

DOI: 10.13332/j.1000-1522.20160138

# 白桦全同胞子代测定及优良家系早期选择

刘宇 徐焕文 滕文华 姜静 刘桂丰

(林木遗传育种国家重点实验室,东北林业大学林学院)

**摘要:**开展种子园全同胞家系造林试验不仅能够选择出优良杂交亲本和杂交组合,而且也能加快种子园的改良进程。本文以白桦种子园中产种母树为试材,按测交系交配设计进行控制杂交,共获得20个杂交组合,在帽儿山试验点营造试验林,对6年生试验林各组合的树高、胸径和材积等性状进行调查分析。树高、胸径和材积生长量在不同母本子代间和不同杂交组合间均表现极显著的差异( $P < 0.01$ ),胸径与材积性状在不同父本子代间也表现显著的差异( $P < 0.05$ )。根据多重比较结果分别进行了优良父本和优良母本的初选,同时,采用多目标决策法对参试的杂交组合进行多性状综合评价,将综合评价价值大于0.80的前5位组合评选为优良杂交组合,入选率为25.00%,其中Q2和Q19家系为最优杂交组合。入选的优良杂交组合各性状均值分别较参试整体均值高3.85%、10.01%、20.82%,3个性状的遗传增益分别为2.90%、7.64%、16.22%。研究结果不仅为白桦全同胞子代选择提供理论依据,而且也可为白桦高世代种子园的亲本选配提供参考。

**关键词:**白桦; 全同胞; 子代测定

**中图分类号:**S792.153; S718.46 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1522(2017)02-0001-08

LIU Yu; XU Huan-wen; TENG Wen-hua; JIANG Jing; LIU Gui-feng. **Full-sib progeny test and early selection in superior families of *Betula platyphylla*.** *Journal of Beijing Forestry University* (2017) **39**(2) 1-8 [Ch, 25 ref.] State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang, 150040, P. R. China.

Carrying out afforestation test of full-sib families can not only select excellent hybrid parents and combination, but also accelerate the improved process of seed orchard. In this study, 20 progeny seedlings were got from seed mother trees in seed orchard by tester strain mating design. Tree height ( $H$ ), diameter at breast height (DBH) and volume ( $V$ ) of tested trees, which were planted 6 years ago in Maoershan Mountain of northeastern China, were measured and analyzed. The results showed that there had highly significant differences ( $P < 0.01$ ) in  $H$ , DBH, and  $V$  among different female parents and varied hybrid combinations, and there had significant differences ( $P < 0.05$ ) in DBH and  $V$  among different male parents. According to the results of multiple comparisons, excellent male and female parents were selected. Meanwhile, the tested hybrid combinations were synthetically evaluated by multi-objective decision-making method. The top five combinations were defined as superior hybrid combinations with the comprehensive evaluating value greater than 0.80, and the selection ratio was 25.00%, among them Q2 and Q19 family were the best hybrid combinations. The average of selected excellent hybrid traits were 3.85%, 10.01%, 20.82% higher than that of overall, the genetic gain was 2.90%, 7.64%, 16.22%, respectively. These results provide a theoretical basis for selection of birch full-sib progeny and a reference for affinity option of birch high generation seed orchard.

**Key words** *Betula platyphylla*; full-sib; progeny test

收稿日期: 2016-04-25 修回日期: 2016-06-27

基金项目: 珍贵用材树种新品种选育技术研究(2012BAD01B05)。

第一作者: 刘宇。主要研究方向: 林木遗传育种。Email: nefuly@126.com 地址: 150040 黑龙江省哈尔滨市香坊区和兴路26号东北林业大学林学院。

责任作者: 刘桂丰, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 林木遗传育种。Email: liuguifeng@126.com 地址: 同上。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

白桦(*Betula platyphylla*)属桦木科(Betulaceae)桦木属植物,白桦广泛分布于我国东北、华北、西北及西南高山林区等14个省区,据统计全国白桦林面积约为489.97万 $\text{hm}^2$ ,其中2/3集中在东北地区<sup>[1]</sup>。白桦具有生长快、适应性强、木材纹理直、结构细、耐腐朽等特点,是胶合板生产的重要材料,也是高山地区重要的用材树种<sup>[2]</sup>。20世纪90年代,自白桦被列为科技攻关树种以来,对白桦的研究逐渐增多,相继开展了白桦选择育种、杂交育种、倍性育种等研究<sup>[3-13]</sup>,取得了一定的成绩。其中,利用杂交方法进行白桦选育是能够获得性状良好且遗传稳定的优良基因型的最有效方法之一,通过杂交子代遗传测定,可以估算亲本效应值,用于后向选择,即作为对原建种子园母树去劣留优的依据,或用于前向选择,即在全同胞优良家系中选择优良个体为高世代遗传改良提供育种材料<sup>[14]</sup>。在以往白桦杂交选育的研究中,李开隆等<sup>[4]</sup>和王成等<sup>[5]</sup>曾以国内的白桦(*B. platyphylla*)和欧洲地区分布白桦(*B. pendula*)为材料进行过双列杂交,并为白桦种子园亲本选配提供了有力参考。但随着白桦种子园中母树陆续达到开花结实年龄后,更多亲本随之涌现以待选择,故本研究以白桦种子园中产种母树为试材,按测交系进行控制杂交,对所得全同胞子代进行区域性造林试验,以子代测定的结果对参试亲本进行评价,选择优良亲本及优良杂交组合,为白桦种子园的改良以及高世代种子园亲本选配提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料与试验设计

2007年以定植于东北林业大学白桦强化种子园内的7株优树为母本(M2~M8),其中M2、M3、M6为中国分布白桦与欧洲地区分布白桦杂种子代(*B. platyphylla* × *B. pendula*),M5为欧洲白桦(*B. pendula*)优树,M4、M7、M8为白桦(*B. platyphylla*)优树;4株杂种白桦(*B. platyphylla* × *B. pendula*)为父本(F1~F4),按测交系交配设计进行控制授粉,共获得20个全同胞家系种子(表1)。2008年4月末于塑料大棚中育苗,2009年早春在黑龙江省尚志市帽儿山试验点开展造林试验,该造林点年均温2.4℃,年降水量700mm,土壤类型为暗棕壤,无霜期为120d。试验林按完全随机区组设计,20株小区,3次重复,株行距2m×2m。2015年春季进行全林树高、胸径及保存率调查。

### 1.2 数据调查处理

#### 1.2.1 生长性状测量

2015年对帽儿山试验点的白桦全同胞子代试

表1 白桦杂交双亲及子代代码

Tab.1 Birch hybrid parents and progeny codes

杂交组合代码	父本代码	母本代码
Hybrid combination code	Male parent code	Female parent code
Q1	F1	M2
Q2	F1	M5
Q3	F1	M6
Q4	F1	M7
Q5	F1	M8
Q6	F3	M3
Q7	F3	M4
Q8	F3	M5
Q9	F3	M7
Q10	F3	M8
Q11	F2	M2
Q12	F2	M3
Q13	F2	M7
Q14	F2	M8
Q15	F4	M2
Q16	F4	M3
Q17	F4	M4
Q18	F4	M6
Q19	F4	M7
Q20	F4	M8

验林进行每木调查,采用上海泽泉科技有限公司出品的超声波测高测距仪(Users Guide Vertex IV and Transponder T3)进行测量,精确至0.1m,胸径采用围尺测量,精确至0.1cm。测定各家系保存的株数计算家系保存率。

根据白桦的二元材积表,利用测定的树高和胸径计算单株材积: $V = 0.000\ 005\ 193\ 516\ 3 \times D^{1.858\ 688\ 4} H^{1.003\ 894\ 1}$ 。

#### 1.2.2 方差分析

运用Microsoft Excel进行数据处理,用SPSS v16.0软件进行方差分析及多重比较。

#### 1.2.3 遗传参数分析

表型变异系数(PCV)采用公式: $PCV = \delta/\bar{X} \times 100\%$ ,式中: $\delta$ 为性状标准差, $\bar{X}$ 为性状平均值。

家系遗传力( $H^2$ )的估算公式为: $H^2 = 1 - 1/F$ ,式中: $F$ 为性状方差分析表中的 $F$ 值。

遗传增益( $G$ )采用公式: $G = h^2 S/\bar{X} \times 100\%$ ,式中: $h^2$ 为性状遗传力, $S$ 为入选各优良家系性状平均值与参试家系相应性状平均值的差值, $\bar{X}$ 为参试家系性状平均值。

#### 1.2.4 多目标决策法

采用多目标决策法对评价指标值进行标准化处

理,换算为统一的效用单位  $U$ 。树高、胸径和材积等 3 个指标均愈高愈好,采用换算公式  $U_{ij} = 1 - 0.9 \times (V_{imax} - V_{ij}) / (V_{imax} - V_{imin})$ , 式中:  $V_{ij}$  为第  $i$  性状第  $j$  个杂交组合值,  $V_{imax}$  和  $V_{imin}$  分别为第  $i$  个性状中最大值和最小值,  $U_{ij}$  为第  $i$  个性状第  $j$  个杂交组合的标准值<sup>[15]</sup>。因材积是森林经营利用的基本的经济指标,所以在对各指标进行加权时,以材积对林木质量的贡献为基准,其余指标的权值参照文献[16]进行计算:  $\omega_{(xi)} = r_{li}^2 / \sum_{i=1}^m r_{li}^2$ ; 式中:  $\omega_{(xi)}$  为第  $i$  个指标的权重,  $r_{li}^2$  为第  $i$  个指标与材积的相关系数。综合评价值:  $U = \sum_{i=1}^4 (\omega_{(xi)} U_{ij})$ 。

表 2 不同母本白桦杂交子代生长性状的方差分析

Tab. 2 Variance analysis in growth traits of different female parents

变异来源 Source of variation	生长性状 Growth traits	df	MS	F	P	家系遗传力 Family heritability ( $H^2$ )
母本 Female parent	树高 Tree height	6	5.187	5.774 **	<0.01	0.826 8
	胸径 DBH	6	16.202	7.229 **	<0.01	0.861 7
	材积 Volume	6	<0.001	6.741 **	<0.01	0.851 7

注: \*\* 表示在  $P < 0.01$  水平差异显著。下同。Notes: \*\* means significant difference at  $P < 0.01$  level. The same below.

表 3 不同母本白桦杂交子代生长性状的多重比较

Tab. 3 Multiple comparisons in seedling growth traits of different female parents

母本代码 Female parent code	树高 Tree height/m	胸径 DBH/cm	材积 Volume/m <sup>3</sup>
M2	6.64 ± 1.24 bc	5.46 ± 1.45 c	0.009 1 ± 0.005 1 b
M3	6.52 ± 1.08 c	5.95 ± 1.71 bc	0.010 5 ± 0.005 9 b
M4	6.91 ± 0.97 ab	6.41 ± 1.81 ab	0.012 5 ± 0.006 4 a
M5	7.12 ± 0.66 a	6.48 ± 1.24 ab	0.012 6 ± 0.005 3 a
M6	6.48 ± 0.98 c	5.61 ± 1.52 c	0.009 3 ± 0.005 4 b
M7	7.02 ± 0.73 a	6.57 ± 1.42 a	0.0129 ± 0.005 8 a
M8	7.02 ± 0.89 a	6.43 ± 1.42 ab	0.012 4 ± 0.005 4 a

注: 同列不同字母表示在  $P < 0.05$  水平上差异显著。下同。Notes: different letters in the same column mean significant difference at  $P < 0.05$  level. The same below.

## 2.2 不同父本对杂交子代生长性状的影响

针对不同父本杂交子代家系间的树高、胸径和材积性状进行方差分析(表 4), 结果表明仅有胸径与材积达到差异极显著水平( $P < 0.01$ ), 树高性状家系间差异不显著( $P > 0.05$ ), 说明不同父本对子代胸径、材积等性状有显著的影响。在家系遗传力方面, 父本对子代各性状的影响相比于母本要低一些, 特别是树高性状家系遗传力仅为 0.56, 另外 2 个性状在 0.75 左右。进而对不同父本子代各性状进行多重比较(表 5), 结果以 F1、F3、F4 为父本的子代各性状表现均较好, 其中材积表现最好的以 F1 为父本的子代均值较整体均值高 9.17%。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同母本对杂交子代生长性状的影响

针对不同母本杂交子代家系间的树高、胸径和材积性状进行方差分析(表 2), 结果表明各性状均达到差异极显著水平( $P < 0.01$ ), 说明不同母本对子代生长性状具有显著的影响, 并且其家系遗传力均在 0.80 以上, 均属高度遗传。进而对不同母本子代各性状进行多重比较(表 3), 结果以 M4、M5、M7、M8 为母本的子代各性状表现均较为优良, 其中材积表现最好的以 M7 为母本的子代均值较整体均值高 13.87%。

### 2.3 不同杂交组合对杂交子代生长性状的影响及造林保存率分析

对不同杂交组合间的树高、胸径和材积性状进行方差分析以及主要遗传参数分析(表 6) 结果表明: 各性状在不同杂交组合间差异均达到极显著水平( $P < 0.01$ )。其中树高性状变异系数最小, 为 14.18%, 胸径次之, 材积性状最大为 50.43%。3 个性状的家系遗传力均高于 0.75, 表明这 3 个性状受遗传因素控制强, 受环境影响小。

由于不同杂交组合间各性状均差异极显著( $P < 0.01$ ), 进而进行多重比较(表 7)。按各性状均值高低排序发现 Q19、Q2 和 Q5 等杂交组合的 3 个性

表4 不同父本白桦杂交子代生长性状的方差分析

Tab.4 Variance analysis in growth traits of different male parents

变异来源 Source of variation	生长性状 Growth traits	df	MS	F	P	H <sup>2</sup>
父本 Male parent	树高 Tree height	3	2.108	2.247	0.08	0.555 0
	胸径 DBH	3	9.212	3.912 **	<0.01	0.744 4
	材积 Volume	3	<0.001	4.160 **	<0.01	0.759 6

表5 不同父本白桦杂交子代生长性状的多重比较

Tab.5 Multiple comparisons in seedling growth traits of different male parents

父本代码 Male parent code	树高 Tree height/m	胸径 DBH/cm	材积 Volume/m <sup>3</sup>
F1	7.02 ± 0.98 a	6.38 ± 1.54 a	0.012 5 ± 0.006 4 a
F2	6.73 ± 0.99 a	5.79 ± 1.47 b	0.010 1 ± 0.005 0 b
F3	6.84 ± 0.83 a	6.34 ± 1.35 a	0.011 7 ± 0.005 0 a
F4	6.78 ± 1.03 a	6.15 ± 1.68 ab	0.011 5 ± 0.006 1 a

表6 不同杂交组合间生长性状的方差分析和主要遗传参数

Tab.6 Variance analysis and main genetic parameters of seedling growth traits from different hybrid combinations

生长性状 Growth traits	df	MS	F	P	均值 Mean	标准差 Standard deviation	变幅 Range	PCV/%	H <sup>2</sup>
树高 Tree height	19	2.983	4.035 **	<0.01	6.84 m	0.97 m	6.12 ~ 7.26 m	14.18	0.752 2
胸径 DBH	19	8.724	4.223 **	<0.01	6.17 cm	1.55 cm	5.17 ~ 6.94 cm	25.12	0.763 2
材积 Volume	19	<0.001	4.534 **	<0.01	0.011 5 m <sup>3</sup>	0.005 8 m <sup>3</sup>	0.007 7 ~ 0.014 5 m <sup>3</sup>	50.43	0.779 4

表7 参试杂交组合生长性状多重比较

Tab.7 Multiple comparisons in seedling growth traits of tested hybrid combinations

杂交组合代码 Hybrid combination code	树高 Tree height			胸径 DBH			材积 Volume			保存率 Preservation rate/%
	均值 Mean/m	变幅 Range/m	PCV/ %	均值 Mean/cm	变幅 Range/cm	PCV/ %	均值 Mean/m <sup>3</sup>	变幅 Range/m <sup>3</sup>	PCV/ %	
Q1	6.74 ± 1.20 abc	4.2 ~ 8.4	17.85	5.63 ± 1.44 cdef	2.2 ~ 8.2	25.64	0.009 7 ± 0.005 5 defg	0.001 0 ~ 0.020 9	56.07	65.00
Q2	7.23 ± 0.69 a	5.0 ~ 8.4	9.59	6.94 ± 1.29 a	4.3 ~ 9.7	18.52	0.014 5 ± 0.005 9 a	0.003 9 ~ 0.029 7	40.45	55.00
Q3	7.07 ± 0.90 a	5.5 ~ 8.5	12.76	6.14 ± 1.62 abede	3.4 ~ 8.3	26.32	0.011 8 ± 0.006 3 abedef	0.003 0 ~ 0.022 7	53.07	35.00
Q4	6.80 ± 0.73 ab	5.9 ~ 8.0	10.77	6.85 ± 1.48 ab	5.1 ~ 10.5	21.52	0.013 6 ± 0.007 4 abc	0.006 4 ~ 0.033 1	54.73	18.33
Q5	7.17 ± 1.01 a	4.0 ~ 9.0	14.06	6.68 ± 1.57 ab	3.0 ~ 9.8	23.43	0.013 9 ± 0.006 6 ab	0.001 6 ~ 0.030 2	47.94	55.00
Q6	6.25 ± 1.11 cd	4.0 ~ 8.0	17.69	6.04 ± 1.89 abedef	1.0 ~ 9.5	31.31	0.010 5 ± 0.006 3 bedefg	0.000 2 ~ 0.026 1	59.91	35.00
Q7	6.93 ± 0.69 a	5.5 ~ 7.8	9.95	6.56 ± 1.39 abc	3.5 ~ 8.8	21.17	0.012 6 ± 0.005 3 abed	0.003 2 ~ 0.020 9	41.71	26.67
Q8	6.99 ± 0.61 a	5.9 ~ 8.0	8.77	5.91 ± 0.91 bedef	3.8 ~ 7.9	15.42	0.010 3 ± 0.003 5 cdefg	0.003 9 ~ 0.017 8	33.69	45.00
Q9	6.96 ± 0.61 a	6.0 ~ 8.0	8.81	6.63 ± 1.46 ab	4.2 ~ 9.2	21.97	0.013 0 ± 0.005 7 abed	0.004 5 ~ 0.025 9	44.12	36.67
Q10	6.97 ± 0.87 a	3.6 ~ 8.0	12.45	6.60 ± 1.06 ab	4.2 ~ 8.8	16.10	0.012 5 ± 0.004 3 abed	0.004 0 ~ 0.022 7	34.44	53.33
Q11	6.76 ± 1.08 abc	3.5 ~ 8.5	15.92	5.39 ± 1.09 ef	2.8 ~ 7.2	20.22	0.008 7 ± 0.003 8 efg	0.001 2 ~ 0.015 7	43.80	45.00
Q12	6.35 ± 1.18 bed	3.0 ~ 7.5	18.63	5.41 ± 1.78 def	2.2 ~ 10.0	32.88	0.008 8 ± 0.005 8 efg	0.000 9 ~ 0.026 5	65.25	51.67
Q13	6.87 ± 0.63 ab	5.0 ~ 8.0	9.19	6.17 ± 1.19 abede	3.5 ~ 8.6	19.37	0.011 1 ± 0.004 4 abedefg	0.003 2 ~ 0.020 0	39.68	63.33
Q14	6.91 ± 0.99 a	2.8 ~ 8.0	14.36	6.06 ± 1.59 abedef	1.1 ~ 9.7	26.22	0.011 2 ± 0.005 2 abedef	0.000 2 ~ 0.026 4	46.52	51.67
Q15	6.23 ± 1.53 cd	3.0 ~ 8.0	24.53	5.17 ± 1.94 f	1.5 ~ 8.8	37.49	0.008 4 ± 0.006 0 fg	0.000 3 ~ 0.023 9	71.68	28.33
Q16	6.92 ± 0.83 a	4.9 ~ 8.0	12.05	6.49 ± 1.33 abc	3.6 ~ 9.5	20.42	0.012 4 ± 0.005 4 abed	0.002 8 ~ 0.027 5	43.72	45.00
Q17	6.91 ± 1.10 a	4.2 ~ 8.5	15.91	6.34 ± 2.01 abed	1.1 ~ 9.9	31.70	0.012 5 ± 0.007 0 abed	0.000 4 ~ 0.029 2	55.65	51.67
Q18	6.12 ± 0.86 d	3.9 ~ 7.2	14.02	5.28 ± 1.38 ef	2.8 ~ 8.1	26.19	0.007 7 ± 0.004 2 g	0.001 5 ~ 0.017 9	54.89	56.67
Q19	7.26 ± 0.83 a	5.5 ~ 8.8	11.43	6.85 ± 1.56 ab	3.5 ~ 9.2	22.74	0.014 5 ± 0.006 2 a	0.003 1 ~ 0.024 6	42.47	61.67
Q20	7.02 ± 0.67 a	5.9 ~ 8.0	9.62	6.34 ± 1.36 abed	3.2 ~ 9.4	21.46	0.012 0 ± 0.005 2 abede	0.002 7 ~ 0.024 9	43.06	50.00

状均排在最前列,这3个杂交组合的树高、胸径和材积均值分别较参试整体均值高5.56%、10.59%和24.35%,Q9、Q7、Q17、Q10、Q16和Q20这6个杂交组合次之,以上9个杂交组合的3个性状的均值均高于参试整体平均值。另外,杂交组合Q4在胸径与材积性状上表现较好,但树高表现欠佳;杂交组合Q8树高表现较好,但胸径与材积却明显低于整体均值。

对不同杂交组合进行家系内遗传变异分析表明(表7),不同杂交组合的变异幅度和变异系数不尽相同,可根据变异程度对各组合进行遗传评价。其中,Q15和Q12在树高、胸径和材积性状上的变异系数均较大,明显高于各性状均值,分别为24.53%、37.49%、71.68%和18.63%、32.88%、65.25%;其次为Q6、Q17组合;变异系数最小的组合为Q8,其3个性状变异系数均为参试组合中的最小值,分别为8.77%、15.42%、33.69%。另外,同一组合不同性状的变异程度也不相同,从总体来看,材积变异最大,胸径处于中间,树高变异最小。说明材积的变异程度相对较高,因此,有利于根据材积性状的表现型进行遗传选择。

对各杂交组合造林保存率情况分析表明(表7),参试的20个杂交组合保存率在18.33%至65.00%之间,其中Q1、Q13、Q19、Q18、Q2和Q5这6个杂交组合的保存率情况较好均在55.00%以上。Q15、Q7和Q4这3个杂交组合保存率较差均在30.00%以下。

## 2.4 各生长性状的相关分析

相关系数能够反映出各生长指标相互联系密切的程度,对参试杂交组合的树高、胸径和材积性状进行相关分析(表8),结果表明:3个性状间呈现极显

著的正相关关系,其中胸径与材积的相关系数最大为0.962;树高与材积的相关系数次之,为0.719;树高与胸径的相关系数最小,为0.657。如果选择其中之一作为评价生长指标时,材积可为最佳,因为该性状与树高与胸径紧密相关,并且能综合体现这两种性状。

表8 白桦全同胞家系树高、胸径和材积相关分析

Tab.8 Correlation analysis among tree height, DBH and volume of birch full-sib families

生长性状 Growth traits	树高 Tree height	胸径 DBH	材积 Volume
树高 Tree height	1	0.657 **	0.719 **
胸径 DBH		1	0.962 **
材积 Volume			1

## 2.5 参试杂交组合生长性状综合评价

在多重比较的基础上进一步采用多目标决策模型对参试杂交组合进行综合选优,根据各性状的标准值,进而求算各个杂交组合的综合评价价值(表9、10)。

由综合评价的结果可以看出,与前文多重比较选择的结果基本一致,综合排名在第一位的是Q2组合,第二位的是Q19组合,这2个杂交组合的综合评价价值均在0.90以上,说明这2个组合生长表现最好;Q5、Q4和Q9等3个组合综合评价价值均在0.80~0.90之间,说明其生长表现较好;其余家系综合评价价值均在0.80以下。若以综合评价价值大于0.80为优良家系标准选择,则有排名前5位的组合入选为优良杂交组合,入选率为25.00%,入选的优良杂交组合树高、胸径和材积性状均值分别较参试整体均值高3.85%、10.01%、20.82%,3个性状的遗传增益分别为2.90%、7.64%、16.22%。

表9 不同杂交组合的树高、胸径与材积的相关系数及权重

Tab.9 Correlation coefficients between volume and DBH, tree height and the weight of each index for progeny from different hybrid combinations

评价指标 Evaluation index	树高 Tree height	胸径 DBH	材积 Volume
相关系数 Correlation coefficient( $r_{ij}^2$ )	0.719	0.962	1
权重 Weight ( $\omega_{(xi)}$ )	0.21	0.38	0.41

## 3 结论与讨论

通过交配设计以及杂交子代测定,尽早地对杂交亲本进行的科学评价,去劣留优,从而提高种子园的遗传增益,这是林木遗传改良的主要环节之一。对于正处于改良代的白桦种子园,目前的主要任务就是尽快评价和筛选园中母树,确定优良杂交组合。

因此,本研究以白桦种子园中7株白桦优树为母本,4株白桦为父本,按测交系交配设计进行控制杂交,在子代性状差异显著性分析的基础上,采用多目标决策法对参试的20个白桦全同胞家系进行了评价,进而对参试的杂交亲本及杂交子代进行选择。结果表明:M4、M5、M7、M8为优良母本,F1、F3、F4为优良父本,根据综合评价结果,Q2、Q19、Q5、Q4和Q9

表10 不同杂交组合生长性状的标准化值及综合评价值

Tab. 10 Standardized values and comprehensive evaluation values of seedling growth traits from different hybrid combinations

杂交组合代码 Hybrid combination code	树高 Tree height		胸径 DBH		材积 Volume		综合评价值	
	标准化值 Standardized value	评价值 Evaluation value	标准化值 Standardized value	评价值 Evaluation value	标准化值 Standardized value	评价值 Evaluation value	Comprehensive evaluation value	排序 Ranking
Q2	0.98	0.21	1.00	0.38	1.00	0.41	1.00	1
Q19	1.00	0.21	0.95	0.36	1.00	0.41	0.98	2
Q5	0.93	0.20	0.87	0.33	0.91	0.37	0.90	3
Q4	0.64	0.13	0.96	0.36	0.88	0.36	0.86	4
Q9	0.77	0.16	0.84	0.32	0.80	0.33	0.81	5
Q10	0.77	0.16	0.83	0.31	0.74	0.30	0.78	6
Q7	0.74	0.16	0.80	0.30	0.75	0.31	0.77	7
Q16	0.73	0.15	0.77	0.29	0.73	0.30	0.75	8
Q17	0.72	0.15	0.69	0.26	0.74	0.30	0.72	9
Q20	0.81	0.17	0.70	0.26	0.67	0.27	0.71	10
Q3	0.85	0.18	0.59	0.22	0.64	0.26	0.67	11
Q13	0.70	0.15	0.61	0.23	0.55	0.22	0.60	12
Q14	0.73	0.15	0.55	0.21	0.57	0.23	0.60	13
Q8	0.79	0.17	0.48	0.18	0.44	0.18	0.53	14
Q6	0.20	0.04	0.54	0.21	0.47	0.19	0.44	15
Q1	0.59	0.12	0.33	0.13	0.37	0.15	0.40	16
Q11	0.60	0.13	0.21	0.08	0.23	0.09	0.30	17
Q12	0.28	0.06	0.22	0.08	0.25	0.10	0.25	18
Q15	0.19	0.04	0.10	0.04	0.20	0.08	0.16	19
Q18	0.10	0.02	0.16	0.06	0.10	0.04	0.12	20

这5个组合入选为优良杂交组合,其中Q2和Q19为最优杂交组合,整体入选率为25.00%,其树高、胸径和材积性状的遗传增益分别为2.90%、7.64%、16.22%。这些优良亲本既可以作为白桦高世代种子园的建园材料进行白桦遗传改良,也可以通过无性繁殖手段,发挥生产潜力。

杂交亲本性状的差异互补性越强,杂种子代优势越明显,从子代群体中选出符合育种目标的优良遗传型的潜力更大<sup>[5]</sup>。本研究所选出的4个优良母本中有一个是欧洲白桦优树(M5),这是参与本试验的唯一一株欧洲白桦,该树种具有干型通直、树形美观等特点,其与杂交父本的性状互补性强,该树种的杂交子代Q2表现最佳,其树高、胸径和材积等性状较参试群体分别提高了5.97%、12.41%和26.25%,各性状表现出了明显优势。因此,在未来的种子园营建时,选择来自北欧或俄罗斯的欧洲白桦与来自我国的白桦优树建立种间杂交种子园是应该考虑的内容之一。

早期选择可靠性及选择年龄的确定等问题一直以来都备受国内外同行关注。众多研究表明,速生

树种适宜进行早期选择时间在2~8年左右<sup>[17-20]</sup>,如Yu等在对杨树育种实践中提出对杨树进行早期评价最好从第2年开始<sup>[21]</sup>;王成等对3~4年生白桦全同胞家系进行早期选择也取得了良好的效果<sup>[5]</sup>;杉木的早期选择起始于4年生<sup>[22]</sup>。因此本研究针对6年生的白桦杂交子代作为研究对象进行优良杂交组合的早期选择是可行的。

林木优良家系的评选往往要考虑多个生长性状,仅依靠单一性状评价林木的优劣,难免产生片面性<sup>[11]</sup>。因此,在林木的育种研究中多采用模糊综合评价法、主成份分析法、因子分析法等,这些方法各有特色。本研究采用多目标决策法在考虑主要目标的前提下将多目标转化为单目标,进而对林木进行综合评价。该方法应用较广,如环境的污染程度评估、灾害的分析评估、矿业挖掘的风险评估等<sup>[23-24]</sup>,也常常被用于林木评价中<sup>[25]</sup>。

稳定性及生长适应性也同样是评价林木家系优劣的重要指标,而在本研究中,仅在帽儿山试验点进行了单点造林试验,对参试家系的生长稳定性以及适应范围尚不得知。因此在未来研究中,还应进

行多地点造林试验,对其基因型与环境互相应进行研究,以确定各家系的最佳造林区域。

### 参 考 文 献

- [1] 贾洪柏. 白桦天然种群材质性状的变异与遗传相关[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2005: 7-8.  
JIA H B. Genetic variation and correlation in wood properties of *Betula platyphylla* in natural stands [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2005: 7-8.
- [2] 刘宇, 徐焕文, 边秀艳, 等. 白桦半同胞家系苗期生长和光合特性及其选育评价指标筛选[J]. 西北植物学报, 2013, 33(5): 963-969.  
LIU Y, XU H W, BIAN X Y, et al. Selection of seeding growth and photosynthetic traits assistant evaluated factors in *Betula platyphylla* half-sib families [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2013, 33(5): 963-969.
- [3] 杨传平, 刘桂丰, 魏志刚, 等. 白桦强化促进提早开花结实技术的研究[J]. 林业科学, 2004, 40(6): 75-78.  
YANG C P, LIU G F, WEI Z G, et al. Study on intensive breeding technique of accelerating *Betula platyphylla* flowering and seeding early [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(6): 75-78.
- [4] 李开隆, 姜静, 姜莹, 等. 白桦5×5完全双列杂交种苗性状的遗传效应分析[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(4): 82-87.  
LI K L, JIANG J, JIANG Y, et al. Analysis of the genetic effects of seed and seedling traits of *Betula platyphylla* in a 5×5 complete diallel cross design [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2006, 28(4): 82-87.
- [5] 王成, 滕文华, 李开隆, 等. 白桦5×5双列杂交子代生长性状的遗传效应分析[J]. 北京林业大学学报, 2011, 33(3): 14-20.  
WANG C, TENG W H, LI K L, et al. Analysis of genetic effects on growth traits in a 5×5 diallel cross of *Betula platyphylla* [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2011, 33(3): 14-20.
- [6] 姜静, 杨光, 祝泽兵, 等. 白桦强化种子园优良家系选择[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(1): 1-4.  
JIANG J, YANG G, ZHU Z B, et al. Family selection from intensive seed orchard of *Betula platyphylla* [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2011, 39(1): 1-4.
- [7] 林琳, 穆怀志, 姚启超, 等. 白桦不同杂交组合三倍体子代当年生苗木生长性状分析[J]. 北京林业大学学报, 2012, 34(5): 1-5.  
LIN L, MU H Z, YAO Q C, et al. Growth traits of triploid progenies in one year old from different crosses of *Betula platyphylla* Suk. [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2012, 34(5): 1-5.
- [8] 刘宇, 徐焕文, 姜静, 等. 基于种子活力及苗期生长性状的白桦四倍体半同胞家系初选[J]. 北京林业大学学报, 2014, 36(2): 74-80.  
LIU Y, XU H W, JIANG J, et al. Family selection of birch tetraploid half-sibling based on seed vigor and seedling growth traits [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2014, 36(2): 74-80.
- [9] HUANG H J, WANG S, JIANG J, et al. Overexpression of BpAPI induces early flowering and produces dwarfism in *Betula platyphylla* × *Betula pendula* [J]. Physiologia Plantarum, 2014, 151(4): 495-506.
- [10] 刘宇, 徐焕文, 李志新, 等. 白桦子代家系幼林期生长表现及适应性分析[J]. 浙江农林大学学报, 2015, 32(6): 853-860.  
LIU Y, XU H W, LI Z X, et al. Growth performance and adaptability of *Betula platyphylla* offspring in the period of young forest [J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2015, 32(6): 853-860.
- [11] 徐焕文, 刘宇, 李志新, 等. 5年生白桦杂种子代多点稳定性分析及优良家系选择[J]. 北京林业大学学报, 2015, 37(12): 24-31.  
XU H W, LIU Y, LI Z X, et al. Analysis of the stability and superiority of five years old birch crossbreed families based on a multi-site test [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2015, 37(12): 24-31.
- [12] 刘宇, 徐焕文, 李志新, 等. 白桦杂交子代家系生长变异及稳定性分析[J]. 植物研究, 2015, 35(6): 937-944.  
LIU Y, XU H W, LI Z X, et al. Growth variation and stability analysis of birch crossbreed families [J]. Bulletin of Botanical Research, 2015, 35(6): 937-944.
- [13] 刘宇, 徐焕文, 尚福强, 等. 3个地点白桦种源试验生长稳定性分析[J]. 北京林业大学学报, 2016, 38(5): 50-57.  
LIU Y, XU H W, SHANG F Q, et al. Growth stability analysis of 3 sites birch provenances test [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2016, 38(5): 50-57.
- [14] 王明麻. 林木遗传育种学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001  
WANG M X. Forest tree genetics and breeding [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2001.
- [15] 吴丽君, 陈碧华, 翁秋媛, 等. 互叶白千层高精油优良单株的选择与等级划分[J]. 福建林学院学报, 2011, 31(1): 74-78.  
WU L J, CHEN B H, WENG Q Y, et al. Selection and grade definition of high-essential-oil superior individuals of *Melaleuca alternifolia* [J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2011, 31(1): 74-78.
- [16] 李祚泳, 丁晶, 彭荔红. 环境质量评价原理与方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.  
LI Z Y, DING J, PENG L H. Environmental quality assessment principles and methods [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [17] KUMAR D, SINGH N. Age-age correlation for early selection of clones of *Populus* in India [J]. Silva Genetica, 2001, 50(3/4): 103-108.
- [18] ZHAO X Y, BIAN X Y, LI Z X, et al. Genetic stability analysis of introduced *Betula pendula*, *Betula kirghisorum*, and *Betula pubescens* families in saline-alkali soil of northeastern China [J]. Scandinavian Journal of Forest Research, 2014, 29(7): 639-649.
- [19] 周凤林, 史富强. 西南桦优良家系的早期选择研究[J]. 云南农业大学学报, 2005, 20(5): 627-631.  
ZHOU F L, SHI F Q. Selection on superior families of *Betula alnoides* Hamil [J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2005, 20(5): 627-631.
- [20] 张国君, 张士权, 孙宇涵, 等. 刺槐优良无性系饲料特性区域化试验初报[J]. 北京林业大学学报, 2013, 35(5): 8-14.  
ZHANG G J, ZHANG S Q, SUN Y H, et al. Regional trial of superior clones for fodder in *Robinia pseudoacacia* [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2013, 35(5): 8-14.
- [21] YU Q, PULKKIEN P. Genotype-environment interaction and

- stability in growth of aspen hybrid clones [J]. *Forest Ecology and Management*, 2003, 173:25-35.
- [22] 郑仁华. 杉木种子园自由授粉子代遗传变异及优良遗传型选择[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2006, 30(1):8-12.
- ZHENG R H. Genetic variations of seed orchard open-pollinated progenies and selection of superior genotypes of Chinese fir [J]. *Journal of Nanjing Forestry University(Natural Sciences Edition)*, 2006, 30(1):8-12.
- [23] 李军红. 城镇污水处理工艺综合效益评价模型的建立[J]. *南开大学学报(自然科学版)*, 2007, 40(5):15-20.
- LI J H. Multi-objective comprehensive assessment modeling for urban wastewater treatment process [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis (Natural Sciences Edition)*, 2007, 40(5):15-20.
- [24] 苗素军, 辛嵩, 彭蓬, 等. 矿井降温系统优选决策理论研究与应用[J]. *煤炭学报*, 2010, 35(4):613-618.
- MIAO S J, XIN S, PENG P, et al. Research and application on optimization and decision theory of mine cooling system [J]. *Journal of China Coal Society*, 2010, 35(4):613-618.
- [25] 常伟, 党坤良, 武朋辉, 等. 秦岭南坡油松次生林抚育强度综合评价与决策[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2015, 43(6):105-112.
- CHANG W, DANG K L, WU P H, et al. Comprehensive evaluation and decision making of thinning in density for *Pinus tabulaeformis* secondary forest on south slope of Qinling Mountains [J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Sciences Edition)*, 2015, 43(6):105-112.

(责任编辑 赵勃 范娟  
责任编委 康向阳)