

山桐子实生优株选择研究初报

江锡兵, 龚榜初, 李大伟, 吴开云, 赵献民, 邓全恩

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江富阳 311400)

摘要:以四川等8个省份的山桐子野生资源为研究对象,通过实地走访和调查,了解山桐子资源分布状况和生态环境,利用产量、含油率等经济性状对山桐子野生群体进行优株选择。结果表明:安徽、江苏、浙江、江西各地主要以山桐子分布,而湖北、湖南、陕西、四川等地主要以山桐子的变异类型——毛叶山桐子为主,其中四川省毛叶山桐子分布较为密集;通过对各地气候条件和土壤条件分析得出,山桐子适应性强,对气候要求不严,适合在微酸性土壤生长,尤喜肥沃土壤;根据能源油料植物原则对山桐子提出选优标准,从234株山桐子实生树中初步选择43个单株;主成分分析和聚类分析结果将43个单株划分为最高产量、较高产量和中产量3大类,且所有单株的单株产量、单位面积产量和全果含油率3个主要经济指标均高出群体平均值20%以上。本研究为山桐子种质资源收集与评价、优良种质或品种的选育奠定了重要基础。

关键词:山桐子;木本油料;种质资源;优株;选择

Selection of the Plus Trees of *Idesia polycarpa* Maxim. from the Natural Seedlings

JIANG Xi-bing, GONG Bang-chu, LI Da-wei, WU Kai-yun, ZHAO Xian-min, DENG Quan-en

(Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang Zhejiang 311400)

Abstract: Distribution of resources and ecological environment for *Idesia polycarpa* were revealed via visiting and investigation in field, and the plus trees were selected through the economic characters such as yield and oil contents from the wild populations in eight provinces. The results were as follows: *Idesia polycarpa* Maxim. was mainly distributed in Anhui, Jiangsu, Zhejiang, and Jiangxi provinces, while *Idesia polycarpa* var. *vestita* Diels was mainly distributed in Hubei, Hunan, Shaanxi, and Sichuan provinces, especially densely distributed in Sichuan province. The characters of high adaptability, low requirement to the climate, and the suitability to grow in the acidic soil, especially in fertile soil for *Idesia polycarpa* were revealed after the investigation of climate and soil conditions. Forty-three plus trees were preliminarily chosen from 234 seedling trees based on the criteria of superior selection for *Idesia polycarpa* as energy oil plants. 43 plus trees were divided into three major categories of the highest, higher, and middle yield according to the principal component and cluster analysis, and yield per plant, yield per unit area, and oil contents of 43 individuals were higher than those of group average by more than 20%. The studies provided an important foundation for collection and evaluation of germplasm resources, breeding of cultivated varieties of *Idesia polycarpa*.

Key words: *Idesia polycarpa* Maxim.; woody oil plants; germplasm resources; plus tree; selection

山桐子 (*Idesia polycarpa* Maxim.) 属大风子科山桐子属落叶乔木, 适应性强, 果实产量及含油率

极高, 是一种优良的木本油料树种^[1-2]。山桐子分布广泛, 遍及东亚各国, 主产地位于中国、日本、朝

收稿日期: 2013-09-22 修回日期: 2013-11-04 网络出版日期: 2014-06-09

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20140609.1410.007.html>

基金项目: 浙江省“十二五”竹木农业新品种选育重大科技专项项目(2012C12908-17); 浙江省科技厅重大科技专项重点农业项目(2008C12018)

第一作者主要从事经济林育种与栽培研究。E-mail: jxb912@gmail.com

通信作者: 龚榜初, 主要从事经济林育种与栽培研究。E-mail: gongbc@126.com

鲜和俄罗斯远东地区。在我国主要产于秦岭、淮河以南,如浙江、湖南、陕西、甘肃、湖北、四川、安徽、江西、福建、云南、广东、台湾诸省都有零星分布^[3]。长期的生态生殖隔离及地理种源的自然变异,使得山桐子这一树种在果实和种子内油脂的种类与含量、糖苷类等次生代谢产物的种类与含量,以及在产量、抗病、抗寒、景观性状等方面产生较大的多样性,给山桐子优良种源或单株的选育提供了广阔的空间。

然而,长期以来,广大群众对山桐子种质资源认识不清,仍然沿用多种质类型混种的大田管理方式,对山桐子在长期有性繁殖过程中可能出现的优良栽培类型没有及时、科学地筛选,使得其遗传基础理论和良种选育一直停滞在较低水平^[4]。本研究通过对四川、陕西、浙江等 8 个省份的山桐子种质资源进行实地走访和调查测定,了解山桐子资源分布、生长、物候、生态环境等多样性;利用单株产量、单位面积产量、全果含油率等经济性状对山桐子野生群体进行优株选择,为山桐子种质资源收集与评价、优株的选择利用乃至优良种质、品种的选择与推广奠定重要基础。

1 材料与方法

1.1 山桐子种质资源调查方法

采用资料收集和实地调查相结合的研究方法进行山桐子资源的调查。2008 年 9 - 10 月通过中国数字植物标本馆、中国植物志、中国植物数据库、中国植物图像数据库查阅详细记录山桐子植物资源的水平分布地点、垂直分布海拔、生境特点、总体分布的省份,编制山桐子种质资源调查表,然后经过电话问询,确定调查地点。采用路线调查法,于 2008 年和 2009 年 10 - 12 月对四川、陕西、浙江、江苏、安徽、江西、湖南、湖北 8 个省份确定的调查地点进行实地调查,了解山桐子资源的分布状况和生态环境,记录生长地的地理环境因子(表 1),通过与当地林业工作者和群众座谈访问,了解山桐子产量、保护利用现状等。由于山桐子天然分布极少,在每个地点选取 15 ~ 20 株、8 ~ 20 年生、处于盛果期的健康植株作为样株,株间距离在 200 m 以上。对样株进行定位、标记,在样株的树冠中上部外缘四周枝条中部随机采集 30 片叶子和 30 穗成熟果穗做测试材料,在林下采集能够代表当地土壤水平的土样为后期测定工作提供材料。

表 1 部分采集地点地理信息和气候条件

Table 1 Geographic information and climatic conditions in different districts

地区 Population	海拔(m) Altitude	经度(E) Longitude	纬度(N) Latitude	年均温 ($^{\circ}\text{C}$) T_a	年降水 (mm) P_a	年无霜期(d) Frost-free period	土壤 Soil
江西上犹	395	114°35'	25°48'	19.4	1438.3	281	红壤
江西分宜	200	114°50'	27°43'	18.0	1434.7	274	红壤
四川青川	952	105°19'	32°27'	13.7	1021.7	243	黄壤、黄棕壤
四川元坝	803	105°03'	31°40'	17.0	900.0	264	黄壤、黄棕壤
陕西北强	913	106°11'	32°52'	13.0	900	287	黄棕壤
浙江仙居	483	120°36'	28°07'	16.9	1632	278	红壤
四川朝天	648	105°49'	32°43'	15.8	1120	230	黄壤
浙江奉化	262	121°33'	29°30'	16.3	1475	232	红壤
四川平武	896	104°20'	32°09'	14.7	866.5	252	黄壤
四川北川	785	103°56'	31°56'	14.1	903	245	黄壤、黄棕壤
湖南桑植	964	109°56'	33°56'	16.2	859	263	红壤
湖南通道	677	109°46'	33°26'	16.5	1068	272	红壤
江苏南京	205	119°02'	31°28'	15.4	1106	248	红壤
江苏句容	230	118°02'	31°48'	15.6	996	240	红壤
浙江磐安	358	120°30'	28°50'	15.7	1470	226	红壤
安徽黄山	490	119°57'	30°03'	15.5	1670	236	黄棕壤

T_a : Annual average temperature, P_a : Annual precipitation

1.2 山桐子优株选择方法

山桐子在天然林和天然次生林中大多以单株的形式与其他树种混生,且为异龄林,很少见到片林或人工林。现存的山桐子大多处于散生状态,许多生长优良的山桐子已找不到对比木,利用通常所采用的林分选择方法和对比木法都无法进行山桐子选优,依据这一原则,并结合山桐子生长发育的特点,采用单株木选择法进行山桐子优株初选。首先根据树体外观指标和产量选出林分中表现突出的单株,再根据林分调查数据,确定选择基准,只要预选树的数值在任意数量上超过基准,即可入选。对于山桐子而言单株产量、单位面积产量、含油率3个指标意义重大,因此3个指标接近或超过群体平均的20%即可入选。这种方法不受立地条件或林分密度的影响^[5]。

由于山桐子为速生木本能源树种,选择高产、高含油率的良种是山桐子选优的主要目标。初选优株的标准主要包括:(1)年龄。年龄一般在8~20年,处于盛果期的成龄树。(2)树体。树形完整,分枝角度大,冠形完整。(3)丰产性。产量高,单株产量在15 kg以上,穗大果密。(4)适应性。适应性强,生长旺盛,树体健壮,无病虫害。(5)其他特性。丰产、稳产,结实早,盛果期较长。

调查方法主要为实地探查测量以及与当地林业工作者和群众座谈访问相结合。记录当年单株产量,并询问前2年产量以此得出该单株的平均产量,其他调查方法和测量指标与种质资源调查中相同。

1.3 数据统计与分析

统计不同地区山桐子生长性状、单株产量、单位面积产量、单果重、全果含油率以及各地区地理信息、气候条件、土壤类型、土壤成分含量等数据;采用双变量相关分析对山桐子生长性状、产量与土壤成分含量进行相关性分析;对山桐子优株产量及含油率等数据进行主成分分析;对产量及含油率等数据进行标准化处理后,利用欧式离差平方和法进行聚类分析^[6-7]。统计分析采用 Excel、SAS 8.0 等软件完成。

2 结果与分析

2.1 山桐子资源分布及生境状况分析

在全面收集山桐子天然分布区资料、电话问询和实地勘测的基础上,得出山桐子主要分布区(图1),由图1可以看出山桐子在我国亚热带地区分布广泛。

其中,在湖北宜昌市,陕西宁强县,四川的平武县、朝天区、北川县,湖南的桑植县、通道侗族自治县等地发现山桐子的变异类型——毛叶山桐子。从调查地点来看,安徽、江苏、浙江、江西主要为山桐子,少见毛叶山桐子;而湖北、湖南、陕西、四川主要以毛叶山桐子为主,其中四川省毛叶山桐子分布较为密集。



图1 山桐子主要分布区

Fig. 1 Distribution of *Idesia polycarpain* in China

山桐子是亚热带阳性速生树种,多生于海拔100~2500 m的向阳山坡或林缘、河道两旁,也散生于平原或房前屋后及林缘坡地;山桐子多为散生,很少成片密集生长;对气候条件要求不严,能耐低温高热(-14~42℃);对土壤适应性强,黄壤、黄棕壤、红黄壤等均能生长;适宜温暖湿润、深厚肥沃、排水良好的生境,常与枫香、杉木、山槐等组成次生林。不同采集地土样的pH值、有机质含量、全氮、全磷、全钾及交换性钙、镁含量的测定结果及其与山桐子生长性状、产量的相关性系数分别见表2、表3。研究发现,山桐子生长性状(树高、胸径、冠幅)及产量(单株产量、单位面积产量)与土壤中氮、磷、钾、交换性钙及交换性镁含量基本呈显著或极显著正相关关系。土壤中氮磷钾含量丰富地区山桐子长势良好,产量高,并且交换性钙、镁含量对山桐子长势表现出较大影响。比如,山桐子树体长势较好、产量较高的宁强、奉化和朝天三地土壤中交换性钙、镁平均含量分别为300.46 mg/kg和299.60 mg/kg,比平均值高出78.4%和105.9%。土壤pH值对山桐子影响不大,各地土壤pH值均值为5.40,表明山桐子适合在微酸性土壤中生长。

表 2 不同地区林下土壤分析结果

Table 2 Soil characteristics in different populations

地区 Population	pH 值 pH value	有机质 (g/kg) Organic material	全钾 (g/kg) Total potassium	全氮 (mg/kg) Total nitrogen	全磷 (mg/kg) Total phosphorus	交换性钙 (mg/kg) Exchangeable calcium	交换性镁 (mg/kg) Exchangeable magnesium
四川朝天	5.83	3.8	20.0	370	810	162.5	380.1
湖北宜昌	5.41	13.6	6.4	90	250	90.0	27.0
浙江仙居	5.10	22.7	5.1	570	190	28.6	50.8
浙江磐安	5.55	12.9	7.3	170	120	185.3	90.7
江西上犹	5.27	11.3	5.7	330	140	44.2	33.6
陕西宁强	6.47	24.7	11.2	620	290	425.9	186.4
浙江奉化	4.92	3.7	5.3	170	340	313.0	332.3
湖南通道	4.64	3.9	12.0	390	210	97.7	63.3
平均值 Mean	5.40	12.1	9.1	338.8	293.8	168.4	145.5

表 3 山桐子生长性状及产量与土壤成分相关性系数

Table 3 Correlation coefficient of growth traits and yield and soil characteristics

性状 Traits	pH 值 pH value	有机质 Organic material	全钾 Total potassium	全氮 Total nitrogen	全磷 Total phosphorus	交换性钙 Exchangeable calcium	交换性镁 Exchangeable magnesium
树高 Plant height	0.1573	0.4415 *	0.2281	0.5592 *	0.4172 *	0.7095 *	0.4206 *
胸径 Diameter at breast height	0.1185	0.1744	0.4442 *	0.3460 *	0.3891 *	0.3782 *	0.3615 *
冠幅 Width of crown	0.2744	-0.1049	0.8020 **	0.4644 *	0.8241 **	0.5051 *	0.3897 *
单株产量 Yield per plant	0.2621	0.3041 *	0.4233 *	0.5671 *	0.5113 *	0.7655 *	0.5462 *
单位面积产量 Yield per unit area	0.1397	-0.0086	0.4023 *	0.7109 *	0.1182	0.7819 *	0.5707 *

** 表示显著差异达 0.01 水平, * 表示显著差异达 0.05 水平

** Means significant differences at 0.01 level, * Means significant differences at 0.05 level

山桐子在陕西、四川一带又名水冬瓜,高 10 ~ 15 m,树皮平滑,灰白色。各地山桐子叶片差别很大,叶宽卵形至卵状心形,顶端锐尖至短渐尖、基部常为心形,长 7 ~ 16 cm,宽 5 ~ 14 cm,叶缘生疏的锯齿,叶背面粉白色,掌状基出脉 5 ~ 7 条,脉腋内生密柔毛;叶柄与叶等长,顶端有突起的腺体,腺体个数 3 ~ 5 个不等。圆锥花序,花长 12 ~ 20 cm,下垂,花黄绿色,萼片通常为 5,无花瓣,花单性,雄花有多个雄蕊,雌花有多个退化的雄蕊,子房上位,球形,1 室,有 3 ~ 6 个侧膜胎座,胚珠多个。浆果球形,大多为红色,只有奉化及宁强地区个别单株果实为橘黄色,内有多数细小黑色种子。花期 5 - 6 月,果实成熟期 9 - 10 月。

通过调查得出,山桐子的伴生植物主要有枫香树 (*Liquidambar formosana*)、杉木 (*Cunninghamia lanceolata*)、马桑 (*Coriaria nepalensis*)、峨眉蔷薇 (*Rosa omeiensis*)、侧柏 (*Platycladus orientalis*)、柞栋

(*Quercus dentata*)、化香树 (*Platycarya strobilacea*)、槐树 (*Sophora japonica*)、朝鲜槐 (*Maackia amurensis*)、黄连木 (*Pistacia chinensis*)、榔榆 (*Ulmus parvifolia*)、忍冬 (*Lonicera japonica*)、野核桃 (*Juglans cathayensis*)、东北蛇葡萄 (*Ampelopsis brevipedunculata*)、香椿 (*Toona sinensis*)、小叶女贞 (*Ligustrum quihoui*)、盐肤木 (*Rhus chinensis*)、杜仲 (*Eucommia ulmoides*)、多叶勾儿茶 (*Berchemia polyphylla*)、板栗 (*Castanea mollissima*)、海桐 (*Pittosporum tobira*)、胡桃 (*Juglans regia*)、中华猕猴桃 (*Actinidia chinensis*)、臭椿 (*Ailanthus altissima*)、桑 (*Morus alba*) 等。

2.2 山桐子优株选择

2.2.1 山桐子单株主成分分析

根据产量、含油率等指标对所调查的 234 株山桐子进行选择(原始数据见参考文献[8]),综合单株产量(平均 10.5 kg)、单位面积产量(平均 0.75 kg/m²)、全果含油率(平均 27.56%) 3 个主要经济指标测定结果,以高于群

体平均值约 20% 为基础,剔除单株产量低于 15 kg、单位面积产量低于 1 kg/m²以及含油率低于 33% 的单株,最终初选出 43 个单株。利用单株产量(m_1)、单位面积产量(m_2)、含油率(m_3)、每穗出果数(m_4)、单果重(m_5)、单果出子率(m_6)6 个主要经济性状对 43 个山桐子单株进行主成分分析。

根据原始数据矩阵获得样本相关矩阵 R ,由相

关矩阵 R 获得 6 个非负特征根, $X_1 > X_2 > X_3 > X_4 > X_5 > X_6$,其中 $X_1 = 2.09$, $X_2 = 1.49$, $X_3 = 1.02$,因 $(X_1 + X_2 + X_3)/6 = 0.7663 > 0.75$,所以只需求前 3 个主成分的综合指标 P_1 、 P_2 、 P_3 ,并用其代替原来 6 个单项指标作为评价山桐子单株优劣的标准, X_1 、 X_2 、 X_3 等所对应的正则化特征向量如表 4 所示。

表 4 主成分分析的特征值和特征向量

Table 4 Eigen values and eigenvectors of principal component analysis

参数 Parameters	主成分 Principal component					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
m_1	0.4774	0.6347	0.0449	0.5327	0.1974	-0.4602
m_2	0.5414	0.4063	0.4101	-0.1926	-0.5577	0.3673
m_3	0.3078	0.0510	0.0296	-0.6367	0.4392	0.0497
m_4	-0.3741	-0.3082	0.6389	-0.0035	0.5911	0.0866
m_5	-0.2459	-0.0872	0.6037	-0.0775	-0.3168	-0.5419
m_6	-0.4287	0.1606	0.2375	0.5174	0.0862	0.5913
特征值 Eigen value	2.0874	1.4893	1.0213	0.6591	0.4208	0.3220
贡献率(%) Contribution rate	34.7902	24.8221	17.0224	10.9843	7.0139	5.3670
累计贡献率(%) Cumulative contribution rate	34.7902	59.6123	76.6348	87.6191	94.6330	100

m 记原变量, n 为 m 均值,则有 $y_\alpha = u_{\alpha 1}(m_1 - n_1)/S_1 + u_{\alpha 2}(m_2 - n_2)/S_2 + \dots + u_{\alpha 6}(m_6 - n_6)/S_6$ ($\alpha = 1, 2, 3$),其中 u_{i1} 为表中第 1 列的第 1 个数,其他数据类推; $S_i = S_{ii}^{1/2}$,为原数据的第 i 个变量的标准差。代入具体数据后得前 3 个主成分方程:

$$y_1 = 0.151 m_1 + 0.242 m_2 + 2.379 m_3 + 1.698 m_4 - 0.024 m_5 - 0.186 m_6 + 0.821$$

$$y_2 = 0.107 m_1 + 0.017 m_2 - 0.402 m_3 - 0.058 m_4 + 0.796 m_5 + 1.456 m_6 - 1.792$$

$$y_3 = 0.067 m_1 - 0.036 m_2 - 0.338 m_3 - 0.225 m_4 + 0.630 m_5 + 1.425 m_6 + 0.632$$

把 43 个单株的 6 个经济性状观测数据代入主成分方程,分别计算其在 3 个综合指标上的得分值 Y_i ($i = 1, 2, 3$)。以方差贡献率为权重,按公式 $Y = 0.3479 y_1 + 0.2482 y_2 + 0.1702 y_3$ 计算各单株 Y_i 的加权平均值,求出各单株综合得分值 Y ,再以 Y 值的大小排序得名次,结果见表 5。

根据单株的综合得分把 43 个单株分为 3 大类:(1) $Y \geq 1.11$ 。有 F1、N1、Q2799、Q2800、F2、Q2774、N21、Q2768、Y3、C2、F14、F16、F19、F17、F15、F6、C12、Q2763 共 18 株。其 6 个指标平均值分别为:单株产量 32.61 \pm 9.17 kg,单位面积产量

1.87 \pm 1.01 kg/m²,全果含油率 33.13% \pm 3.42%,单果重 0.44 \pm 0.05 g,每穗出果数 136.68 \pm 27.10 个,单果出子率 31.22 \pm 7.40 粒。其中单株平均产量、单位面积平均产量、全果平均含油率分别超出群体平均值的 210.57%、149.33%、20.21%。

(2) $0.97 \geq Y \geq 0$ 。包含 18 个单株,分别为 C11、Y2、C7、C8、C3、C1、C5、C10、C9、C6、N17、N092、Q2770、N16、Q2769、N6、Y5、Q26。其 6 个指标平均值分别为:单株产量 31.91 \pm 13.64 kg,单位面积产量 1.61 \pm 1.47 kg/m²,全果含油率 34.88% \pm 2.81%,单果重 0.43 \pm 0.10 g,每穗出果数 72.21 \pm 25.03 个,单果出子率 39.12 \pm 7.16 粒。其中单株平均产量、单位面积平均产量、全果平均含油率分别超过群体平均值的 203.90%、114.67%、26.56%。

(3) $0 > Y \geq -0.71$ 。包含 7 个单株,分别是 H16、Q10、Q2772、Q16、Q15、P43、N097。其 6 个指标平均值分别为:单株产量 31.07 \pm 4.53 kg,单位面积产量 1.39 \pm 0.53 kg/m²,全果含油率 35.95% \pm 2.05%,单果重 0.40 \pm 0.06 g,每穗出果数 76.26 \pm 18.00 个,单果出子率 34.65 \pm 6.55 粒。其中单株平均产量、单位面积平均产量、全果平均含油率分别超过群体平均值的 195.90%、85.33%、30.44%。

表 5 43 个单株综合指标得分值

Table 5 Score value of comprehensive index of 43 individuals

单株号 Plant code	Y1	Y2	Y3	Y	单株号 Plant code	Y1	Y2	Y3	Y
F1	0.57	2.87	2.83	2.09	C3	0.99	0.74	0.85	0.86
N1	2.55	1.78	1.77	2.03	C1	-1.13	1.64	1.82	0.78
Q2799	0.84	2.52	2.50	1.95	C5	2.29	0.01	0.01	0.77
Q2800	4.27	0.75	0.51	1.84	C10	-3.10	2.55	2.82	0.76
F2	2.91	1.09	0.99	1.66	C9	3.00	-0.50	-0.65	0.62
Q2774	1.14	1.84	1.71	1.56	C6	1.31	-0.06	0.38	0.54
N21	2.45	1.19	0.94	1.53	N17	-0.07	0.65	0.87	0.48
Q2768	0.24	2.04	2.10	1.46	N092	-1.11	1.10	1.34	0.44
Y3	2.57	0.85	0.90	1.44	Q2770	1.48	-0.17	-0.02	0.43
C2	1.13	1.53	1.56	1.41	N16	-0.65	0.55	0.96	0.29
F14	1.62	1.19	1.31	1.37	Q2769	0.19	0.27	0.37	0.28
F16	2.78	0.57	0.65	1.33	N6	-0.16	0.10	0.48	0.14
F19	2.22	0.88	0.76	1.29	Y5	0.39	-0.31	-0.02	0.02
F17	0.12	1.72	1.79	1.21	Q26	0.32	-0.29	-0.02	0.00
F15	2.24	0.78	0.58	1.20	H16	1.31	-0.76	-0.64	-0.03
F6	0.41	1.55	1.63	1.20	Q10	-0.38	-0.43	0.05	-0.25
C12	2.07	0.67	0.68	1.14	Q2772	-0.76	-0.46	0.04	-0.39
Q2763	0.79	1.20	1.34	1.11	Q16	-1.28	-0.29	0.17	-0.47
C11	1.01	1.00	0.92	0.97	Q15	0.84	-1.31	-1.00	-0.49
Y2	-0.54	1.55	1.74	0.91	P43	2.21	-2.12	-1.94	-0.62
C7	0.06	1.26	1.34	0.89	N097	-0.62	-1.06	-0.44	-0.71
C8	-0.89	1.76	1.79	0.89					

分析结果表明,3 大类山桐子单株 3 个主要经济性状指标均超出群体均值的 20% 以上。

2.2.2 山桐子单株聚类分析 根据木本油料树种选优特点并结合主成分分析结果,以单株产量、单位面积产量和全果含油率 3 个主要经济指标对 43 个山桐子单株进行聚类分析(图 2)。由图可知,在遗传距离 17.0 处将 43 单株分为 5 大类,其中第 V 类在遗传距离 9.5 处又分为 2 个亚类。第 I 类和第 II 类可以综合为最高产量类,共包含 19 个单株,其单株平均产量、单位面积平均产量、全果平均含油率 3 个指标分别高出群体平均值 208.93%、152.18%、21.10%。第 III、第 IV 类及第 V-1 亚类可以归结为较高产量类,共包含 17 个单株,其单株平均产量、单位面积平均产量、全果平均含油率分别高出群体均值 203.62%、110.80%、24.08%。第 V-2 亚类的 7 个单株可归纳为中产量类,其单株平均产量、单位面积平均产量、全果平均含油率 3 个指标分别超出群体平均值 197.82%、86.35%、32.03%。总体趋势与主成分分析结果基本一致。

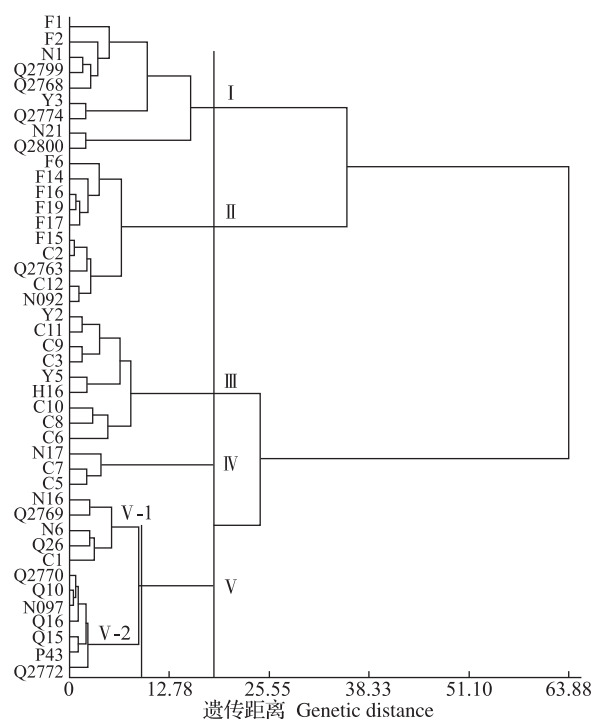


图 2 43 个单株聚类结果

Fig. 2 Cluster and euclidean distance of 43 individuals

3 讨论

山桐子是一种优良的木本油料植物,具有可再生性,耐旱,耐贫瘠,适合山地和丘陵地区生长,可在荒山荒地栽培,不与粮食作物争土地,具有1次种植多年受益的特点^[9]。同时,山桐子又是一种环境资源,除了提供能源外,还具有绿化荒山,防止水土流失,改善生态环境和农林牧生产条件,维护生态平衡等作用。此外,还可以增加农民收入,促进区域经济发展,在缓解能源压力、稳定经济发展方面发挥积极作用^[10-12]。

山桐子在我国虽然分布广泛,但大多数呈零星分布。特别是由于其种子细小、坚硬且表面被有蜡质,自然条件下很难萌发,从而制约其自然繁殖。山桐子在我国四川、陕西、湖南等17个省份都有分布,分布区内地形、气候等环境生态因子复杂多变,以及通过长期的地理隔离和自然选择,使其产生了极其丰富的种间和种内变异^[13]。李大伟等^[3]认为,山桐子对纬度和经度变化表现出一定的梯度规律性,随着纬度的变化,由南向北,叶长、叶宽等性状表现出增加的趋势,而果实性状如单果重、单果出子率等对经度变化改变较为明显,从东到西表现出增加的趋势。岁立云^[14]研究表明,山桐子种内变异和类型丰富,在果穗形状、长度及紧密度和果粒形状、大小及颜色等性状上存在广泛的变异。根据陕南地区山桐子果穗长度、果粒颜色、果粒大小及形状划分出红果短穗小果型、红果短穗大果型、红果短穗梨果型、红果长穗小果型、红果长穗大果型和黄果短穗型6种果实形态变异类型。丰富的表型变异是山桐子作为一个优良速生树种适应环境的一种表现。本研究对四川等8个省份山桐子资源分布状况和生态环境进行实地调查,发现安徽、江苏、浙江、江西各地主要是山桐子分布,而湖北、湖南、陕西、四川等地主要以山桐子的变异类型——毛叶山桐子为主,其中四川省毛叶山桐子分布较为密集。四川大部分地区处于亚热带湿润气候区,海拔高,全年温暖湿润,年均温及积温较高,日照时间较长,年降水量充足,这些条件均为山桐子丰富的变异类型提供了有利条件。从8个省份的调查地点看,其海拔高度大致在100~1000 m,年均温13~20℃,年降水量800~1700 mm,年无霜期220 d以上,表明山桐子对气候要求不严;土壤主要为红壤、黄壤和黄棕壤,pH值在4.5~6.5之间,适合在微酸性土壤生长。通过土壤有机质和营养元素分析得知,土壤中氮磷钾含量丰富的地区山桐子

长势良好,交换性钙、镁含量较高地区生长尤其良好,印证了其喜肥沃土壤。且多样化伴生植物反映出山桐子对环境的适应能力较强。

生态适应性决定了山桐子适宜区域的大小,较强的生态环境适应性表明山桐子发展生产潜力巨大。然而,作为能源植物的选择标准,不仅需要较强的环境适应能力,还应具有较高的果实产量、含油率和较大的植物油生产潜力。高产量和高含油率是选择能源植物的决定性指标,植物油生产潜力决定了能源油料植物的开发利用价值和前途。同时,在选择过程中,还要综合考虑树姿、果实形状和果实成熟期颜色等质量性状^[14]。

本研究根据能源油料植物标准对山桐子提出选优标准:(1)树龄在8~20年,处于盛果期的成龄树,植株健康,生长旺盛,冠形完整;(2)穗大果密,丰产稳产,单株产量15 kg以上,单位面积产量在1 kg/m²以上,(3)全干果含油率在33%以上。最终从234株山桐子母树中初步确定43个单株。

主成分分析是将少数几个彼此不相关的新指标代替原来为数较多的彼此有一定相关关系的指标,能够解决因评价指标间的相关关系造成评价信息相互重叠、相互干扰,而难以客观地反映被评价对象的相对地位的问题。本研究利用6个重要经济性状对山桐子43个单株进行主成分分析,结果显示特征根差异明显,表明山桐子的单株产量等6个经济性状之间关系紧密,但它们反映山桐子单株优劣的信息有一定的重叠,从数学上考虑可以简化变量个数,即可通过寻找综合因子作为选择山桐子单株优劣的标准。根据贡献率大小确定了前3个综合因子,主成分方程,计算出43个单株在3个综合指标上的得分值。再以方差贡献率为权重,得出了43个单株的加权平均值(即综合值Y),根据综合得分大小把43个单株划分为3大类。每一类山桐子在单株产量、单位面积产量、全干果含油率上均超出群体平均值20%以上。

聚类分析结果与主成分分析结果相一致,43个山桐子单株被分为5大类,前2类19个单株属于最高产量类;第Ⅲ、第Ⅳ类及第Ⅴ-1亚类的17个单株归为较高产量类;第Ⅴ-2亚类的7个单株归为中产量类,但全果含油率高于前者。

综合分析山桐子43个单株,其平均单株产量31.86 kg,单位面积产量1.62 kg/m²,全果干含油率达到34.65%。指标最低的优株N097在单株产量、单位面积产量和含油率3个主要经济指标上亦高出

群体平均值 20% 以上。据此,可以将 43 个山桐子单株初步选择为优株。

在农林业生产中,良种选育是植物资源开发中一项十分重要的基础性工作,而种质资源又是良种选育的物质基础^[15-16]。本研究从生物质能源开发利用的角度出发,在全面调查山桐子种质资源分布区域的基础上,对山桐子产量、含油率的自然变异状况进行研究,并进行了类型划分和评价,以了解山桐子野生资源在经济性状上的分化和差异,初步选择出高产量、高含油率的山桐子优株,为山桐子种质资源收集、保存和良种选育奠定重要基础。

参考文献

- [1] 龚榜初,李大伟,江锡兵,等. 不同产地山桐子果实含油率及其理化指标变异分析[J]. 西北植物学报,2012,32(8):1680-1685
- [2] 龚榜初,李大伟,江锡兵,等. 不同种源山桐子果实脂肪酸组成变异分析[J]. 植物生理学报,2012,48(5):505-510
- [3] 李大伟,龚榜初,白杰健,等. 山桐子天然群体表型遗传多样性研究[J]. 湖南农业科学,2010(11):7-10
- [4] 江锡兵,李大伟,龚榜初,等. 不同产地山桐子苗木苗期生长规律初探[J]. 河南农业科学,2012,41(5):133-136
- [5] 吴志庄,尚忠海,鲜宏利,等. 黄连木优良类型综合评价指标体系的构建[J]. 经济林研究,2008,26(4):22-25
- [6] 黄忠兴,周峰,王勤南,等. 国内外割手密资源农艺性状表型遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2012,13(5):825-829
- [7] 张金渝,沈涛,杨维泽,等. 云南道地药材滇龙胆资源调查与评价[J]. 植物遗传资源学报,2012,13(5):890-895
- [8] 李大伟. 山桐子主要性状变异及优株选择研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2010
- [9] 王金锡,吴宗兴. 山桐子开发与利用研究[J]. 四川林业科技,2010,31(1):26-29
- [10] 祝志勇,王强,阮晓,等. 不同地理居群山桐子的果实含油率与脂肪酸含量[J]. 林业科学,2010,46(5):176-180
- [11] 莫开林,张正香,罗小龙,等. 山桐子油的开发利用[J]. 粮油食品科技,2009,17(6):23-25
- [12] 戴国富,谢世友,万腾,等. 山桐子开发利用前景与展望[J]. 重庆三峡学院学报,2011,27(3):105-109
- [13] 江锡兵,龚榜初,李大伟,等. 山桐子自然群体表型性状变异分析[J]. 林业科学研究,2013,26(1):113-117
- [14] 岁立云. 山桐子果实性状自然变异及生殖生物学研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2009
- [15] 吴元立,易干军,周碧容,等. 荔枝与龙眼种质资源研究进展[J]. 植物遗传资源学报,2007,8(4):498-502
- [16] 刘振兴,程须珍,周桂梅,等. 多目标决策在小豆种质资源评价中的应用[J]. 植物遗传资源学报,2011,12(1):54-58
- [17] 相吉山,杨欣明,李秀全,等. 小麦骨干亲本南大 2419 对衍生品种(系) HMW-GS 的贡献分析[J]. 植物遗传资源学报,2013,14(6):1053-1058
- [18] 徐鑫,李小军,李秀全,等. 小麦骨干亲本碧蚂 4 号系谱品种 HMW-GS 组成分析[J]. 植物遗传资源学报,2010,11(4):439-444,450
- [19] 李红琴,相吉山,郭青云,等. 小麦骨干亲本阿夫及其衍生品种(系)的高分子量麦谷蛋白亚基演变分析[J]. 植物遗传资源学报,2009,10(1):37-41,59
- [20] 陈桂玲,余利,王黎明,等. 小偃 6 号及其衍生后代品质相关性状基因的分子检测[J]. 植物遗传资源学报,2012,13(3):456-466
- [21] 陈国跃,刘伟,何员江,等. 小麦骨干亲本繁 6 条锈病成株抗性特异位点及其在衍生品种中的遗传解析[J]. 作物学报,2013,39(5):827-836
- [22] An D, Su J, Liu Q, et al. Mapping QTL for nitrogen uptake in relation to the early growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Plant & Soil, 2006, 284: 73-84
- [23] Ma Z, Zhao D, Zhang C, et al. Molecular genetic analysis of five spike-related traits in wheat using RIL and immortalized F₂ populations [J]. Mol Genet Genomics, 2007, 277: 31-42
- [24] Lin F, Xue S L, Zhang Z Z, et al. Mapping QTL associated with resistance to Fusarium head blight in the Nanda2419 x Wangshuibai population. II. Type I resistance [J]. Theor Appl Genet, 2006, 112: 528-535
- [19] 盖红梅,王兰芬,游光霞,等. 基于 SSR 标记的小麦骨干亲本育种重要性研究[J]. 中国农业科学,2009,42(5):1503-1511
- [20] Singh S, Sharma I, Sehgal S K, et al. Molecular mapping of QTLs for Karnal bunt resistance in two recombinant inbred populations of bread wheat [J]. Theor Appl Genet, 2007, 116: 147-154
- [21] Huang X Q, Cloutier S, Lycar L, et al. Molecular detection of QTLs for agronomic and quality traits in a doubled haploid population derived from two Canadian wheats (*Triticum aestivum* L.) [J]. Theor Appl Genet, 2006, 113: 753-766
- [22] Li X J, Xu X, Yang X M, et al. Genetic diversity among a founder parent and widely grown wheat cultivars derived from the same origin based on morphological traits and microsatellite markers [J]. Crop Pasture Sci, 2012, 63: 303-310
- [23] 王庆专,袁园园,崔法,等. 小麦骨干亲本碧蚂号及其姊妹系遗传差异分析[J]. 分子植物育种,2009,7(6):1100-1105
- [24] 李小军,胡铁柱,李途,等. 小麦品种百农 AK58 及其姊妹系的遗传构成分析[J]. 作物学报,2012,38(3):436-446

(上接第 737 页)