

白花泡桐无性系自然接干性状的遗传变异研究

叶金山, 胡伟华, 谢青, 孟伟, 杨文萍

(国家林业局 泡桐研究开发中心, 河南 郑州 450003)

摘要:利用田间试验和统计分析的方法,研究了白花泡桐无性系自然接干性状的遗传变异规律。结果表明:(1)有 8 个自然接干性状(接干高、主干材积、接干材积、全干材积、接干材积/全干材积、主干平均削度、通直度、丛枝病等级)属于高度变异型($CV\geq 30$);有 8 个自然接干性状(主干高、全干高、主干 1/2 径、主干端径、接干 1/2 径、主干材积/全干材积、接干形数、冠幅)属于中度变异型($15\leq CV<30$);有 6 个自然接干性状(树高、胸径、主干基径、主干形数、主干形率、接干形率)属于低度变异型($CV<15$)。(2)接干高性状在影响和决定白花泡桐无性系自然接干性状的总体表现上起着重要作用,而通直度性状在白花泡桐自然接干性状的遗传改良中起着关键作用。(3)一元方差分析表明无性系间在 15 个自然接干性状(树高、接干高、胸径、主干基径、主干 1/2 径、主干端径、主干材积、接干材积/全干材积、主干形数、主干形率、接干形率、主干平均削度、通直度、冠幅、丛枝病等级)存在极显著性差异;在 1 个自然接干性状(主干材积/全干材积)存在显著性差异;在 6 个自然接干性状(主干高、全干高、接干 1/2 径、接干材积、全干材积、接干形数)无显著性差异。(4)多元方差分析表明自然接干性状在白花泡桐无性系间存在极显著性差异。(5)Duncan 分析给出了自然接干性状的 Duncan 分组。(6)主成分分析确定了第一主成分、第二主成分和第三主成分,并给出了它们各自的贡献率和累计贡献率。

关键词:白花泡桐;无性系;自然接干性状;遗传变异

中图分类号:S792.43 文献标识码:A 文章编号:1001-7461(2008)05-0074-05

Genetic Variation of Natural Stem-join Characters of *Paulownia fortunei* Clones

YE Jin-shan, HU Wei-hua, XIE Qing, MENG Wei, YANG Wen-ping

(*Paulownia Research and Development Center of State Forestry Administration, Zhengzhou, Henan 450003, China*)

Abstract: The genetic variation of natural stem-join characters of *Paulownia fortunei* clones was studied by means of field test and statistical analysis. The results were as follows: (1) Eight natural stem-join characters, which were height of stem-join, volume of main stem, volume of stem-join, volume of whole-stem, stem-join volume / whole-stem volume, average taper of main stem, straightness of stem and witches' broom grade, fell into the high grade variation type (coefficient of variation ≥ 30). Eight natural stem-join characters, which were height of main stem, height of whole-stem, diameter at half main stem height, diameter at top end of main stem, diameter at half stem-join height, main stem volume / whole-stem volume, stem-join form-factor and crown breadth, fell into the middle grade variation type ($15\leq$ coefficient of variation <30). Six natural stem-join characters, which were height of tree, diameter breast-high, diameter at foot, main stem form-factor, main stem form-quotient and stem-join form-quotient, fell into the low grade variation type (coefficient of variation <15). (2) Height of stem-join played an important role in affecting and determining total display of natural stem-join characters of *P. fortunei* clones. Straightness of stem played a key role in genetic improvement of natural stem-join characters of *P. fortunei*. (3) Fifteen

收稿日期:2008-02-28 修回日期:2008-03-27
基金项目:河南省自然科学基金项目(0611032600)。
作者简介:叶金山,男,博士,副研究员,主要从事泡桐遗传育种研究。

natural stem-join characters, which were height of tree, height of stem-join, diameter breast-high, diameter at foot, diameter at half main stem height, diameter at top end of main stem, volume of main stem, stem-join volume / whole-stem volume, main stem form-factor, main stem form-quotient, stem-join form-quotient, average taper of main stem, straightness of stem, crown breadth and witches' broom grade, had extremely significant difference. One natural stem-join character, which was main stem volume / whole-stem volume, had significant difference. Six natural stem-join characters, which were height of main stem, height of whole-stem, diameter at half stem-join height, volume of stem-join, volume of whole-stem and stem-join form-factor, had no significant difference. (4) Natural stem-join characters had extremely significant difference among *P. fortunei* clones. (5) Duncan analysis gave Duncan grouping of natural stem-join characters. (6) Principal component analysis not only ascertained the first principal component, the second principal component and the third principal component, but also gave their respective contribution ratios and accumulative ratio.

Key words: *Paulownia fortunei*; clone; natural stem-join character; genetic variation

白花泡桐(*Paulownia fortunei*)在泡桐属中的树种重要性和对泡桐遗传育种研究的影响力可从以下树种特性和研究史中看出:(1)其自然种群广泛分布于长江以南和四川、云南以东的辽阔地域并南延至越南和老挝境内而成为我国南方桐区最著名的典型代表种;(2)其自然种群蕴含着从外部形态直至内部生理生态特性如适应性和抗性上的丰富多样的种内遗传变异,而很多种内自然变异具有重要的育种学意义和直接的经济价值;(3)其物种水平上的显著速生性和优良自然接干性是泡桐属中其他主要种无法相比的;(4)在人工创造的变异中始终作为在泡桐杂交育种研究史上应用最广泛、杂种优势最明显和杂交育种成就最大的“毛泡桐×白花泡桐”种间杂交组合的父本种。长期以来,学术界对主要泡桐种的种内形态变异、杂交育种、人工接干和干形培育的研究比较深入,而对泡桐自然接干性状遗传变异的研究却很薄弱^[1-16]。本研究以无性系为材料初步探讨了白花泡桐自然接干性状遗传变异的表现形式和基本规律。以期为泡桐的杂交育种、无性系育种、自然接干性状的遗传改良和多世代遗传改良提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 试验材料

5 个白花泡桐无性系(B1~B5)对比试验林(12 a)随机区组设计,6 株小区,4 次重复,株行距 5 m×10 m。试验林位于豫东平原黄泛区腹地,约为 34°20'N,114°28'E,海拔 60 m,平均年降雨量 678.5 mm,年平均气温 14.4℃。林地土壤为黄河冲积土中的沙壤土,pH=7.0,地下水位 3.5 m,肥力中等。

1.2 研究方法

1.2.1 性状测定 以 cm、m 和 m³ 为测量单位每

木测量和计算无性系试验林的 22 个自然接干性状:树高、主干高、接干高、全干高、胸径、主干基径、主干 1/2 径、主干端径、接干 1/2 径、主干材积、接干材积、全干材积、主干材积/全干材积、接干材积/全干材积、主干形数、接干形数、主干形率、接干形率、主干平均削度、通直度(L)、冠幅、丛枝病等级。采用 4 级通直度分类标准。

1.2.2 统计分析 按中央直径法计算主干材积和接干材积,并令主干材积+接干材积=全干材积;以东西、南北冠幅的平均值代表冠幅性状值;以胸径为比较直径计算主干形率和接干形率;以胸高断面积和全干高为标准计算主干形数和接干形数;用长度除两头直径之差法计算各段树干的平均削度;按随机区组固定模型进行以单株性状值为单位的一元和多元方差分析;多重比较用 Duncan 法;同时还进行了主成分分析。所有统计分析均采用 SAS 软件。

各性状的数据统计按完全随机区组模型进行分析,其线性统计模型为:

$$Y_{ij} = u + A_i + B_j + E_{ij}$$

其中: Y_{ij} — j 区组 i 无性系的性状测定值; u —总体平均值; A_i — i 无性系效应; B_j — j 区组(重复)效应; E_{ij} —机误。

2 结果与分析

2.1 无性系自然接干性状的遗传变异

表 1 给出了白花泡桐无性系 22 个自然接干性状的平均数(\bar{x})、标准差(S)和变异系数(CV)。按 CV 的大小将自然接干性状划分为以下 3 种变异类型:

(1)高度变异型($CV \geq 30$):有 8 个自然接干性状(接干高、主干材积、接干材积、全干材积、接干材

积/全干材积、主干平均削度、通直度、丛枝病等级) 属于高度变异型,其 CV 变幅为 30.40~112.00。

表 1 自然接干性状的平均数、标准差和变异系数

Table 1 Mean, standard deviation, coefficient of variation of natural stem-join characters					
性状	$\bar{x}\pm S$	CV	性 状	$\bar{x}\pm S$	CV
树 高	13.7±1.57	11.5	全干材积	0.26±0.09	34.61
主干高	3.53±1.02	28.89	主干材积/全干材积	0.67±0.17	25.10
接干高	4.63±1.74	37.61	接干材积/全干材积	0.33±0.17	51.54
全干高	7.67±1.95	25.50	主干形数	0.93±0.08	8.74
胸 径	25.70±3.62	14.08	接干形数	0.41±0.11	25.60
主干基径	29.91±3.57	11.92	主干形率	0.96±0.04	4.45
主干 1/2 径	24.82±3.89	15.67	接干形率	0.64±0.09	13.50
主干端径	22.74±4.68	20.58	主干平均削度	1.94±0.63	32.20
接干 1/2 径	16.23±3.21	19.78	通直度	2.50±1.00	42.00
主干材积	0.17±0.05	30.40	冠 幅	7.60±1.31	17.30
接干材积	0.09±0.05	58.80	丛枝病等级	1.00±1.10	112.00

(2)中度变异型($15\leq CV<30$):有 8 个自然接干性状(主干高、全干高、主干 1/2 径、主干端径、接干 1/2 径、主干材积/全干材积、接干形数、冠幅)属于中度变异型,其 CV 变幅为 15.67~28.89。

(3)低度变异型($CV<15$):有 6 个自然接干性状(树高、胸径、主干基径、主干形数、主干形率、接干形率)属于低度变异型,其 CV 变幅为 4.45~14.08。

分析上述 3 种变异类型自然接干性状的构成和关系可以看出,接干高性状在影响和决定白花泡桐无性系自然接干性状的总体表现上起着重要作用。原因在于,接干高性状直接引起了全干高、接干材积、全干材积、接干材积/全干材积等性状的变异;接干高性状通过着生其上枝叶的光合作用深刻影响了其他自然接干性状的生长发育和性状表现;其他自然接干性状都是在接干高性状上存在和发展的。

由于芽在形态学位置上只有顶芽和侧芽 2 种划分,而树木实际上都是以接干形式进行树高生长和

最终形成树干的(1 a 完成高生长的单子叶植物如毛竹除外),因此可以按照形成树干的是顶芽还是侧芽而将整个树木世界相应地划分为“顶芽接干树种”和“侧芽接干树种”2 大类型。在前者中顶芽和侧芽分别形成树干和枝条,而在后者中树干和枝条都是由侧芽形成的。与通常情况下顶芽接干的乔木用材树种一般都能形成通直树干($L=1$)的情形不同,属于侧芽接干范畴的假二叉分枝接干决定了白花泡桐在其树干通直度性状变异上必然存在着 $L=1$ (接成通直树干)和 $L\neq 1$ (接成不通直树干)2 种情况。毫无疑问,只要消除了 $L\neq 1$ 则白花泡桐的假二叉分枝侧芽接干特性反映在其树干通直度性状变异上 $L=1$ 的接干效果就与顶芽接干树种的 $L=1$ 没有差别了,而包括白花泡桐在内的所有泡桐属树木自然接干性状遗传改良的最终目标就是要设法消除通直度性状变异上的 $L\neq 1$ 。

表 2 无性系自然接干性状的一元方差分析

Table 2 Monofactorial analysis of variance of the natural stem-join characters in <i>P. fortunei</i> clones					
性状	F 值	差异性水平	性 状	F 值	差异性水平
树 高	0.45	0.002 2	全干材积	1.49	0.210 2
主干高	4.73	0.051 2	主干材积/全干材积	2.50	0.046 2
接干高	3.45	0.009 7	接干材积/全干材积	4.69	0.001 5
全干高	1.84	0.125 7	主干形数	5.35	0.000 6
胸 径	3.60	0.008 4	接干形数	2.40	0.054 5
主干基径	4.75	0.001 4	主干形率	5.42	0.000 5
主干 1/2 径	3.61	0.008 2	接干形率	4.84	0.001 2
主干端径	4.27	0.003 0	主干平均削度	5.90	0.000 2
接干 1/2 径	2.38	0.055 8	通直度	6.43	0.000 1
主干材积	4.22	0.003 2	冠 幅	4.92	0.001 1
接干材积	1.64	0.168 1	丛枝病等级	4.12	0.003 7

考虑到白花泡桐的优良树干通直性和显著速生性是泡桐属中其他物种无法相比的,而白花泡桐又始终作为泡桐杂交育种史上应用最广和育种成就最大的毛泡桐×白花泡桐种间杂交组合的父本种而在泡桐杂交育种史上扮演着极其重要的角色,研究白花泡桐的接干高性状和通直度性状种内变异的表现形式和基本规律无疑是一项会对泡桐的杂交育种、无性系育种、自然接干性状的遗传改良和多世代遗传改良事业产生广泛而深远影响的基础性工作。

2.2 无性系自然接干性状的遗传分析

表 2 的一元方差分析证明白花泡桐无性系在 22 个自然接干性状中有 15 个性状(树高、接干高、

胸径、主干基径、主干 1/2 径、主干端径、主干材积、接干材积/全干材积、主干形数、主干形率、接干形率、主干平均削度、通直度、冠幅、丛枝病等级)存在极显著性差异,1 个性状(主干材积/全干材积)存在显著性差异,6 个性状(主干高、全干高、接干 1/2 径、接干材积、全干材积、接干形数)无显著性差异。

表 3 的多元方差分析证明自然接干性状在白花泡桐无性系间存在极显著性差异,从而表明在泡桐的杂交育种、无性系育种、自然接干性状的遗传改良和多世代遗传改良中必须做好白花泡桐的单株选择和无性系选择。

表 3 无性系自然接干性状的多元方差分析

Table 3 Multivariate analysis of variance of natural stem-join characters in *P. fortunei* clones

统计模型	似然比	F 值	Num DF	Den DF	Pr >F
Wilks' Lambda	0.287 376 57	1.60	84	361.89	0.001 8
Pillai's Trace	1.017 171 45	1.53	84	376.00	0.004 4
Hotelling-Lawley Trace	1.566 121 19	1.67	84	284.58	0.001 0
Roy's Greatest Root	0.763 852 03	3.42	21	94.00	<0.000 1

注释：关于没有综合的无性系效应假设的 Monova 测试准则和 *F* 近似值;*H*=无性系类型Ⅲ的离差阵(完全正矩阵);*E*=误差阵(完全正矩阵);*S*=4,*M*=8,*N*=44.5;对 Roy's 最大特征根的 *F* 典型统计量是一个上限。

表 4 表明,多数无性系在大多数自然接干性状上没有显著性差异,但它们又与少数无性系在大多数自然接干性状上存在显著性差异。

表 4 无性系自然接干性状的 Duncan 分组

Table 4 Duncan grouping of natural stem-join characters of *P. fortunei* clones

性 状	Duncan 分组
树 高	B3(A)B5 (A) B4 (B) B1 (B) B2 (B)
主干高	B5(A)B3(AB)B4(BC)B2(C)B1(C)
接干高	B3(A)B5(AB)B4(BC)B1(BC)B2(C)
全干高	B5(A)B3(AB)B1(AB)B4(AB)B2(B)
胸 径	B5(A)B3(AB)B4(BC)B1(C)B2(C)
主干基径	B5(A)B3(AB)B4(BC)B2(C)B1(C)
主干 1/2 径	B5(A)B3(A)B4(B)B1(B)B2(B)
主干端径	B3(A)B5(A)B4(B)B2(B)B1(B)
接干 1/2 径	B3(A)B5(A)B1(AB)B4(AB)B2(B)
主干材积	B5(A)B3(AB)B4(BC)B2(BC)B1(C)
接干材积	B1(A)B3(A)B5(A)B2(A)B4(A)
全干材积	B1(A)B3(A)B5(A)B4(A)B2(A)
主干材积/全干材积	B5 (A) B3 (AB) B4 (AB) B1 (AB) B2(B)
接干材积/全干材积	B3 (A) B5 (AB) B4 (BC) B2 (BC) B1(C)
主干形数	B5 (A) B3 (A) B4 (B) B2 (B) B1(B)
接干形数	B3 (A) B5 (AB) B1 (AB) B4 (AB) B2 (B)
主干形率	B5 (A) B3 (A) B4 (B) B2 (B) B1 (B)
接干形率	B3 (A) B5 (A) B4 (AB) B2 (B) B1 (B)
主干平均削度	B5 (A) B3 (A) B4 (AB) B2 (BC) B1 (C)
通直度	B3 (A) B5 (AB) B4 (BC) B1 (C) B2 (C)
冠 幅	B5 (A) B3 (AB) B4 (BC) B2 (C) B1 (C)
丛枝病等级	B3 (A) B5 (AB) B1 (AB) B2 (B) B4 (B)

表 5 可看出,第一主成分接干材积因子(接干材积/全干材积、接干材积、接干 1/2 径、接干高)、第二主成分主干材积因子和第三主成分主干圆满度因子(主干平均削度)的贡献率分别为 88.83%、4.92%和 2.52%,它们的累计贡献率为 96.27%。从第一主成分的贡献率高达 88.83%可知,第一主成分(接干材积因子)已经揭示和反映了白花泡桐无性系自然接干性状遗传变异的绝大部分信息。

表 5 自然接干性状的前 3 个主成分的贡献率和累计贡献率

Table 5 Contribution ratios and accumulative contribution ratios of 1st, 2nd, 3rd principal components of natural stem-join characters

统计量	第一主成分	第二主成分	三主成分
特征值	19.5432	1.081 4	0.555 2
贡献率/%	88.83	4.92	2.52
累计贡献率/%	88.83	93.75	96.27

3 结 论

以平均数(\bar{x})、标准差(*S*)和变异系数(*CV*)描述和度量了白花泡桐无性系自然接干性状的遗传变异性,并按 *CV* 的大小确定了有 8 个自然接干性状(接干高、主干材积、接干材积、全干材积、接干材积/全干材积、主干平均削度、通直度、丛枝病等级)属于高度变异型($CV\geq 30$),有 8 个自然接干性状(主干高、全干高、主干 1/2 径、主干端径、接干 1/2 径、主干材积/全干材积、接干形数、冠幅)属于中度变异型($15\leq CV<30$),有 6 个自然接干性状(树高、胸径、主干基径、主干形数、主干形率、接干形率)属于低度

变异型($CV<15$)。证明了接干高性状在影响和决定白花泡桐无性系自然接干性状的总体表现上起着重要作用,而通直度性状在白花泡桐自然接干性状的遗传改良中起着关键作用。

一元方差分析证明在白花泡桐无性系的自然接干性状中有 15 个自然接干性状(树高、接干高、胸径、主干基径、主干 1/2 径、主干端径、主干材积、接干材积/全干材积、主干形数、主干形率、接干形率、主干平均削度、通直度、冠幅、丛枝病等级)存在极显著性差异,有 1 个自然接干性状(主干材积/全干材积)存在显著性差异,有 6 个自然接干性状(主干高、全干高、接干 1/2 径、接干材积、全干材积、接干形数)无显著性差异。多元方差分析证明自然接干性状在白花泡桐无性系间存在极显著性差异。

Duncan 分析给出了自然接干性状的 Duncan 分组。主成分分析揭示了第一主成分、第二主成分和第三个主成分的贡献率分别为 88.83%、4.92%和 2.52%,其累计贡献率为 96.27%。

参考文献：

[1] 蒋建平. 泡桐栽培学[M]. 北京:中国林业出版社,1990 :263-279.

[2] 熊耀国. 泡桐遗传改良[M]. 北京:中国科学技术出版社,1995:45-133.

[3] 倪善庆. 泡桐[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1986.

[4] 河南省《泡桐》编写组. 泡桐[M]. 北京:科学出版社,1978.

[5] 中国林业科学院泡桐组,河南省商丘地区林业局. 泡桐研究[M]. 北京:中国林业出版社,1982.

[6] 李占民. 泡桐单芽接干试验研究[J]. 河北林业科技,1996(1):11-13.

[7] 侯元凯,翟明普. 泡桐干形培育研究进展[J]. 林业科学,1999,35(3):76-83.

[8] 侯元凯,翟明普,姜季松,等. 兰考泡桐不定芽自然接干规律研究[J]. 北京林业大学学报,1999,21(3):14-19.

[9] 侯元凯,翟明普,张俊昌,等. 兰考泡桐苗木顶芽越冬特性初步研究[J]. 河南农业大学学报,2000,34(2):196-200.

[10] 侯元凯,翟明普,聂爱社,等. 兰考泡桐苗木顶芽水分变化规律研究[J]. 北京林业大学学报,2001,23(6):17-21.

[11] 蒋建平,范国强,李培玉,等. 泡桐主干与树冠生长相关关系的研究[J]. 河南农业大学学报,2000,34(2):127-129.

[12] 茹广欣,袁金玲,冯胜,等. 泡桐不同无性系生长性状及抗病性分析[J]. 河南农业大学学报,2001,35(1):53-56.

[13] 刘震,何松林,王艳梅,等. 泡桐顶侧芽休眠发育的温度特性研究[J]. 林业科学,2004,40(3):46-50.

[14] 刘震,毕会涛,蒋建平,等. 泡桐侧芽萌发成枝接干规律[J]. 林业科学,2005,41(4):42-47.

[15] 刘震,耿晓东,秦素玲,等. 泡桐下侧芽萌发成枝与上侧芽萌发接干间关系[J]. 北京林业大学学报:自然科学版,2005,27(5):65-69.

[16] 崔永兰,吕国政,石俊阁. 泡桐接干类型划分及干形相关性状的分析[J]. 河南农业大学学报,2001,35(1):70-73.