

# 楸树种质生长和叶部性状的遗传多样性

梅芳<sup>1,2</sup>, 王军辉<sup>2</sup>, 贾继文<sup>2</sup>, 赵鲲<sup>3</sup>, 焦云德<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>三峡大学化学与生命科学学院, 湖北宜昌 443002; <sup>2</sup>中国林业科学研究院林业研究所/林木遗传育种国家重点实验室/国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091; <sup>3</sup>洛阳农林科学研究院, 河南洛阳 471002)

**摘要:**为提高楸树遗传资源的利用效率,本研究对从楸树基因库中选出的53个无性系进行地径、苗高、节间距等12个性状指标进行了遗传多样性分析。研究结果表明,53个楸树无性系间地径、苗高的差异极显著,遗传变异系数分别为18.53%、16.29%,遗传多样性指数分别为1.84、1.79。地径、苗高与叶长、叶柄长、叶片总数、叶面积、皮孔密度呈现极显著的正相关,且叶长、叶柄长、叶片总数、叶面积、皮孔密度的遗传变异系数分别为8.57%、17.74%、18.56%、24.21%和26.91%,遗传多样性指数(Shannon-Weaver)分别为1.91、1.87、1.80、1.80和1.94,具较大变异且受强遗传控制,多样性丰富且分布均匀。来源不同的种质资源差别较大,其中来源于河南地区的种质生长指标最优,来源于山东地区的种质变异系数最高。聚类分析将53个无性系分为5大类,第I类的地径、苗高、叶片总数、皮孔密度均值最高,第II类生长最差,第III类的节间距、叶长、叶宽、叶柄长、叶面积、叶周长均值最高,第IV类和第V类的叶绿素含量和比叶重均值分别最高。

**关键词:**楸树;遗传变异;多样性指数;聚类分析

## Genetic Diversity of Growth and Leaf Traits of *Catalpa bungei*

MEI Fang<sup>1,2</sup>, WANG Jun-hui<sup>2</sup>, JIA Ji-wen<sup>2</sup>, ZHAO Kun<sup>3</sup>, JIAO Yun-de<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>College of Chemical and Life Science, Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002; <sup>2</sup>Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration/State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding/Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091; <sup>3</sup>Luoyang Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Luoyang, Henan 471002)

**Abstract:** In order to improve the utilization efficiency of *Catalpa bungei* genetic resource, fifty three superior clones from gene bank were selected, and more than twelve trait indices were investigated to analyze their genetic diversity. The result showed that there were significant differences among clones in seedling height and ground diameter, with their genetic variation coefficients were 18.53% and 16.29%, respectively. And genetic diversity indices were 1.84 and 1.79, respectively. Based on the correlative analysis, there were positive correlation among ground diameter, seedling height and leaf length, petiole length, number of leaves, leaf area and dermal pore density, whose genetic variation coefficients were 8.57%, 17.74%, 18.56%, 24.21, and 26.91%, respectively. Genetic diversity index were 1.91, 1.87, 1.80, 1.80, and 1.94. So they had relatively large variation and were controlled by highly heredity, which had abundant diversity and distributed uniformly. There were big difference among germplasm from different source, among which the growth indexes of germplasm from Henan area were the best. The growth indexes of germplasm from Shandong area were not the best, but its variation coefficients. Fifty three clones were groupified five groupes by cluster analysis, in which the ground diameter, height of seedling, number of leaves, and dermal pore density of group I were the highest. The performance of group II was the worst. Internode length, leaf length, leaf width, petiole length, leaf area, and leaf perimeter of group III were the biggest. Chlorophyll content, specific leaf weight of group IV and group V were the highest, respectively.

**Key words:** *Catalpa bungei*; genetic variation; diversity index; cluster analysis

收稿日期:2013-04-09 修回日期:2013-06-22 网络出版日期:2013-12-19

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20131219.1306.017.html>

基金项目:林业公益性行业科研专项经费项目(201104001)

第一作者研究方向为楸树遗传多样性及亲缘关系, E-mail: 826248979@qq.com

通信作者:王军辉,研究方向为楸树和云杉的遗传育种, E-mail: wangjh@caf.ac.cn

林木遗传变异是遗传改良的基础,变异越大,改良的效果就越好。开展楸树优良种质资源遗传多样性研究,为种质资源的进一步选择提供依据,有助于减少育种亲本选配的盲目性,为今后的杂交育种工作提供宝贵的资源和理论基础,也为种质资源的保存打下良好的基础。楸树(*Catalpa bungei* C. A. Mey)为紫葳科梓树属植物,落叶乔木,原产中国<sup>[1]</sup>,是重要的园林绿化和观赏树种,也是优良的药用和用材树种,具有很高的生态效益和经济价值,自古素有“木王”美称<sup>[2]</sup>。在长期的系统发育过程中,楸树在复杂多样的生态环境下及长期人工栽培选择作用下产生了各种变异,构成了楸树不同个体间的复杂性多样性,为开展楸树良种选育提供了丰富的物质基础<sup>[3]</sup>。种质多样性对选用亲本具有重要的指导意义。楸树长期栽培历史,多以无性系形式分散各栽培区。目前对楸树的变异也有相关研究,如贡慧玲等<sup>[4]</sup>对 29 个楸树无性系表型识别特征与遗传变异进行了研究,主要研究了皮孔、叶痕和树皮;张宋智等<sup>[5]</sup>对 29 个幼龄楸树的生长、生理和形态性状进行了遗传变异研究;麻文俊等<sup>[6]</sup>对 30 个 1 年生楸树无性系苗期的生长特性进行了研究;翟文继等<sup>[7]</sup>对河南南阳地区楸树优树子代进行了研究;赵曦阳等<sup>[8]</sup>

对 29 个楸树无性系叶绿素荧光及生长特性变异进行了研究;李传坤等<sup>[9]</sup>对 7 个不同楸树品种苗木速生期生长规律进行了研究;冯小琴等<sup>[10]</sup>进行了楸树无性系叶绿素荧光特性及其性状研究。然而以上研究样本量较少,且未进行全面的分析比较。本试验分析了 53 个楸树无性系生长性状、叶片性状、皮孔密度及生理指标的遗传多样性,旨在对无性系进行综合比较,为进一步选择速生、优质等优良无性系或杂交亲本提供理论参考和科学依据,也为楸树种质资源的收集、保存及开发利用提供基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料为洛阳林科所楸树基因库提供的一年生楸树嫁接苗,2006 年 3 月造林,共 53 个无性系,基本涵盖楸树栽培区,包括山东半岛东中部、河南西部伏牛山部、尧山黄土区、河南东部、西南部及湖北西部,所采集种质以原株枝条收集为主体。采用完全随机区组试验设计,设置 9 次重复,单株小区,定植株行距为 50cm × 50cm,一年生梓砧嫁接苗,各无性系取 3 个正常生长的单株,各单株 3 次重复进行各性状测定。试验材料及种源地见表 1。

表 1 试验材料及来源

Table 1 Experimental materials and its sources

无性系编号 Clone code	种源地 Origin	无性系编号 Clone code	种源地 Origin	无性系编号 Clone code	种源地 Origin
1001	山东省青州市	3213	河南省洛宁县	5012	河南省沈丘县
1003	山东省青州市	3216	河南省洛宁县	5013	河南省沈丘县
1008	山东省青州市	3221	河南省洛宁县	5014	河南省沈丘县
1013	山东省青州市	3311	河南省宜阳县	5024	河南省鹿邑县
1015	山东省青州市	3317	河南省新安县	5025	河南省鹿邑县
1021	山东省青州市	3407	河南省陕县	6004	安徽省滁县
1032	山东省安丘县	3416	河南省陕县	6012	安徽省肖县
1039	山东省安丘县	3427	河南省陕县	6017	安徽省宿县
2002	山东省烟台市	3849	河南省巩县	6019	安徽省固镇县
2011	山东省海阳县	4018	河南省镇平县	6025	安徽省亳县
2022	山东省牟平县	4021	河南省镇平县	6049	安徽省临泉县
2024	山东省牟平县	4023	河南省镇平县	7007	河南省林县
3103	河南省嵩县	4031	河南省唐河县	7008	河南省林县
3109	河南省嵩县	4032	河南省唐河县	7103	河南省济源县
3207	河南省洛宁县	4046	河南省唐河县	9016	安徽省滁县
3208	河南省洛宁县	4070	湖北省郟县	9025	安徽省滁县
3209	河南省洛宁县	5002	河南省鹿邑县	9027	安徽省宿县
3211	河南省洛宁县	5009	河南省沈丘县		

## 1.2 方法

试验地设在洛阳林科所试验场,属黄土丘陵地貌,海拔 100 m,年平均气温 14.6 °C,极端最高温 42 °C,极端最低温 -18.2 °C,年均降雨量 550 ~ 610 mm,无霜期 224 d,土壤为褐土,肥力中等。

在苗高生长停止的 9 月份进行性状调查,主要调查苗高、地径、苗茎中部生长旺季形成的叶片叶长、叶宽、叶柄长、叶面积、叶周长、节间距、单株叶总数、比叶重、苗干上皮孔密度等,并取鲜叶样 -20 °C 冷冻保存,分光光度计测定叶绿素含量。生长指标:地径用游标卡尺直接测量,精确到 0.1 cm,苗高用卷尺测量,精确到 0.1 cm,节间距用卷尺量取 3 个正常生长的节间求均值,精确到 0.1 cm。叶片指标:选取苗干中部 3 个生长正常的功能叶片用卷尺测量叶长、叶宽、叶柄长,同时取下叶片打孔烘干称重,计算比叶重,叶面积、叶周长的计算参照吴玉德等<sup>[11]</sup>的方法。皮孔密度:在苗干上中下 3 个部位选取有代表性的 1 cm<sup>2</sup> 的区域统计皮孔密度,求平均值。

## 1.3 统计分析

**1.3.1 方差分析模型及其他分析方法** 数据分析为单因素方差分析。多样性指数应用 Excel 计算,采用 Shannon-Weaver 信息指数,即  $H' = -\sum P_i \ln P_i$ ,

$H'$  表示某一性状的遗传多样性指数, $P_i$  为某性状第  $i$  个代码出现的概率<sup>[12-14]</sup>,在分析前将数据进行 10 级分类,1 级  $< X - 2\delta$ ,10 级  $> X + 2\delta$ ,中间每级相差 0.5 $\delta$ , $X$  为平均值, $\delta$  为标准差。聚类分析采用组间连接法,距离计算采用欧氏距离平方。叶绿素含量的数据经反正弦平方根转换后分析,其他数据直接分析,所有数据的分析均由 SPSS 16.0 完成。

**1.3.2 参数估算** 计算各性状的平均值、遗传变异系数<sup>[15]</sup>、遗传多样性指数、 $F$  值。

## 2 结果与分析

### 2.1 楸树生长性状的遗传多样性分析

对 53 个无性系的地径、苗高进行遗传多样性分析(表 2)。各无性系间地径和苗高差异极显著,这种变异可能来源于多种因素的综合反应,比如叶部性状的差异、皮孔密度的差异、种源地的差异等。苗高变幅为 72.00 ~ 219.00 cm,地径变幅为 0.70 ~ 2.10 cm;地径、苗高的遗传变异系数分别为 18.53% 和 16.29%,可见各性状的变异幅度较大。地径和苗高的遗传多样性均较高,并且地径的 Shannon-Weaver 指数高于苗高。证明这 53 个无性系的地径、苗高的多样性丰富且分布均匀。

表 2 楸树生长性状的遗传多样性分析

Table 2 Analysis of genetic diversity for growth traits of *C. bungei*

性状 Trait	平均值 Mean $\pm$ SE	变幅 Amplitude	$F$ 值 $F$ value	遗传变异系数(%) CV	多样性指数 $H'$
地径(cm) Collar diameter	1.65 $\pm$ 0.02	0.70 ~ 2.10	5.13 **	18.53	1.84
苗高(cm) Seedling height	181.30 $\pm$ 2.36	72.00 ~ 219.00	14.3 **	16.29	1.79

\*\* 表示在 0.01 水平的显著性,下同

\*\* means correlation significance at 0.01 level, the same as below

## 2.2 生长性状变异来源分析

**2.2.1 叶部性状、皮孔密度及生理指标对生长性状的影响** 对 53 个楸树无性系的叶部性状、皮孔密度及生理指标与生长性状进行相关性分析,结果见表 3。楸树无性系的生长性状与叶长、叶柄长、叶片总数、叶面积及皮孔密度呈极显著正相关,说明无性系的叶越长、叶柄越长、叶面积越大、叶片总数越多、皮孔密度越大,无性系的地径、苗高就越大。生长性状的变异可能部分来源于叶部性状及皮孔密度的变异。

对 53 个无性系的叶长、叶柄长、叶片总数、叶

面积及皮孔密度进行遗传多样性分析,结果见表 4。53 个无性系的叶长、叶柄长、叶片总数、叶面积及皮孔密度间差异极显著,变异范围广泛。在今后的选育工作中可从叶长、叶柄长、叶片总数、叶面积及皮孔密度等指标来进行初步的判断与选择。

**2.2.2 不同种源地对生长性状的影响** 53 个无性系来源于 6 个不同的地区,包括山东半岛东中部,河南西部伏牛山区、尧山黄土区,安徽东部、西南部及湖北西部,其中来源于山东省的有 12 个无性系,来源于河南省的有 31 个无性系,来源于安徽省的有 9 个

表 3 楸树生长性状与叶部性状、皮孔密度及生理指标的相关性分析

Table 3 Correlation analysis among leaf traits, lenticel density, physiological indexes and growth traits of *C. bungei*

性状 Trait	地径 (cm) Collar diameter	苗高 (cm) Seedling height
节间距 (cm) Internode length	0.153	0.313 *
叶长 (cm) Leaf length	0.670 **	0.586 **
叶宽 (cm) Leaf width	0.265	0.130
叶柄长 (cm) Stipe length	0.529 **	0.443 **
叶片总数 Leaf number	0.662 **	0.691 **
叶面积 (cm <sup>2</sup> ) Leaf area	0.473 **	0.330 *
叶周长 (cm) Leaf perimeter	0.349 *	0.258
皮孔密度 (个/cm <sup>2</sup> ) Lenticel number	0.359 **	0.322 *
比叶重 (g/m <sup>2</sup> ) Specific leaf weight	0.037	-0.141
叶绿素含量 (mg/g) Chlorophyll content	-0.099	-0.212

\*, \*\* 分别表示在 0.05 和 0.01 水平的显著性,下同  
\* and \*\* mean correlation significance at 0.05 and 0.01 level respectively, the same as below

表 4 楸树叶部性状及皮孔密度的遗传多样性分析

Table 4 Analysis of genetic diversity for leaf traits and lenticel density of *C. bungei*

性状 Trait	叶长 (cm) Leaf length	叶柄长 (cm) Stipe length	叶片总数 Leaf number	叶面积 (cm <sup>2</sup> ) Leaf area	皮孔密度 (个/cm <sup>2</sup> ) Lenticel number
平均值 Mean ± SE	24.04 ± 0.16	24.01 ± 0.34	96.18 ± 1.43	320.40 ± 6.19	5.97 ± 0.13
变幅 Amplitude	18.11 ~ 27.41	16.02 ~ 29.28	53.00 ~ 132.00	206.79 ~ 449.55	2.72 ~ 10.00
F 值 F value	3.83 **	6.44 **	7.65 **	4.96 **	13.15 **
变异 系数 (%) CV	8.57	17.74	18.56	24.21	26.91
多样性指 数 H'	1.91	1.87	1.80	1.80	1.94

无性系,仅 4070 号无性系来源于湖北,因此在分析种源地遗传变异及多样性时只分 3 个种源地,即山

东、河南和安徽(表 5)。来源于河南地区的种质生长趋势最好,在选择速生苗时可优先选择来源于此种源地的无性系。来源于山东地区的种质地径遗传变异系数为 21.69%,苗高遗传变异系数为 20.84%,均为 3 个种源地中最高的,说明来源于山东地区的种质生长趋势虽最差,但变异却最大。

表 5 楸树各种源地种质性状的遗传多样性分析

Table 5 Genetic diversity analysis of germplasm traits between different provenances of *C. bungei*

性状 Trait	种源地 Source	平均值 Mean	变幅 Amplitude	F 值 Fvalue	变异系数 (%) CV
地径 (cm) Collar diameter	山东	1.65	0.70 ~ 1.97	9.52 **	21.69
	河南	1.67	1.05 ~ 2.10	4.59 **	17.45
	安徽	1.58	1.23 ~ 1.97	2.99 **	17.51
苗高 (cm) Seedling height	山东	175.11	72.00 ~ 208.00	27.63 **	20.84
	河南	183.53	92.5 ~ 219.33	11.12 **	15.48
	安徽	181.69	134.00 ~ 206.00	13.88 **	11.95

### 2.3 聚类分析

利用 12 个生长、叶片及生理指标,以欧氏距离 9.0 为阈值进行分类,53 个无性系可分成 5 类(图 1),第 I 类包括 17 个无性系;第 II 类包括 13 个无性系;第 III 类包含 21 个无性系;第 IV 类只有无性系 1021;第 V 类只有无性系 5009,其中在阈值 6.0 处可将第 I 类、第 II 类分成 2 个亚类,将第 III 类分成 3 个亚类。

由表 6 可知,第 I 类种质的地径、苗高、叶片总数、皮孔密度最高;第 III 类种质的节间距、叶长、叶宽、叶柄长、叶面积、叶周长最高;第 IV 类种质的叶绿素含量最高;第 V 类种质的比叶重最高;第 II 类种质各项指标均没有最高值。综合分析得出,第 I 类和第 III 类种质生长较好,其中第 I 类种质的生长指标最优,第 III 类种质的叶部指标最优,均远远高于平均值;第 II 类种质的生长及叶部指标优于第 IV 类和第 V 类种质,但第 IV 类和第 V 类种质的比叶重和叶绿素含量均值最高。

### 3 讨论

近年来,对楸树的研究主要集中在组培技术研究、良种壮苗繁殖、植株再生体系的建立、嫩枝扦插、

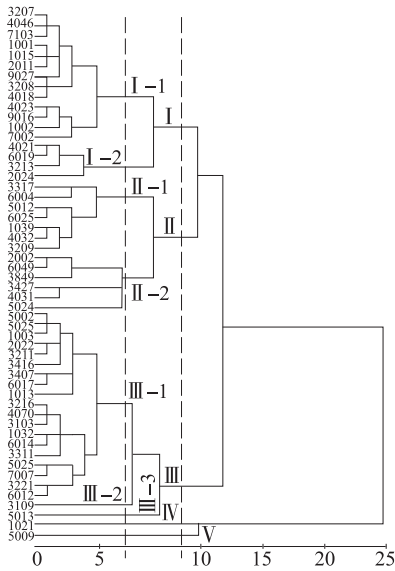


图 1 53 份楸树无性系的聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis of 53 *C. bungei*

表 6 楸树无性系的各性状指标均值

Table 6 Average of trait indices of *C. bungei*

性状 Trait	类群 Group				
	I	II	III	IV	V
地径(cm) Collar diameter	1.82	1.42	1.71	0.70	1.05
苗高(cm) Seedling height	200.14	164.39	184.28	71.67	92.50
节间距(cm) Internode length	9.69	9.80	11.13	9.11	6.83
叶长(cm) Leaf length	24.65	22.9	25.54	18.11	23.25
叶宽(cm) Leaf width	20.73	21.13	24.27	18.33	22.15
叶柄长(cm) Stipe length	24.27	20.33	26.51	17.07	19.33
叶片总数 Leaf number	114.29	89.97	87.86	53.00	79.50
叶面积(cm <sup>2</sup> ) Leaf area	292.45	256.21	387.30	240.79	264.48
叶周长(cm) Leaf perimeter	78.15	77.61	93.09	68.67	79.27
皮孔密度(个/cm <sup>2</sup> ) Lenticel number	6.97	5.28	5.57	4.17	6.00
比叶重(g/m <sup>2</sup> ) Specific leaf weight	50.40	50.80	54.35	58.25	61.33
叶绿素含量(mg/g) Chlorophyll content	2.78	2.76	2.35	3.20	2.89

育苗造林等方面,对其遗传多样性的研究还欠深入,而遗传多样性是生物多样性的的重要组成部分,进行种质资源的遗传多样性研究,有益于了解和掌握种质资源多样性水平,对挖掘有益资源、创新种质等方面具

有重要意义,很多物种如粗榧<sup>[17]</sup>、李<sup>[18]</sup>、宽刺蔷薇<sup>[19]</sup>、云南红花<sup>[20]</sup>、割手密<sup>[21]</sup>、燕麦<sup>[22]</sup>等都在不同程度上研究了其多样性,为进一步的育种工作提供了理论依据。本研究结果表明,53 个楸树无性系变异范围广泛、多样性丰富且分布均匀,有较大的开发利用空间。

本研究根据来源地对 53 个楸树无性系进行比较发现,来源于河南地区种质的生长最优,山东地区种质变异最大,安徽地区的居中,这与赵秋玲等<sup>[23]</sup>对灰楸、贺晨帮等<sup>[24]</sup>对豌豆、向志强等<sup>[17]</sup>对海南粗榧、黄忠兴等<sup>[21]</sup>对国内外割手密、赵香娜等<sup>[25]</sup>对甜高粱的研究结果类似,即不同种源地的种质差异较大。聚类结果将 53 个无性系分为 5 类,每一类都有其突出的特点,第 I 类种质生长指标最优,第 III 类种质叶部指标最优,第 IV 类种质的叶绿素含量最高,第 V 类种质的比叶重最大。楸树为自花不育,常采用无性繁殖,而杂交可有效避免育成品种的遗传基础逐步单一化。对种质资源遗传多样性的研究,可为各类杂交育种目标提供一定的亲本材料。因此在今后的育种工作中,可以根据育种目标选择不同的亲本,例如,培育速生的品种则优先选择来源于河南地区或第 I 类种质,培育绿化观赏树种则应优先选择第 III 类种质等。

林木个体的遗传差异反映在外部形态、组织结构及分子水平上<sup>[16]</sup>。目前楸树的研究主要集中在形态标记方面<sup>[4-5,26-27]</sup>,但形态不仅受遗传控制还受环境变化影响,并且反映的信息有限,难以详细、准确地阐述其遗传变异情况。因此,应针对现有的楸树种质资源丰富的多样性,对其进行更深入的鉴定,充分利用细胞生物学及分子生物学方法,从楸树种质中发掘有用基因,进行基因推导定位,并与常规育种相结合,挖掘和利用其育种潜力,为促进楸树性状的遗传改良提供更可靠依据。除此之外,楸树是优良的用材树种,在今后的工作中除了对其生长进行研究外还应关注其材性品质,使其得到更好的开发利用。

参考文献

[1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第 69 卷) [M]. 北京:科学出版社,1990:16-17  
 [2] 郭从俭,钱士金,王连卿,等. 楸树栽培[M]. 北京:中国林业出版社,1988:10-18  
 [3] 杨玉珍,王顺财,彭方仁. 我国楸树研究现状及开发利用策略[J]. 林业科技开发,2006,20(3):4-7  
 [4] 负慧玲,王军辉,张宋智,等. 楸树无性系表型识别特征与遗传变异[J]. 东北林业大学学报,2012,40(2):34-40  
 [5] 张宋智,王军辉,负慧玲,等. 幼龄楸树生长、生理和形态性状的遗传变异[J]. 东北林业大学学报,2011,39(10):4-8