

惠文凯, 刘明骞, 陈丽君, 等. 麻风树无性系种实性状变异与选择[J]. 华南农业大学学报, 2014, 35(4): 85-91.

麻风树无性系种实性状变异与选择

惠文凯, 刘明骞, 陈丽君, 彭昌操, 陈晓阳
(华南农业大学 林学院/亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室/
广东省森林植物种质创新与利用重点实验室, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】分析麻风树单果均质量、百粒质量、出仁率、出籽率、种子体积、种仁含油量和单株果实产量等性状的遗传变异,在此基础上,对无性系进行评选.【方法】对海口市新海林场3年生麻风树无性系试验林33个无性系的种实特征进行调查;通过聚类分析,对参试无性系进行分类,并作综合评定.【结果和结论】麻风树无性系间在种实性状上存在显著差异.18号无性系百粒质量最大,26号和20号种仁含油量最高;百粒质量与单果均质量、种子体积和种仁含油量相关性达到极显著水平,种仁含油量除与出籽率和种子体积相关性不显著外,与其他性状相关性均达到显著水平;经综合评价,初步确定1、30、18、15和25号为优良无性系.

关键词:麻风树; 无性系; 种实特征; 优良无性系选择
中图分类号:S722.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2014)04-0085-07

Fruit traits variation and clone selection of *Jatropha curcas*

HUI Wenkai, LIU Mingqian, CHEN Lijun, PENG Changcao, CHEN Xiaoyang
(College of Forestry, South China Agricultural University/State Key Laboratory for Conservation and Utilization of
Subtropical Agro-bioresources/Guangdong Key Laboratory for Innovative Development and
Utilization of Forest Plant Germplasm, Guangzhou 510642, China)

Abstract:【Objective】In order to study the genetic variability and select superior clone of *Jatropha curcas*, fruit mass, 100-seed mass, kernel rate, seed rate, seed volume, and oil content were analyzed. 【Method】The fruit characteristics of 3 years old *J. curcas* of 33 clones were investigated in Xinhai Forestry Farm Hainan Province. Using cluster analysis, the further selections of these clones were evaluated. 【Result and conclusion】The results showed that there were significant differences in clones of *J. curcas*. No. 18 was the best for the 100-seed mass; the oil content of No. 26 and No. 20 was better than those of others. 100-seed mass had a significant positive correlation with fruit mass, seed volume, and oil content. However, oil content had no significant correlation with seed rate and seed volume, but it had a significant positive correlation with other character indexes. No. 1, No. 30, No. 18, No. 15 and No. 25 were selected as the superior clones.

Key words:*Jatropha curcas*; clone; fruit trait; superior clone selection

麻风树 *Jatropha curcas*, 又名小桐子, 也称膏桐、小油桐、黑皂树、假花生、芙蓉树等, 是大戟科 Euphorbiaceae 麻风树属 *Jatropha* 落叶灌木或小乔木^[1]. 麻风树主要分布于热带和亚热带地区, 具有典

收稿日期:2013-12-05 优先出版时间:2014-06-03
优先出版网址:<http://www.cnki.net/kcms/doi/10.7671/j.issn.1001-411X.2014.04.016.html>
作者简介:惠文凯(1990—),男,硕士研究生,E-mail:xwk168@126.com;通信作者:陈晓阳(1958—),男,教授,博士,
E-mail:xychen@scau.edu.cn
基金项目:国家自然科学基金(30972388);广东省自然科学基金团队项目(9351064201000002);广东省林业科技创新项目(2008KJCX006);广东省科技计划项目(2007B020703003,0711150100089)

型的大戟科植物特征. 在我国主要分布于西南干河热谷的云南、四川、贵州等地, 另外广西、广东、福建等地区也有分布. 近年来, 麻风树作为生物质柴油原料树种, 受到国内外的重视. 在我国, 云南、四川、贵州、海南、广东等地开展了麻风树的种质资源调查与选育^[6-8]、栽培技术^[9]、促花技术^[10]、分子生物学^[11-12]等方面的研究. 麻风树的结实量、百粒质量以及种子含油量等经济性状直接影响单位面积的产油量, 是良种选育的重要指标. 何亚平等^[13]把麻风树果实发育分为果壳与种壳发育、假种皮与种子填充物发育 2 个阶段, 认为果实和种子性状变化与果实发育阶段具有明显的关系, 结籽率影响种实发育, 即种实发育数量的降低会导致单粒种实质量的增加. 颜秉意等^[14]依据种子含油量把金沙江干河热谷地区的麻风树种子分为 4 种类型, 通过对麻风树种实生物学特征的研究, 认为麻风树种子油的脂肪酸组成与含油量存在显著的相关性. 无性系选育是以无性繁殖技术为基础的遗传改良方法. 与种子繁殖相比, 无性系选育具有改良周期短, 可以获得较大的遗传增益等优点. 优良的无性系选择是无性系选育成功的保证. 本研究对海口市新海林场东山基地 3 年生麻风树 33 个无性系的种实特征进行了调查, 并对麻风树单果均质量、百粒质量、出仁率、出籽率、种子体积、种子含油量和单株果实产量等性状的遗传变异进行了分析, 目的是选择产油量高的优良无性系.

1 材料与方法

1.1 参试无性系样本

无性系种植采用扦插法. 扦插材料来自广东省湛江市林业科学研究所麻风树试验基地种源试验林和家系试验林, 种源试验的树龄为 4 年生, 家系试验的树龄为 3 年生. 2010 年 5 月在优良种源和家系选择的基础上, 选择结实量大的 33 个优株进行了扦插繁殖, 2010 年 7 月进行麻风树无性系造林试验. 试验所用无性系材料的来源情况见表 1.

1.2 试验地点

试验地设在海南省海口市国营新海林场东山基地, 该林场地势平坦, 属于热带海洋性季风气候. 年平均日照 2 000 h 以上, 太阳辐射量可达 20 MJ/m², 年平均气温 23.8 ℃, 年平均降水量 1 664 mm. 常年以东北风和东南风为主, 年平均风速 3.4 m/s.

1.3 试验设计

试验采用随机完全区组设计, 设置 8 个区组, 5 株小区.

<http://xuebao.scau.edu.cn>

表 1 麻风树无性系来源一览表

Tab.1 The information of clonelots on *Jatropha curcas*

无性系号	家系/种源试验	试验号	种源地
1	家系第 3 组	Ⅱ -119A-1	云南怒江
2	家系第 3 组	Ⅱ -202A-1	云南鹤庆
3	家系第 1 组	I -67A-2	云南元江
4	家系第 3 组	Ⅱ -19A-2	云南元谋
5	家系第 3 组	Ⅱ -156A-2	贵州望谟蔗香
6	家系第 3 组	I -114A-2	云南怒江
7	家系第 3 组	I -200A-2	云南鹤庆
8	家系第 3 组	I -122A-3	云南怒江
9	种源试验	Ⅱ -219A-5	贵州望谟乐元
10	家系第 3 组	I -119A-1	云南怒江
11	家系第 3 组	Ⅱ -300A-2	广东湛江
12	家系第 3 组	Ⅱ -202A-2	云南鹤庆
13	种源试验	207A- I	广东湛江
14	家系第 3 组	Ⅱ -204A-5	云南鹤庆
15	家系第 3 组	I -159A-2	贵州望谟乐康
16	种源试验	225A-1	海南海口
17	家系第 3 组	Ⅲ -19A-5	云南元谋
18	家系第 3 组	Ⅳ -22A-3	云南元谋
19	家系第 3 组	Ⅲ -147A-5	广东遂溪
20	种源试验	219B-2	贵州望谟乐元
21	种源试验	207A-3	广东湛江
22	家系第 3 组	I -143A-5	云南新平
23	家系第 3 组	I -300A-2	广东湛江
24	家系第 3 组	I -159B-2	贵州望谟乐康
25	家系第 3 组	Ⅲ -9B-5	云南元谋
26	家系第 3 组	Ⅲ -300B-5	广东湛江
27	家系第 3 组	I -119B-4	云南怒江
28	种源试验	234A-2	云南元阳
29	家系第 3 组	Ⅱ -3B-4	云南元谋
30	种源试验	225A-3	海南海口
31	家系第 3 组	I -122A-3	云南怒江
32	家系第 3 组	I -131B-3	云南怒江
33	种源试验	212B-3	广西凌云伶望乡

1.4 样品采集和性状测定

种实采样于 2012 年 12 月进行. 果实大部分成熟变成黑色时, 单株采集 20 个左右的果实, 每个无性系随机抽取 750 余个.

单果质量和出籽率测定: 将采集到的果实以无性系为单位进行充分混合, 待种实样品自然风干后, 从混合的果实中随机取出 30 个为 1 组, 3 组重复, 用

电子天平称其质量,精确到 0.01 g,取其平均值.将每组的 30 颗果实的种子剥出,去除杂质后称质量,精确到 0.01 g,计算出籽率,3 组重复,取其平均值.

种子大小形态测定:每个无性系随机选出 15 粒种子,用游标卡尺测量种子的长、宽、厚,精确到 0.01 mm.由于种子形态近似椭球体,故以下列公式计算种子体积:

$$V=\frac{4}{3}\pi\left(\frac{l}{2}\right)\left(\frac{b}{2}\right)\left(\frac{\delta}{2}\right),$$

其中: V 为种子体积,mm³; l 为种子长,mm; b 为种子宽,mm; δ 为种子厚,mm.

百粒质量和出仁率测定:从每个无性系的种子样品中随机选取 50 粒种子为 1 组,3 组重复,用电子天平称其质量.剥除种皮后称量种仁质量,3 组重复,分别计算出百粒质量和出仁率,精确到 0.01 g.

种仁含油量测定:种仁含油量采用索氏提取法^[15-17]测定,每个无性系设置 3 个重复.

1.5 统计分析方法

本试验利用 Excel 进行数据的整理,采用 SAS 9.0 进行各性状方差分析、相关性分析、多重比较和聚类分

析^[18].各指标方差分析采取单因素方差分析法,各指标相关性分析是以麻风树无性系种实平均值为统计值进行的简相关分析,多重比较采用 Duncan’s 法.

为了选择出种实质量较好的优良无性系,对各性状指标进行聚类分析.通过利用最短距离法(Sin)、类平均法(Average)、重心法(Centroid)、最大距离法(Complete)、沃尔德法(Ward)等方法进行聚类分析,观测 R^2 值分布图,最终确定最大距离法为本试验最优的系统聚类方法.

2 结果与分析

2.1 麻风树无性系种实性状变异分析

由表 2 可以看出,无性系间单株果实产量变异系数最大,达 42.28%,变异幅度为 106.7 ~ 193.2 个,其次是种子体积、单果均质量和种子厚度.虽然种仁含油量变异系数最小,为 1.56%,但变异幅度为 44.71% ~ 56.76%.方差分析结果(表 2)表明,参试无性系的百粒质量、种仁含油量和出籽率均具有极显著差异,出仁率在各无性系之间的差异没有达到显著水平.

表 2 麻风树无性系种实与结实性状方差分析结果
Tab.2 ANOVA on fruit traits data of *Jatropha curcas* clones

分析指标	单果均质量/g	出籽率/%	百粒质量/g	出仁率/%	种仁含油量/%	种子长/mm	种子宽/mm	种子厚/mm	种子体积/mm ³	单株果实产量/个
平均值	2.61±0.17	74.54±1.31	68.53±1.43	63.14±1.78	54.02±0.84	17.19±0.72	11.11±0.44	8.30±0.37	832.78±83.61	135.0±57.1
最小值	2.27	71.78	61.67	60.23	44.71	16.55	10.53	7.79	726.04	106.7
最大值	2.86	77.61	75.07	66.80	56.76	17.95	11.54	8.60	925.25	193.2
变异系数/%	6.54	1.76	2.08	2.82	1.56	4.17	3.97	4.48	10.04	42.28
自由度	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
均方	0.063	4.657	36.597	4.617	14.873	1.909	0.886	0.571	35 234.816	10 773.195
F 值 ¹⁾	2.16 **	2.70 **	17.97 **	1.46	21.00 **	3.71 **	4.56 **	4.12 **	5.041 **	3.31 **

1) “**”表示差异极显著($P<0.01$).

2.2 麻风树无性系种实多重比较

鉴于单株果实产量、百粒质量和种仁含油量性状指标对增产重要,且变异最为显著,对这 3 种重要经济性状指标进行多重比较分析(表 3).

由表 3 可以看出,25 号单株果实产量最高,达到了 193 个以上,其次是 15 和 8 号.单株果实产量在 140 个以上的无性系有 12 个,占总无性系个数的 36.36%;18 号无性系百粒质量最大,达到了 75 g 以上,其次是 6、32、28 和 4 号,种子百粒质量都接近或

超过 73 g.种子百粒质量在 70 g 以上的无性系有 11 个,占总无性系个数的 33.33%.种仁含油量较高的无性系为 26 和 20 号,种仁含油量达到了 56.59% 以上,其次为 23 和 22 号.另外,5、32、24、9、7、14 和 10 号的种仁含油量也较高.种仁含油量在 55% 以上的无性系有 11 个,占总无性系个数的 33.33%.

可见,单株果实产量大于 140 个、种子百粒质量大于 70 g 且种仁含油量在 55% 以上的无性系有 3 个,分别为 26、32 和 24 号.

表 3 麻风树无性系种实重要经济性状多重比较分析结果(前 24 位)¹⁾
Tab.3 Duncan's analysis on main economic traits of *Jatropha curcas* (top24)

无性系号	测定株数	单株产量/个	无性系号	种子百粒质量/g	无性系号	种仁含油量/%
25	37	193.2 ± 73.9 a	18	75.07 ± 0.76 a	26	56.76 ± 0.27 a
15	9	180.1 ± 53.4 ab	6	73.67 ± 0.81 ab	20	56.59 ± 0.17 a
8	25	164.7 ± 93.5 abc	32	73.27 ± 1.03 abc	23	56.42 ± 0.81 ab
26	19	154.3 ± 62.8 bcd	28	73.20 ± 1.80 abc	22	56.42 ± 0.81 ab
32	30	153.3 ± 93.4 bcd	4	72.93 ± 0.99 abc	5	56.04 ± 1.79 abc
30	34	153.2 ± 62.2 bcd	13	71.93 ± 0.23 bcd	32	55.88 ± 0.66 abcd
19	32	150.6 ± 69.0 bcd	3	71.73 ± 1.70 bcd	24	55.85 ± 0.93 abcd
14	24	145.8 ± 64.1 bcde	29	71.27 ± 1.17 cde	9	55.83 ± 0.31 abcd
23	36	145.2 ± 50.7 bdef	24	70.47 ± 0.50 def	7	55.55 ± 1.04 abde
3	37	145.1 ± 46.4 bdef	26	70.00 ± 1.74 defg	14	55.20 ± 3.17 bdef
18	33	142.7 ± 46.5 def	25	70.00 ± 1.00 defg	10	55.16 ± 0.09 bdef
24	26	140.1 ± 46.7 def	15	69.87 ± 2.60 defg	18	54.94 ± 0.29 defg
13	24	135.4 ± 55.8 def	7	69.87 ± 1.10 defg	28	54.85 ± 0.05 defg
1	19	134.8 ± 62.3 def	8	69.80 ± 2.91 defgh	33	54.79 ± 0.27 defg
27	23	133.6 ± 48.2 def	30	69.13 ± 0.58 efghi	6	54.53 ± 0.16 defg
5	28	132.8 ± 42.5 def	5	69.07 ± 1.36 efghi	3	54.39 ± 0.89 efg
20	34	131.6 ± 50.5 def	23	69.00 ± 1.59 efghi	16	54.07 ± 0.28 fghi
11	36	130.9 ± 54.3 def	10	68.93 ± 1.75 fghi	15	54.07 ± 0.28 fghi
22	27	129.0 ± 71.5 def	17	68.53 ± 1.55 fghi	1	53.98 ± 0.35 fghi
10	25	128.9 ± 65.0 def	33	68.40 ± 1.51 fghi	30	53.76 ± 0.04 ghij
9	26	127.2 ± 42.5 def	20	68.00 ± 1.44 ghi	8	53.68 ± 0.29 ghij
33	39	126.3 ± 54.8 def	1	67.93 ± 0.64 ghi	31	53.67 ± 0.21 ghij
12	38	124.6 ± 40.9 def	2	67.53 ± 1.68 hi	25	53.41 ± 0.25 hijk
28	31	124.0 ± 55.3 def	31	67.20 ± 1.31 ij	21	53.27 ± 0.32 hijk

1) 同列数据后,凡具有一个相同小写字母者表示差异不显著($P>0.05$,Duncan's 法,除单株产量外 $n=3$).

2.3 麻风树无性系种实各性状的相关分析

性状之间的相关分析结果见表 4. 从果实质量性状上看:单果均质量与百粒质量的相关性最紧密(相关系数达 0.79),与种子体积相关系数达 0.67;果实出籽率与百粒质量和种子体积存在显著的正相关性,与出仁率、种仁含油量相关性不显著;单株

果实产量与出籽率具有显著的相关性,但与其他性状的相关性不显著. 从种子质量性状上来看,百粒质量与单果均质量、种子体积和种仁含油量存在极显著相关,种仁含油量除与出籽率和种子体积相关性不显著外,与其他性状指标均存在显著的相关性.

表 4 无性系结实和种实各性状的相关系数¹⁾
Tab.4 Correlation analysis on traits of *Jatropha curcas*

性状	单果均质量	出籽率	百粒质量	出仁率	种仁含油量	种子体积	单株果实产量
单果均质量	1						
出籽率	0.31	1					
百粒质量	0.79 **	0.49 *	1				
出仁率	0.41 *	0.26	0.57 **	1			
种仁含油量	0.55 **	0.23	0.65 **	0.60 **	1		
种子体积	0.67 **	0.43 *	0.66 **	0.38 *	0.34	1	
单株果实产量	-0.05	0.37 *	0.14	-0.01	0.11	0.16	1

1) “*”表示显著相关,“**”表示极显著相关.

2.4 麻风树优良无性系选择

2.4.1 无性系种实性状指标聚类分析 根据单果均质量、百粒质量、出仁率、出籽率、种子体积、种仁含油量和单株果实产量等 7 种性状指标,对 33 个无性系采取系统聚类分析,系统聚类的 R^2 值分布如图 1 所示. 由图 1 可见,在最大距离法聚类结果中,类数 (No. of cluster level,NCL) 和 R^2 值关系曲线平滑,聚类结果比较可靠. 因此,选择最大距离法为最佳的聚类方法. 聚类分析结果如图 2 所示,取阈值为 1.044 8,将 33 个无性系按照种实性状指标分为 7 类. 各无性系聚类结果及其种实性状见表 5.

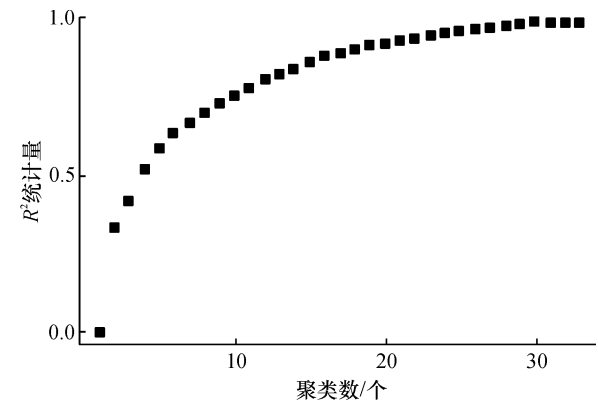


图 1 无性系最大距离法聚类的 R^2 值分布图

Fig. 1 Scatter plot of R^2 and No. of cluster level using Complete

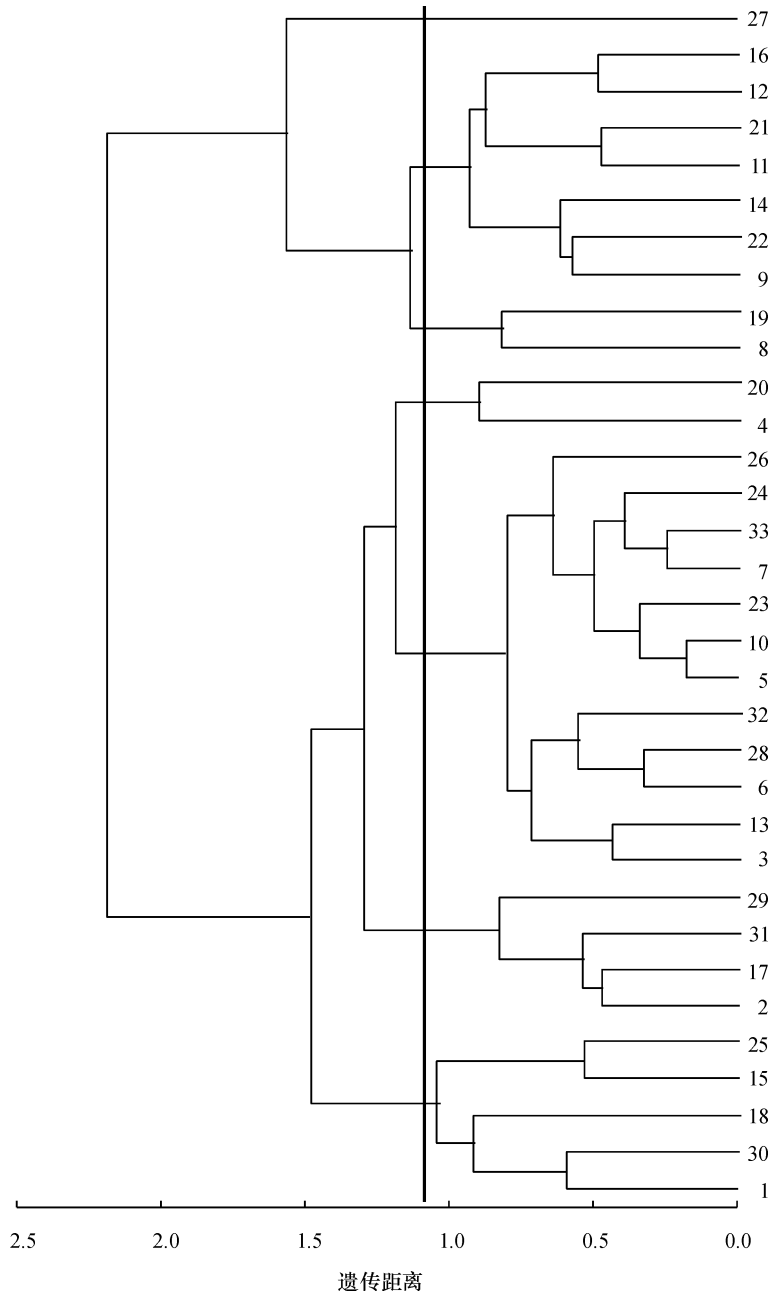


图 2 33 个无性系聚类分析图

Fig. 2 Cluster analysis of 33 clones

表 5 无性系果实性状聚类统计表
Tab.5 The results of cluster on fruit traits of clones

类别	无性系号	单果均 质量/g	出籽率/ %	百粒 质量/g	出仁率/ %	种仁含 油量/%	种子体积/ mm ³	单株果实 产量/个
第 1 类	1、30、18、15、25	2.65 ± 0.08	76.53 ± 1.05	70.40 ± 2.73	63.16 ± 0.87	54.03 ± 0.57	875.61 ± 33.34	161.4 ± 25.3
第 2 类	2、17、31、29	2.60 ± 0.07	74.63 ± 0.70	68.63 ± 1.84	63.63 ± 0.81	52.76 ± 0.66	798.66 ± 50.54	114.3 ± 3.9
第 3 类	3、13、6、28、32、5、10、 23、7、33、24、26	2.73 ± 0.08	74.53 ± 0.55	70.79 ± 1.89	63.35 ± 0.46	55.25 ± 1.09	857.99 ± 21.86	136.2 ± 12.4
第 4 类	4、20	2.67 ± 0.03	74.24 ± 0.98	70.47 ± 3.49	66.22 ± 0.82	54.52 ± 2.92	886.03 ± 37.29	120.9 ± 14.8
第 5 类	8、19	2.39 ± 0.12	74.03 ± 0.52	67.10 ± 3.82	62.51 ± 1.12	52.55 ± 1.60	790.72 ± 31.98	158.3 ± 10.1
第 6 类	9、22、14、11、21、12、16	2.46 ± 0.10	73.26 ± 1.13	63.92 ± 1.33	62.07 ± 0.96	54.24 ± 1.62	779.36 ± 25.62	126.2 ± 11.6
第 7 类	27	2.41	74.45	62.67	60.74	44.71	804.29	133.6

根据表 5 的统计结果可以看出,第 1 类各性状指标表现均较佳;第 2 类单果均质量、出籽率、百粒质量和出仁率较好,其他性状指标表现不佳,特别是单株果实产量表现最差;第 3 类各性状指标表现比较均衡,具有进一步选育的潜力,多重比较结果中百粒质量和种仁含油量均表现较好的 26、32 和 24 号都包含在此类当中;综合表现较好的为第 4 类;第 5 类各性状表现一般,特别是单果均质量和种仁含油量表现不佳;第 6 类和第 7 类各性状指标表现较差,特别是第 7 类表现最差. 根据上述多重比较的结果可以看出,第 1 类中各无性系的百粒质量和种仁含

油量指标均名列前茅. 经过综合分析,选取第 1 类为优良无性系.

2.4.2 优良无性系评价 为了体现候选优良无性系各性状指标的优劣,对于上述选择出的优良无性系各性状指标进行统计,并与麻风树无性系各性状总均值进行比较,统计结果见表 6. 优良无性系各性状与全部试验植株相比,均有不同程度的增加,尤其以单株果实产量增幅最大,达到 19.26% 的水平;其次为种子体积,增幅为 7.17%;百粒质量和种仁含油量也有明显的提升,增幅分别为 4.38% 和 3.22%. 说明本试验所选出的优良无性系各性状均具有一定的优势.

表 6 麻风树无性系各性状总均值与候选优良无性系均值的比较
Tab.6 Comparison of the means between total provenances and the superior provenances

项目	单果均质量/g	出籽率/%	百粒质量/g	出仁率/%	种仁含油量/%	种子体积/mm ³	单株果实产量/个
无性系总均值	2.61 ± 0.17	74.54 ± 1.31	68.53 ± 1.43	63.14 ± 1.78	54.02 ± 0.84	832.78 ± 83.61	135.0 ± 57.1
优良无性系均值	2.69 ± 0.08	75.58 ± 1.05	71.53 ± 2.73	65.04 ± 0.87	55.76 ± 0.56	892.46 ± 33.34	161.4 ± 25.3
增幅/%	3.07	1.40	4.38	3.01	3.22	7.17	19.26

3 讨论与结论

由于麻风树用于生产生物柴油,单株果实产量、百粒质量和含油量必定成为最关心的重要经济指标. 在本研究中,通过对百粒质量和种仁含油量这 2 个重要经济指标的多重比较分析,可以明显地看出 33 个无性系在百粒质量和种仁含油量上的差异. 由多重比较可知,单株果实产量在 140 个以上、种子百粒质量大于 70 g 且种仁含油量在 55% 以上的无性系有 3 个,分别为 26、32 和 24 号. 因此这 3 个无性系可以作为后续重点选育的材料.

麻风树优良无性系选育的目的是选择出优质高产的麻风树种质资源,种实各性状指标的提高无疑

<http://xuebao.scau.edu.cn>

是衡量优良品种的重要标准. 本试验中单果均质量、出籽率、百粒质量、出仁率、种仁含油量、种子体积和单株果实产量等 7 个性状之间均存在一定的相关性,尤其以百粒质量和单果均质量的相关性最强. 在麻风树生产加工生物柴油的产业化过程中,种仁含油量是一个重要指标. 根据性状相关性分析可以看出,种仁含油量与百粒质量以及出仁率都有显著的相关性. 在后期的选育过程中,可以根据性状间的相关性有目的地选择较好的植株.

对本试验初选出的 5 个优良无性系进行分析可知,各优良无性系种实 7 种调查性状表型均较好,各性状与本试验林中的麻风树无性系总均值都有不同程度的提升,其中单株果实产量增幅最大,达到了

19.26%,此外,百粒质量和种仁含油量这2个指标也有3%以上的增幅。根据聚类分析的结果可知,第3类的各性状指标表现比较均衡,多重比较中得出的26、32和24号无性系均在此类当中,因此第3类可以作为后期重点选育的材料。经过分析可知,第4类中4号无性系种仁含油量和种子体积指标值较低,但其他性状表现较好,参照多重比较结果可以发现,4号无性系的百粒质量指标名列前茅;20号无性系种实性状指标表现较好,但单株果实产量不高。据此可以得出,第4类中的4和20号无性系以及多重比较中得出的26、32和24号无性系,虽然7种调查指标的综合评定结果偏低,但其在某些重要的经济性状中表现较好,这对于后期的选育工作也具有非常重要的意义。对于这些只有部分种实性状较好的无性系,我们可以通过杂交育种等方法,使其优势互补,进而得到优良麻风树种质资源。据文献记载,麻风树自然条件下的结实率为76.42%,人工自花授粉和异花授粉的结实率分别为87.93%和86.66%,明显高于自然传粉的结实率,去雄后自然传粉的结实率为68.28%,明显低于自然条件下的结实率。因此可以说明麻风树不存在自交不亲和性,但具有异花传粉的倾向^[19]。这对于麻风树优良性状的结合,培养优质高产的麻风树种质资源,具有非常重要的意义。据此,可利用其他性状优良的4号无性系与含油量较高的26号无性系杂交,通过杂交优势,提高产量和含油量^[20]。

通过本研究的调查和分析,初选出5个优良无性系,分别为1、30、18、15和25号,得到部分性状指标具有优良表现的无性系5个,分别为4、20、24、26和32号。

参考文献:

- [1] 埃尔特曼. 孢粉学手册[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [2] 联合国开发计划署(中国). 小桐子生产技术[M]. 成都: 四川大学出版社, 2007.
- [3] 王伏雄, 额尔特曼, 钱南芬. 花粉形态与植物分类[M]. 北京: 科学出版社, 1962.
- [4] 蔡郁, 赵华, 陈晓东, 等. 中国麻风树种质资源 SSR 遗传多样性的研究初报[J]. 植物科学学报, 2011, 29(1): 74-80.
- [5] 陈波涛, 欧国腾, 李昆. 贵州小桐子特大雨雪冰冻低温灾害调查研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21(4): 506-509.
- [6] 向淮, 罗倩, 胡美英, 等. 我国麻疯树地理种源及分布区考证[J]. 林业科技开发, 2008, 22(6): 13-19.
- [7] SILITONGA A S, ATABANI A E, MAHLIA T M I, et al. A review on prospect of *Jatropha curcas* for biodiesel in Indonesia[J]. Renewa Sustaina Energy Rev, 2011, 15(8): 3733-3756.
- [8] 沈俊岭, 骈瑞琪, 孙佩光, 等. 麻疯树种源/家系生长和结实变异研究[J]. 华南农业大学学报, 2013, 34(4): 537-542.
- [9] 余力. 麻疯树栽培管理技术[J]. 四川农业科技, 2010, 40(2): 41.
- [10] PAN Bangzhen, XU Zengfu. Benzyladenine treatment significantly increases the seed yield of the biofuel plant *Jatropha curcas*[J]. J Plant Growth Regul, 2011, 2(30): 166-174.
- [11] PAN Jingli, FU Qiantang, XU Zengfu. Agrobacterium tumefaciens-mediated transformation of biofuel plant *Jatropha curcas* using kanamycin selection[J]. Afr J Biotechnol, 2010, 9(39): 6477-6481.
- [12] SHEN Junling, JIA Xiangnan, NI Huiqun, et al. AFLP analysis of genetic diversity of *Jatropha curcas* grown in Hainan, China[J]. Trees, 2010, 3(24): 455-462.
- [13] 何亚平, 费世民, 蔡小虎, 等. 麻疯树果实发育阶段划分与性状变化动态[J]. 四川林业科技, 2010, 31(1): 8-13.
- [14] 颜秉意, 叶生亮, 严安心, 等. 金沙江干热河谷地区不同含油量麻疯树种子的差异性[J]. 应用与环境生物学报, 2011, 17(5): 656-661.
- [15] 陈永刚, 林励, 魏燕华, 等. 超声波提取法与索氏提取法提取化橘红柚皮苷的比较研究[J]. 中药新药与临床药理, 2008, 19(4): 309-311.
- [16] 董晓丽, 白鹏莉, 王金妹, 等. 核磁共振法与索氏提取法测定能源植物种子含油量的比较研究[J]. 可再生能源, 2011, 29(3): 21-24.
- [17] 王英超. 索氏提取法提取地肤子油[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(12): 26-29.
- [18] 黄少伟, 谢维辉. 实用 SAS 编程与林业试验数据分析[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2001.
- [19] 杨清, 彭代平, 段柱标, 等. 小桐子传粉生物学研究[J]. 华南农业大学学报, 2007, 28(3): 62-66.
- [20] 张丽, 周兰英, 罗建勋, 等. 麻疯树杂交授粉技术[J]. 林业实用技术, 2008, 18(7): 20-22.

【责任编辑 李晓卉】