

文章编号: 1000-5692(2004)04-0376-06

美洲黑杨×欧美杨 F₁ 无性系遗传变异

管兰华¹, 潘惠新², 黄敏仁², 施季森²

(1. 中日合作湖北省林木育种中心, 湖北 武汉 430079; 2. 南京林业大学
国家林业局林木遗传与基因工程重点开放性实验室, 江苏 南京 210037)

摘要: 为了研究美洲黑杨 *Populus deltoides* (I-69) × 欧美杨 (*P. euramericana* (I-45) F₁ 无性系各性状的遗传变异情况, 利用美洲黑杨×欧美杨 F₁ 无性系第 12 年生的数据, 对胸径、树高、材积、木材密度、湿心材比例、圆满度、利用率和弯曲度等 8 个性状进行了研究。结果表明, 除弯曲度这一性状无性系之间差异不显著外, 其他所有性状在各无性系之间都呈极显著差异。通过对遗传参数的估算可知, 胸径、树高、材积、木材密度、湿心材比例、圆满度和利用率等性状的狭义遗传力分别为 0.65, 0.75, 0.50, 0.81, 0.51, 0.71 和 0.63, 表明各性状为中等至高度遗传, 各性状受遗传控制要强于环境的影响, 也表明各无性系在各性状上的差异主要是由遗传上的差异造成的, 通过选择可以获得较高的遗传增益。895, 797, 312, 139 和 194 等无性系是生长表现最突出的无性系, 木材密度最大的前 5 个无性系是 1271, 410, 187, 748 和 1317, 而根据圆满度和利用率 2 个指标选出的无性系为 561, 748, 1150, 1317 和 1381。由此可见, 生长性状、材质性状和干形性状的优良无性系各不相同, 必须根据育种目标进行多性状综合分析, 才能对各无性系做出合适的评价。表 3 参 13

关键词: 美洲黑杨; 欧美杨; 木材密度; 湿心材比例; 圆满度; 利用率; 弯曲度
中图分类号: S718.46 **文献标识码:** A

1 材料和方法

1.1 材料

试验林位于江苏省徐州市张集林场。供试无性系为美洲黑杨 *Populus deltoides* (I-69 杨) × 欧美杨 *P. turamericana* (I-45 杨) 33 个杂种无性系及对照 I-69 杨和 I-45 杨。这 33 个杂种无性系是从该全同胞家系中 1 000 多个无性系经过 2 次选择出的优良无性系。1989 年春季选用 1 年生苗造林, 采用随机完全区组试验设计, 4 株小区, 3 次重复。株行距为 6 m × 6 m。数据调查为 2000 年 4 月底。

1.2 调查方法

33 个无性系及对照, 除湿心材比例和木材密度性状是在小区内选取有代表性的样本 2 株测定外, 其他性状均为每木检尺, 对照 (ck) 只测定 I-69 杨, 因 I-45 杨生长较差, 未加以测定。

1.2.1 生长性状 树高和胸径采用常规方法调查。材积通过压式获得。

$$V=0.198321D^2H+0.007734DH+0.82141915D^2。$$

收稿日期: 2004-01-06; 修回日期: 2004-09-06

基金项目: “九五” 国家科技攻关项目 (96-011-02-04)

作者简介: 管兰华 (1974-), 男, 湖北武汉人, 硕士, 从事林木遗传育种研究。E-mail: guanlanhua@yahoo.com.cn

其中 V 为材积, D 为胸径, H 为树高。

1.2.2 圆满度 采用树干某一高度处实际材积 ($V_{\text{实}}$) 和以基径为直径的标准圆柱体的体积 (V_0) 之比来反映某一高度以下干形的圆满度。其公式为:

$$Y = V/V_0 = 2(G_h + G_0)/\pi D_0^2。$$

其中 G_h 和 G_0 分别为树高 h 处和基部截面积, D_0 为基部直径。由于树干基部变化较大, 基部截面积 G_0 可用胸高处截面积 $G_{1.3}$, 则式 (2) 式为:

$$Y = V_{\text{实}}/V_{1.3} = 2(G_h + G_{1.3})/\pi D_{1.3}^2。$$

其中 $V_{1.3}$ 以胸高直径为直径的标准圆柱体的体积, $D_{1.3}$ 为胸高直径。

本文调查干形指标均为树高 5.0 m 段内。

1.2.3 弯曲度 弯曲度 (C) 是根据树干弯曲内侧最弯处离弯曲内侧切线的水平距离 (a) 与弯曲弦长 (A) 之比值, 其公式为:

$$C(\%) = a/A \times 100。$$

1.2.4 利用率 利用率 (L) 为单板旋切时有效木材部分^[1]。胶合板材一般为 2.5 m 段, 其利用率可根据测得的树干实际材积, 树干小头最小直径及树皮厚度等计算出来。

$$L(\%) = \frac{\pi(D_{5.0}/2)^2 + \pi(D_{2.5}/2)^2}{G_0 + G_{5.0}} = \frac{G'_{5.0} + G'_{2.5}}{G_0 + G_{5.0}}。$$

其中 $G'_{2.5}$ 和 $G'_{5.0}$ 为 2.5 和 5.0 m 处最小直径的圆面积, 即为单板旋切中有效断面积。利用率高, 单位体积木材旋切单板数量多; 相反, 单位体积木材旋切单板数量少, 利用率低。各无性系利用率为基部 5 m 段。 $D_{5.0}$ 为 5.0 m 处最小直径, $D_{2.5}$ 为 2.5 m 处最小直径, G_0 为基部截面积, $G_{5.0}$ 为 5.0 m 处截面积。

1.2.5 湿心材比例 根据木芯的湿心材长度 (b) 与木芯总长度 (B) 的比值来反映湿心材比例 (S), 即:

$$S = b/B \times 100\%。$$

1.2.6 木材密度测定 用 ED-120T 电子比重计高效、快速和高精密地测得样品密度, 其中样品的体积是测定时室温下蒸馏水被样品排开的体积 [($V_{\text{生}} = W_{\text{生}}(g) / \rho_{\text{生}}(g \cdot \text{cm}^{-3})$)]。

木芯取回后浸泡在清水中 20 d, 使木芯达到最大饱和含水量。然后在电子比重计上测出心、边材的生质量 $W_{\text{生}}(g)$ 及生材密度 $\rho_{\text{生}}(g \cdot \text{cm}^{-3})$ 。再将其置于玻璃器皿中 (记上区组号、无性系号、单株号以及心、边材号, 以便分清), 在烘箱中先进行 60 °C 烘 4 h, 然后, 103 °C 烘 12 h, 称量。以后每隔 2 h 称量 1 次直至达到恒重为止 (2 次称量之差不超过 0.005 g 表示达到绝干), 取出迅速置于干燥器中冷却并进行称量, 即为绝干质量 $W_{\text{干}}(g)$ 。在认为其体积没变化的情况下, 用公式计算出心、边材的基本密度:

$$\rho_{\text{基}}(g \cdot \text{cm}^{-3}) = W_{\text{干}}(g) / V_{\text{生}}(\text{cm}^3)。$$

1.3 统计分析方法

利用 SAS 软件进行方差分析。其方差分析模型为单因素随机完全区组方差分析。利用小区平均数对各性状进行方差分析。由于湿心材比例、弯曲度、圆满度、利用率都是百分数, 因此对它们进行反正弦转化后再进行方差分析。

2 结果与分析

以单因素随机完全区组方差分析为模型, 利用小区平均值进行方差分析, 其方差分析结果见表 1, 各遗传参数的估算见表 2。

由表 1 可知, 除弯曲度这一性状无性系之间差异不显著外, 其他所有生长性状、材质性状及圆满度和利用率在各无性系之间都呈极显著差异^[2~4]。

遗传力是表型方差中归属于遗传变异的部分。性状遗传力大, 说明该性状受遗传的控制较强, 受

表 1 方差分析结果

Table 1 The results of variance analysis of multi-traits

性状		<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i> 值
生长 性状	<i>D</i>	32	382.655	11.958	3.035**
	<i>H</i>	32	100.429	3.134	3.451**
	<i>V</i>	32	0.185 20	5.781E-03	2.448**
材质 性状	$\rho_{\text{基}}$	32	0.014 71	4.591E-04	5.347**
	<i>S</i>	32	0.447 70	0.013 98	2.042**
干形 性状	<i>Y</i>	32	0.164 70	5.140E-03	3.425**
	<i>L</i>	32	0.216 90	6.770E-03	2.675**
	<i>C</i>	32	3.171E-03	9.897E-05	1.322

说明: *D* 为胸径, *H* 为树高, *V* 为材积, $\rho_{\text{基}}$ 为木材密度, *S* 为湿心材比例, *Y* 为圆满度, *L* 利用率, *C* 为弯曲度, ** 表示差异极显著

表 2 各性状遗传参数估算

Table 2 The parameter value of multi-traits

性状		遗传方差	表型方差	h^2	$v_g/\%$	$v_p/\%$	$\Delta G/\%$
生长 性状	<i>D</i>	6.810	10.471	0.65	11.56	14.34	19.21
	<i>H</i>	2.283	3.062	0.75	9.02	10.45	16.05
	<i>V</i>	2.330E-03	4.620E-03	0.50	19.58	27.52	28.69
材质 性状	$\rho_{\text{基}}$	1.208E-04	1.486E-04	0.81	3.07	3.40	5.70
	<i>S</i>	2.307E-03	4.522E-03	0.51	8.73	12.23	12.85
干形 性状	<i>Y</i>	1.178E-03	1.664E-03	0.71	4.37	5.20	7.58
	<i>L</i>	1.372E-03	2.191E-03	0.63	4.46	5.64	7.28

说明: h^2 为广义遗传力, v_g 为遗传变异系数, v_p 为表型变异系数, ΔG 为遗传增益; 在进行遗传增益的估算时, 选择强度 $i = 1.99$

环境的影响较弱, 在早期进行选择, 则能获得较大的遗传增益^[5]。由表 2 可知, 各性状的遗传力都比较大, 特别是木材密度性状, 如木材密度的遗传力为 0.81。不同性状的遗传变异系数相差很大^[4], 其中材积的遗传变异系数最大, 为 19.58%, 其次为胸径的遗传变异系数 11.56%, 最小的为木材密度的遗传变异系数为 3.07%。3 个生长性状的遗传力比较接近^[6,7], 3 个性状遗传增益的差异与其变异系数的差异相似, 说明各性状在遗传力相差不大的情况下, 其遗传增益主要决定于其变异幅度。

为了全面比较参试无性系, 了解各性状的遗传变异, 参试无性系各性状的平均值见表 3。

2.1 生长性状遗传变异分析

生长性状在无性系间差异均达到极显著水平, 说明供试材料间确实存在很大的变异。遗传参数估算结果(表 2)表明, 生长性状的遗传力相对较高, 胸径、树高和材积的广义遗传力分别为 0.65, 0.75 和 0.50, 受较强的遗传控制。各无性系的生长受遗传控制要强于环境影响, 也表明各无性系间在生长性状上的差异主要是由遗传上的差异造成的^[8,9]。

33 个无性系生长性状平均都要优于对照 I-69 杨(表 3)。胸径均值较大的无性系为 895 (27.78 cm), 797 (25.44 cm), 312 (25.03 cm), 139 (24.64 cm), 194 (24.48 cm), 比对照 I-69 杨分别高 57.22%, 43.81%, 41.65%, 39.45%和 38.54%; 树高均值前 5 个无性系分别是 895 (20.17 m), 1317 (18.06 m), 797 (18.01 m), 139 (16.72 m) 和 312 (17.71 m), 它们比 I-69 杨分别高 39.85%, 25.74%, 24.90%, 22.88%和 22.82%; 材积均值前 5 位的无性系分别是 895 (0.313 5 m³), 797 (0.305 8 m³), 312 (0.302 1 m³), 139 (0.297 1 m³) 和 194 (0.286 4 m³), 它们比对照 I-69 杨要高 131.88%, 126.18%, 123.45%, 119.75%和 118.83%。由此可见, 895, 797, 312, 139 和 194 等无性系是生长表现最突出的无性系。

2.2 木材材质性状的遗传变异分析

方差分析结果(表 1)表明, 木材密度性状在无性系间差异达极显著水平, 说明无性系间存在极显著差异。通过遗传参数估算, 木材密度的广义遗传力为 0.81, 属于高度遗传。虽然木材密度的遗传

表 3 参试无性系及对照 (69) 各性状平均值

Table 3 Average of 8 traits of all clones including ck (69)								
家系号	D/ cm	H/ m	V/m ³	ρ/ (g·m ⁻³)	S/ %	Y	L/ %	C/ %
69	17. 67	14. 42	0. 135 2	0 379 8	51	0. 687 6	71. 46	2. 10
95	23. 91	17. 63	0. 277 3	0 337 6	68	0. 770 2	84. 43	2. 29
139	24. 64	17. 72	0. 297 1	0 360 3	56	0. 779 2	82. 38	2. 03
177	21. 91	16. 39	0. 224 3	0 362 8	48	0. 785 3	82. 94	1. 99
187	23. 31	17. 00	0. 260 5	0 372 9	60	0. 790 6	83. 40	3. 03
194	24. 48	17. 33	0. 286 4	0 367 5	63	0. 809 2	84. 53	2. 47
200	24. 09	17. 00	0. 272 6	0 363 0	56	0. 762 1	80. 25	2. 34
220	20. 64	15. 90	0. 198 9	0 366 1	54	0. 746 0	79. 75	2. 90
225	22. 00	16. 44	0. 226 0	0 335 8	54	0. 774 4	79. 61	2. 53
312	25. 03	17. 71	0. 302 1	0 340 4	61	0. 803 9	82. 87	2. 45
339	21. 46	16. 58	0. 216 3	0 350 4	50	0. 778 7	80. 77	2. 97
389	18. 37	14. 75	0. 149 7	0 359 3	65	0. 793 1	84. 16	2. 82
410	23. 35	17. 17	0. 260 5	0 376 5	50	0. 804 3	81. 70	1. 93
446	23. 14	16. 28	0. 254 5	0 353 6	62	0. 754 8	78. 75	2. 811
447	24. 22	17. 67	0. 285 0	0 365 8	46	0. 800 7	84. 86	2. 30
491	23. 82	17. 36	0. 270 4	0 361 4	69	0. 779 0	83. 54	2. 04
561	23. 65	17. 08	0. 264 4	0 336 1	58	0. 810 8	85. 56	1. 97
594	22. 07	16. 17	0. 225 7	0 361 6	48	0. 769 9	84. 04	2. 65
600	23. 73	17. 61	0. 273 6	0 353 8	57	0. 779 0	82. 84	1. 99
653	22. 09	16. 39	0. 225 6	0 341 1	53	0. 789 6	83. 75	2. 33
669	23. 02	17. 08	0. 250 2	0 348 1	58	0. 804 3	84. 77	2. 53
745	22. 43	17. 07	0. 242 5	0 367 2	53	0. 783 8	82. 70	2. 83
748	21. 60	16. 38	0. 210 4	0 370 3	50	0. 821 0	84. 93	1. 70
797	25. 44	18. 01	0. 305 8	0 343 9	50	0. 798 0	83. 99	2. 26
850	22. 21	16. 25	0. 227 7	0 359 1	58	0. 800 4	84. 66	1. 94
895	27. 78	20. 17	0. 313 5	0 344 6	56	0. 778 2	85. 12	1. 30
1011	21. 79	16. 03	0. 214 9	0 357 0	47	0. 776 5	81. 96	2. 04
1101	20. 66	15. 89	0. 194 4	0 358 0	50	0. 762 5	82. 71	3. 86
1150	19. 84	16. 54	0. 184 8	0 359 5	50	0. 832 8	87. 80	2. 49
1271	21. 31	16. 33	0. 210 2	0 377 6	47	0. 803 2	85. 31	3. 64
1317	22. 77	18. 06	0. 263 8	0 370 0	54	0. 806 2	86. 47	1. 73
1377	24. 34	17. 31	0. 283 1	0 344 8	63	0. 772 4	83. 80	2. 39
1381	22. 58	17. 14	0. 247 4	0 358 0	60	0. 810 8	82. 93	2. 83
1388	23. 58	17. 00	0. 260 2	0 366 6	50	0. 771 7	84. 25	3. 24

传变异系数较小, 但由于它受到较强的遗传控制, 通过严格的选择, 能够获得较高的遗传增益^[10~12]。

木材密度前 5 个无性系为 1271 (0. 377 6 g·m⁻³), 410 (0. 376 5 g·m⁻³), 187 (0. 372 9 g·m⁻³), 748 (0. 370 3 g·m⁻³) 和 1317 (0. 370 0 g·m⁻³) (表 3), 比 I-69 杨分别要低 0. 58%, 0. 87%, 1. 82%, 2. 50%和 2. 58%, 说明所有无性系的木材密度比对照 I-69 杨的木材密度要小。

湿心材比例在无性系间差异达到极显著水平, 说明无性系间存在很大的差异。遗传参数估算结果 (表 2) 表明, 遗传方差和环境方差几乎相等, 环境变异较大, 受遗传的控制相对较弱, 广义遗传力为 0. 51, 容易受到环境的影响, 属中等强度的遗传, 因此在选育湿心材比例小的优良无性系时, 要充分考虑基因型与环境的相互作用。

从平均值上看 (表 3), 湿心材比例比对照 I-69 杨小的无性系有 447, 1011, 1271, 594, 117, 1150, 748, 410, 339, 1388, 1101 和 797 等 12 个。其中最低的无性系是 447 (46%), 比 I-69 杨低 9. 8%。从变异系数上看, 无性系间存在着不同程度的变异, 其中最大的是 389 (34. 83%), 变异系数比 I-69 杨小的也只有 139, 200, 669, 1101 和 1317 等 5 个无性系。这说明供试材料湿心材比例的变异幅度都比较大, 受环境影响很明显。

2.3 干形性状遗传变异分析

干形改良是材性改良的重要组成部分, 在林木改良中占有重要地位。优良的干形不仅可以提高林

木生长, 而且还可以提高木材材质, 因此通过树木形态性状的改良来间接地进行木材材质的改良是当今木材材性改良的重要途径之一^[8]。

各无性系弯曲度的均值都比较小, 最小的为 1.3% (表 3), 且各无性系之间差异不显著, 说明各无性系都比较通直, 为选择良好的干形提供了基础。各无性系弯曲度的变异系数很大, 平均值为 43.95%, 表明各无性系之间差别也很大, 由方差分析结果可知, 这很有可能是环境等非遗传因素造成的。

圆满度和利用率在无性系间差异极显著, 圆满度和利用率的遗传方差要大于环境方差, 即遗传力比较大, 分别为 0.71 和 0.63, 说明圆满度和通直度主要受遗传的控制, 并且二者的遗传变异系数都比较大, 因此通过严格的选择能够获得较大遗传增益, 使干形更加圆满通直, 提高木材材质, 增加单板的出材率。

圆满度和利用率各无性系的值都比较高, 最大的分别为 0.832 8 和 87.8%, 表明各无性系都比较圆满通直, 尖削度较小, 单板的出材率较高。根据圆满度和利用率 2 个指标选出的无性系为 561, 748, 1150, 1317 和 1381 等 (表 3)。

3 结论与讨论

通过对生长性状的遗传变异分析可知, 胸径和树高这 2 个性状比材积更受遗传所控制。这和王明麻等^[6]对 I-69 杨×小叶杨 F₁ 各无性系间和 I-69 杨×欧洲黑杨 F₁ 各无性系间的结果是一致的。因此在苗期进行早期选择时, 以胸径和树高为指标要比材积选择效率高。

与边材相比, 杨树湿心材含有较高的无机物质和灰分, 这些无机物质是其变色的原因之一。湿心材比例不同无性系之间差异显著, 遗传力为 0.51, 属中等遗传, 这与诸葛强等^[13]关于杨树湿心材的形成机理的研究稍有区别。

通过对多性状的遗传变异分析, 准确把握各个性状的遗传变异情况, 从而在选择某一性状优良无性系的同时, 对于开展多性状联合改良也具有重要意义。

参考文献:

[1] 潘惠新, 黄敏仁, 王明麻, 等. 美洲黑杨新无性系木材性状变异研究[J]. 南京: 南京林业大学, 1995. 21—45.

[2] 刘洪谔, 董再康, 刘力, 等. 杂种杨树纸浆用材良种材性的遗传变异和选择[J]. 浙江林学院学报, 1994, 11(1): 1—6.

[3] 高建社, 刘玉媛, 符毓秦, 等. 不同种源青杨幼树的生长特性[J]. 浙江林学院学报, 2004, 21(1): 115—118.

[4] 林同龙. 杉木杂交后代胸径生长和木材体积质量的遗传变异及联合选择[J]. 浙江林学院学报, 2000, 17(2): 142—145.

[5] 周志春. 马尾松木材性状遗传变异的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 1987.

[6] 王明麻, 黄敏仁. 黑杨派新无性系木材性状遗传改良[J]. 南京林业大学学报, 1989, 13(3): 9—16.

[7] 王克胜, 韩一凡. 杨树研究进展[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995. 146—153.

[8] 姜笑梅, 张立非. 36 个美洲黑杨无性系基本材性遗传变异的研究[J]. 林业科学研究, 1994, 7(3): 253—258.

[9] Zobel B J, Van Buijtenen J P. *Wood Variation; Its Cause and Control*[M]. New York: Springer-Verlay, 1989.

[10] Ivkovich M. Genetic variation of wood properties in balsam poplar[J]. *Silv Genet*, 1996, 45(2—3): 119—124.

[11] 王章荣, 陈天华, 周志春, 等. 马尾松木材性状在林分间和林分内个体间的变异[J]. 南京林业大学学报, 1988, 12(2): 38—42.

[12] Hodge G R, Pumell R C. Genetic parameter estimates for wood density, transitionage and radial growth in slash pine[J]. *Can J For Res*, 1993, 23: 1 881—1 891.

[13] 诸葛强, 黄敏仁, 潘惠新, 等. 杨树湿心材的化学特性及形成机理[J]. 林业科学, 1997, 33(3): 259—266.

Genetic variation of new clones of *Populus deltoides* (I-69) × *Populus euramericana* (I-45)

GUAN Lan-hua¹, PAN Hui-xin², HUANG Min-ren², SHI Ji-sen²

(1. China-Japan Cooperation Science and Technology Center for Forest Tree Improvement Project, Wuhan 430079, Hubei, China; 2. Key Open Laboratory of Forest Genetics and Gene-engineering Funded by State Forestry Administration, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: The traits of DBH, height, volume, wood density, wet heartwood ratio, round degree, utilization ratio, and crooked degree were studied through variance analysis to learn about the genetic variation of all traits based on the 12th year' data. All traits except crooked degree were significantly different among the clones of *Populus deltoides* (I-69) × *Populus euramericana* (I-45). The narrow-sense heritabilities of all these traits except crooked degree were 0.65, 0.75, 0.50, 0.81, 0.51, 0.71, 0.63 respectively, which indicated that all traits were genetically from medium to high. That is to say that all traits were more strongly controlled by genes than by environments and that high genetic gain could be gotten through selection. The 895, 797, 312, 139 and 194 were the fastest clones of growth; 1271, 410, 187, 748 and 1317 were the heaviest clones of wood density; 561, 748, 1150, 1317 and 1381 were superior clones according to the round degree and utilization ratio. The traits of growth, wood quality and stem form had their own elite clones. In order to evaluate all these clones appropriately, all traits should be joint analyzed based on the breeding objective. [Ch, 3 tab. 13 ref.]

Key words: *Populus deltoides*; *Populus euramericana*; wood density; wet heartwood ratio; round degree; utilization ratio; crooked degree