醇 | 21 | 4 | 2 | 13 | −0.948 4* |
| | 里哪醇 | 40 | 14 | 12 | 47 | −0.980 4* |
| | 1,7,7-三甲基(2,2,1)庚醇-2 | 25 | 11 | 9 | 36 | −0.933 6 |
| | 3-乙酰基-4-甲基苯酚 | 18 | 14 | 5 | 17 | −0.975 7* |
| | 紫罗醇 | 9 | 5 | 5 | 11 | −0.961 8* |

注：①叶中成分，其它均为树皮成分；②单位为离子流强度%。

虫口密度与6个酚酸含量呈负相关，但均没达到显著水平；与水溶性化合物含量呈正或负的相关，其中与对羟基环乙酮呈显著的负相关，与苯甲醛呈显著正相关；与酚类物质和丹宁含量呈负的相关；与酚性化合物呈高度的负相关，特别是与甲基苯酚、氧化里哪醇、里哪醇、3-乙酰基-4-甲基苯酚和紫罗醇呈显著的负相关。

化学分析表明，植物抗虫性与营养物质和次生物质有关，特别是与次生物质密切相关，与王琛柱等[15]报道一致，已有研究表明丹宁、酚类等物质含量与抗虫性有关[16]，与本文结果相符。

2.5.3 *杨树无性系抗虫分子生物学测定* 对抗云斑天牛亲本I-69、感虫亲本I-63杨以及其$F_1$代34-17、34-135的RAPD分析表明34-17的DNA大约有41.9%来自于I-63，56.7%来自于I-69；34-135的DNA大约有45.3%来自于I-63，53%的DNA来自于I-69，即34-17和34-135的遗传物质多数来自I-69，而与34-135相比，34-17的遗传物质更多的是来自于I-69。这些结果说明不同抗虫性的个体在DNA水平上存在着差异。

用200个随机引物对I-69(抗虫亲本)、I-63(感虫亲本)、34-17(抗虫后代)、34-135(抗虫后代)进行RAPD分析，发现只有引物OPAH-15、OPAC-15和OPAD-01在抗虫个体与感虫个体间扩增出特异多态性产物。为了进一步研究RAPD扩增产物与杨树抗虫基因连锁关系，用这3个引物OPAH-15、OPAC-15和OPAD-01对I-69(抗虫亲本)、I-63(感虫亲本)、34-17(抗虫后代)、34-135(抗虫后代)、34-188(抗虫后代)和34-215(感虫后代)进行分析，发现用OPAH-15、OPAC-15所扩增出的多态性片段并不与抗虫基因连锁。抗虫个体34-188、I-69、34-

17 和 34-135 都扩增到了 1.0 kb 的多态性片段，而感虫个体 34-215 与感虫亲本 I-63 杨都没有扩增到这一多态性片段，因此认为 OPAD-01 所扩增出的多态性片段是与抗虫基因连锁的，用更多的无性繁殖后代个体进行进一步验证的工作正在进行中。

## 3　讨论与结语

(1)抗虫稳定性。5 年生时("七五"期间)选出的抗虫速生优良无性系 34-17、34-314 和 34-135 经 4 a 后其抗虫性仍较高(单株虫口密度分别为 0，0.15 和 0)；9 年生时选出的 2 个新无性系 34-301 和 34-286 其速生性和抗虫性在 5 年生时也比较好(单株虫口密度分别为 0.4 和 0.5)；而 32 系号 6 个无性系和 37 系号无性系的速生性和抗虫性在 5 年生和 9 年生都比较差；抗虫性较强的亲本 I-69 杨在 5 年生和 9 年生时其抗虫性均较好；22 个无性系 9 年生虫口密度与 5 年生虫口密度的相关系数为 0.88，达极显著水平，预测方程为 $y=1.02x+0.18$；以上表明抗虫性在年份之间具有稳定性，在 5 年生时对抗虫性进行选择是可靠的。

(2)无性系选择。运用选择指数、主成分分析和遗传距离聚类分析选出 2 个 9 年生抗虫速生的杨树无性系 34-301 和 34-286，与对照 I-69 杨相比 9 年生树高分别提高 7.17%和 4.05%，胸径分别提高 7.19%和 4.59%，材积分别提高 24.9%和 16.6%，虫口密度分别降低 93%和 91%。经陕西省城固县 8 年生长比较，在 8 年生时与 I-69 杨相比胸径分别提高 20.65%和 20.09%，材积分别提高 79.7%和 76.3%，与 34-17 相比材积分别提高 23.7%和 21%。

(3)用途和推广。经陕西省勉县 9 年生长比较和城固县 8 年生长比较，江西省余干县 3 a 生长比较和 3 a 区试表明 34-286 和 34-301 两个无性系速生性好、抗虫性好、生长稳定，可作为纤维材和中径材利用，可在陕西省、黄河流域和长江流域以及具有相似立地条件和气候条件的地区大力推广。

(4)抗虫育种展望。抗虫机制的化学分析和分子生物学测定结果是初步的，分子生物学测定结果已从分子水平证明了杂交亲本 I-69 杨的抗虫性，需要进一步从分子水平验证新选出无性系 34-301 和 34-286 抗虫性。抗虫育种需加强抗虫性化学基础和分子基础的研究；加强抗虫性遗传规律的研究；利用多世代育种材料进行抗虫性遗传改良，累积抗虫基因。

## 参 考 文 献


1　秦锡祥，高瑞桐，李吉振，等．不同杨树品种对光肩天牛抗虫性的调查研究，林业科学．1985，21(3)：301～314.

2　林业部科技司主编．阔叶树遗传改良．北京：科学技术文献出版社，1991，20～34.

3　王建园，秦锡祥，韩一凡．杨树抗云斑天牛新品种选育．林业科学，1992，28(2)：170～174.

4　涂忠虞，沈熙环主编．中国林木遗传育种进展．北京：科学技术文献出版社，1993，262～266.

5　王建园，韩一凡，王笑山，等．杨树抗云斑天牛新品种选育 I．苗期测试．见：中国林业科学研究院林业研究所育种二室编著．杨树遗传改良．北京：北京农业大学出版社，1991. 101～105.

6　Smith D M. Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples. USDA Forest Service, Forest Prod. Lob. Rent.，1954. 2014.

7　Taylor F W. Fiber length measuement—an accurate inexpensive technique. Tappi，1975，58(12)：126～127.

8　孙丽艳，韩一凡．对云斑天牛有不同抗性的杨树品种中化学物质的分析．林业科学，1995，31(4).

9　Williams J G K，Kubelik A R，Livak K J，et al. DNA polymorphismsamplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. Nucleic Acids Research，1990，18：6531～6535.

10 王克胜,卞学瑜,李淑梅,等. 杨树优良无性系多性状选择方法研究. 林业科技通讯,1995,(1):16～18.
11 刘来福. 作物数量性状遗传距离及其测定,遗传学报,1979,6(3):349～355
12 毛盛贤. 冬小麦数量性状遗传差异及其在作物育种上的应用. 遗传,1979,1(5):26～50.
13 裴鑫德. 多元统计分析及应用. 北京:北京农业大学出版社,1991.
14 Cotterill P P,Jackson N. On index selection I. Method of determing economic weight. Silave Genetica,1985,34:56～63.
15 王琛柱,张青文,杨奇华,等. 植物抗虫的化学基础. 植物保护,1993,(6):39～41.
16 张金发,孙济中,吴征彬,等. 棉花抗红铃虫机制的研究. 作物学报,1993,19(5):385～394.

# The Selection and Breeding of Super Poplar Clones as Fibre Timber Resistant to *Batocera horsfieldi*

*Wang Kesheng Bian Xueyu Li Shumei Tong Yongchang Han Yifan*

**Abstract** I-69(*Populus deltoides* cl. 'Lux' (I-69/55), as a female parent plant, I-63 (*P. deltoides* cl. 'Harvard' (I-63/51))、*P. nigra* and *P.* × *euramericana* cv. 'Serotina 272') as male parent plants, artificially controlled pollination was conducted in 1983. Cross combinations were numbered as No. 34, No. 32 and No. 37 respectively. After selection in the nursery and clone test in Mian County of Shanxi Province from 1985 to 1993, 2 super poplar clones(34-301 and 34-286), Which grow fast, resistant to insect and with good quality, were selected by using method of principal components analysis, cluster analysis of genetic distance of principal components and selection index. The volume of 34-301 and 34-286, which grow for 9 years, were 24.9% and 16.6% higher than that of I-69 respectively, and 16.7% and 8.9% higher than that of 34-314 respectively. Resistance to *Batocer horsfieldi* of 34-301 and 34-286 were significantly higher than that of I-69, their population per tree were 0.4 and 0.5, (for I-69 was 5.38). There was apositive correlation between the resistance to B. h. and the content of tannins and phenolics according to the analysis of chemical composition. Resistance to B. h. was controlled by genes according to the analysis of molecular biology (RAPD analysis). Molecular marker of RAPD (OPAD-01) was found, which linked to genes of resistance to B. h.

**Key words** poplar clone, breeding of pest resistance, *Batocera horsfieldi*, population dynamics of pest, mechanism of resistance

---

Wang Kesheng, Assistant Professor, Bian Xueyu, Li Shumei, Tong Yongchang, Han Yifan (The Research Institute of Forestry, CAF Beijing 100091).