

三倍体白杨杂种无性系的纤维性状遗传变异研究

张平冬¹, 吴峰¹, 康向阳¹, 田书勇²

(1. 北京林业大学 林木育种国家工程实验室, 北京 100083; 2. 国有冠县苗圃, 山东 冠县 252500)

摘要:以5年生三倍体白杨杂种无性系测定林为研究对象,对三倍体白杨杂种无性系纤维性状的遗传变异及其与生长性状间的相关性进行了研究。结果表明,不同无性系的纤维长度、纤维宽度、纤维粗度及长宽比的差异显著。三倍体白杨杂种无性系的平均纤维长度、平均纤维宽度、平均长宽比以及平均纤维粗度分别为 (0.818 ± 0.033) mm、 (25.3 ± 0.71) μm 、 (32.3 ± 1.4) 、 (112.2 ± 7.4) $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-1}$,比对照毛白杨无性系1319分别提高20.6%、14.0%、5.5%、28.2%。三倍体白杨杂种无性系纤维长度、纤维宽度、长宽比以及纤维粗度的重复力分别为0.89、0.88、0.57、0.87。生长性状与纤维长度、长宽比间呈显著的正相关,而与纤维宽度、纤维粗度呈不显著的正相关,表明选择生长量大的三倍体白杨杂种无性系,可以显著提高其纤维长度和长宽比,而不会显著改变其纤维宽度以及纤维粗度。

关键词:三倍体白杨杂种; 无性系; 纤维性状; 重复力; 遗传变异

中图分类号:S792.117

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2014)01-0078-06

Genetic Variation of Fiber Properties of Triploid Hybrid Clones of White Poplar

ZHANG Ping-dong¹, WU Feng¹, KANG Xiang-yang¹, TIAN Shu-yong²

(1. National Engineering Laboratory for Tree Breeding, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. National Nursery of Guanxian County, Guanxian, Shandong 252500, China)

Abstract: An experiment was conducted to determine the genetic variations of fiber properties and phenotypic correlations between the growth traits and fiber properties of five-year-old triploid hybrid clones of white Poplar. The results indicated that clonal effects were significant on fiber length, fiber width, coarseness, and ratio between fiber length/width. The average fiber length, width, ratio of length to width, and coarseness were (0.818 ± 0.033) mm, (25.3 ± 0.71) μm , (32.3 ± 1.4) and (112.2 ± 7.4) $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-1}$, respectively, which increased by 20.6%, 14.0%, 5.5%, and 28.2%, respectively, compared with those of the control (diploid clone 1319 of *Populus tomentosa*). The estimated repeatability of clonal means was 0.89 for fiber length, 0.88 for fiber width, 0.57 for the ratio of fiber length to width, and 0.87 for coarseness. Significantly positive correlations were observed between growth traits and fiber length and the ratio of fiber length to width, and insignificantly positive correlations were found between growth traits and fiber width and coarseness, suggesting that selection of triploid clones with fast growth will lead to a significant increase in fiber length and the ratio of fiber length to width, and will not lead to a significant change in fiber width and coarseness.

Key words: white poplar triploid hybrid clone; clone; fiber property; repeatability; genetic variation

多倍体特别是异源多倍体林木新品种由于综合了倍性优势和杂种优势,遗传改良效果显著,不但

材积生长提速,而且在木材材性改良方面亦收效显著,可实现多目标性状的综合改良,尤其适宜于纸浆

收稿日期:2013-06-20 修回日期:2013-08-01

基金项目:“十二五”农村领域国家科技支撑计划专题(2012BAD01B0302);中央高校基本科研事业费专项(YX2013-07)。

作者简介:张平冬,男,副教授,研究方向:林木细胞遗传学与多倍体育种。E-mail:zhangpd@bjfu.edu.cn

材品种的选育^[1]。三倍体毛白杨(*Populus tomentosa*)是 20 世纪末由北京林业大学朱之悌院士领导的毛白杨遗传改良课题组成功培育的专化纸浆材新品种。在其产业化推广过程中,由于栽培技术措施的落后,导致三倍体毛白杨品种混杂、种质退化。因此,很有必要培育新的纸浆材品种以代替已产业化的三倍体毛白杨品种。

康向阳^[2]等利用秋水仙碱溶液诱导银腺杨(*Populus alba* × *P. glandulosa*)花粉染色体加倍,获得的 2n 花粉经 1680rad 的 60Co-γ 射线辐射处理后给毛新杨(*P. tomentosa* × *P. bolleana*)授粉,选育出 16 个三倍体白杨杂种无性系。2009 年,苗期表现好的部分三倍体白杨杂种无性系已经完成田间遗传测定。然而,有关这些三倍体白杨杂种无性系的纤维性状变异还未见报道。笔者以定植于河南郑州的 5 年生三倍体白杨杂种无性系测定林为材料,通过开展纤维性状遗传变异及其与生长性状的相关性研究,掌握其纤维性状的遗传变异规律,为新一轮的纸浆材新品种选育提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验地位于河南省郑州市中牟县白沙镇,地处暖温带南部,属于大陆性季风湿润气候,年平均气温在 14.6℃;年平均日照时间约 2 400 h;无霜期 220 d;年平均降水量 616 mm,主要集中在 6—9 月;土壤类型为潮土,质地为重壤土,pH 值 8.02,有机质含量 9.65 g · kg⁻¹,全 N 含量 0.62 g · kg⁻¹,有效 P 含量 10.8 mg · kg⁻¹,速效 K 含量 119 mg · kg⁻¹。

1.2 试验材料

试验材料采自以 3 m × 4 m 为造林密度,按照完全随机区组设计定植于河南省郑州市中牟县白沙镇的 5 年生三倍体白杨杂种无性系对比试验林。试验重复 3 次,每小区 12 株。该对比试验林由三倍体白杨杂种无性系 B301、B302、B303、B304、B305、B306、B307、B312、B330、B331、B333、‘北林雄株 1 号’、‘北林雄株 2 号’以及对照毛白杨 1319 组成。参试的 13 个白杨三倍体无性系的详细遗传背景信息见表 1。

试验材料采集前,测量试验林所有单株的胸径和树高。材料采集时,每小区选取 2 株平均木,伐倒后截取胸径高度处的 10 cm 厚圆盘,运回北京用于纤维形态分析。

1.3 纤维性状测定

将圆盘沿纵向切成厚度为 3 mm 的小块,在 60℃水浴条件下用双氧水(30%)和冰醋酸 = 1:1 质

表 1 参试三倍体白杨杂种无性系的遗传背景与性别

Table 1 Genetic background and sex of studied triploid hybrid clones of white poplar

序号	无性系 编号	杂交组合	性别
1	B301	(<i>P. tomentosa</i> × <i>P. bolleana</i>) × <i>P. tomentosa</i>	♀
2	B302	(<i>P. tomentosa</i> × <i>P. bolleana</i>) × <i>P. tomentosa</i>	♂
3	B303	(<i>P. tomentosa</i> × <i>P. bolleana</i>) × <i>P. tomentosa</i>	♀
4	B304	(<i>P. tomentosa</i> × <i>P. bolleana</i>) × <i>P. tomentosa</i>	♀
5	B305	(<i>P. tomentosa</i> × <i>P. bolleana</i>) × <i>P. tomentosa</i>	♀
6	B306	(<i>P. tomentosa</i> × <i>P. bolleana</i>) × <i>P. tomentosa</i>	♀
7	B307	(<i>P. tomentosa</i> × <i>P. bolleana</i>) × <i>P. tomentosa</i>	♀
8	B312	(<i>P. tomentosa</i> × <i>P. bolleana</i>) × <i>P. tomentosa</i>	♂
9	B330	(<i>P. alba</i> × <i>P. glandulosa</i>) × <i>P. tomentosa</i>	♀
10	B331	(<i>P. alba</i> × <i>P. glandulosa</i>) × <i>P. tomentosa</i>	♂
11	B333	(<i>P. alba</i> × <i>P. glandulosa</i>) × <i>P. tomentosa</i>	♀
12	‘北林雄 株 1 号’	(<i>P. tomentosa</i> × <i>P. bolleana</i>) × (<i>P. alba</i> × <i>P. glandulosa</i>)	♂
13	‘北林雄 株 2 号’	(<i>P. tomentosa</i> × <i>P. bolleana</i>) × (<i>P. alba</i> × <i>P. glandulosa</i>)	♂

量比的混合液解离纤维。用 L&W Fiber Tester 测定样品的纤维长度、宽度及粗度。L&W Fiber Tester 能在短时间内完成数万根纤维的测定。本试验设定每个样品测定 5 万根纤维。

1.4 数据处理与分析

数据的统计与分析用 Excel 和 SPASS 10.0 数据处理软件完成。用平均值(μ)和标准差(S)计算每个无性系各生长性状的表型变异系数(CV):

$$CV = \frac{S}{\mu} \times 100\% \tag{1}$$

以每个小区的平均值为统计值,用 SPASS 10.0 数据处理软件进行方差分析、多重比较以及生长性状与纤维性状间的表型相关分析。三倍体白杨杂种生长性状无性系重复力的估算采用公式:

$$R_c^2 = \frac{\hat{\sigma}_c^2}{\hat{\sigma}_c^2 + \hat{\sigma}_e^2/n} \tag{2}$$

2 结果与分析

2.1 三倍体白杨杂种无性系纤维性状变异

2.1.1 三倍体白杨杂种无性系纤维长度与纤维宽度的变异

一般来说,好的造纸原料具有纤维长、长宽比大、长宽分布均一、纤维粗度小等特点。5 年生三倍体白杨杂种无性系纤维长度与纤维宽度的测定结果见表 2。

从表 2 可以看出,5 年生三倍体白杨杂种无性系的纤维长度较长,均大于对照毛白杨无性系 1319 的纤维长度。参试的三倍体白杨杂种无性系间纤维长度变异系数在 0.2%~5.9%之间变动,平均纤维长度的变化范围介于 0.770~0.854 mm 之间。其

表 2 5 年生三倍体白杨杂种无性系纤维长度与纤维宽度

Table 2 Fiber length and fiber width of 5-year-old triploid hybrid clones of white poplar

无性系	纤维长度/mm		纤维宽度/ μm	
	平均值	CV/%	平均值	CV/%
‘三毛杨 3 号’	0.803 \pm 0.031bcdABC	3.9	25.3 \pm 0.2abcABC	0.8
B306	0.844 \pm 0.030abAB	3.6	25.7 \pm 0.9abAB	3.5
B303	0.822 \pm 0.030abcABC	3.6	24.8 \pm 0.5bcdABC	2.0
B312	0.800 \pm 0.047cdABC	5.9	25.6 \pm 0.4abcAB	1.6
B330	0.770 \pm 0.014dC	1.8	25.3 \pm 1.0abcABC	4.0
B331	0.841 \pm 0.014abcAB	1.7	26.0 \pm 0.6aA	2.3
B302	0.799 \pm 0.032dABC	4.0	24.7 \pm 0.8cdBC	3.2
B304	0.845 \pm 0.002abAB	0.2	25.8 \pm 0.2abAB	0.8
B301	0.795 \pm 0.027dBC	3.4	24.1 \pm 0.3dC	1.2
B333	0.822 \pm 0.026abcABC	3.2	25.8 \pm 0.7abAB	2.7
B307	0.820 \pm 0.040abcABC	4.9	25.7 \pm 0.4abAB	1.6
‘北林雄株 1 号’	0.854 \pm 0.016aA	1.9	25.1 \pm 0.3abcdABC	1.2
‘北林雄株 2 号’	0.820 \pm 0.026abcABC	3.2	24.9 \pm 0.3bcdABC	1.2
三倍体均值	0.818 \pm 0.033	4.0	25.3 \pm 0.71	2.8
1319	0.678 \pm 0.024eD	3.5	22.2 \pm 0.3eD	1.4

注: $\mu\pm S$ 表示平均值 \pm 标准差。不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著,不同大写字母表示在 0.01 水平差异显著。表 4 同。

中以‘北林雄株 1 号’的纤维长度最长,平均为(0.854 \pm 0.016)mm,比对照毛白杨无性系 1319 的纤维长度提高 26.0%,比‘三毛杨 3 号’的纤维长度提高 6.4%;无性系 B330 的纤维长度最小,平均为(0.770 \pm 0.014)mm,比对照毛白杨无性系 1319 的纤维长度提高 13.5%,比‘三毛杨 3 号’的纤维长度小 4.1%。方差分析结果表明,无性系间纤维长度差异极显著(表 3)。三倍体白杨杂种无性系‘北林雄株 1 号’、B304、B306 的纤维长度显著长于无性系 B312、B302、B301、B330 以及对照毛白杨无性系 1319。

5 年生三倍体白杨杂种无性系的纤维宽度较大,均大于对照毛白杨无性系 1319 的纤维宽度。参试的三倍体白杨杂种无性系纤维宽度变异系数在 0.8%~4.0%之间,平均纤维宽度的变化范围介于 24.1~26.0 μm 之间。其中以无性系 B331 的纤维宽度最大,平均为(26.0 \pm 0.6) μm ,比对照毛白杨无性系 1319 的纤维宽度大 17.3%,比‘三毛杨 3 号’的纤维宽度大 2.8%;无性系 B301 的纤维宽度最小,平均为(24.1 \pm 0.3) μm ,比对照毛白杨无性系 1319 的纤维宽度大 8.7%,比‘三毛杨 3 号’的纤维宽度小 4.7%。方差分析结果表明,无性系间纤维宽度差异极显著(表 3)。三倍体无性系 B331 的纤维宽度显著宽于无性系‘北林雄株 1 号’、B303、B302、B301 以及对照白杨无性系 1319(表 2)。

2.1.2 三倍体白杨杂种无性系纤维长宽比与纤维粗度的变异 从表 4 可以看出,5 年生三倍体白杨杂种无性系的纤维长宽比相对较大,均大于对照毛白杨无性系 1319 的纤维长宽比。参试的三倍体白

表 3 5 年生三倍体白杨杂种无性系纤维性状方差分析

Table 3 Variance analysis of fiber properties of 5-year-old triploid hybrid clones of white poplar

性状	变异来源	自由度	MS	F 值	R^2_c
纤维长度	区组	2	0.002		
	无性系	13	0.006	8.72**	0.89
	误差	26	0.001		
	总变异	41			
纤维宽度	区组	2	0.112		
	无性系	13	2.900	8.68**	0.88
	误差	26	0.334		
	总变异	41			
长宽比	区组	2	5.233		
	无性系	13	2.925	2.33*	0.57
	误差	26	1.258		
	总变异	41			
纤维粗度	区组	2	110.652		
	无性系	13	218.410	7.96**	0.87
	误差	26	27.434		
	总变异	41			

注:*表示差异显著($p<0.05$),**表示差异极显著($p<0.01$)。 R^2_c 表示无性系重复力。表 5 同。

杨杂种无性系纤维长宽比变异系数在 0.9%~6.5%之间,平均纤维长宽比的变化范围介于 31.3~34.0 之间,其中以‘北林雄株 1 号’的纤维长宽比最大,平均为 34.0 \pm 0.5,比对照毛白杨无性系 1319 的纤维长宽比大 11.0%,比‘三毛杨 3 号’的纤维长宽比大 7.3%;无性系 B312 的纤维长宽比最小,平均为 31.3 \pm 1.4,比对照毛白杨无性系 1319 的纤维长宽比大 2.2%,比‘三毛杨 3 号’的纤维长宽比小 1.3%。方差分析结果表明,无性系对纤维长宽比差异显著(表 3)。“北林雄株 1 号”的纤维长宽比显著大于三倍体无性系 B307、B333、‘三毛杨 3 号’、

B312、B330 以及对照白杨无性系 1319。

5 年生三倍体白杨杂种无性系的纤维粗度较大,均大于对照毛白杨无性系 1319 的纤维粗度。参试的三倍体白杨杂种无性系纤维粗度变异系数在 0.6%~8.2%之间,平均纤维粗度的变化范围介于 $(99.7\sim117.6)\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$ 之间。其中以无性系 B331 的纤维粗度最大,平均为 $(117.6\pm8.4)\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$,比对照毛白杨无性系 1319 的纤维粗度大 34.3%,比‘三毛杨 3 号’的纤维粗度大 1.6%;无性系 B301 的纤维粗度最小,平均为 $(99.7\pm3.8)\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$,比对照毛白杨无性系 1319 的纤维粗度大 13.9%,比‘三毛杨 3 号’的纤维粗度小 13.9%。方差分析结果表明,无性系间纤维粗度差异极显著(表 3)。三倍体无性系 B331、B306、B333、B307 的纤维粗度显著大于三倍体无性系‘北林雄株 2 号’、B303、B312、B301 以及对照白杨无性系 1319(表 4)。

表 4 5 年生三倍体白杨杂种无性系纤维长宽比值与纤维粗度

Table 4 Ratio between fiber length/width and coarseness of 5-year-old triploid hybrid clones of white poplar

无性系	长宽比		纤维粗度/ $(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1})$	
	平均值	CV/%	平均值	CV/%
‘三毛杨 3 号’	31.7±1.2bcdABC	4.1	115.8±4.1abcA	3.5
B306	32.9±1.8abABC	5.5	117.4±6.7aA	5.7
B303	33.1±0.6abAB	1.8	107.2±8.6cdAB	8.0
B312	31.3±1.4bcdBC	4.5	107.2±2.7cdAB	2.5
B330	30.5±1.3dC	4.3	109.2±8.9abcAB	8.2
B331	32.3±0.9abcdABC	2.8	117.6±8.4aA	7.1
B302	32.4±2.1abcABC	6.5	109.8±5.9abcAB	5.4
B304	32.8±0.3abABC	0.9	116.0±6.0abA	5.2
B301	33.0±1.2abABC	3.6	99.7±3.8dB	3.8
B333	31.8±1.9bcdABC	6.0	117.1±7.0aA	6.0
B307	31.9±1.2bcdABC	3.8	117.1±5.1aA	4.4
‘北林雄株 1 号’	34.0±0.5aA	1.5	115.8±2.4abcA	2.1
‘北林雄株 2 号’	32.9±0.7abABC	2.1	108.2±0.7bcdAB	0.6
三倍体均值	32.3±1.4	4.3	112.2±7.4	6.6
1319	30.6±0.8cdBC	2.6	87.5±3.0eC	3.4

2.2 三倍体白杨杂种无性系纤维性状的重复力估算

性状的变异是选择的基础,而遗传的效应值则决定了选择的遗传增益。重复力是基因型方差与一般环境方差之和在表型方差中所占的比例,体现了数量性状在无性系分株中的传递能力。三倍体白杨杂种无性系纤维性状的重复力估算结果显示(表 3),三倍体白杨杂种无性系纤维长度的重复力最高,为 0.89;纤维宽度的重复力居其次,为 0.88;纤维粗度的重复力位居第三,为 0.87;纤维长宽比的重复力最小,仅为 0.57。这表明,除纤维长宽比之外,三倍体白杨杂种无性系纤维性状,如纤维长度、纤维宽度以及纤

维粗度受到高强度的遗传控制,在无性系水平上进行纤维性状的选择即可以获得较高的遗传增益。

2.3 三倍体白杨杂种纸浆材无性系生长性状与纤维性状的表型相关

在分析单个性状的基础上,进一步分析性状间的相关性也是遗传分析的重要内容。利用性状间的遗传相关性,改良相关性状中的一个性状,另一相关性状也能获得一定程度的遗传改良效果,能起到事半功倍的作用。5 年生三倍体白杨杂种无性系生长性状与纤维性状间的表型相关系数计算结果表明(表 5),5 年生三倍体白杨杂种无性系纤维长度、长宽比与胸径、树高及材积间存在显著或极显著的正

表 5 5 年生三倍体白杨杂种无性系生长性状与纤维性状的表型相关性

Table 5 Phenotypic correlations between growth traits and fiber properties of 5-year-old triploid hybrid clones of white poplar

性状	胸径	树高	材积	纤维长度	纤维宽度	长宽比	纤维粗度
胸径	1	0.81**	0.98**	0.66*	0.30	0.78**	0.39
树高		1	0.87**	0.69**	0.41	0.68**	0.51
材积			1	0.65*	0.31	0.76**	0.40
纤维长度				1	0.83**	0.73**	0.86**
纤维宽度					1	0.23	0.93**
长宽比						1	0.36

相关。而纤维宽度、纤维粗度与胸径、树高及材积间呈不显著的正相关。纤维长度与纤维宽度、长宽比以及纤维粗度间呈极显著正相关。胸径与树高以及材积之间也存在极显著的正相关。这表明在三倍体白杨杂种无性系内,以生长性状作为改良目标,可以显著提高纤维长度和纤维长宽比,而不会显著改变其纤维宽度和纤维粗度。

3 结论与讨论

3.1 杨树纤维性状的遗传变异

在杨树纸浆原料林的生产经营过程中,纸浆林单位面积的木材产量和木材的质量均非常重要。单位面积的木材产量直接决定了纸浆产量,而木材纤维特性则决定了成纸的质量。木质纤维长度越长,纸张的强度越大,反之,纤维长度短,则纸张强度小。长宽比大的木质纤维,成纸时单位面积中纤维之间相互交织的次数多,纤维分布细密,成纸强度高。因此,选育杨树纸浆品种不仅要重视生长性状的遗传改良,更要注重纤维性状的遗传改良,尤其是纤维长度性状的遗传改良。J. E. Phelps^[3]等对 4 年生加拿大杨杂种无性系的纤维长度进行了研究,发现其纤维长度在 0.58~0.70 mm 之间变化。W. A. G. Geyer^[4]等报道了 4 年生杨树杂种无性系的平均纤维长度为 0.84 mm。Q. Yu^[5]等利用 Kajaani FS-200 型纤维分析仪对欧洲山杨杂种无性系的纤维性状变异进行了系统地研究,结果发现幼龄欧洲山杨杂种无性系的平均纤维长度介于 0.43~0.70 mm 之间。张黎^[6]等研究了 107 杨纤维性状的径向变异规律,木材纤维长度、纤维宽度、纤维壁厚以及长宽比的变异均是自髓心向外逐年增大,纤维长度的变化范围为 0.80~1.40 mm。P. D. Zhang^[7]等采用 L&W Fiber Tester 分析仪测定出 5 年生三倍体毛白杨纤维长度为 0.77~0.80 mm。很显然,纤维质量分析仪检测出的纤维长度值明显低于显微测量获得的纤维长度。这是因为纤维品质分析仪能快速测量数万根纤维,同时还会测量大量的纤维片段,从而导致平均纤维长度偏小。

5 年生三倍体白杨杂种无性系的纤维性状研究结果表明,无性系间纤维长度、纤维宽度以及纤维粗度差异极显著,纤维长宽比的差异显著。纤维长度、纤维宽度以及纤维粗度的无性系重复力均在 0.87 以上,说明三倍体白杨杂种无性系的纤维性状受强度的遗传控制,在幼林阶段进行纤维性状的早期选择是行之有效的。三倍体白杨杂种的纤维长度为 0.770~0.854 mm,纤维宽度为 24.1~26.0 μm ,长宽比为 31.3~34.0,纤维粗度为 99.7~117.6 μg ·

m^{-1} ,均显著地高于对照毛白杨无性系 1319 的相应纤维性状特征值,充分说明了三倍体育种在多目标性状遗传改良方面的特殊功效。

3.2 杨树生长性状与纤维性状的相关性

研究发现,在一些松树、云杉、桉树及杨树等树种中,纤维性状受中等到高度的遗传控制^[8-10],且纤维性状在幼龄材和成熟材之间表现出受树龄的中等控制^[11-13]。这表明在林木幼龄阶段进行纤维性状的早期选择是行之有效的^[14-15]。因此,纤维性状的遗传改良是提高木质纤维用材品质的重要内容。

一般来说,随着林木生长量的增大,纤维长度等纤维性状会获得一定程度的改良^[16]。因此,选育生长量大的纸浆材品种,往往会在一定程度上改良其纤维性状。姜笑梅^[17]等对 36 个美洲黑杨无性系的材性变异进行了研究,结果表明其树高和胸径生长与纤维长度之间呈显著遗传正相关。解荷锋^[18]等发现黑杨无性系的生长性状与纤维长度呈显著正相关。吴峰^[19]等对北京地区栽培的三倍体毛白杨进行了材性分析,认为三倍体毛白杨生长性状与纤维长度以及纤维长宽比呈显著的正相关,与纤维宽度和纤维粗度呈微弱的负相关。P. D. Zhang^[7]等对 3 个地点的三倍体毛白杨生长性状和材性进行了遗传分析,发现三倍体毛白杨的生长性状与纤维长度呈较强的正相关。尽管因杨树种、杂种以及栽培环境等差异,生长性状与纤维长度的相关性具有一定的差异,但均有呈正相关的趋势。5 年生三倍体白杨杂种的生长性状与纤维长度、纤维长宽比呈显著的正相关,与纤维宽度、纤维粗度呈不显著的正相关,充分体现了多倍体育种在生长性状和木材品质综合遗传改良方面的优势。

参考文献:

- [1] 朱之梯. 毛白杨遗传改良[M]. 北京:中国林业出版社,2006.
- [2] 康向阳. 毛白杨细胞遗传与三倍体选育[M]. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [3] PHELPS J E, ISEBRANDS J G, JOWETT D. Raw material quality of short-term, intensively cultured *Populus* clones i. a comparison of stem and branch properties at three spacing[J]. IAWA Bull. n. s., 1982(3):193-200.
- [4] GEYER W A G, DEWYKE J, WALAWENDER W P. Biomass and gasification properties of young *Populus* clones[J]. Wood and Fiber Science, 2000, 32: 375-384.
- [5] YU Q, PULKKINEN P, RAUTIO M, et al. Genetic control of wood physiochemical properties, growth and phenology in hybrid aspen clones[J]. Canada Journal of Forest Research, 2001, 31:1348-1356.
- [6] 张黎, 赵荣军, 费本华. 欧美杨 107 杨木材纤维形态分析[J]. 中国造纸, 2008, 27(5):28-31.

- ZHANG L, ZHAO R J, FEI B H. Morphological analysis of the fibers of *Populus × euramericana* cv. "74/76" [J]. China Pulp & Paper, 2008, 27(5): 28-31. (in Chinese)
- [7] ZHANG P D, WU F, KANG X Y. Genotypic variation in wood properties and growth traits of triploid hybrid clones of *Populus tomentosa* at three clonal trials [J]. Tree Genetics & Genomes, 2012(8): 1041-1050.
- [8] MARIA J G, JOSE L L, ALEXANDRE A. Genetic correlation between wood quality traits of *Pinus pinaster* [J]. Annals of Forest Science, 2008, 65 (7): 703-708.
- [9] ZHANG S Y, YU Q, CHAURET G, et al. Selection for both growth and wood properties in hybrid poplar clones [J]. Forest Science, 2003, 49: 901-908.
- [10] MIRANDA I, PEREIRA H. Variation of pulpwood quality with provenances and site in *Eucalyptus globules* [J]. Annals of Forest Science, 2002, 59, (3): 283-291.
- [11] 聂少凡, 林金国, 林思祖, 等. 人工杉木林木纤维形态变异规律的研究 [J]. 西北林学院学报, 1998, 13(4): 9-13.
- NIE S F, LIN J G, LIN S Z, et al. A study on the variation fiber morphology of Chinese fir wood from plantation [J]. Journal of Northwest Forestry University, 1998, 13(4): 9 - 13. (in Chinese)
- [12] 廖声熙, 崔凯, 张鹏, 等. 翠柏木材管胞形态和结晶度的株内变异 [J]. 西北林学院学报, 2012, 27(6): 159-164.
- LIAO S X, CUI K, ZHANG P, et al. Variation of wood tracheid character and crystallinity of *Calocedrus macrolepi* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(6): 159 - 164. (in Chinese)
- [13] 杨红旗, 刘艳萍, 陈广辉, 等. 不同立地条件的白蜡杆生长规律及纤维形态特征研究 [J]. 西北林学院学报, 2012, 27(3): 197-200.
- YANG H Q, LIU Y P, CHEN G H, et al. Growth regularity and fiber morphology of *Fraxinus chinensis* growing indifferent site conditions [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(3): 197-200. (in Chinese)
- [14] HERMAN M, DUTILLEUL P, AVELLA S T. Growth rate effects on temporal trajectories of ring width, wood density, and mean tracheid length in Norway spruce (*Picea abies*) [J]. Wood and Fiber Science, 1998, 30(1): 6-17.
- [15] ZAMUDIO F, BAETTYG R, VERGARA A, et al. Genetic trends in wood density and radial growth with cambial age in a radiata pine progeny test [J]. Annals of Forest Science, 2002, 59(5/6): 541-549.
- [16] YANCHUK A D, DANKIK B P, MICKO M M. Variation and heritability of wood density and fiber length of trembling aspen in Alberta, Canada [J]. Silvae Genetica, 1984, 33: 11-16.
- [17] 姜笑梅, 张立非, 张绮纹, 等. 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.
- JIANG X M, ZHANG L F, ZHANG Q W. Genetic variation in basic wood properties of 36 clones of *Populus deltoids* [J]. Journal of Forest Research, 1994, 7(3): 253-258. (in Chinese)
- [18] 解荷锋, 于中奎, 陈代良, 等. 黑杨纸浆材品种的材性遗传分析和选择 [J]. 山东林业科技, 1996(1): 1-5.
- XIE H F, YU Z K, CHEN D L, et al. Selection and genetic analysis for wood properties in pulpwood varieties of black poplar [J]. Journal of Shandong Forest Science, 1996(1): 1-5. (in Chinese)
- [19] 吴峰, 张平冬, 康向阳, 等. 北京地区栽培的三倍体毛白杨纤维性状遗传变异 [J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(6): 4-7.
- WU F, ZHANG P D, KANG X Y, et al. Genetic variation of fiber properties of triploid Chinese white poplar planted in Beijing [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2011, 39 (6): 4-7. (in Chinese)
- (上接第 20 页)
- [12] 接程月. 基于 FORECAST 模型不同轮伐期杉木人工林和云杉林碳储量的研究 [D]. 杭州, 浙江农林大学, 2011.
- [13] 马钦彦, 陈遐林, 王娟, 等. 华北主要森林类型建群种的含碳率分析 [J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(5/6): 96-100.
- MA Q Y, CHEN X L, WANG J, et al. Carbon content rate in constructive species of main forest types in northern China [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2002, 24 (5/6): 96-100. (in Chinese)
- [14] 唐守正, 郎奎建, 李海奎. 统计和生物数学模型计算 [M]. 北京: 科学出版社, 2008: 291-293.
- [15] 张红兵, 贾来喜, 李潞. SPSS 宝典 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2007: 261-294.
- [16] 李佳, 邵全琴, 刘纪远. 江西省兴国县森林碳储量动态变化特征 [J]. 西北林学院学报, 2012, 27(2): 163-168.
- LI J, SHAO Q Q, LIU J Y. Characteristics of spatio-temporal dynamic changes of the carbon storage of forest vegetation in Xingguo County [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(2): 163-168. (in Chinese)
- [17] MURILLO. Temporal variations in the carbon budget of forest ecosystems in Spain [J]. Ecol. , 1997, 7(3): 461-469.
- [18] SANGAKKARA U R, FREHNER M, NOSBERGER J. Influence of soil moisture and fertilizer potassium on the vegetative growth of mungbean (*Vigna radiate* L. Wilczek) and vovpea (*Vigna radiate* L. Walp) [J]. Agronomy and Crop Science, 2001, 186: 73-81.
- [19] FANG J Y, CHEN A P, PENG C H, et al. Changes in forest-biomass carbon storage in China between 1949 and 1998 [J]. Science, 2001, 292: 2320-2322.
- [20] 郭倩倩, 贺康宁, 刘硕, 等. 青海省大通县青海云杉林碳储量初步估算 [J]. 西北林学院学报, 2011, 26(6): 51-55.
- GUO Q Q, HE K N, LIU S, et al. Preliminary estimate of vegetation carbon storage of *Picea crassifolia* in Datong Country of Qinghai Province [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(6): 51-55. (in Chinese)