

# Progeny Test on the Natural Populations and Selection of Excellent Populations from *Fraxinus mandshurica*

Shibo Lan

The Forestry Research Institute of Heilongjiang Province, Harbin Heilongjiang  
Email: Lanshibo1966@163.com

Received: Jun. 18<sup>th</sup>, 2016; accepted: Jul. 4<sup>th</sup>, 2016; published: Jul. 7<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by author and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

*Fraxinus mandshurica* is one of the ancient relict flora species originated from the Tertiary period, which mainly produced in the eastern mountain to Northeast China and had an important scientific value for the study of the flora in the Paleogene and the climate in Quaternary ice age. By the method of positional observation of fixed standard fields, this thesis performed on discussing the genetic variation of the tree height and DBH from the natural populations and its open-pollinated progenies, and analyzing systematically the heritability and the genetic gains in quantity characters on the basis of analyzing the growth dynamic, the progeny test and its heredity effects, then screened out excellent ones from these populations. The research results had showed that there were greatly significant differences on the quantitative characters among the natural populations, and the coefficient of variance from the tree height [22.99%] was smaller, but its DBH [41.37%] was larger. On the other hand, there were greatly significant difference among its open-pollinated progenies of the tree height and DBH within natural populations too, and hold great interaction between these progenies and the blocks. Meanwhile, the growth characters had strong heritability, high genetic gain, and remarkable heredity effects. The heritability of tree height and its DBH were 0.825 and 0.781, and the genetic gain were 15.16% and 25.85%, respectively. Therefore, SHT and XII were determined to be excellent natural populations both in the growth, resistance and adaptation with growth traits as the main evaluation index, which was applied in the advanced generation improvement breeding.

## Keywords

*Fraxinus mandshurica*, Natural Population, Excellent Population, Progeny Test, Heritability, The Genetic Gains

---

# 水曲柳自然群体子代测定及优异群体选择

兰士波

黑龙江省林业科学研究所, 黑龙江 哈尔滨

Email: Lanshibo1966@163.com

收稿日期: 2016年6月18日; 录用日期: 2016年7月4日; 发布日期: 2016年7月7日

## 摘要

水曲柳(*Fraxinus mandshurica* Rupr.)为主产于中国东北东部山地的古老第三纪孑遗植物之一, 对研究第三纪植物区系及第四纪冰川期气候具有重要的科学价值。为了合理地利用水曲柳的自然遗传资源, 提高良种的科技附加值, 以自然群体自由授粉子代测定林为对象, 采用固定标准地定位观测的方法, 在子代测定、生长动态及遗传效应分析的基础上, 探讨群体及自由授粉子代的树高和胸径的遗传变异, 系统分析了生长性状的遗传力和遗传增益, 并从中选择生长、抗逆性和适应能力兼优的群体。结果表明: 东北东部山地水曲柳自然群体间的生长性状存在极显著的差异, 其中, 树高性状的变异较小, 而胸径性状的变异却较大, 平均变异系数分别为22.99%和41.37%。另外, 群体内自由授粉子代间生长性状的差异亦极显著, 且子代与区组的交互作用明显。水曲柳的生长性状受遗传基因的控制程度较强, 遗传增益较大, 树高和胸径的遗传力分别为0.825和0.781, 遗传增益分别为15.16%和25.85%, 因此, 以生长性状为主要评价指标, 兼顾各种影响因素, 确定山河屯[SHT]与兴隆[XIL]为生长、抗逆性和适应性兼优的群体, 广泛应用于多世代遗传改良育种中。

## 关键词

水曲柳, 自然群体, 优异群体, 子代测定, 遗传力, 遗传增益

## 1. 引言

水曲柳(*Fraxinus mandshurica* Rupr.)是古老的第三纪孑遗植物, 主产于中国东北的东部山地, 对研究第三纪植物区系和第四纪冰川期气候具有重要的科学价值。水曲柳在中国的分布地域广泛, 自然分布区内的地形复杂, 生态环境多样, 气候、土壤和地形等生境因子存在显著差异。受生态隔离、基因突变和自然选择的影响, 整个树种的总体不能随机交配, 从而分化并产生了遗传结构各异的地理生态种群(田俊德, 1994) [1]。水曲柳资源对维护和调节中国区域的气候环境起着重要的作用, 分布虽广, 但资源却十分有限, 由于, 开发历史较早, 受长期掠夺式采伐利用和粗放式经营, 以及单纯追求生产和利润而忽视保护的观念束缚, 导致分布范围变窄, 种群数量锐减, 可采资源损耗严重, 森林面积缩小, 天然资源枯竭, 因此, 1999年, 国务院将其确定为国家二级重点保护的渐危植物。在植物系统分类学上, 水曲柳为木犀科(Oleaceae)白蜡树属或栲属(*Fraxinus* Linn.)的珍贵用材树种, 属阔叶树中生长较快、适应性强, 且经济价值较高的优良树种(周以良, 1986) [2]。水曲柳是东北原始红松阔叶混交林的主要伴生树种, 亦是该区域次生林的主要成林树种, 尤其习见于谷地红松林中, 而在经过自然破坏的次生裸地上演替形成的水曲柳林则属潮湿系列的群落类型, 适生于潮湿的立地(郑万钧, 2004) [3]。水曲柳以其材质优良而著称, 早在世界木材市场上享誉盛名。水曲柳的材质坚硬, 纹理美观, 工艺价值高, 刨光、胶接、油漆和

装饰性能优良,是民用、建筑、工业和军事的高级用材,用以制作高档家具、仪器、文教用品、乐器、体育器具、车船、机械和嵌木地板。树形圆阔、高大挺拔,适应性强,具抗严寒、抗干旱、抗烟尘和抗病虫害的能力,为绿化美化和生态城市景观构建之良种。同时,水曲柳能与许多树种形成复合结构的森林生态系统,对提高整个林分涵养水源的能力,保持水土,防止环境恶化的意义重大而深远。笔者以 8a 生水曲柳自然群体的子代测定林为对象,在季相观测、群体变异、生长规律和及群体遗传效应分析与评价的基础上,通过测定群体及自由授粉子代的生长性状,系统分析这些性状的变异规律、遗传力和遗传增益,并从中选择生长、抗逆性和适应性兼优的群体,为多世代遗传改良提供基因资源。

## 2. 地理分布及自然概况

### 2.1. 水曲柳地理分布

水曲柳分布广域,且具不连续性,集中分布于东北亚的山地。自然分布区南起中国的华北,西入中国的陕甘,东临日本四岛,北抵中国的大兴安岭和俄罗斯的远东地区,跨越中国东北的北部、俄罗斯的远东、日本的北部和朝鲜半岛的北部,最北可达中国最北的北安乡(53°32'N; 123°30'E) (林弥荣, 1969; 赵光仪, 1981) [4] [5]。中国的东北部是水曲柳的主要分布区,吉林长白山的北部山地为其中心分布区,而小兴安岭山地和辽宁千山的丘陵区为边缘分布区。在中国大陆境内,水曲柳主产于东北大兴安岭的东部、小兴安岭和吉林长白山的北部,西至辽宁千山与河北燕山山脉,间断分布至河北、河南、山西、陕西、宁夏和甘肃的局部地区(赵光仪, 1991; 马建路, 1991) [6] [7]。目前,全国各地均有该种的引种栽培,一般应用在城市生态美化工程建设,且数量十分有限。

### 2.2. 原产区自然概况

遵循原产地与引种区环境条件相似之原则,在东北的小兴安岭、长白山、完达山和张广才岭等山地的水曲柳自然分布区内,有针对性地引进东方红、方正、桦南、海林、桓仁、辉南、临江、露水河、山河屯、五常、汤旺河及兴隆等 12 个自然群体的繁殖材料,分别标记为 DFH、FAZ、HAN、HLN、HRN、HUN、LNJ、LSH、SHT、WCH、TWH 和 XIL。原产地自然概况见表 1。

### 2.3. 引种地自然概况

引种区选设在黑龙江省林口县青山国家良种繁育基地,地处中国东北的东部山区,属长白山系张广才岭东坡的丘陵地带,地理坐标:130°20'~130°40'E、45°17'~45°30'N。该区域的地势东北高、西南低,平均坡度 10°~15°,最大坡度可达 40°,海拔 300~500 m。该区域的气候属北温带大陆季风气候,冬季寒冷干燥而漫长,夏季温暖湿润而短促,水热同季,光照充足,无霜期 120~130 d,平均年降水量 400~600 mm,且多集中在 6~8 月份,此期的降水量约占全年降水量的 50%, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年有效积温 2100 $^{\circ}\text{C}$ ~2600 $^{\circ}\text{C}$ ;地带性土壤类型为典型暗棕壤,土层深厚、土壤湿润肥沃,通透性强,适宜林木的生长发育。

## 3. 试验材料与方法

### 3.1. 试验设计

水曲柳的繁殖材料来源于中国东北的 12 个自然群体和 1 个人工栽培群体,为了摒弃生态环境间的差异,子代测定和分析与评价的材料选用同一引种区的 8a 生自由授粉子代测定林。试验地位于黑龙江省林口县青山国家良种繁育基地,其地理环境与气候特征见引种区自然概况。供试林分配置 12 个自然群体的家系子代,并以林口青山(LNK)人工栽培群体的家系子代为对照,总计 13 个处理。2008 年,按照完全随机区组设计配置子代测定林,设置 4 次重复,小区内双行 20 株排列,采取穴状(规格:45 cm $\times$ 45 cm $\times$ 50 cm)整地方式,

**Table 1.** The schedule of the natural general conditions about origin of *Fraxinus mandshurica*  
**表 1.** 水曲柳原产地自然概况一览表

群体	经度	纬度	海拔高/m	平均温度/℃	最低温度/℃	最高温度/℃	≥10℃年有效积温/℃	无霜期/d	降水量/mm
东方红[DFH]	133°70'	46°33'	109.4	3.0	-19.0	21.0	2312.0	130.0	581.0
方正[FAZ]	129°00'	45°50'	115.0	4.0	-19.0	20.0	2341.0	132.0	656.0
桦南[HAN]	131°00'	46°12'	192.0	3.0	-20.0	21.0	2315.0	123.0	657.0
海林[HLN]	129°13'	44°41'	275.1	2.4	-19.4	19.7	2071.9	160.0	635.4
桓仁[HRN]	125°00'	40°00'	240.0	6.0	-14.0	23.0	3005.0	133.0	869.0
辉南[HUN]	126°00'	42°00'	307.0	4.0	-18.0	22.0	2730.0	219.0	686.0
临江[LNJ]	126°92'	41°72'	333.0	5.0	-17.0	22.0	2760.0	226.0	857.0
露水河[LSH]	127°48'	42°30'	129.5	3.0	-17.2	22.0	2607.0	220.0	743.0
山河屯[SHT]	127°00'	44°00'	320.2	2.0	-21.0	20.0	2172.0	110.0	818.0
五常[WCH]	127°00'	44°54'	195.0	3.0	-19.0	23.0	2688.0	154.0	621.0
汤旺河[TWH]	129°00'	48°00'	165.0	0.0	-24.0	19.0	1740.0	96.0	684.0
兴隆[XIL]	128°00'	46°06'	165.5	1.0	-23.0	21.0	2186.0	121.0	762.0

株行距 1.5 m × 2.0 m，小区间以红皮云杉(*Picea koraiensis* Nakai.)作间隔。2015 年生长停止后，测定个生长性状指标。

### 3.2. 测试指标与测定方法

1) 测试指标：主要测试指标包括种子长、种子宽、种子长宽比、种翅长、种翅宽、种翅长宽比、树高和胸径等数量性状指标。

2) 测定方法：采用游标卡尺测量法，测定种子长、种子宽、种翅长、种翅宽和林木胸径生长量(精确度：0.5 mm)；采用电子天平测量法，测定种子和翅果的百粒重(精确度：0.05 mg)；采用卷尺测量法，测定树高生长量(精确度：0.5 cm)。

### 3.3. 数据统计分析

运用统计分析 SPSS 13.0 软件对原始数据进行处理(余建英, 2003) [8]，方差分析采用数学模式： $Y_{ijk} = \mu + B_i + F_j + BF_{ij} + \varepsilon_{ijk}$  进行统计分析，式中， $Y_{ijk}$  为第  $i$  个区组第  $j$  个家系的第  $k$  个观测值， $\mu$  为总体平均值， $B_i$  为区组， $F_j$  为家系， $BF_{ij}$  为家系与区组间的交互作用， $\varepsilon_{ijk}$  为随机误差。根据方差分析结果估算生长性状的遗传参数和变异系数(胡延吉, 2003; 沈熙环, 1990; 王明麻, 2001) [9]-[11]，其中：1) 遗传力 ( $h^2$ ) =  $(MS_f - MS_e) / MS_f$ ；2) 遗传增益 ( $\Delta G$ ) =  $Sh^2 / X$ ；3) 选择强度 ( $i$ ) =  $S / \sigma_p$ ；4) 变异系数 ( $CV$ ) =  $100 \times \sigma_p / X$ ，式中， $h^2$  —— 家系遗传力， $\Delta G$  —— 遗传增益， $CV$  —— 变异系数， $MS_f$  —— 表现型方差， $MS_e$  —— 环境方差， $i$  —— 选择强度， $S$  —— 选择差， $\sigma_p$  —— 标准差， $X$  —— 性状均值。

## 4. 结果与分析

### 4.1. 水曲柳季相变化规律

植物的生长发育与季节变化存在紧密相关性，深入了解不同生长阶段的物候特性，对水曲柳优异群体和优良个体的选育及林分的可持续经营具有一定的指导意义。以小兴安岭自然分布区长期观测的数据为依据，从七个方面揭示该区域水曲柳的季相变化特点。

- 1) 萌动期：4月上旬至4月中旬，树液开始流动，进入萌动期；
- 2) 展叶期：水曲柳放叶较晚，5月初芽膨大，5月中旬芽开放，5月下旬至6月上旬为展叶期，7月中旬新芽形成；
- 3) 生长期：水曲柳的树高生长属于短周期型，5月中旬生长开始，5月下旬至7月上旬为生长旺盛期，约占总生长量的70%，8月下旬封顶，生长停止。胸径生长期在5月初至9月初，其中，5月初生长开始，5月下旬进入速生期，8月下旬速生期结束，生长减缓，9月初生长停止；
- 4) 开花期：水曲柳在6a~8a生时即可开花结实，5月为始花期，5月中下旬为盛花期，6月为开花末期；
- 5) 果熟期：5月至10月为果实成熟期，其中，5月下旬开始结实，8月下旬果实开始成熟，9月下旬完全成熟，10月中旬果实散落；
- 6) 叶变色期：8月下旬至9月上旬树叶开始变色，9月中旬至9月下旬叶片全部变色；
- 7) 落叶期：水曲柳落叶早，一般在9月初开始落叶，9月下旬为落叶盛期，10月上旬叶片全部脱落。

#### 4.2. 不同生境林木的生长规律

林木生长规律是树种生物学特性的重要表现，探讨水曲柳的生长动态规律对资源恢复、可持续经营与利用具有重要的理论和实践意义。在阔叶树中水曲柳的生长速度较快，但树高和胸径的生长期并不同步，呈先树高后胸径的生长趋势。为了揭示不同生境条件水曲柳的生长规律，以林隙中自由生长木和林内竞争木为测评对象，在不同的生态区内，随机选取100株个体进行树干解析，以分析树高和胸径的总生长量、年平均生长量和连年生长量，并绘制生长动态曲线，分别见图1、图2和图3。从图1、图2和图3可以看出，在整个生长周期内，树高和胸径的生长呈上升态势，一直处于旺盛生长阶段，且自由生长木的3个测定指标远远高于竞争木。

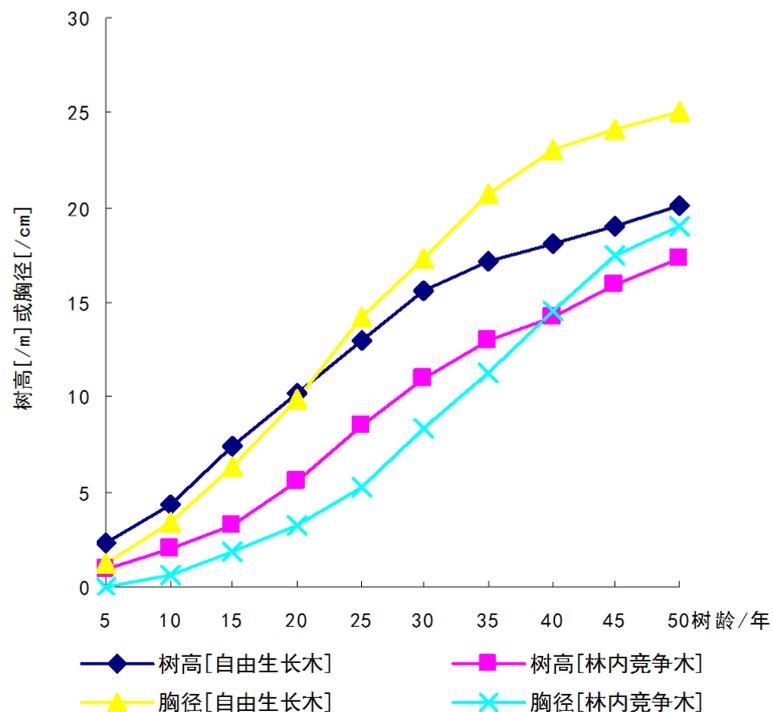


Figure 1. The growth dynamic of the total increment in different habitat  
图1. 不同生境林木性状总生长量动态

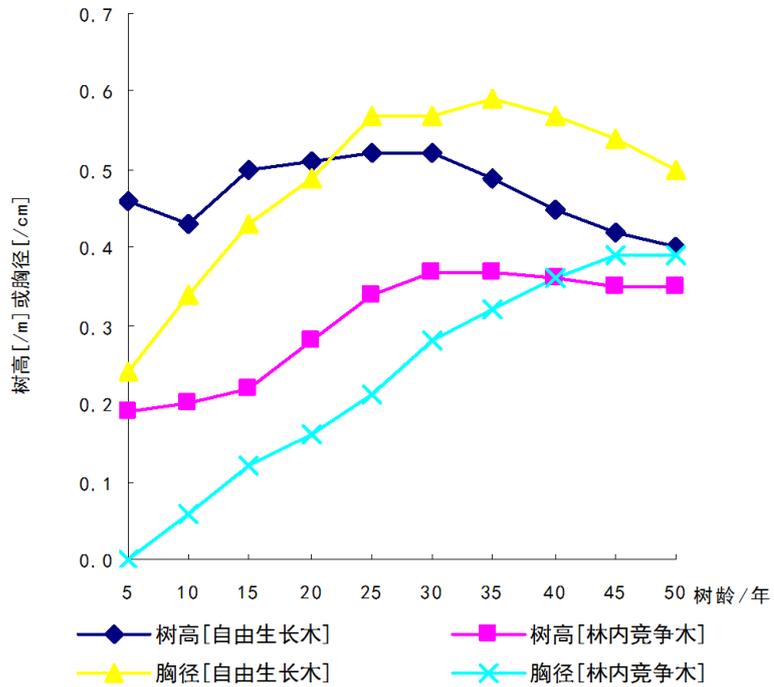


Figure 2. The growth dynamic of average growth rate in different habitat  
图 2. 不同生境林木性状平均生长量动态

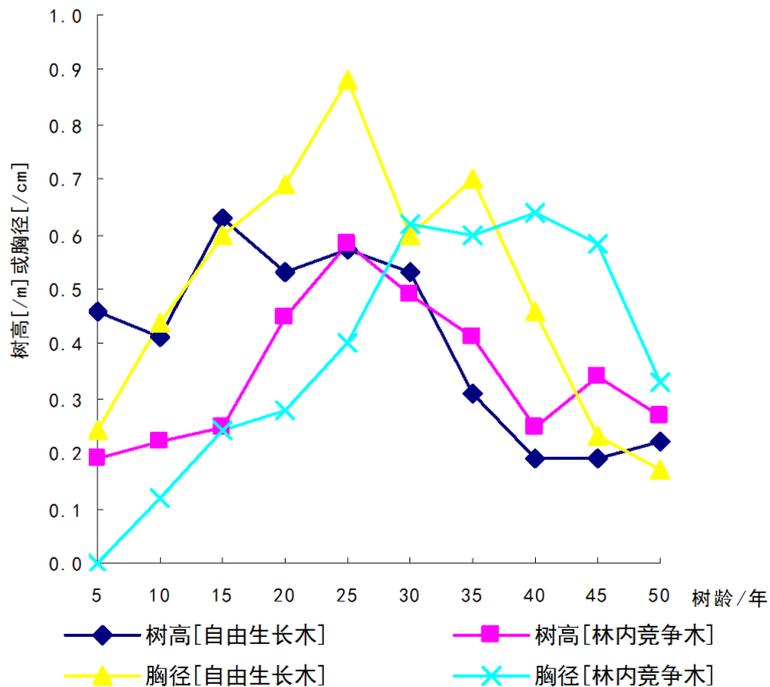


Figure 3. The growth dynamic of current annual increment in different habitat  
图 3. 不同生境林木性状连年生长量动态

1) 自由生长木的树高年平均生长量(0.51 m)和连年生长量(0.57 m)的高峰期均在 15 a~30 a 之间,最大生长量分别出现在 35 a 和 15 a 时,分别为 0.52 m 和 0.63 m,且 35 a 以后,年平均生长量呈下降趋势。胸径的年平均生长量(0.57 cm)和连年生长量(0.69 cm)的高峰期分别在 30 a~50 a 和 15 a~35 a 之间,最大生

长量分别出现在 30 a 和 25 a 时, 分别为 0.59 cm 和 0.88 cm, 且 25 a 以后, 年平均生长量明显加快, 45 a 以后, 则呈下降趋势。

2) 竞争木的树高年平均生长量[0.36 m]和连年生长量[0.46 m]的高峰期分别出现在 30 a~50 a 和 20 a~30 a 之间, 最大生长量分别在 35 a 和 25 a 时, 分别为 0.37 cm 和 0.58 cm。胸径年平均生长量(0.37 cm)和连年生长量(0.61 cm)的高峰期分别出现在 35 a 以后和 30 a~45 a 之间, 最大生长量分别出现在 45 a 和 40 a 时, 分别为 0.39 cm 和 0.64 cm, 且 35 a 以后, 年平均生长量明显增大。由此可见, 25 a 以后, 林隙中自由生长木以胸径生长为主导, 胸径连年生长量仍然维持较高的水平, 而树高连年生长量则呈下降的趋势; 45 a 以后, 随着上层空间的扩增、竞争力的增强和光能利用率的提高, 林内竞争木的树高生长处主导地位, 连年生长量保持稳定的生长态势, 而胸径连年生长量却明显下降。

### 4.3. 种实性状变异分析

林木种子蕴藏着丰富的营养物质, 其大小和品质直接影响营养物质的含量。为了探索不同生态条件下水曲柳种实性状的差异, 对小兴安岭、长白山、张广才岭和完达山等山地自然群体的种实性状进行方差分析, 结果见表 2。方差分析(表 2)结果表明, 群体间种子的长、宽、长宽比和百粒重等 4 个性状存在一定变异, 显著性概率远远低于 0.05, 在 5% 水平上差异极显著, 平均变异系数分别为 4.74%、10.08%、15.33%、19.11%; 群体间种翅的长、宽、长宽比和百粒重等 4 个性状变异较大, 且翅果百粒重的变异最大, 平均变异系数分别为 16.78%、7.80%、16.59%、37.07%, 这说明, 翅果性状上的这种变异反映出群体间种子传播力、自然更新能力和翅果中营养物质的含量的差异。

### 4.4. 生长性状遗传变异

水曲柳在阔叶树中属于生长速度较快、适应性和生态耦合性较强, 且经济价值较高的珍贵树种。为了探讨不同生态环境水曲柳自然群体生长性状的遗传变异趋势, 以 13 个群体 520 株个体(含对照)为测试与评价对象, 分别测定自由授粉子代的树高和胸径 2 个生长性状, 测定与方差分析结果分别见表 3 和表 4。从表 3 可以看出, 树高和胸径的总体均值分别为  $1.818 \pm 0.418$  m 和  $1.099 \pm 0.455$  cm, 在 5% 置信区间的变动幅度分别在 1.782~1.854 m 和 1.061~1.139 cm 之间。自然群体内树高的变异较小, 胸径的变异较大, 平均变异系数分别为 22.99% 和 41.37%, 其中: 桓仁[HRN]群体内子代间树高和胸径 2 个生长性状的变异最大, 平均变异系数分别为 27.54% 和 52.71%; 汤旺河[TWH]群体内子代间树高的变异最小(12.12%), 而

Table 2. The variance analysis results on the fruit characteristics among populations

表 2. 群体间翅果性状方差分析结果

性状	均值	标准差	变异幅度	变异系数	F 值	P 值	
种子	种子长	1.3266	0.1492	1.31~1.39	4.74	38.382**	0.000
	种子宽	0.3934	0.0397	0.04~0.41	10.08	2.857**	0.000
	百粒重	3.6148	0.6909	3.37~3.81	19.11	17.713**	0.000
	长宽比	3.4418	0.5277	3.36~3.68	15.33	17.590**	0.000
翅果	种翅长	2.8360	0.4759	2.93~2.97	16.78	2808.944**	0.000
	种翅宽	0.7092	0.0553	0.69~0.73	7.80	3.665**	0.000
	百粒重	28.939	10.7267	27.64~31.10	37.07	143.273**	0.000
	长宽比	4.0520	0.6721	4.10~4.32	16.59	138.028**	0.000

注: 单位, 长度、宽度——厘米[cm]; 重量——克[g]; 变异系数——%。\*\*表示 5% 水平差异极显著。

**Table 3. Statistical results on the growth characteristics of open-pollination progeny from natural populations**  
**表 3. 自由授粉子代生长性状统计描述结果**

群体	性状	最大值	均值	最小值	标准差	标准误	CV/%
东方红[DFH]	树高/m	1.772	1.667	1.561	0.330	0.052	22.12
	胸径/cm	1.063	0.946	0.830	0.364	0.058	19.83
方正[FAZ]	树高/m	1.845	1.722	1.599	0.061	0.061	22.39
	胸径/cm	1.109	1.979	0.849	0.407	0.064	41.61
桦南[HAN]	树高/m	1.821	1.703	1.585	0.369	0.058	21.65
	胸径/cm	1.116	0.980	0.845	0.423	0.067	43.19
海林[HLN]	树高/m	1.853	1.759	1.665	0.294	0.047	16.72
	胸径/cm	1.193	1.088	0.983	0.328	0.052	30.15
桓仁[HRN]	树高/m	1.995	1.834	1.672	0.505	0.080	27.54
	胸径/cm	1.304	1.116	0.928	0.588	0.093	52.71
辉南[HUN]	树高/m	1.872	1.743	1.614	0.403	0.064	23.11
	胸径/cm	1.202	1.044	0.886	0.494	0.078	47.31
自然群体 临江[LNJ]	树高/m	1.879	1.774	1.669	0.329	0.052	18.55
	胸径/cm	1.109	0.985	0.862	0.386	0.061	39.21
露水河[LSH]	树高/m	1.802	1.705	1.609	0.302	0.048	17.73
	胸径/cm	1.033	0.927	0.821	0.333	0.053	35.88
山河屯[SHT]	树高/m	2.136	1.978	1.819	0.497	0.079	25.13
	胸径/cm	1.417	1.261	1.104	0.489	0.077	38.81
汤旺河[TWH]	树高/m	1.774	1.708	1.641	0.207	0.033	12.12
	胸径/cm	1.247	1.154	1.062	0.291	0.046	25.17
五常[WCH]	树高/m	2.043	1.897	1.752	0.456	0.072	24.02
	胸径/cm	1.275	1.133	0.992	0.441	0.070	38.92
兴隆[XIL]	树高/m	2.086	1.951	1.816	0.422	0.067	21.64
	胸径/cm	1.408	1.250	1.093	0.492	0.078	39.36
平均值	树高/m	1.854	1.818	1.782	0.418	0.018	22.99
	胸径/cm	1.139	1.099	1.061	0.455	0.020	41.37
栽培群体 林口[LNK]	树高/m	2.313	2.190	2.066	0.523	0.063	23.91
	胸径/cm	1.568	1.432	1.296	0.538	0.059	37.57

**Table 4. The variance analysis results on the growth characteristics of progeny from natural populations**  
**表 4. 自然群体子代生长性状方差分析结果**

性状	变异来源	平方和(SS)	自由度(df)	均方(MS)	F 值	概率(P 值)
树高	群体间	10.763	12	0.897	5.696**	0.000
	群体内	79.834	507	0.157		
胸径	群体间	10.482	12	0.873	4.569**	0.000
	群体内	96.925	507	0.191		

注: \*表示 5% 水平差异显著; \*\*表示 5% 水平差异极显著。

东方红[DFH]群体内子代间胸径的变异最小(19.83%)。方差分析结果(表 4)显示, 群体间亲本子代的树高和胸径 2 个生长性状基本上呈正态分布, 且存在丰富的变异, 群体间显著性概率远远小于 0.05, 在 5% 水平上差异极显著。

#### 4.5. 子代测定和群体选择

水曲柳以材质优良而著称, 秉承生物学和生态学的观点, 遵循特定的培育目标, 从分化的群体中选择优良的基因型或优良的生产群体, 以期实现森林的生态、社会和经济效益的最大化。水曲柳自由授粉子代的生长性状存在较大的差异, 完全具备比较选择的充要条件和优异群体推荐的遗传基础, 多重比较的结果见表 5。由表 5 可知, 人工栽培群体[LNK]子代的树高(2.190 m)和胸径(1.432 cm) 2 个性状表现优良, 生长势强健, 分别较参评的 12 个自然群体的子代提高了 20.46% 和 17.93%, 且子代间树高的变异较小, 受环境影响, 胸径的变异较大, 这一点可说明: 经过长期的栽培驯化, 该种已完全适应了引种区的生态和气候条件, 生态耦合性较强。在参试的 12 个自然群体中, 自由授粉子代的胸径和树高 2 个性状均位居前 5 名的群体包括: 山河屯[SHT]、兴隆[XIL]、五常[WCH]和桓仁[HRN], 性状的均值分别为 1.261 cm、1.250 cm、1.134 cm、1.116 cm 和 1.978 m、1.951 m、1.897 m、1.834 m, 与胸径最细(0.927 cm)的露水河[LSH]群体相比较, 分别提高 36.03%、34.84%、22.33% 和 20.39%, 树高较最低(1.667 m)的东方红[DFH]群体的均值分别提高 18.66%、17.04%、13.80% 和 10.02%, 因此, 初步确定这四个群体的子代表现良好, 这些性状变异究竟源自基因型, 还是受环境因子的影响, 尚需进一步分析其子代的遗传效应, 为优异群体的选择提供理论依据。

#### 4.6. 遗传效应分析与评价

遗传力和遗传增益是评价林木遗传改良效果的重要遗传参数, 其大小和相对稳定性受基因和环境的共同影响。在中国东北部山地, 水曲柳自然分布区属大陆季风气候, 复杂多样的生态环境、凉爽湿润的

**Table 5. The multiple comparison results on the growth characteristics of natural population progeny**  
**表 5. 自然群体子代生长性状多重比较结果**

群 体	胸径性状子集/cm				群 体	树高性状子集/m			
	1	2	3	4		1	2	3	4
露水河[LSH]	0.927	----	----	----	东方红[DFH]	1.667	----	----	----
东方红[DFH]	0.946	----	----	----	桦南[HAN]	1.703	1.703	----	----
方正[FAZ]	0.979	0.979	----	----	露水河[LSH]	1.705	1.705	----	----
桦南[HAN]	0.980	0.980	----	----	汤旺河[TWH]	1.708	1.708	----	----
临江[LNJ]	0.985	0.985	----	----	方正[FAZ]	1.722	1.722	----	----
辉南[HUN]	1.044	1.044	----	----	辉南[HUN]	1.743	1.743	----	----
海林[HLN]	1.088	1.088	1.088	----	海林[HLN]	1.759	1.759	1.759	----
桓仁[HRN]	1.116	1.116	1.116	----	临江[LNJ]	----	1.774	1.774	----
五常[WCH]	----	1.134	1.134	----	桓仁[HRN]	----	1.834	1.834	----
汤旺河[TWH]	----	----	1.154	----	五常[WCH]	----	----	1.897	----
兴隆[XIL]	----	----	1.250	1.250	兴隆[XIL]	----	----	1.951	1.951
山河屯[SHT]	----	----	1.261	1.261	山河屯[SHT]	----	----	1.978	1.978
林口[LNK]	----	----	----	1.432	林口[LNK]	----	----	----	2.190

**Table 6.** Analysis and the variance component of the growth characteristics from open-pollination progeny  
**表 6.** 自由授粉子代生长性状的方差分量及遗传增益分析

性状	平均值	标准差	个体间方差分量		个体内方差分量		F 值	CV/%	遗传力	遗传增益/%
			MS <sub>f</sub>	SS <sub>f</sub>	MS <sub>e</sub>	SS <sub>e</sub>				
树高	1.818	0.418	0.897	10.763	0.157	79.834	5.696	22.99	0.825	15.16
胸径	1.099	0.455	0.873	10.482	0.191	96.925	4.569	41.37	0.781	25.85

森林气候和湿润肥沃的土壤增强了该种的生态适应性和生态耦合性。为探讨水曲柳自由授粉个体的遗传效应，以自然群体的子代为测定对象，有针对性地对数量性状进行方差分析，并根据方差分析结果估算自由授粉个体的遗传力和遗传增益等遗传参量，结果见表 6。由表 6 可知，水曲柳自然群体子代的树高和胸径 2 个生长性状的遗传力分别为 0.825 和 0.781，遗传增益分别为 15.16% 和 25.85%。这一结果充分说明，在中国东北的东部山地，水曲柳自然群体子代的数量性状受基因控制程度较强，遗传力较强，遗传分化较小，遗传增益较高，生长潜力巨大，具备高世代遗传改良的基础。因此，以自由授粉子代的生长性状为主要评价指标，兼顾生态适应性、生态耦合性、抗逆性、遗传效应、遗传力和遗传增益等各种影响因素，最终确定并推荐山河屯[SHT]和兴隆[XIL]为优异群体，建议广泛应用在多世代遗传改良育种中。

### 5. 结论与讨论

中国东北部的山地是水曲柳集中分布区，地形复杂，生态环境多样，气候凉爽湿润，蕴含森林植物的高度遗传多样性。水曲柳性喜凉爽湿润的森林气候，能与许多树种形成复杂结构的森林生态系统，群体选择和遗传改良的潜能巨大。通过分析自由授粉子代的生长变异、遗传力和遗传增益等遗传效应，认为，1) 东北东部山地水曲柳自然群体间亲本子代的树高和胸径 2 个性状存在丰富的变异，置信区间分别在 1.782~1.854 m 和 1.061~1.139 cm 范围内，且在 5% 水平上差异极显著；2) 东北东部山地水曲柳自由授粉子代对新的生存环境的适应能力各有不同，子代间树高和胸径 2 个性状的差异极显著，且树高的变异较小，胸径的变异较大，平均变异系数分别为 22.99% 和 41.37%；3) 东北东部山地水曲柳自由授粉子代树高和胸径 2 个性状的遗传力分别为 0.825 和 0.781，遗传增益分别为 15.16% 和 25.85%，这充分说明，生长性状受基因控制程度较强，遗传力较大，遗传分化较小，遗传增益较高，生长潜力巨大；4) 以生长性状为主要评价指标，兼顾生态适应性、生态耦合性、遗传效应、遗传力和遗传增益等各种影响因素，最终确定并推荐山河屯[SHT]和兴隆[XIL]为优异群体，建议在多世代遗传改良育种中推广应用。

### 基金项目

黑龙江省科技厅项目(GC04B116)；国家林木种质资源平台运行服务项目(2011DKA21003-02)；国家林业公益性行业专项(201204307-07)。

### 参考文献 (References)

[1] 田俊德, 陈晓波, 叶燕萍, 等. 吉林试点水曲柳种源选择试验初报[J]. 吉林林业科技, 1994(4): 14-16.  
 [2] 周以良. 黑龙江树木志[M]. 哈尔滨: 黑龙江省科学技术出版社, 1986: 432-434.  
 [3] 郑万钧. 中国树木志[M]. 第四卷. 北京: 中国林业出版社, 2004: 4404-4406.  
 [4] 林弥荣. 有用树木图说[M]. 东京: 诚文堂, 1969: 151-423.  
 [5] 赵光仪. 大兴安岭北部及其毗邻地区若干乔灌木树种分布研究简报[J]. 林业科技通讯, 1981(3): 18-19.  
 [6] 赵光仪, 田兴军, 吴振河. 黄菠萝、胡桃楸、水曲柳分布北限论析[J]. 东北林业大学学报, 1991, 19(4): 290-295.

- 
- [7] 马建路, 石家琛, 景凤鸣, 等. 水曲柳立地区划[J]. 东北林业大学学报, 1991(19): 62-68.
- [8] 余建英, 何旭宏. 数据统计分析与应用(SPSS)[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003: 148-154.
- [9] 胡延吉. 植物育种学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 122-125.
- [10] 沈熙环. 林木育种学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990: 41-66.
- [11] 王明麻. 林木遗传学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001: 156-160.

**再次投稿您将享受以下服务:**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>