

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2018.03.020

## 主成分分析法在四川桤木优树选择中的应用

周先明<sup>1</sup>,徐 春<sup>2</sup>,杨汉波<sup>3\*</sup>,陈 炙<sup>3</sup>,郭洪英<sup>3</sup>,黄 振<sup>3</sup>,王泽亮<sup>3</sup>

(1. 中江县林业技术推广站,德阳 中江 618100;2. 内江市东兴区林业局,四川 内江 641003;

3. 四川省林业科学研究院,四川 成都 610081)

**摘要:**建立用主成分分析法选择四川桤木优良单株的方法,确定其优树选择标准,为四川桤木早期实生选择、良种选育提供理论依据。以初选的157株优树为研究对象,检测其生长和材性性状,并对其进行变异分析、主成分分析。结果显示,树干圆满度(SF)和树干通直度(ST)在林分间差异不显著,其余性状在林分间差异均达到极显著水平。SF、ST和木材气干密度变异较小,其余性状均存在丰富的变异。四川桤木丰富的变异为优树选择提供了前提,经主成分分析,把树高(H)、胸径(DBH)和材积(V)这3个性状作为其选优的标准,选出8株生长表现优良的单株,即GZLD-5、GZLD-6、MYPW-8、GZTJ-1、GZLD-8、MYPW-7、MYPW-10和GZLD-12。本研究结果与植株的实际表型相符合,表明采用的方法具有一定的科学性和可行性。

**关键词:**四川桤木;主成分分析;选优性状;优树选择;选优标准

中图分类号:S722.3<sup>+</sup>3

文献标识码:A

文章编号:1003-5508(2018)03-0098-05

## Plus Tree Selection of *Alnus cremastogyne* by Principal Component Analysis

ZHOU Xian-ming<sup>1</sup> XU Chun<sup>2</sup> YANG Han-bo<sup>3\*</sup> CHEN Zhi<sup>3</sup> GUO Hong-ying<sup>3</sup>

HUANG Zhen<sup>3</sup> WANG Zeliang<sup>3</sup>

(1. Forestry Technology Extension Station of Zhongjiang Province, Deyang Zhongjiang 618100, China;

2. Forestry Bureau of Dongxing District in Neijiang Province, Neijiang 641003, China;

3. Sichuan Academy of Forestry, Sichuan Chengdu 610081, China)

**Abstract:** A principal component analysis (PCA) method was established for plus tree selection of *Alnus cremastogyne* Burk. and the selection criteria were determined, which should provide a theoretical basis for the early seedling selection and selective breeding of *A. cremastogyne*. 157 plus trees were used as the research object. The growths and wood properties traits were analyzed by variance analysis and PCA method. The result showed that the stem fullness (SF) and stem straightness (ST) were no significant difference among forest stands, while the difference of other traits reached an extremely significant. Genetic variation of SF, ST and air density were small, but other traits showed rich genetic differences. The rich variability of *A. cremastogyne* provided the prerequisite condition for plus tree selection. By PCA analysis, height (H), diameter at breast height (DBH) and volume of timber (V) were used as the optimal criteria of selection. Eight plants with integrated superior growth were selected, including GZLD-5,

收稿日期:2018-04-20

基金项目:四川省科技支撑计划“突破性林木育种材料与与方法创新”(2016NYZ0035),桤木优良种源(家系)早期选择研究(2018CZZX14)。

作者简介:周先明(1966-),男,四川中江人,主要从事林业科技推广工作,e-mail:2095075247@qq.com

\* 通讯作者:杨汉波(1988-),男,四川成都人,助理研究员,博士,主要从事林木遗传育种研究。

GZLD-6, MYPW-8, GZTJ-1, GZLD-8, MYPW-7, MYPW-10 and GZLD-12. The results conformed to the phenotypic expression, which indicated that the optimization methods were scientific and feasible.

**Key words:** *Alnus cremastogyne* Burk., Principal component analysis, Selecting optimal traits, Plus tree selection, Selecting optimal criteria

四川桉木(*Alnus cremastogyne* Burk.)是国产桉木属 11 个种中最重要的一个特有种,原分布区以成都盆地为中心,遍及四川全省、贵州北部、山西南部、甘肃东南部等地,尤以邛崃山地生长最好<sup>[1,2]</sup>。桉木生长快,木材用途广,被列为优质造纸材树种,是营造短周期工业用材原料林的重要树种之一;桉木适应性强,根部着生根瘤菌,枝叶为良好的天然肥料,对土壤改良效果明显,是理想的生态防护和混交造林树种<sup>[2-5]</sup>。20 世纪 60 年代以来,湘、鄂、皖、赣等长江中下游地区相继引种栽培,获得成功,现已成为长江流域平原水网地区防护林、丘陵山区水土保持和短周期工业用材林基地建设中的重要造林树种<sup>[6,7]</sup>。

四川桉木是亚热带地区乡土纸浆材和大径材阔叶树,在我国华东和中南地区发展前景广阔。然而,目前其人工栽培规模不大且无推广应用的良种,致使植株稳定性较差、生产力不高。品种选育是解决目前四川桉木优良种源/单株问题的关键。基于此,本研究以四川省 15 个县的四川桉木天然中初选出的 157 株优树为研究对象,以选择综合性状表现优良的四川桉木优良单株为目标,利用主成分分析法对四川桉木选优性状进行分析,探讨主成分分析法用于四川桉木优树选择的可行性,为该树种的早期实生预选、良种选育提供理论依据和基础材料。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查区域概况

为研究四川桉木天然林分生长和材性遗传变异规律及产地经纬度与海拔的影响,在四川省的四川桉木主要分布区内进行选择。根据《中国森林立地分类》记载<sup>[8]</sup>,四川桉木自然分布面积虽然不大,但分布区内的自然条件极其复杂。通过走访各市县林业部门,了解四川桉木在四川省各地的分布和生长情况,深入林区实地调查。在全省林木种质资源调查基础上,选择 15 个区域的长势良好,没有经过负向选择的四川桉木天然林/人工林,面积要求在 6 hm<sup>2</sup>

以上,主要选择样地郁闭度在 0.6 以上(见图 1)。

### 1.2 初选优树的确定

参照其它用材树种优树选择的方法,结合四川桉木的生物学特性,于 2010 年 2~10 月采用 5 株优势木对比法确定初选优树 157 株。具体方法:在适合选优的优良林分区内设立样地(20 m×20 m)12 个,在确定的样地内分别进行实地调查,最终选择 1 株树冠均匀开张、树干通直圆满、无病害与机械损伤的植株作为候选优树,以候选优树为中心,在其 10 m~25 m 半径范围内选择 5 株各生长性状仅次于候选优树的植株作为优势木。将植株进行统一编号、登记,并用油漆做标记。

### 1.3 数据调查和材性测定

2010 年在样地内对四川桉木优势木(树龄均在 7~102 之间),全面测量其树高( $H$ )、胸径( $DBH$ )、冠幅( $P$ )、枝下高( $TH$ )、树干通直度( $ST$ )和树干圆满度( $SF$ )。 $ST$ 分为 5 个等级评分:树干通直,占树高 80% 的树干无缺陷为 5 分;稍微弯曲,单一主干为 4 分;在平均直度范围内,单一主干为 3 分;在平均直度范围内,开叉为 2 分,弯曲为 1 分;分值越大,树干越通直,干形越好。 $SF$ 采用树高 4 m 处直径与胸径之比表示,值越大,树干越圆满。自然整枝程度根据  $TH$  与  $H$  比值表示,值越大,整枝效果越好。2010 年进行材性取样,共取样 157 个优树,采用内径为 5 mm 的生长锥,在胸高 1.3 m 处同一方向钻取木芯作为样品,分别测量各年轮段的年轮宽度( $W_i$ )。木材气干密度( $\rho_b$ )的测定采用排水法,具体测定方法详见木材学<sup>[9]</sup>。

### 1.4 统计及分析方法

活立木单株材积( $V$ )参照主要树种材积表桉木材积公式计算,计算公式为:

$$V = 0.000\ 048\ 941\ 191 \times DBH^{2.017\ 270\ 8} \times H^{0.885\ 808\ 89}$$

生长和材性性状( $\rho_b$ )在进行方差分析前,对数据的正态性,利用 R 语言的 Shapiro-Wilk 正态检验法(W 检验)检验数据是否符合正态分布,对不符合

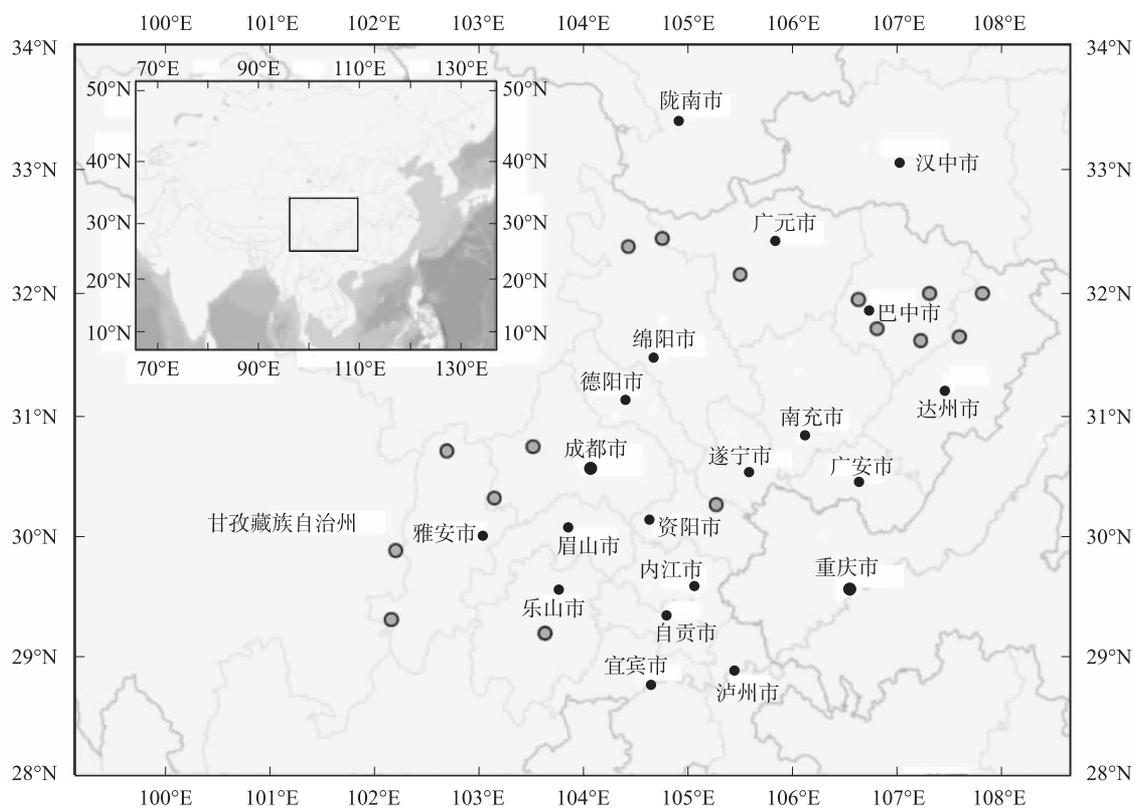


图1 四川桉木优树资源收集地

正态分布的数据进行对数转换,然后进行方差分析(ANOVA),2个形质性状( $ST$ 、 $SF$ )先经平方根数据转换,然后进行方差分析。采用DPS数据处理系统进行主成分分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 四川桉木各性状变异分析

对四川桉木各形质性状进行方差分析(见表1),结果表明四川桉木树干圆满度( $SF$ )和通直度( $ST$ )均在不同分布区的林分间均不存在显著的表型差异。自然整枝程度在林分间变幅为0.15~0.59,最大值较最小值高出74.4%,表明四川桉木自然整枝能力在不同分布区域间存在丰富的表型变异。进一步分析发现,四川桉木自然整枝程度在林分内个体间也存在丰富的变异,个体变异系数( $CV$ )高达45.94%,意味着对该性状进行个体选择或优树选择的必要性和巨大的选择潜力。相对而言,四川桉木 $SF$ 和 $ST$ 在林分内个体间变异较小,平均个体变异系数分别仅为5.75%和5.64%,表明四川桉木天分内优势木均具有树干圆满、通直的优良特点。

通过比较可知,达州宣汉、甘孜泸定的表型变异最为丰富, $CV$ 依性状不同变化范围分别在5.69%~74.81%和5.19%~65.87%之间,巴中巴州林分内变异最小, $CV$ 依性状不同变化在3.37%~29.60%之间。生长性状( $H$ 、 $DBH$ 和 $V$ )、材性性状和单株生物质产量在林分间均在极显著差异。 $H$ 、 $DBH$ 、 $V$ 和单株生物质产量在林分内 $CV$ 变化范围分别在6.28%~25.96%、7.82%~59.03%、22.48%~135.12%和20.99%~122.44%之间,平均分别为17.21%、21.10%、51.73%和51.92%,表明林分内个体间生长和单株生物质产量均存在丰富的遗传变异。而木材气干密度在林分内个体间 $CV$ 平均为7.72%,表明林分内个体间木材材性性状变异较小。

### 2.2 主成分分析及主要选择指标的确定

特征值和贡献率是选择主成分的依据,其提取个数的原则是主成分特征值大于1的 $m$ 个主成分。以四川桉木8个性状为原始变量进行主成分分析(见表2),第1主成分的特征值为3.31,贡献率为41.43%,是最重要的主成分;第2主成分的特征值为1.74,贡献率为21.77%;其它主成分的贡献率一次明显减少。前3个主成分的特征值大于1,累积

四川桉木优树生长和材性性状方差分析

性状	林分内变异系数													均值	Mean	
	YABX	GZLD	QLTT	CDJT	LSMC	MYYT	CYJG	BZNI	BZPC	BZTJ	DZWY	DZXH	BZBZ			MYPW
H	4.795**	20.84	17.93	16.95	18.81	23.28	15.47	18.21	10.27	15.06	6.69	25.96	20.01	20.58	6.28	17.21
DBH	6.718**	59.03	27.34	7.82	23.30	15.14	13.21	13.95	12.53	31.72	12.17	15.33	18.24	20.03	17.62	21.10
V	3.937**	135.12	68.71	25.32	64.53	55.25	22.48	29.75	31.22	75.29	23.92	47.28	50.14	44.44	39.22	51.73
SF	3.191	5.19	10.18	4.39	5.39	3.78	5.87	7.38	7.87	5.87	5.65	5.69	4.55	3.21	6.66	5.75
ST	4.041	5.19	9.49	5.91	5.39	3.78	5.51	7.25	8.87	5.27	4.39	5.69	3.37	4.35	6.66	5.64
TH	4.823**	65.87	22.38	37.84	48.78	41.27	54.58	55.64	37.49	33.99	59.15	74.81	29.60	47.02	44.87	45.94
AD	2.980**	8.82	10.58	9.78	10.36	3.76	6.37	7.21	5.93	4.90	4.83	7.97	7.59	8.58	8.17	7.72
DW	4.626**	62.88	122.44	30.78	69.65	51.62	22.17	31.47	34.62	72.15	20.99	47.81	55.66	40.81	41.73	51.92

注:YABX:雅安宝兴,GZLD:甘孜泸定,QLTT:邛崃天台,CDJT:成都金堂,LSMC:乐山沐川,MYYT:绵阳盐亭,CYJG:广元剑阁,BZNI:巴中平昌,BZPC:巴中平昌,BZTJ:巴中通江,DZWY:达州万源,DZXH:达州宣汉,BZBZ:巴中巴州,MYPW:绵阳平武,雅安石棉,\*\*表示0.01水平显著,\*表示0.05水平显著;性状简称:H:树高,DBH:胸径,V:材积,SF:树干圆满度,ST:树干圆满度,TH:自然整枝程度,AD:木材气干密度,DW:单株生物产量。

表2 主成分特征值、贡献率和累积贡献率

主成分	特征值	贡献率(%)	累积贡献率(%)
1	3.31	41.43	41.43
2	1.74	21.77	63.20
3	1.19	14.87	78.07
4	0.82	10.28	88.35
5	0.58	7.19	95.55
6	0.29	3.61	99.16
7	0.07	0.81	99.97
8	0.00	0.03	100.00

贡献率为78.07%,表明前3个主成分已经把四川桉木综合指标78.07%的信息反映出来。因此,根据选优目标可将前3个主成分作为优树选择的综合指标,记为 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 。

由表3可知,第1主成分与DBH(0.533)、V(0.531)和单株生物产量(0.537)、第2主成分与SF(0.674)和ST(0.694)、第3主成分与TH(0.734)呈较高的正相关,因总方差超过78%的贡献来自第1和2主成分,所以在优树选择时,DBH、V、SF、ST、TH和单株生物产量这6个性状是首先考虑的性状特征主导因子,可将其作为优树选择的标准。

表3 各性状变量旋转因子负荷量

性状	主成分 Principal component		
	1	2	3
树高(m)	0.337	0.216	-0.350
胸径(cm)	0.533	-0.006	-0.009
材积(m <sup>3</sup> )	0.531	-0.016	0.084
树干通直度	-0.079	0.674	0.042
树干圆满度	-0.028	0.694	0.074
自然整枝程度	-0.023	-0.083	0.734
木材气干密度(g·cm <sup>-3</sup> )	-0.155	-0.103	-0.569
单株生物产量(kg)	0.537	-0.012	0.024

### 2.3 优良单株选择

把157个初选优树的8个性状原始数据 $X_i$ 标准化代入主成分方程,分别计算在这8个综合指标上的得分 $F_j(j=1\sim 3)$ 。以方差贡献率为权重,求出157个初选优树的综合得分值 $F$ ,并对综合得分值进行排序,最终以5%的入选率筛选出优良单株8株,即GZLD-5、GZLD-6、MYPW-8、GZTJ-1、GZLD-8、MYPW-7、MYPW-10和GZLD-12。

### 3 结论与讨论

四川桉木作为培育短周期工业原料林和大径材

的乡土树种,根据选优目标,在选优时既要兼顾生长性状也要注重材性性状。本研究以四川省内的四川桉木天然林为研究对象,在四川省种质资源调查的基础上,采用5株优势木对比法初选优树,其选择精度高,实践证明科学合理,具有操作简单且效果明显的特点。方差分析结果显示,所选性状的变异系数均存在较大的差异,其中单株生物质产量的变异系数最大,树干通直度(*ST*)的变异系数最小,表明四川桉木自身存在极其丰富的遗传变异,同时也说明进行单株选择具有较大的空间,这为四川桉木优树选择奠定了良好的物质基础。这与<sup>[6]</sup>对桉木自然分布区内表型变异研究得到的结果相一致。

优树选择的方法应针对具体的生产目的而定,范辉华等<sup>[10]</sup>根据经济性状的重要程度开展了高产油脂无患子优树的选择。汪洋等<sup>[11]</sup>通过构建多元线性回归方程对红椿天然林优树进行了选择。由于本研究所涉及的初选优树和性状较多,选择主成分分析法能够清楚地显示各性状在植株表型多样性构成中的作用。同时,主成分分析法既能把握植株的综合性状表现,又能简化选优指标,简化选择程序,克服人为主观误差,选择结果准确,客观<sup>[12]</sup>。根据157个初选优树的综合得分排序,选优结果与植株的实际表型相符合,表明采用主成分分析在四川桉木优树选择上具有较广泛的应用价值。所选8个优良单株性状的稳定性和母本的性状能否在子代中表现出来,这需要在今后的研究中对所选植株进行多

年重复调查以及进一步研究,以保证所选优树和遗传育种的准确性。

#### 参考文献:

- [1] 顾万春. 主要阔叶树速生丰产培育技术[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992, 79~97.
- [2] 王军辉, 顾万春, 李斌, 等. 桉木优良种源/家系的选择研究—生长的适应性和遗传稳定性分析[J]. 林业科学, 2000, 36(3): 59~66.
- [3] Janet I Sprent. 固氮生物学[M]. 刘永定, 译. 北京: 农业出版社, 1985.
- [4] Cha Dong ho, Lee Don koo. Effects of different aluminum levels on growth and root anatomy of *Alnus hirsute* Rupr seedling [J]. Journal of Sustainable Forestry, 1996, 3(2~3): 45~63.
- [5] 陈炳星, 李光荣, 黄光霖, 等. 引种四川桉木木材化学组分的分析与评价[J]. 中国造纸, 2000, 19(4): 20~23.
- [6] 陈益泰, 李桂英, 王惠雄. 桉木自然分布区内表型变异的研究[J]. 林业科学研究, 1999, 12(4): 379~385.
- [7] 周永丽, 刘福云, 万军, 等. 四川桉木木材材性初步研究[J]. 2003, 24(1): 75~78.
- [8] 《中国森林立地分类》编写组编著. 中国森林立地分类[M]. 北京: 中国林业出版社, 1989.
- [9] 成俊卿. 木材学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1985.
- [10] 范辉华, 张天宇, 姚湘明, 等. 高产油脂无患子优树的选择[J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(5): 4~8.
- [11] 汪洋, 闵水发, 江雄波, 等. 红椿天然林优树选择[J]. 浙江农林大学学报, 2016, 33(5): 841~848.
- [12] 贾春红, 张利, 魏晓, 等. 主成分分析法在毛叶木姜子优树选择中的应用[J]. 中药材, 2016, 39(5): 943~947.