

无患子种实形态及经济性状的地理变异

邵文豪¹, 刁松锋¹, 董汝湘¹, 姜景民^{1*}, 岳华峰²

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 中国林业科学研究院经济林研究开发中心, 河南 郑州 450003)

摘要:对我国无患子分布区7个产地的种实形态性状及种仁含油率进行取样测定。方差分析结果表明,种实各性状在产地内单株间的变异程度不同,但多数性状在多数产地内均存在丰富的变异,在产地内进行单株选择是可行的。在不同产地间,无患子种实各性状均存在显著差异,河南西峡产地果实和种子较大,与其它产地间差异显著。无患子种仁含油率产地间变异系数最小,与地理气候因子间不存在明显的相关性,而种子质量、种子出仁率在不同产地间变异系数相对较大,且与种实大小显著正相关,可以通过选择较大的果实、种子来提高产油量。聚类及相关性分析表明,在一定程度上,无患子种实大小和种子出仁率有从低纬度产地向高纬度产地变大的变异趋势,因此无患子高产油单株的选择应重点在较高纬度产地果实、种子较大的个体中进行。

关键词:无患子;种实形态;含油率;相关性;地理变异

中图分类号:S759.3

文献标识码:A

Study on Geographic Variation of Morphology and Economic Character of Fruit and Seed of *Sapindus mukorossi*

SHAO Wen-hao¹, DIAO Song-feng¹, DONG Ru-xiang¹, JIANG Jing-min¹, YUE Hua-feng²

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China;

2. Non-Timber Forest Research and Development Center, Chinese Academy of Forestry, Zhengzhou 450003, Henan, China)

Abstract: The morphological characters of fruit, seed and kernel oil content of *Sapindus mukorossi* in 7 producing areas were investigated. The results of variance analysis showed that the degrees of characters variation were different among individuals in these producing areas, but most characters had wide range of variation in most producing areas, so individual selection was effective. However, all characters had significant differences among producing areas. The producing area of Xixia County of He'nan Province had obvious differentiation from the others, and with bigger fruits and seeds. The oil content of kernel, with the smallest variation coefficient, had no obvious correlation with geographical factors of different producing areas. In contrast, the seed weight and kernel rate had larger variation coefficient among different producing areas, and they had significant positive correlations with the size of fruits and seeds. So it is feasible to raise oil content by selecting big fruits and seeds. Cluster and correlation analysis showed that, to a certain degree, there was a variation trend that the fruit size, seed size and kernel rate grew larger in the low-latitude producing areas than in the high-latitude producing areas. Therefore, selecting high oil content individuals should be carried out mainly in high-latitude producing area, and focused on these individuals with big fruits and seeds.

Key words: *Sapindus mukorossi*; seed and fruit character; oil content; geographic variation

收稿日期:2012-10-29

基金项目:浙江省重大科技专项项目(2011C12015);国家林业公益性行业科研专项项目(200804032)

作者简介:邵文豪(1981—),男,山东济宁人,硕士,助理研究员,主要从事林木种质资源研究。

*通讯作者:博士,研究员. E-mail: jmjiang6001@126.com.

无患子 (*Sapindus mukorossi* Gaertn.) 为无患子科 (Sapindaceae) 无患子属 (*Sapindus* L.) 落叶大乔木, 零散分布于我国东部、南部至西南部, 低山丘陵及石灰岩山地常见树种, 适应性强, 生长快, 对二氧化硫等有害气体具较强抗性^[1]。无患子果皮富含皂苷, 具有良好的起泡性和去污性能、抗菌和止痒生理功效, 同时还可作为农药乳化剂。近年来, 以无患子果皮为原料的生物洗涤剂产业稳定发展, 果皮剥离后余下的种子除少量用于佛珠等工艺品的制作及播种育苗外, 绝大部分均未得到有效利用。无患子种仁富含脂肪、蛋白质, 种仁含油率高, 是极具开发前景的木本生物柴油原料^[2]。

由于无患子良好的综合利用价值, 从事无患子种植生产、加工利用的企业不断增多。为规范无患子原料林的培育利用, 国家林业局明确提出了无患子原料林可持续培育指南。但是, 现有对无患子的研究绝大部分集中在无患子皂苷类活性物质的效用、提取测定以及繁殖应用等方面^[3-14], 无患子的遗传变异及定向改良研究尚处起步阶段^[15-17], 而其种实含油率的研究迄今鲜见报道。作为生物质能源树种, 种实含油率是主要的经济技术指标之一。本研究通过开展不同产地无患子种实形态及含油率等性状变异的研究, 揭示无患子种实形态性状的变异

规律及其相关性, 掌握出仁率、含油率等主要经济性状的变异特征及地理影响因子, 为高产油优良单株选择和遗传改良提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料收集与处理

2008年10—12月在我国无患子主要分布区的7个产地采集成熟果实, 分别为河南西峡、江西宜丰、安徽黄山、浙江临安、浙江遂昌、福建武夷山、贵州榕江, 各产地地理位置及气候因子见表1。在对天然林分进行调查的基础上, 每一产地选择20棵生长结实正常的植株, 样株间距保持在50 m以上。在每一单株树冠中部随机采集果实不少于2 kg, 每株随机选取30个果实, 立即测量果实质量、果长、果径 I、果径 II、果皮厚等果实形态指标, 将果皮剥离后测量种子质量、种长、种径 I、种径 II 等种子形态指标。果径 I 和种径 I 分别为果实和种子最宽处直径, 果径 II、种径 II 分别为垂直于果径 I 和种径 I 处直径。为更好地反应果实、种子表型特征, 分别计算果实大小指数、种子大小指数: 果实大小指数 = 果长 × 果径 I × 果径 II, 种子大小指数 = 种长 × 种径 I × 种径 II。

表1 无患子各产地地理位置及气候因子

产地	N	E	年平均气温/℃	年平均日照时数/h	海拔高度/m	年平均降水量/mm
河南西峡	33°25'	111°21'	15.2	2 019	253	850
浙江临安	30°13'	119°32'	16.2	1 847	76	1 453
浙江遂昌	28°32'	118°52'	16.8	1 755	245	1 510
安徽黄山	30°12'	118°11'	15.7	1 885	448	1 670
江西宜丰	28°14'	114°49'	17.2	1 635	480	1 800
福建武夷山	27°46'	118°02'	17.9	1 562	370	1 881
贵州榕江	25°44'	108°34'	18.1	1 313	393	1 211

1.2 种子出仁率及种仁含油率测定方法

分单株将无患子种子在 80℃ 的恒温下烘干至恒质量, 随机称取不少于 50 粒的种子质量 (记作 M), 剥去种皮后测定种仁质量 (记作 M1), 则种子出仁率 = $M1/M \times 100\%$ 。每一单株重复测定 3 次, 求平均值。

分单株将无患子种仁用微型粉碎机磨碎, 在 80℃ 的电热鼓风干燥箱中烘干至恒质量。用电子天平称取 10 g 左右的种仁粉末 (记作 m), 立即装入折好的滤纸中, 塞上棉花, 用棉线捆好, 放入索式提取

仪中。将 250 mL 的磨口烧瓶称质量 (记作 m1), 向其中加入 200 mL 的正己烷, 于 95℃ 水浴锅加热萃取 10 h 后, 将烧瓶中的萃取液移入旋转蒸发仪上, 控制温度 50℃, 缓慢将溶剂蒸发, 待溶剂快蒸发完时加热至 100℃, 并保持 20 min 以利于溶剂正己烷完全蒸发, 擦干烧瓶称质量 (记作 m2), 则种仁含油率 = $(m2 - m1)/m \times 100\%$ 。每一单株重复测定 3 次, 求平均值。

利用 Excel 2003、SPSS18.0 统计分析软件进行数据运算。

2 结果与分析

2.1 无患子种实性状在产地间和产地内株间的变异

由表 2 可知,无患子种实性状在产地内单株间的变异程度不同。浙江遂昌、安徽黄山、江西宜丰 3

个产地内单株间种实性状均表现出显著差异($p < 0.05$),浙江临安和福建武夷山 2 个产地内单株间的多数性状呈显著差异($p < 0.05$),而贵州榕江、河南西峡 2 个产地内单株间绝大多数性状差异不显著($p > 0.05$)。

表 2 无患子种实性状产地内、产地间变异的方差分析

性状	产地内株间 F 值							产地间 F 值
	浙江临安	福建武夷山	浙江遂昌	贵州榕江	安徽黄山	江西宜丰	河南西峡	
果实质量	0.600	2.289 *	21.644 *	0.725	23.250 *	10.401 *	1.188	70.966 *
果长	0.630	3.731 *	31.664 *	1.405	14.771 *	9.958 *	1.464	12.895 *
果径 I	2.560 *	3.505 *	17.455 *	0.757	17.153 *	9.314 *	0.940	25.751 *
果径 II	0.732	6.431 *	21.540 *	0.725	19.840 *	9.267 *	0.599	27.013 *
果皮厚	3.416 *	1.633	14.376 *	1.602	7.600 *	5.022 *	3.857 *	24.022 *
种子质量	2.656 *	3.165 *	46.558 *	1.822	21.381 *	10.140 *	1.487	13.802 *
种长	2.656 *	4.959 *	42.310 *	1.821	22.611 *	10.140 *	0.712	18.695 *
种径 I	2.656 *	3.919 *	40.998 *	1.841	22.917 *	10.130 *	1.076	6.772 *
种径 II	2.656 *	6.218 *	44.531 *	1.804	22.025 *	10.141 *	1.277	31.879 *
果实大小指数	0.775	4.946 *	25.698 *	0.930	19.904 *	9.991 *	1.101	2.646 *
种子大小指数	2.675 *	5.082 *	54.444 *	1.757	28.545 *	9.677 *	1.104	9.204 *
种子出仁率	-	-	-	-	-	-	-	13.978 *
种仁含油率	-	-	-	-	-	-	-	12.644 *

注: * 表示在 0.05 水平上差异显著。

表 3 不同产地间无患子种实性状变异

产地	果实质量/g	果长/mm	果径 I/mm	果径 II/mm	果皮厚/mm	种子质量/g	种长/mm	种径 I/mm	种径 II/mm	果实大小指数	种子大小指数	种子出仁率/%	种仁含油率/%
浙江临安	4.00 ± 0.22b	21.22 ± 1.11a	23.35 ± 0.84a	16.65 ± 0.96cd	1.74 ± 0.27d	1.41 ± 0.15bc	11.80 ± 1.24cd	11.73 ± 1.23bc	10.54 ± 1.11c	8 283.35 ± 1 050.81b	1 502.92 ± 481.37bc	24.58 ± 3.08a	38.71 ± 3.66bc
福建武夷山	3.47 ± 0.27cd	18.08 ± 0.68c	20.38 ± 0.65c	17.84 ± 0.73bc	2.03 ± 0.15b	1.12 ± 0.09a	12.96 ± 0.39c	12.59 ± 0.44b	11.16 ± 0.36c	6 591.19 ± 662.09cd	1 823.47 ± 155.59b	21.16 ± 2.02b	39.02 ± 2.31abc
浙江遂昌	4.19 ± 0.62b	19.19 ± 1.31bc	21.55 ± 1.12b	18.34 ± 1.08b	1.99 ± 0.38bc	1.64 ± 0.30d	14.21 ± 1.04b	14.02 ± 1.01a	12.49 ± 1.01b	7 639.84 ± 1 276.53bc	2 522.14 ± 565.55a	22.81 ± 3.39ab	41.03 ± 2.31a
贵州榕江	3.97 ± 0.15b	18.02 ± 0.74c	18.92 ± 0.24d	17.85 ± 0.67bc	2.12 ± 0.10b	1.36 ± 0.08bc	11.59 ± 0.69de	11.33 ± 0.68cd	10.35 ± 0.61c	6 098.60 ± 519.95de	1 372.31 ± 229.97bc	22.30 ± 4.84ab	39.54 ± 2.90ab
安徽黄山	3.84 ± 0.99bc	20.84 ± 2.89a	22.18 ± 1.73b	17.71 ± 3.69bcd	1.79 ± 0.20cd	1.46 ± 0.43cd	12.00 ± 2.93cd	11.85 ± 2.89bc	10.60 ± 2.58c	8 560.04 ± 3 430.75b	1 765.70 ± 1 410.71b	24.53 ± 2.99a	36.84 ± 1.82cd
江西宜丰	3.17 ± 0.35d	16.53 ± 1.65d	18.71 ± 1.67d	16.28 ± 1.70d	1.92 ± 0.15bcd	1.22 ± 0.13ab	10.54 ± 1.13e	10.42 ± 1.11d	9.18 ± 0.98d	5 129.31 ± 1 387.20e	1 038.28 ± 324.44c	21.68 ± 1.24b	35.65 ± 1.68de
河南西峡	7.11 ± 0.25a	19.90 ± 0.51ab	22.09 ± 0.30b	24.47 ± 0.27a	2.84 ± 0.27a	1.89 ± 0.10e	16.09 ± 0.16a	12.06 ± 0.31bc	15.86 ± 0.28a	10 759.94 ± 425.47a	3 078.60 ± 139.02a	24.89 ± 1.56a	34.34 ± 1.89e

注:表中数值 = 平均值 ± 标准差。不同小写字母代表在 0.05 水平上差异显著。

从表 2、3 可知,无患子种实各性状在不同产地间均存在显著差异($p < 0.05$)。河南西峡产地果实质量、果径 II、果皮厚、种子质量、种长、种径 II、果实大小指数、种子大小指数分别为 7.11 g、24.47 mm、

2.84 mm、1.89 g、16.09 mm、15.86 mm、10 759.94 和 3 078.60,这些性状指标与其它产地间均差异显著,其它产地上述性状平均值分别为 3.77 g、17.44 mm、1.93 mm、1.37 g、12.18 mm、10.71 mm、

7 050.39、1 670.81。江西宜丰产地果实质量、果长、果径 I、种长、种径 I、种径 II、果实大小指数分别为 3.17 g、16.53 mm、18.71 mm、10.54 mm、10.42 mm、9.18 mm 和 5 129.31,与其它多数产地间差异显著。浙江临安产地果径 I 23.85 mm,明显高于其它产地的平均值 20.64 mm,差异显著。福建武夷山产地果径 I、种子质量分别为 20.38 mm、1.12 g,与其它产地间差异显著。浙江遂昌产地种长、种径 I、种径 II、种子大小指数、种子质量分别为 14.21 mm、14.02 mm、12.49 mm、2 522.14 和 1.64 g,与其它产地间差异显著。贵州榕江产地果径 I 18.92 mm,与

除江西宜丰外的其它产地间差异显著。安徽黄山产地绝大多数种实性状与除河南西峡外的其它产地间差异不显著。

通过计算各性状在不同产地内的变异系数(表 4)可知,除果皮厚、种子出仁率、种仁含油率 3 个性状外,河南西峡产地其余各性状在产地间的变异系数均最小,表明该产地无患子种实多数性状变异较小,相对稳定;而安徽黄山产地中,除果径 I、果皮厚、种子出仁率、种仁含油率 4 个性状外,其它性状变异系数在 7 个产地中均为最大,表明该产地无患子种实多数性状存在丰富变异。

表 4 不同产地内无患子种实性状变异系数

产地	变异系数/%												
	果实质量	果长	果径 I	果径 II	果皮厚	种子质量	种长	种径 I	种径 II	果实大小指数	种子大小指数	种子出仁率	种仁含油率
浙江临安	5.57	5.24	3.60	5.78	15.35	10.49	10.49	10.49	10.49	12.69	32.03	12.53	9.45
福建武夷山	7.74	3.75	3.17	4.10	7.42	8.02	3.04	3.46	3.25	10.05	8.53	9.57	5.92
浙江遂昌	14.72	6.83	5.22	5.87	19.09	18.13	7.35	7.18	8.05	16.71	22.42	14.88	5.63
贵州榕江	3.73	4.12	1.25	3.73	4.88	5.98	5.97	5.98	5.90	8.53	16.76	21.73	7.33
安徽黄山	25.75	13.89	7.79	20.82	11.35	29.57	24.42	24.39	24.36	40.08	79.90	12.20	4.95
江西宜丰	11.14	10.01	8.94	10.47	7.86	10.68	10.68	10.69	10.68	27.04	31.25	5.70	4.70
河南西峡	3.48	2.58	1.35	1.09	9.60	5.20	0.99	2.59	1.75	3.95	4.52	6.28	5.51

从表 5 可知,各性状中变异系数最大的是种子大小指数 47.44%,其次为果实质量 30.77% 和果实大小指数 30.27%,表明无患子种子大小、果实质量和果实大小在不同产地间变异明显,受产地因子影响较大。产地间各性状变异系数最小的是种仁含油率,仅为 8.48%,而种子质量和种子出仁率却具有相对较高的变异系数,分别为 22.16%、13.71%,说明无患子种仁含油率性状在各产地间变异相对较小,较为稳定,因此在进行高产油个体选择时,应将关注点更多地放在种子质量大、种子出仁率高的单株上。

2.2 无患子种实性状间的相关性

相关性分析(表 6)结果表明,果实大小指数、种子大小指数与果实质量、果皮厚、种子质量等性状间呈极显著正相关($p < 0.01$)。种子出仁率与果实质量、果实大小指数等性状间呈显著正相关($p < 0.05$),与种子大小指数相关性不显著,表明种子出仁率与果实大小相关性更强。种仁含油率与果实质量性状间呈极显著负相关,与果皮厚也呈极显著负

相关($p < 0.01$),表明无患子果实果皮较薄的类型更具有相对较高的种仁含油率。

表 5 不同产地间无患子种实性状变异系数

性状	极小值	极大值	均值	标准差	变异系数/%
果实质量/g	2.61	7.57	4.25	1.31	30.77
果长/mm	14.28	24.76	19.11	2.11	11.05
果径 I/mm	15.82	24.35	21.03	1.94	9.20
果径 II/mm	13.30	24.83	18.45	3.03	16.40
果皮厚/mm	1.36	3.56	2.06	0.41	19.78
种子质量/g	0.94	2.30	1.44	0.32	22.16
种长/mm	8.70	17.10	12.74	2.18	17.13
种径 I/mm	8.60	16.92	12.00	1.66	13.84
种径 II/mm	7.58	16.11	11.45	2.34	20.47
果实大小指数	3 405.69	13 798.90	7 580.32	2 294.76	30.27
种子大小指数	566.73	4 358.82	1 871.92	888.11	47.44
种子出仁率/%	14.69	31.38	23.13	3.17	13.71
种仁含油率/%	30.61	46.60	37.87	3.21	8.48

表 6 无患子种实性状间的相关关系

性状	果实质量	果皮厚	种子质量	种子出仁率	种仁含油率	果实大小指数	种子大小指数
果实质量	1	0.728 **	0.806 **	0.259 **	-0.310 **	0.814 **	0.760 **
果皮厚	0.728 **	1	0.374 **	0.084	-0.242 *	0.392 **	0.401 **
种子质量	0.806 **	0.374 **	1	0.300 *	-0.15	0.766 **	0.890 **
种子出仁率	0.259 *	0.084	0.300 *	1	0.179	0.286 *	0.201
种仁含油率	-0.310 **	-0.242 *	-0.15	0.179	1	-0.179	-0.071
果实大小指数	0.814 **	0.392 **	0.766 **	0.286 *	-0.179	1	0.757 **
种子大小指数	0.760 **	0.401 **	0.890 **	0.201	-0.071	0.757 **	1

注: * 表示显著相关($p < 0.05$), ** 表示极显著相关($p < 0.01$)。下同。

2.3 种实性状与产地地理气候因子的相关性

与不同产地的地理气候因子的相关分析(表 7)表明,果实大小指数、种子出仁率与产地纬度间具有显著正相关($p < 0.05$),即产地纬度越高,无患子果实相对越大,种子出仁率越高。果径 I、果实大小指数、种子出仁率等性状与产地年平均日照时数间呈

显著正相关($p < 0.05$),而与年平均气温呈显著负相关($p < 0.05$)。果实质量、果径 II、果皮厚、种子质量性状与年平均降水量呈显著负相关($p < 0.05$)。无患子种仁含油率性状与各地理气候因子间不存在显著相关关系。

表 7 无患子种实性状与地理气候因子的相关性

性状	地理气候因子					
	纬度	经度	海拔高度	年平均气温	年平均日照时数	年平均降水量
果实质量	0.751	-0.401	-0.370	-0.658	0.588	-0.873 *
果长	0.612	0.402	-0.630	-0.727	0.681	-0.325
果径 I	0.713	0.556	-0.734	-0.762 *	0.801 *	-0.248
果径 II	0.678	-0.429	-0.203	-0.558	0.508	-0.788 *
果皮厚	0.488	-0.620	-0.077	-0.322	0.270	-0.769 *
种子质量	0.708	-0.217	-0.412	-0.745	0.663	-0.809 *
种长	0.610	-0.093	-0.395	-0.499	0.542	-0.619
种径 I	0.075	0.433	-0.405	-0.085	0.218	-0.038
种径 II	0.690	-0.217	-0.389	-0.576	0.580	-0.732
果实大小指数	0.878 **	0.050	-0.517	-0.868 *	0.828 *	-0.655
种子大小指数	0.642	-0.034	-0.378	-0.570	0.605	-0.597
种子出仁率	0.802 *	0.080	-0.512	-0.907 **	0.793 *	-0.588
种仁含油率	-0.661	0.307	-0.260	0.572	-0.506	0.275

2.4 不同产地无患子种实性状的聚类分析

采用欧氏距离,以类平均法(UPGMA)为聚类方法,对测定的 7 个产地无患子种实的所有 13 个性状进行聚类分析,结果见图 1。以欧式距离 7.5 为阈值,7 个产地明显分为 3 类,河南西峡产地与其它产地间差异明显,单独归为一类,纬度相对较高的浙江临安、安徽黄山和浙江遂昌 3 个产地归为另一类,而纬度较低的贵州榕江、江西宜丰和福建武夷山 3 个产地归为第 3 类。

株间差异显著,表明产地内株间存在丰富的变异,在产地内进行单株选择是可行的。而在不同产地间无患子种实各性状均差异显著,其中河南西峡产地种实绝大多数性状指标与其它产地间均差异显著,表现为无患子果实和种子明显较大;安徽黄山产地种实绝大多数性状与除河南西峡外的其它产地间差异不显著,多数性状的变异系数在 7 个产地中均为最大,表明该产地无患子种实多数性状存在丰富变异,利于开展单株选择工作。

3 结论与讨论

研究显示,无患子种实性状在产地内单株间的变异程度不同,但多数性状在多数产地内的不同单

不同产地间无患子种实性状变异系数较大的是种子大小指数 47.44%,其次为果实质量 30.27%,说明无患子果实质量和种子大小在产地间变异明显,受产地因子影响较大。无患子种仁含油率在产

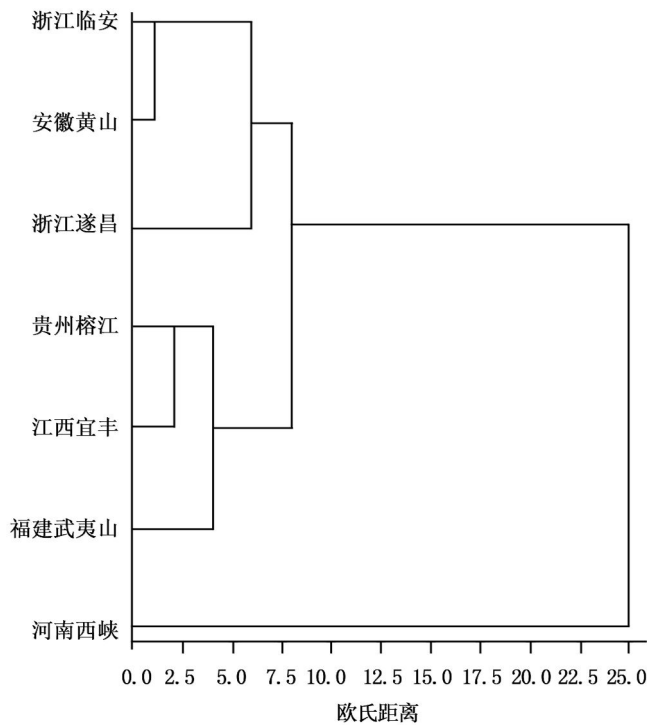


图1 7个产地无患子种实性状聚类结果

地间变异系数最小,仅为8.48%,表明该性状受产地因素影响较小,相对稳定,而种子出仁率、种子质量具有相对较高的变异系数,分别为13.71%和22.16%,因此可以通过选择较高的种子质量和种子出仁率来提高产油量。刘远等通过对麻疯树(*Jatropha curcas* L.)种子含油率与种子大小、粒质量的相关性分析也表明,在一定程度上可通过选择较大的种子来提高种子的粒质量和含油率,从而提高种子的产油量^[18]。

与不同产地地理气候因子的相关性分析表明,无患子果实大小指数、种子出仁率与产地纬度间具有显著正相关,即产地纬度越高,无患子果实相对越大,种子出仁率越高;而种仁含油率性状与各地理气候因子间不存在显著相关性。这与文冠果(*Xanthoceras sorbifolium* Bunge)种子含油率、黄连木(*Pistacia chinensis* Bunge)果实含油率的研究结果相似^[19-20]。影响种实含油率变异的因子较为复杂,环境异质性会导致群体的差异,而遗传因素差异可能是更重要的原因。聚类及相关性分析结果也表明,在一定程度上,无患子果实、种子大小有从低纬度产地向高纬度产地变大的变异趋势,而种子质量、种子出仁率性状又与种实大小呈显著正相关,因此无患子高产

油单株的选择应重点在较高纬度产地果实、种子较大的个体中进行。

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:第四十七卷第一分册[M]. 北京:科学出版社,1998
- [2] 黄素梅,王敬文,杜孟浩,等. 无患子的研究现状及其开发利用[J]. 林业科技开发,2009,23(6):1-5
- [3] 孙洁如,陈孔常,周鸣方,等. 无患子表面活性物及其复配体系的性质研究[J]. 日用化学工业,2002,32(4):16-18
- [4] Huang H C, Tsai W J, Liaw C C, et al. Anti-platelet aggregation triterpene saponins from the galls of *Sapindus mukorossi*[J]. Chem Pharm Bull,2007,55(9):1412-1415
- [5] Kuo Y H, Huang H C, Yang L M, et al. New dammarane-type saponins from the galls of *Sapindus mukorossi*[J]. J Agri Food Chem, 2005,53(12):4722-4727
- [6] 王维胜,龙子江,张玲,等. 无患子皂苷对肾性高血压大鼠血压及血管活性物质的影响[J]. 中国中药杂志,2007,32(16):1703-1705
- [7] 沈国军,金阳,张国良,等. 对无患子提取液洗涤性能的研究[J]. 中国园艺文摘,2009,25(1):47-48
- [8] 黄素梅,王敬文,杜孟浩,等. 无患子总皂苷的提取工艺研究[J]. 安徽农业科学,2010,38(1):354-356
- [9] 饶厚尊,桑成涛. 微波萃取法提取无患子皂苷工艺[J]. 辽宁石油大学学报,2006,26(4):70-72
- [10] 魏凤玉,解辉,余锦城,等. 超滤法分离提纯无患子皂苷[J]. 膜科学与技术,2008,28(2):85-88
- [11] 林文荣. 无患子开发利用前景[J]. 林业勘察设计,2007(2):118-120
- [12] 谢必武,张凤龙. 几种处理方法对无患子种子发芽的影响[J]. 种子,2007,26(5):74-75
- [13] 陈光蓉,殷家明,张风光,等. 无患子愈伤组织诱导的多因子正交试验研究[J]. 生物技术,2007,17(1):78-81
- [14] 张风光. 无患子组织培养研究[J]. 山地农业生物学报,2005,24(2):119-123
- [15] 邵文豪,姜景民,董汝湘,等. 不同产地无患子果皮皂苷含量的地理变异研究[J]. 植物研究,2012,32(5):627-631
- [16] 邵文豪,岳华峰,姜景民,等. 不同种源无患子苗期生长性状遗传变异研究[J]. 浙江林业科技,2012,32(1):21-25
- [17] 岳华峰. 无患子主要经济性状的地理变异研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2010
- [18] 刘远,刘波洋,陈丽,等. 麻疯树种子含油率与种子大小、粒重的相关性分析[J]. 种子,2011,30(3):50-56
- [19] 敖妍. 不同地区文冠果群体种子含油率·产量变异规律[J]. 安徽农业科学,2009,37(25):11967-11969
- [20] 吴志庄,鲜宏利,尚忠海,等. 黄连木天然群体果实含油率的地理变异[J]. 林业科学,2009,45(5):69-73