

榧树天然群体中种子表型特征与化学成分的变异分析

董雷鸣¹, 曾燕如¹, 邬玉芬², 黄银芝³, 武 栋¹, 戴文圣¹

(1. 浙江农林大学 亚热带森林培育国家重点实验室培育基地, 浙江 临安 311300; 2. 浙江省宁海林特技术推广总站, 浙江 宁海 315600; 3. 浙江省黄岩区头陀镇人民政府 农业办公室, 浙江 台州 318026)

摘要: 对安徽省黄山市天然榧树 *Torreya grandis* 群体内种子表型性状和化学成分的变异进行分析研究, 为优良榧树种质资源收集、品种选育及榧树遗传研究奠定基础。结果表明: ①种蒲质量、种蒲横径、种蒲纵径、种核横径、种核纵径、种核质量、种形指数、核形指数和出核率的变幅分别为 5.24~12.23 g, 1.963~3.018 cm, 2.255~3.685 cm, 1.438~2.270 cm, 2.009~3.208 cm, 2.30~5.19 g, 0.695~0.902, 0.555~0.823, 34.80%~66.49%; ②营养成分粗脂肪、淀粉和蛋白质的质量分数变幅分别为 232.96~425.54 g·kg⁻¹, 59.95~114.40 g·kg⁻¹ 和 153.22~231.85 g·kg⁻¹; 矿质元素磷、钾、钙、镁、铜、锌、锰和镉的变幅分别为 0.81~2.29 g·kg⁻¹, 23.90~53.72 g·kg⁻¹, 80.18~224.38 mg·kg⁻¹, 765.84~798.57 mg·kg⁻¹, 8.10~31.60 mg·kg⁻¹, 40.43~128.00 mg·kg⁻¹, 1.45~23.32 mg·kg⁻¹, 0.01~0.11 mg·kg⁻¹; 多数单株样品砷和铅呈现未检出状态; ③种蒲质量、种蒲横径、种蒲纵径、种核横径、种核纵径及种核质量两两之间极显著正相关($P<0.01$); 种蒲和种核的形状与质量的关系无规律; 种蒲质量与种形指数、种核质量与核形指数之间无明显的相关关系, 而种核质量与种形指数之间存在显著的负相关关系($P<0.05$); 出核率与种蒲横径、种蒲纵径、种核横径、种核纵径均存在极显著的负相关($P<0.01$), 与种核指数极显著正相关($P<0.01$), 与种形指数无显著的相关关系; 3 种营养成分质量分数之间不存在任何的相关关系, 除粗脂肪与种核质量间存在显著的负相关关系外($P<0.05$), 营养成分与种子表型性状及矿质元素间不存在相关关系。钾与镁、铜与磷、铜与锰的质量分数间均存在显著的正相关($P<0.01$); 锰的质量分数与种形指数和核形指数间呈极显著正相关($P<0.01$)。表 3 参 15

关键词: 经济林学; 榧树; 种子表型; 化学成分; 变异分析; 天然群体

中图分类号: S722.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2014)02-0224-07

Variations in phenotypic traits and chemical compositions of seeds from a natural population in *Torreya grandis*

DONG Leiming¹, ZENG Yanru¹, WU Yufen², HUANG Yinzhì³, WU Dong¹, DAI Wensheng¹

(1. The Nurturing Station for the State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Ninghai Forest Technological Extension Station, Ninghai 315600, Zhejiang, China; 3. Agricultural Office, People's Government of Toutuo Town, Huangyan District, Taizhou 318026, Zhejiang, China)

Abstract: Variations in phenotypic traits and chemical compositions of *Torreya grandis* seeds sampled from a natural population located in Xiaorong Village of Chengkan Town, Huangshan City, Anhui Province were analyzed with a view to laying a foundation for elite germplasm collection, selection and breeding of new cultivars, and genetic studies. Results showed as follows: (1) For seeds with and without aril, their weight, transverse diameter, vertical diameter shape index and the weight percentage of seeds with aril to those without aril ranged from 5.24–12.23 g, 2.30–5.19 g, 1.963–3.018 cm, 1.438–2.270 cm, 2.255–3.685 cm, 2.009–3.208 cm, 0.695–0.902, 0.555–0.823 and 34.80%–66.49%, respectively. (2) The fat, starch and protein contents changed from

收稿日期: 2013-05-14; 修回日期: 2013-05-27

基金项目: 浙江省科技计划项目(2008C22003, 2012C12904-12); 浙江农林大学研究生科研创新基金资助项目(31220113240135); 浙江省宁波市科技计划项目(2011Y16)

作者简介: 董雷鸣, 从事经济林培育与利用研究。E-mail: dongleiming2008@126.com。通信作者: 曾燕如, 教授, 博士, 从事经济林培育与利用研究。E-mail: yrzeng@zafu.edu.com

232.96 to 425.54 g·kg⁻¹, 59.95–114.40 g·kg⁻¹, and 153.22–231.85 g·kg⁻¹, respectively. The content of P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn and Cd varied from 0.81 to 2.29 g·kg⁻¹, 23.90–53.72 g·kg⁻¹, 80.18–224.38 mg·kg⁻¹, 765.84–798.57 mg·kg⁻¹, 8.10–31.60 mg·kg⁻¹, 40.43–128.00 mg·kg⁻¹, 1.45–23.32 mg·kg⁻¹, and 0.01–0.11 mg·kg⁻¹, respectively. *As* and *Pb* were not detectable in most of samples. And (3) The weight, transverse diameter, and vertical diameter of seeds with and without aril had a most significantly positive linear correlation between each other ($P < 0.01$), but the relationship between the seed shape and weight of both seeds with or without aril was irregular. There was no significant correlation between weight and shape index of seeds with and without aril. But weight of seeds without aril was negatively correlated with shape index of seeds with aril at a significant level ($P < 0.05$). The weight percentage of seeds with aril to those without aril was most significantly in negative correlation with transverse and vertical diameter of seeds with and without aril and positively correlated with shape index of seeds without aril at a most significant level, but not correlated with shape index of seeds with aril. There was no significant correlation between 3 nutritive ingredients, which had no correlation with both phenotypic traits of seeds and chemical composition, either, except the significantly negative correlation between fat percentage and weight of seeds without aril. There was a significant positive correlation between K and Mg, Cu and P as well as Cu and Mn contents. The Mn content was positively correlated with shape index of seeds with and without aril at a most significant level.[Ch, 3 tab. 15 ref.]

Key words: cash forestry; *Torreya grandis*; seed phenotype; chemical composition; variation analysis; natural population

榧树 *Torreya grandis* 隶属于红豆杉科 Taxaceae 榧属 *Torreya*, 是中国特有的珍稀树种, 自然分布于中国江苏南部、浙江、福建北部、江西北部、安徽南部, 南至湖南西南部及贵州松桃等中亚热带和北亚热带地区^[1-2]。但是榧树资源分布不均, 浙江省最多, 安徽省黄山市也有较多分布^[3]。榧树种子是经济价值很高的坚果, 可以榨油、食用或入药; 种仁含有丰富的油脂、蛋白质、矿物元素及特殊的维生素^[4], 其脂肪酸的主要组成以亚油酸和油酸为主, 其中不饱和脂肪酸占到脂肪酸总量的 79% 以上^[5]。榧树多雌雄异株, 异花授粉, 不同单株之间基因交流的几率很大, 加上分布范围广, 分布区地理环境差异大, 使得天然群体内有较高的遗传多样性, 种内性状变异十分复杂^[6-8]。沈登锋等^[9]的研究发现, 天然林里的榧树种子不仅大小差异大, 且存在性状特别或良好的种质, 不乏一些综合性状优良、品质达到或超过香榧的单株种质^[3,9], 这些种质是优良品种选育的基础材料。迄今为止, 榧树种下仅香榧 *T. grandis* ‘Merrilli’ 1 个栽培类型, 还有很大的育种潜力。因此, 榧树资源天然的遗传变异是开展榧树育种工作的基础, 但尚无对天然群体内种子理化性质变异开展系统研究的报道。本研究以安徽省黄山市天然榧树群体为研究对象, 评估天然群体中雌株种子表型及营养成分与部分矿质元素含量的变异, 结果可为优良单株的选育、榧树遗传变异研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 榧树天然林概况 榧树天然林位于安徽省黄山市徽州区呈坎镇小容村(29°57'N, 118°14'E)。该地属亚热带季风性湿润气候, 年最高气温为 40.0 °C, 年最低气温为 -10.0 °C, 年平均气温 16.0 °C, 年平均降水量 1 450.0 mm。夏季气温稍低, 而冬季气温稍高, 日照稍短。全年无霜期 240 d。该地分布有大量百年以上的野生榧树, 适合开展榧树资源评价和优株选育工作。

1.1.2 样品采集 2010 年 10 月榧树种子成熟时节随机选择 50 株彼此至少相距 50 m 生长健壮、正常结实的雌株, 分别编号、定位(GPS, eTrex Vista, Garmin), 并在树干喷涂油漆。采集种子不少于 100 粒·株⁻¹, 用于种实性状分析。由于榧树的经济价值及经济产量主要体现在种实品质上, 因此, 在样品采集过程中注意与当地农户进行交流, 收集农户认为比较好的单株种质。

1.2 方法

1.2.1 种子表型性状的测定 从每棵树采集的种子中随机取 30 粒, 用电子数显卡尺(中国上海量具刃具

厂)及电子天平(PB1502-L, 瑞士)测定带假种皮种蒲的纵径、横径、质量及去除假种皮后种核的纵径、横径、质量, 并计算种形指数(种蒲横径/种蒲纵径)、核形指数(种核横径/种核纵径)及出核率[(种核质量/种蒲质量)×100%]。

1.2.2 种子营养成分与矿质元素质量分数的测定 表型性状测定后, 将种子洗净晾干装入封口袋。取 20 粒·样⁻¹, 去种壳后放入烘箱 105 ℃干燥 2 h, 然后用粉碎机(DFY-400, 温岭市林大机械有限公司)粉碎, 并混合均匀, 按编号装入封口袋待用。粗脂肪质量分数按照 GB/T 5512-2008 索氏抽提法进行测定; 采用蒽酮比色法和紫外分光光度计(UV-2550, 日本)测定种子的淀粉质量分数; 利用定氮仪(FOSS Kjeltec 2300, 瑞典)及凯氏定氮法^[10]测定种子的蛋白质质量分数。采用火焰原子吸收法在原子吸收光谱仪(ICE3000 SERIES, 美国)上测定钾(K), 钙(Ca), 镁(Mg), 铜(Cu), 锌(Zn), 锰(Mn)6 种矿质元素的质量分数; 采用等离子体质谱法在等离子体质谱仪(XSERIES2 ICP-MS, 美国)上测定砷(As), 镉(Cd), 铅(Pb)3 种矿质元素; 磷(P)元素在紫外分光光度计(UV-2550, 日本)上采用钼锑抗比色法单独测定。所有处理重复测定 3 次。

1.2.3 数据处理 种子各化学成分实验测得的数据计算参照武栋^[11]的描述。用统计软件 SPSS 13.0 对种蒲和种核表型性状, 以及种子各化学成分数据分析结果进行统计性描述, 并两两进行相关分析。

2 结果与分析

2.1 榧树种子表型性状和化学成分的变异

2.1.1 种蒲和种核大小的变异 榧树种蒲样品中单粒质量最大值为 12.23 g, 最小值为 5.24 g, 平均质量 8.96 g。种蒲质量的变异系数最高, 为 20.1%(表 1), 说明天然群体中种蒲大小存在一定变异。种核质量的变幅为 2.30~5.19 g, 变异系数为 16.8%(表 1)。种蒲横径最大值为 3.018 cm, 最小 1.963 cm, 均值为 2.368 cm; 种蒲纵径的变幅为 2.255~3.685 cm, 平均 2.931 cm。种核横径变幅为 1.438~2.270 cm, 平均 1.762 cm; 种核纵径变幅为 2.009~3.208 cm, 平均 2.507 cm。以上 4 个指标的变异系数相近, 分别为 10.3%, 10.5%, 10.2%和 10.5%(表 1)。

表 1 榧树种子表型性状的描述性统计值

Table 1 Phenotypic values of seed traits in *Torreya grandis*

项目	种蒲质量/g	种蒲横径/cm	种蒲纵径/cm	种核横径/cm	种核纵径/cm	种核质量/g	种形指数	核形指数	出核率/%	粗脂肪/(g·kg ⁻¹)	淀粉/(g·kg ⁻¹)	蛋白质/(g·kg ⁻¹)
极小值	5.24	1.936	2.255	1.438	2.009	2.300	0.695	0.555	34.80	232.96	59.95	153.22
极大值	12.23	3.018	3.685	2.270	3.208	5.190	0.902	0.823	66.49	425.54	114.40	231.85
均值	8.96	2.368	2.931	1.762	2.507	3.95	0.811	0.707	45.15	337.25	85.60	174.81
标准差	1.80	0.244	0.308	0.181	0.263	0.66	0.052	0.054	6.92	44.35	14.15	14.49
变异系数/%	20.10	10.30	10.50	10.20	10.50	16.80	6.40	7.60	15.30	13.20	16.50	8.30

2.1.2 种蒲和种核形状的变异 种形指数和核型指数数值范围为 0~1, 能够反映榧树种蒲和种核的形状变化。值越接近于 0, 表明种蒲或种核越细长, 反之则越接近于球形。种蒲样品多呈椭球形或球形, 去除假种皮的种核则一端较为圆润, 另一端渐尖, 测量数据也证实了这些现象: 种形指数变幅范围为 0.695~0.902, 平均 0.811; 核形指数最大值为 0.823, 最小为 0.555, 平均 0.707; 变异系数则分别为 7.6%和 15.3%(表 1)。

2.1.3 出核率的变异 榧树种子一般食用(如果品质好的话)或用作培育嫁接香榧的砧木, 因此出核率是衡量榧树产量的一个重要指标, 也是重要的经济性状之一。样品中最高出核率为 66.49%, 最低 34.80%, 平均为 45.15%, 变异系数为 15.3%(表 1)。

2.1.4 营养成分的变异 从表 2 中可知, 本研究中样品粗脂肪质量分数变幅为 232.96~425.54 g·kg⁻¹, 平均值为 337.25 g·kg⁻¹, 远低于香榧的平均值 578.20 g·kg⁻¹; 淀粉质量分数变幅为 59.95~114.40 g·kg⁻¹, 平均值为 85.60 g·kg⁻¹, 高于香榧的 53.20 g·kg⁻¹; 蛋白质质量分数平均 174.81 g·kg⁻¹, 高于香榧的 140.2 g·kg⁻¹,

变幅为 153.22~231.85 g·kg⁻¹(表 2)。蛋白质变异最小, 变异系数为 8.3%, 粗脂肪和淀粉质量分数的变异系数分别为 13.2%和 16.5%。

表 2 榧树种子化学成分的描述性统计值

Table 2 Statistically descriptive values of seed chemical compositions in *Torreya grandis*

项目	磷/ (g·kg ⁻¹)	钾/ (g·kg ⁻¹)	钙/ (mg·kg ⁻¹)	镁/ (mg·kg ⁻¹)	铜/ (mg·kg ⁻¹)	锌/ (mg·kg ⁻¹)	锰/ (mg·kg ⁻¹)	砷/ (mg·kg ⁻¹)	镉/ (mg·kg ⁻¹)	铅/ (mg·kg ⁻¹)
极小值	0.81	23.90	80.18	765.84	8.10	40.43	1.45	-0.03	0.01	-0.37
极大值	2.29	53.72	224.38	798.57	31.60	128.00	23.32	0.11	0.11	0.05
均值	1.37	40.98	139.76	779.57	20.89	69.50	9.69	0.00	0.04	-0.19
标准差	0.31	5.55	29.29	7.44	5.30	16.59	4.85	0.02	0.02	0.11
变异系数/%	22.86	13.54	20.96	0.95	25.36	23.87	50.05		47.60	

2.1.5 矿质元素的变异 部分矿质元素(如锌)是对人身体有益的元素, 而过量有害元素(如砷、镉、铅)的摄入则是有害的。本研究中, 磷质量分数的变幅为 0.81~2.29 g·kg⁻¹, 平均为 1.37 g·kg⁻¹; 钾元素的变幅为 23.90~53.72 g·kg⁻¹, 平均为 40.98 g·kg⁻¹; 钙的变幅为 80.18~224.38 mg·kg⁻¹, 平均为 139.76 mg·kg⁻¹; 镁元素的平均质量分数为 779.57 mg·kg⁻¹, 变幅为 765.84~798.57 mg·kg⁻¹; 铜的变幅为 8.10~31.60 mg·kg⁻¹, 平均为 20.89 mg·kg⁻¹; 锌的变幅为 40.43~128.00 mg·kg⁻¹, 平均为 69.50 mg·kg⁻¹; 锰的变幅为 1.45~23.32 mg·kg⁻¹, 平均为 9.69 mg·kg⁻¹。50 份样品中分别有 21 份和 49 份砷和铅的质量分数低于检出限, 最大值分别为 0.11 mg·kg⁻¹, 0.05 mg·kg⁻¹; 镉的变幅为 0.01~0.11 mg·kg⁻¹, 平均为 0.04 mg·kg⁻¹。各元素变异程度不一, 镁的变异系数仅为 0.95%; 锰的变异系数最大, 为 50.05%; 其他几种的变异系数为 13.54%~25.36%。

2.2 种子表型性状与化学成分的相关性

相关分析发现, 种蒲质量、种蒲横径、种蒲纵径、种核横径、种核纵径及种核质量两两之间极显著正相关($P<0.01$), Pearson 相关系数均 >0.5 ; 由于种形指数、种核指数和出核率由前 6 个原初指标计算得来, 分别与相应的分子呈极显著的正相关, 与分母则呈极显著的负相关关系($P<0.01$); 种蒲和种核的形状与质量的关系无规律; 种蒲质量与种形指数、种核质量与种核指数之间无明显的相关关系, 而种核质量与种形指数之间存在显著的负相关关系($P<0.05$); 出核率与种蒲横径、种蒲纵径、种核横径、种核纵径均存在极显著的负相关, 与核形指数极显著正相关($P<0.01$), 与种形指数无显著的相关关系(表 3)。

3 种营养成分之间不存在任何的相关关系。除含油率与种核质量间存在显著的负相关关系外, 营养成分与种子表型性状及矿质元素间不存在相关关系。钾与镁、铜与磷、铜与锰间均存在显著的正相关($P<0.05$); 锰元素与种形指数和核形指数极显著正相关($P<0.01$)(表 3)。

3 讨论

3.1 榧树种子表型性状的变异

生物的变异和多样性是开展育种工作的前提。榧树的分布范围广, 分布区内有极为丰富的变异。种子是榧树主要的经济产出, 榧树分布区当地百姓根据种子的外形将榧树分为不同的变异类型, 如花生榧、米榧、芝麻榧、象牙榧、圆榧等^[9]。本研究较为系统地研究了安徽省黄山市 1 个天然榧树群体内种子表形性状和化学成分, 结果表明: 种子表型性状存在一定变异, 除了种蒲和种核质量的变异较大(变异系数分别为 20.1%和 16.8%), 其余指标如横纵经、种形指数和核形指数都较小, 这些性状的变异均小于黎章矩等^[12]在多个天然群体中采集的不同个体种子样品表型性状的变异, 他们统计的榧树种蒲质量最大为 18.49 g, 最小为 4.63 g, 变异系数为 35.15%, 这可能与群体内不同个体间存在较大的遗传差异有关。

3.2 榧树种子化学成分的变异

营养成分粗脂肪、淀粉和蛋白质质量分数的变异以淀粉最高, 为 16.5%; 粗脂肪次之, 为 13.2%;

表 3 种子表型性状与化学成分间的相关系数
Table 3 Correlation coefficients for the correlation between seed phenotypic traits and nutrient contents

	种蒲质量	种蒲横径	种蒲纵径	种子横径	种子纵径	种子质量	果形指数	核形指数	出核率	蛋白质	淀粉	含油率	磷	钾	钙	镁	铜	锌	锰
种蒲横径	0.705**																		
种蒲纵径	0.758**	0.787**																	
种子横径	0.435**	0.794**	0.616**																
种子纵径	0.583**	0.661**	0.893**	0.669**															
种子重量	0.801**	0.404**	0.522**	0.386**	0.482**														
果形指数	-0.129	0.251	-0.397**	0.219	-0.423**	-0.204													
核形指数	-0.221	0.081	-0.415**	0.330*	-0.476**	-0.131	0.788**												
出核率	-0.546**	-0.626**	-0.579**	-0.180	-0.335*	0.042	-0.022	0.243											
蛋白质	0.030	0.001	0.066	0.034	-0.019	0.035	-0.091	0.063	0.032										
淀粉	0.072	0.076	0.172	0.048	0.140	0.070	-0.158	-0.133	-0.072	0.015									
含油率	-0.194	0.026	-0.052	-0.078	-0.115	-0.349*	0.108	0.051	-0.171	0.061	-0.241								
磷	-0.075	-0.094	0.006	-0.004	0.099	-0.034	-0.159	-0.131	0.098	0.075	0.037	-0.127							
钾	0.082	-0.026	0.059	0.044	0.159	0.245	-0.132	-0.135	0.198	0.083	-0.220	-0.064	-0.27						
钙	-0.088	-0.078	-0.060	0.071	0.012	0.033	0.001	0.092	0.196	-0.094	0.120	-0.162	0.013	-0.044					
镁	0.168	0.214	0.241	0.109	0.223	0.191	-0.071	-0.163	-0.066	0.178	-0.001	0.120	-0.005	0.352*	-0.184				
铜	0.114	0.083	0.231	0.193	0.238	0.161	-0.242	-0.064	0.054	0.075	-0.023	0.182	0.287*	-0.069	-0.045	-0.029			
锌	0.042	0.209	0.130	0.129	0.074	-0.093	0.112	0.066	-0.185	0.249	-0.035	0.031	0.103	-0.131	0.103	0.052	0.081		
锰	0.092	0.079	-0.158	0.070	-0.236	0.096	0.378**	0.387**	0.006	0.154	0.026	-0.096	-0.037	-0.005	0.196	0.017	-0.291*	-0.023	
镉	-0.049	0.116	0.007	0.162	-0.008	-0.162	0.182	0.204	-0.165	-0.215	0.004	-0.011	-0.087	-0.078	-0.203	-0.161	-0.054	0.135	-0.077

说明：* 表示 0.05 水平显著相关，** 表示 0.01 水平相关极显著。

蛋白质最小, 仅 8.3%, 与前人^[12]的研究结果相一致。香榧的风味及口感要优于普通的榧籽, 主要依赖于其较高的含油率和较低的淀粉质量分数, 所以实生榧树种子品质的好坏也取决于脂肪、淀粉和蛋白质的高低^[12]。从含油率的测定结果看, 该区域内的榧树普遍较低, 而淀粉和蛋白质却高于香榧, 说明品质近于或高于香榧的个体极少。目前, 榧树产地一些居民食用一些风味较好的榧籽, 一般的榧籽则出售用于砧木的繁育, 榧籽的开发利用相对比较落后, 建议开展榧树多目标选育, 充分开发利用榧籽中的天然成分。

矿质元素的变异系数差别较大, 镁元素的仅为 0.95%, 而锰元素却高达 50.05%, 可能与小地形的土壤成分有关。砷、镉、铅 3 种对人体有害元素的含量绝大部分均远小于香榧^[13]及以基于植物源的进口保健品如人参、绿藻、银杏、茶类、大豆磷脂及其他中草药类^[14], 多数单株呈现未检出状态, 说明该区榧树的生长环境优异, 较少受到污染, 而香榧林人工集约经营的程度高, 人工施肥及使用化学药品可能是导致香榧中这些元素含量高的因素。

3.3 种子表型性状与化学成分的相关性

相关分析的结果表明: 多个种子表型性状两两之间极显著正相关。种子的形状与质量的关系无规律, 说明种子质量不随种子长短胖瘦的变化而变化。出核率是描述产量的一个重要指标, 它与种蒲的纵横径均存在极显著的负相关($P < 0.01$), 与种核指数极显著正相关($P < 0.01$), 与种形指数无显著的相关关系, 说明种蒲越大, 出核率越低, 而去除假种皮的种核越接近球形的种子出核率越高, 结合种核的质量, 可以直接预测每株树大致的种核产量。已有研究表明, 种核形状细长的往往品质较好, 即可食性较强^[3], 但本研究结果表明, 除含油率与种核质量间存在显著的负相关关系外, 其他营养成分指标与种子表型形状间无相关关系, 不能证明种核形状与品质之间存在关联。含油率与种核质量负相关表明种核单位质量越大, 其含油率越低, 相应的品质也就较差, 这与程晓建等^[3]的报道一致, 该结果可以用于筛选优良种质。此外我们的研究发现, 种子越大, 所形成的苗木生长越快^[13], 那么可以选择相应的母本通过嫁接方式营建种子园, 生产的种子可以为香榧提供优良砧木。部分矿质元素如钾与镁、铜与磷、铜与锰的质量分数间均存在显著的正相关($P < 0.05$), 表明这些元素在榧树种子代谢过程中存在一定的依存关系。锰元素与种形指数和核形指数极显著正相关($P < 0.01$), 说明外形细长的种子中锰元素质量分数显著高于偏圆的种子, 那么在育种中可以选择合适的亲本来提高锰元素的质量分数。

总体上看, 该群体中种子的表型性状和营养成分的变异程度不是特别大。曾用 SRAP 标记对该群体雌性榧树进行遗传多样性分析, 结果表明: Nei's 基因多样性指数 H 和 Shannon 信息指数 I 分别为 0.166 6 和 0.262 3^[15], 也表明变异程度不是特别高。母本对其半同胞种子的影响如何有待进一步研究。另外, 在香榧产业大发展之前, 许多地方的农民不了解榧树雌雄异株的特性, 砍伐了许多不结果的雄株, 以致于目前许多地方雄株花粉不足, 需从异地采集花粉进行人工授粉。雄株的减少对群体内变异的变化也起着一定的作用。此外, 如果仅仅以含油率作为衡量优株的唯一指标, 那么满足这个要求的个体数很少。然而榧树的育种工作需要从多个方面展开, 如产量、抗性, 尤其是用于香榧嫁接的优良砧木的选育, 包括优良雄株的选育, 以充分利用现有的且越来越少的天然种质资源。

参考文献:

- [1] 郑万钧, 傅立国. 中国植物志: 第 7 卷[M]. 北京: 科学出版社, 1978: 459.
- [2] 程晓建, 黎章矩, 喻卫武, 等. 榧树的资源分布与生态习性[J]. 浙江林学院学报, 2007, 24(4): 383 – 388.
CHENG Xiaojian, LI Zhangju, YU Weiwu, et al. Distribution and ecological characteristics of *Torreya grandis* in China [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2007, 24(4): 383 – 388.
- [3] 程晓建, 黎章矩, 戴文圣, 等. 榧树种质资源调查与评价[J]. 果树学报, 2009, 26(5): 654 – 658.
CHENG Xiaojian, LI Zhangju, DAI Wensheng, et al. Investigation and evaluation of *Torreya grandis* germplasm resource [J]. *J Fruit Sci*, 2009, 26(5): 654 – 658.
- [4] 黎章矩, 骆成方, 程晓建, 等. 香榧种子成分分析及营养评价[J]. 浙江林学院学报, 2005, 26(5): 540 – 544.
LI Zhangju, LUO Chengfang, CHENG Xiaojian, et al. Component analysis and nutrition evaluation of seeds of *Torreya grandis* 'Merrillii' [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2005, 26(5): 540 – 544.
- [5] 陈振德, 郑汉臣, 傅秋华, 等. 国产榧属植物种子油含量及其脂肪酸测定[J]. 中国中药杂志, 1998, 23(8):

456 – 457.

CHEN Zhende, ZHENG Hanchen, FU Qiuhua, *et al.* Determination of oil contents and fatty acids in seeds of *Torreya* Arn. in China [J]. *China J Chin Materia Med*, 1998, **23**(8): 456 – 457.

- [6] 闵会. 浙江省香榧天然群体的遗传多样性研究[D]. 临安: 浙江农林大学, 2009.

MIN Hui. *Genetic Diversity and Germplasm Resources Conservation of Different Torreya grandis* Fort ex Lindl. [D]. Lin'an: Zhejiang A & F University, 2009.

- [7] 李扬, 姚小华, 王开良, 等. 野生香榧种实性状变异研究[J]. 浙江林业科技, 2009, **29**(3): 35 – 38.

LI Yang, YAO Xiaohua, WANG Kailiang, *et al.* Variation and correlativity analysis of fruit characters of wild *Torreya grandis* 'Merrillii' [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2009, **29**(3): 35 – 38.

- [8] 董雷鸣, 沈登锋, 喻卫武, 等. 榧树雄株若干性状变异初探[J]. 浙江农林大学学报, 2012, **29**(5): 715 – 721.

DONG Leiming, SHEN Dengfeng, YU Weiwu, *et al.* Trait variations of male *Torreya grandis* trees [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2012, **29**(5): 715 – 721.

- [9] 沈登锋, 曾燕如, 喻卫武, 等. 榧树种质资源的收集与种子理化性质的初步分析[J]. 浙江农林大学学报, 2011, **28**(5): 747 – 752.

SHEN Dengfeng, ZENG Yanru, YU Weiwu, *et al.* Collection of *Torreya grandis* germplasm and analysis of seeds' physico-chemical characteristics [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2011, **28**(5): 747 – 752.

- [10] 黄晓荣, 曹承富, 杜世州, 等. 全自动定氮仪测定小麦籽粒蛋白质[J]. 安徽农业科学, 2009, **37**(19): 8823 – 8824.

HUANG Xiaorong, CAO Chengfu, DU Shizhou, *et al.* Determination on protein in wheat grains by fully automatic azotometer [J]. *J Anhui Agri Sci*, 2009, **37**(19): 8823 – 8824.

- [11] 武栋. 安徽徽州榧树种群内种子理化性质的分析 [D]. 临安: 浙江农林大学, 2012.

WU Dong. *Analysis of Physico-chemical Properties of the Seeds From a Natural Torreya population in Huizhou, Anhui* [D]. Lin'an: Zhejiang A & F University, 2012.

- [12] 黎章矩, 戴文圣. 中国香榧[M]. 北京: 科学出版社, 2007.

- [13] 戴文圣, 黎章矩, 曹福亮, 等. 香榧林地土壤及其种子矿物元素含量分析[J]. 浙江林业科技, 2006, **26**(2): 14 – 18.

DAI Wensheng, LI Zhangju, CAO Fuliang, *et al.* Mineral elements in *Torreya grandis* 'Merrillii' seeds and their forestland soils [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2006, **26**(2): 14 – 18.

- [14] 王永芳, 赵馨, 韩宏伟. 进口保健食品中铅含量监测与评价[J]. 中国食品卫生杂志, 1999, **11**(5): 25 – 26.

WANG Yongfang, ZHAO Xin, HAN Hongwei. Monitoring and evaluation of lead in imported health food [J]. *Chin J Food Hygi*, 1999, **11**(5): 25 – 26.

- [15] 董雷鸣. 榧树群体遗传结构及与苗期生长性状关联的 SRAP 标记分析[D]. 临安: 浙江农林大学, 2013.

DONG Leiming. *Population Genetic Structure and Association Analysis of Juvenile Growth Traits Using SRAP Markers in Torreya grandis* [D]. Lin'an: Zhejiang A & F University, 2013.