

文章编号:1001-1498(2004)03-0368-06

美洲黑杨与不同种源青杨杂种子代无性系遗传变异和初步选择研究*

李金花¹, 姜英淑², 宋红竹³, 王春城⁴, 张绮纹¹

(1. 中国林业科学研究院林业研究所,北京 100091; 2. 北京市林业种子苗木管理总站,北京 100011;
3. 国家林业局科技发展中心,北京 100714; 4. 北方国家林木种苗示范基地,北京 102211)

摘要:参试材料为美洲黑杨 50 号(母本)和 5 个种源(各 10 个单株)青杨(父本)杂交获得的 25 个家系 115 个子代无性系。5 年生生长性状的方差分析结果表明,子代无性系在父本不同种源间、种源内家系间和家系内无性系间 3 个不同水平上存在 $= 0.001$ 水平的显著差异,具有较大选择潜力。根据子代无性系的生长量和水泡溃疡病抗性,初步选择出了 36 个生长量大且对水泡溃疡病有一定抗性的优良无性系。

关键词:青杨;美洲黑杨; F_1 杂种;多水平变异;溃疡病;无性系选择

中图分类号:S792.11 **文献标识码:**A

随着人们对林木中普遍存在的群体间、个体间等多水平遗传变异的深入认识和育种技术水平的提高,杨树育种者开始在杂交育种中利用种源和个体遗传变异,把种源和个体变异研究作为亲本选择的基础,即优先选择具有目的性状的亲本进行杂交,最后开展 F_1 子代的无性系选择^[1~4]。由此可见,为了提高育种效果,世界杨树育种在原理和策略上有了根本性改变,由“子代选择”向“亲本选择—子代选择”转变^[2,5~7]。我国杨树育种工作与世界水平存在差距,存在的主要问题之一是对亲本仍然只有种的选择,未能利用群体间(种源间)和群体内基因型差异的育种效应,还停留在早期的世界杨树杂交育种研究阶段^[3,4,8]。从 1992 年开始,以美洲黑杨 50 号(*Populus deltoides* Bartr. cl. '55/65')为母本,青杨(*P. cathayana* Rehd.)的 5 个不同种源(各 10 个单株)为父本,建立了多水平杂交育种体系,研究发现 F_1 杂种子代无性系苗期 1~3 a 生长性状,在父本种源不同的杂交组合间、父本种源不同的杂交组合内家系间、家系内无性系间等 3 个不同水平上的遗传变异大,具有较大选择潜力^[9]。本研究利用上述多水平杂交育种子代为材料,对子代无性系的 5 年生生长性状和树干水泡溃疡病进行测定和调查,研究子代无性系生长性状在上述 3 个不同水平上的遗传变异,并初步选择出生长量大并且对杨树水泡溃疡病具有一定抗性的子代优良无性系,从而为未来子代无性系的多性状综合选择的育种目标奠定基础。

收稿日期:2003-08-06

基金项目:国家“九五”科技攻关“杨树纸浆材用材林树种良种选育及培育技术研究”专题

作者简介:李金花(1970—)女,新疆石河子人,助理研究员,在职博士生。

* 参加人员还有北京市林木种子管理总站的何燕和北京市黄垆苗圃的李铁凤等。

1 材料与方法

1.1 材料

以美洲黑杨 50 号为母本和 5 个不同种源青杨为父本(各 10 个单株)进行人工杂交,获得了大量杂种子代无性系。以各无性系生长情况为主要依据,结合冠型、抗性指标,从每个杂交的家系中选择 10 个优良无性系建立了对比试验林,经过定植和保存后,共计父本为 5 个不同种源杂交组合的 25 个家系、115 个无性系进行参试^[3](表 1)。

表 1 父本为不同种源杂交组合的家系及其 5 年生生长性状均值和感染溃疡病的无性系数量

父本种源	家系编号	树高		胸径		材积		溃疡病无性系数量	
		均值/m	CV/%	均值/m	CV/%	均值/m ³	CV/%	有感染	无感染
河北青龙	[6+]	13.52	11.73	13.47	12.69	0.083 3	28.55	4	6
	[10+]	13.79	8.41	13.82	12.53	0.089 6	28.04	0	7
山西五台	[3]	12.04	9.88	10.88	11.12	0.048 2	25.10	1	9
	[5]	13.70	8.02	13.36	10.61	0.082 8	25.50	2	7
	[6]	12.98	8.61	13.30	11.91	0.078 0	28.48	4	3
	[8]	13.12	9.20	13.94	9.30	0.085 9	22.26	3	7
	[9]	13.04	10.66	13.55	12.92	0.081 6	28.99	2	5
陕西周至	50 *3-3	11.65	13.96	13.73	7.52	0.072 6	1.05	0	1
	50 *3-9	14.07	8.33	15.42	13.01	0.114 2	29.64	0	4
	50 *3-10	13.35	10.31	12.03	18.55	0.067 3	35.77	1	3
	50 *3-11	13.52	11.83	14.20	11.25	0.092 6	27.65	1	8
	50 *3-12	13.30	7.44	13.69	0.10	0.083 1	7.24	1	0
	50 *3-14	13.15	15.11	12.21	25.79	0.070 1	46.34	1	2
陕西洛南	50 *3-16	12.97	10.97	13.37	13.20	0.079 5	31.45	1	5
	50 *4-2	11.82	11.77	11.25	11.97	0.051 0	29.55	0	3
	50 *4-3	12.75	19.10	10.99	11.18	0.052 2	31.73	1	1
	50 *4-4	12.63	7.85	12.21	5.71	0.062 9	13.43	0	2
	50 *4-5	11.39	10.05	10.98	24.50	0.049 7	57.07	0	2
	50 *4-6	13.60	11.39	14.37	9.66	0.094 7	23.64	1	3
	50 *4-8	12.60	12.04	12.20	11.93	0.064 3	34.40	1	4
	50 *4-9	10.40	21.76	9.07	12.16	0.029 5	44.73	0	1
	50 *4-10	12.73	5.05	14.20	27.79	0.090 9	58.31	0	1
陕西长安	92-11	13.00	9.42	12.25	21.03	0.068 6	46.37	0	2
	92-12	12.87	8.37	13.12	23.31	0.078 0	56.30	2	3
	92-14	9.0	0.28	10.2	0.79	0.031 2	0.15	0	1

1.2 造林地和田间试验设计^[3]

试验地建在北京市黄堡苗圃(39°25' N, 116°8' E),位于大兴县南,所处位置属于永定河流域,沙质土壤。年均日照 2 144 ~ 2 772 h,年均气温 11.5 °C,年均降水量 422.3 ~ 508.9 mm,年平均风速 2 m s⁻¹,最大风速为 22 m s⁻¹。1998 年春在北京市黄堡苗圃建立了子代无性系对比试验林 15 hm²,共计父本为 5 个种源的 26 个家系、125 个无性系,完全随机区组试验设计,5 次重复,单株小区,株行距 3 m × 4 m,最终保存下来的子代无性系共计 116 个。

1.3 性状测定和统计分析

2001 年秋季对试验林中子代无性系的 5 年生树高和胸径进行观测,根据树高(H ,m)和胸径(D ,cm)计算材积(V ,m³),材积计算公式为:

$$V = 1/3 H(D/100)^2$$

调查子代无性系杨树水泡型溃疡病在主干部位上的发病情况,根据每个无性系的主干上是否有病斑,确定为感病和无感病两种情况。

应用 Excel 97 软件对观测数据进行录入及核对,应用 SAS 6.2 版软件对数据进行统计分析。方差分析的线性模型为:

$$Y_{ijkl} = \mu + P_i + F_j(P_i) + C_k(F_j) + e_{ijkl}$$

式中: Y_{ijkl} 为杂种子代中父本为第 i 个种源的第 j 个家系内第 k 个无性系的第 l 个观测值; μ 为总体平均值; P_i 表示父本种源效应; $F_j(P_i)$ 表示父本种源内家系效应; $C_k(F_j)$ 表示父本种源内家系内无性系效应; e_{ijkl} 表示误差。

2 结果与分析

2.1 杂种子代无性系的多水平遗传变异

母本美洲黑杨 50 号与父本青杨的种间变异以及父本青杨的种源间和种源内单株间遗传变异,均对杂交效果产生了影响^[9],因此,子代无性系的遗传变异可分为父本种源不同的杂交组合间(种源间)、父本种源不同的杂交组合内不同家系间(种源内家系间)和家系内不同无性系间 3 个不同水平的变异^[9]。

2.1.1 生长性状 杂种子代无性系 1~3 a 生长性状在父本不同种源间、种源内家系间和家系内无性系间等 3 个不同水平上的遗传变异大,具有较大选择潜力^[9]。子代无性系 5 年生生长性状进行方差分析,结果表明(表 2)5 年生胸径和材积 2 个性状在父本不同种源间、种源内家系间和家系内无性系间 3 个不同变异水平上均达到了 $\alpha = 0.0001$ 水平的极显著差异,而树高性状在父本不同种源间和种源内家系间 2 个变异水平上也均达到了 $\alpha = 0.0001$ 水平的显著差异,丰富的遗传变异表明杂种子代中优良无性系选择的潜力较大^[10]。

表 2 杂种子代无性系 5 年生生长性状的方差分析结果

性状	变异来源	自由度	方差和 SS	均方 MS	F 值	$Pr > F$
树高	父本种源	4	56.095 3	14.023 8	8.27 ****	0.000 1
	种源内家系间	20	122.750 2	6.137 5	3.62 ****	0.000 1
	家系内无性系间	91	226.599 0	2.490 1	1.47 **	0.009 1
胸径	父本种源	4	721.781 1	30.445 3	14.78 ****	0.000 1
	种源内家系间	20	480.469 4	24.023 5	11.66 ****	0.000 1
	家系内无性系间	91	574.505 7	6.313 3	3.06 ****	0.000 1
材积	父本种源	4	0.027 044 83	0.006 761 21	15.95 ****	0.000 1
	种源内家系间	20	0.082 884 38	0.004 144 22	9.78 ****	0.000 1
	家系内无性系间	91	0.105 338 23	0.001 157 56	2.73 ****	0.000 1

注: 为父本种源不同的杂交组合间; 为父本种源不同的杂交组合内不同家系间; 为父本种源不同的杂交组合不同家系内无性系间。****, $\alpha = 0.0001$; ***, $\alpha = 0.001$; **, $\alpha = 0.01$ 。

2.1.2 溃疡病抗性 杨树水泡型溃疡病(*Dothiorella gregaria* Sacc.)在辽宁、河北、河南、山东、陕西、江苏等省的杨树苗圃及造林发生普遍,危害主干和枝条,严重影响造林成活率,且在北京平原地区属于杨树常见重度病害之一^[11~13]。母本美洲黑杨 50 号对杨树水泡型溃疡病有抗性^[14,15],而父本青杨易感病,受害严重,并且水泡溃疡病是青杨派树种主要树干病害之一^[11,13],二者杂交所

得的杂种子代无性系在溃疡病感染性和抗性上表现出了分离情况(表1),共计90个子代无性系的树干未发现感染水泡溃疡病,其中父本种源为河北青龙的13个、山西五台31个、陕西周至23个、陕西洛南17个、陕西长安6个,在数量上超过了感染溃疡病的无性系数(共计26个),并且在每个家系内未感染溃疡病的无性系在数量上也高于感病无性系。由于感染轻重受植株生长状况及环境条件等多方面因素的影响,所以不同杨树品种对水泡溃疡病表现受害程度的差异是本质性的,不能根据抗性表现进一步划分中抗、中感等类^[16]。此外,大田自然发病率比室内人工接种的发病率低,但仍然可以作为抗病无性系初步选择的依据,因此,本研究中根据杂种子代无性系的溃疡病自然发病情况,进行无性系抗病选择是可行的^[10,11]。

2.2 杂种子代优良无性系的选择

林木育种中无性系选择是利用速生和低耗达到增产的目的,因此,生长量和抗性是林木改良中最重要的育种和选种目标^[2~4]。苏联 A. . ape^[17]在不同立地条件下对黑杨(*P. nigra* L.)、钻天杨(*P. nigra* L. var. *thevestina* (Dode) Bean.)、新疆杨(*P. alba* L. var. *pyramidalis* Bge.)等12个杨树品种2~11 a树高和胸径进行了连年测定,根据各品种位次排列和分析,利用斯彼尔曼的位次相关系数从理论上揭示了有高度可靠性的估价杨树生长速度的最低年龄为4~5 a,并追踪研究了居首品种的更替过程,认为如果在工艺成熟年龄(15~20 a)之前确定2~3个最有生产力的品种,就必须在4~5年生时选出3~4个名居前列的品种。意大利杨树研究所在欧美杨(*P. xeuramericana* (Dode) Guineir)和美洲黑杨的遗传改良程序中,对杂种子代进行第1次和第2次无性系造林试验测定时,无性系的选择年龄均为5 a^[2,18]。目前,杨树纸浆材人工林的轮伐期一般为5~7 a,板材等用材林轮伐期为8~15 a,5 a则分别相当于两种人工林的1个和1/2或1/3个轮伐期^[15,17,18],此时生长性状在子代无性系中已经出现了明显的分化^[15],许多杨树品种在杂交育种研究中的早期选择年龄一般也为4~5 a^[2,7,15]。本研究中,杂

表3 初选子代无性系的5年生长表现

序号	种源	家系	无性系 编号	树高/ m	胸径/ cm	材积/ m ³	序号	种源	家系	无性系 编号	树高/ m	胸径/ cm	材积/ m ³
1	陕西周至	50*3-9	103	15.1	17.53	0.154 7	19	陕西长安	92-11	68	13.75	14.44	0.095 5
2	陕西周至	50*3-11	114	14.14	16.46	0.127 5	20	陕西洛南	50*4-6	88	14.50	14.00	0.095 1
3	陕西周至	50*3-9	102	13.23	16.58	0.122 2	21	陕西长安	92-12	70	12.22	14.23	0.094 2
4	河北青龙	[10+]	61	14.67	15.72	0.121 9	22	河北青龙	[10+]	64	14.38	13.92	0.093 8
5	河北青龙	[6+]	54	16.10	14.69	0.115 8	23	河北青龙	[10+]	63	14.00	14.05	0.092 5
6	陕西周至	50*3-11	110	14.00	15.48	0.111 8	24	陕西周至	50*3-9	100	13.60	14.25	0.092 5
7	山西五台	[5]	17	13.73	15.03	0.104 4	25	山西五台	[5]	14	14.00	13.92	0.091 4
8	河北青龙	[6+]	49	12.90	15.47	0.103 8	26	陕西洛南	50*4-10	98	13.73	14.20	0.090 9
9	河北青龙	[10+]	62	13.25	15.28	0.103 3	27	陕西长安	92-12	72	13.46	14.18	0.090 7
10	陕西周至	50*3-11	115	14.50	14.52	0.102 5	28	山西五台	[9]	45	13.63	13.99	0.090 2
11	陕西周至	50*3-16	121	13.34	15.08	0.101 8	29	山西五台	[5]	13	14.50	13.65	0.089 9
12	陕西周至	50*3-11	123	14.17	14.59	0.100 7	30	陕西洛南	50*4-8	92	14.14	13.76	0.089 4
13	山西五台	[8]	33	12.80	15.35	0.100 6	31	山西五台	[5]	19	13.17	13.98	0.089 0
14	河北青龙	[10+]	60	13.67	14.79	0.100 0	32	陕西周至	50*3-9	108	13.78	13.65	0.086 7
15	河北青龙	[6+]	55	12.75	15.14	0.098 8	33	山西五台	[9]	42	13.17	13.94	0.086 4
16	陕西洛南	50*4-6	91	12.90	14.90	0.097 8	34	陕西周至	50*3-11	116	12.80	14.01	0.086 1
17	陕西周至	50*3-11	112	14.10	14.26	0.096 2	35	山西五台	[8]	30	13.40	13.87	0.086 0
18	陕西周至	50*3-9	102	11.50	15.80	0.095 7	36	山西五台	[6]	28	12.5	14.08	0.085 5

种子代无性系5年生生长性状的方差分析结果(表3)表明,子代无性系生长量在3个不同水平上的遗传变异较大,选择优良无性系的潜力也较大,因此,根据5年生生长性状对杂种子代无性系进行选择具有一定的科学性和可靠性。

2.3 优良子代无性系的评价

116个子代无性系的树高、胸径和材积性状均值分别为13.012 m、12.99 cm、0.076 3 m³。根据子代无性系的材积生长量和水泡溃疡病抗病性,选择材积最大的36个无性系(表3)与子代无性系性状均值比较,均达到了12%以上的显著差异。这些无性系的树干没有在自然条件下感染水泡溃疡病,表明这些无性系对该病具有一定的抗性。

生长表现最佳的子代无性系,其父本为5个不同种源,并且36个中选无性系来自14个不同家系,其中陕西周至12个、山西五台9个、河北青龙8个、陕西洛南4个、陕西长安3个,父本种源为陕西周至的家系50⁺3-11的中选无性系为6个,家系50⁺3-9的中选无性系为5个,可以推测父本青杨种源为陕西周至的杂交效果较好。

此外,材积生长量最大的子代无性系(编号“103”),5年生材积生长量可达0.154 7 m³,比排序第2名的无性系(编号“114”)增加了21%。

3 结论

以美洲黑杨50号为母本,5个不同种源青杨为父本进行人工杂交建立了多水平杂交育种体系,利用获得的父本为5个不同种源的25个家系115个杂种子代无性系进行参试,5年生生长性状(树高、胸径和材积)在杂种子代中父本为不同种源间、种源内家系间和家系内无性系间等3个不同变异水平上均存在显著差异,丰富的遗传变异表明杂种子代无性系的选择具有较大潜力,有利于在杂交育种中多水平遗传变异的利用。

根据材积生长量和对水泡溃疡病的抗性,在115个杂种子代无性系中,初步选择出36个优良无性系,生长表现较佳,且对水泡溃疡病具有一定抗性。中选无性系的父本为5个不同种源、14个不同家系,表明优良种源和优良家系的子代无性系不一定都优良。无性系选择可以结合种源选择和家系选择而进行。

依据材积生长量以中选率30%对子代无性系进行单性状选择,不仅淘汰劣势无性系,而且对表现中等的无性系可留待其它性状观测后再进行选择。在未来无性系选择研究中,对初选子代无性系将进行生长、材性、干型、冠形、抗性等多个育种目标的综合性状选择研究,并选育出多个性状最佳的优良无性系,再进行无性系对比试验和区域化试验,为优良品种的诞生和应用推广奠定基础,也是此项多水平杂交育种最主要的目的之一。

参考文献:

- [1] Stettler R F, Zsuffa L, Wu R L. The role of hybridization in the genetic manipulation of *Populus* [A]. In: Stettler R F Jr Branshaw H D, Heilman P E, et al. Part I, Chapter 6. Biology of *Populus* and its Implications for Management and Conservation [C]. Ottawa: NRC Research Press, National Research Council of Canada, 1996. 87 ~ 112
- [2] Bisoffi S, Gullberg U. Poplar breeding and selection strategies [A]. In: Stettler R F, Jr Branshaw H D, Heilman P E, et al. Part I, Chapter 6. Biology of *Populus* and its Implications for Management and Conservation [C]. Ottawa: NRC Research Press, National Research Council of Canada, 1996. 139 ~ 158
- [3] 苏晓华, 张绮纹. 杨树杂交育种亲本利用的现状及其育种策略 [A]. 见: 中国林业科学研究院林业研究所育种二室. 杨树遗传改良 [C]. 北京: 北京农业大学出版社, 1991. 139 ~ 144

- [4] 马常耕. 从世界杨树杂交育种的发展和成就看我国杨树育种研究[J]. 世界林业研究, 1994, 7(3): 23~30
- [5] Villar M, Lefevre F, Augustin S, et al. Perspectives d'amélioration génétique des peupliers en France[J]. Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France, 1995, 81(3): 137~152
- [6] Jha K K, Yögesh K. Interspecific hybridization in poplars and initial performance of hybrids in Tarai of Uttar Pradesh[J]. Indian Journal of Forestry, 2000, 23(1): 1~11
- [7] Riemenschneider D E, Berguson W E, Dickmann D I, et al. Poplar breeding and testing strategies in the north-central US: demonstration of potential yield and consideration of future research needs[J]. Forestry Chronicle, 2001, 77(2): 245~253
- [8] 马常耕. 我国杨树杂交育种的现状和发展对策[J]. 林业科学, 1995, 31(1): 60~68
- [9] 李金花, 张绮纹, 苏晓华, 等. 美洲黑杨与不同种源青杨杂种苗叶片和生长性状多水平变异研究[J]. 林业科学研究, 2002, 15(1): 13~22
- [10] 符毓秦, 刘玉媛, 李均安. 美洲黑杨与青杨派树种的有性杂交及性状遗传分析[J]. 陕西林业科技, 1983(2): 7~14
- [11] 赵天锡, 陈章水. 中国杨树集约栽培[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994
- [12] 曾大鹏. 我国杨树病害的研究现状与防治[J]. 中国森林病虫, 2002, 21(1): 20~26
- [13] 杨旺, 沈瑞祥, 刘红霞. 杨树溃疡病可持续控制技术的研究[J]. 北京林业大学学报, 1999, 21(4): 13~17
- [14] 林业部科技司. 阔叶树优良无性系图谱[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1991
- [15] 张绮纹, 苏晓华. 国外杨树引种及区域化试验的研究[A]. 见: 中国林业科学研究院林业研究所育种二室. 杨树遗传改良[C]. 北京: 北京农业大学出版社, 1991. 167~176
- [16] 杨自湘, 韩一凡, 陈鸿雕, 等. 病区优树对杨树溃疡病抗性的研究[A]. 见: 中国林业科学研究院林业研究所育种二室. 杨树遗传改良[C]. 北京: 北京农业大学出版社, 1991. 148~153
- [17] 李佩 A. 杨树品种比较中估价生长速度的最低年龄问题[A]. 马常耕译. 见: 中国林业科学研究院林业所. 国外杨树栽培[C]. 1982. 84~88
- [18] 张绮纹. 黑杨派内杨树的遗传改良[A]. 见: 中国林业科学研究院林业研究所育种二室. 杨树遗传改良[C]. 北京: 北京农业大学出版社, 1991. 53~60

Genetic Variation and Initial Selection of Clones from Hybrid between *Populus deltoides* Marsh. × *P. cathayana* Rehd.

LI Jinhua¹, JIANG Ying-shu², SONG Hong-zhu³, Wang Chur-cheng⁴, ZHANG Qi-wen¹

(1. Research Institute of Forestry, CAF Beijing 100091, China;

2. Beijing Management Bureau of Forest Seed and Seedling, Beijing 100091; China

3. Science and Technique Development Center, State Forestry Administration, Beijing 100714, China;

4. North National Forest Plantlet Exemplary Base, Beijing 102211, China)

Abstract: The controlled hybridization between a female *Populus deltoides* Marsh. '55/65' and 5 provenances (10 individuals each provenance) of the male *P. cathayana* produced the hybridization system with multi-level variations for breeding with F₁ clones. For 5 years after planted in plantation, 115 clones of 25 families were experimented. The growth traits, including height, diameter at breast height and volume, of F₁ hybrid clones and their different resistance ability to *Dothiorella gregaria* (poplar canker) were analyzed. The analysis of variance showed that among F₁ hybrid clones, the significant differences of 5-year-old growth traits existed among clones of male-parent *P. cathayana* from 5 provenances, among families within 5 male-parent provenances and among clones within families. The significant difference of 5-year-old growth among F₁ clones showed that the selection potential was greater among F₁ clones. On base of growth traits and resistance to *D. gregaria*, 36 super clones were selected and used for multi-traits selection in future.

Key words: *Populus cathayana*; *P. deltoides*; F₁ hybrid; multi-level variation; *Dothiorella gregaria*; clonal selection