

山核桃果实主要经济性状和养分含量的差异分析

季琳琳¹, 陈素传^{1*}, 吴志辉², 常 君³, 陶汝鹏², 周米生¹, 蔡新玲¹

(1. 安徽省林业科学研究院, 安徽 合肥 230031; 2. 宁国市林业局, 安徽 宁国 242300;

3. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400)

摘要:【目的】对22个山核桃优株果实的主要经济性状和主要营养成分含量进行比较, 筛选出优良的山核桃优株, 为山核桃良种选育与开发利用提供理论依据。【方法】以安徽宁国和大别山地区22株山核桃优株果实为实验材料, 研究其7个主要经济性状和6个主要营养成分含量的差异性, 并进行聚类分析。【结果】22个优株青果的单果质量、坚果鲜质量、坚果干质量、干仁单仁质量、鲜出籽率、干出籽率、干出仁率差异均达到极显著水平, 胡乐1号青果单果质量最高, 而金寨18号坚果干质量最大; 22个优株种仁粗脂肪、蛋白质、主要脂肪酸含量均表现出极显著统计学意义。相关性分析表明, 青果单果质量与坚果鲜质量、坚果干质量、干仁单仁质量及干出仁率呈极显著正相关; 粗脂肪含量与油酸含量呈极显著正相关, 与亚油酸含量呈显著负相关。主成分分析可知, 影响山核桃果实品质的主要性状是坚果鲜质量、坚果干质量和油酸含量, 集中反映了果实的经济性状和种仁的品质特征。通过聚类分析将22个优株分为5类: 胡乐1号、果子园1号、果子园3号3个优株单独各聚为一类, 其余的宁国山核桃优株为一类, 大别山山核桃优株为一类。【结论】从分类学看, 安徽宁国地区山核桃和大别山地区山核桃之间存在差异。坚果鲜质量、坚果干质量和油酸含量是山核桃优良品种筛选的重要指标; 两地山核桃的主要经济性状和营养成分含量差异显著, 遗传资源丰富, 应深入研究和利用。

关键词: 山核桃; 大别山山核桃; 优株; 经济性状; 营养成分; 聚类分析

中图分类号: S722

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1000-2006(2022)01-0131-07



Variation and cluster analysis on the main economic characters and nutrients of fruit from *Carya cathayensis* and *C. dabieshanensis* fine trees

Ji Linlin¹, CHEN Suchuan^{1*}, WU Zhihui², CHANG Jun³, TAO Rupeng²,
ZHOU Misheng¹, CAI Xinling¹

(1. Anhui Academy of Forestry, Hefei 230031, China; 2. Forestry Bureau of Ningguo City, Ningguo 242300, China;

3. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, China)

Abstract: 【Objective】In this study, the main economic characteristics and contents of the main nutrients of fruit from 22 fine trees of *Carya cathayensis* were compared and a correlation analysis was made on the above indicators in order to provide a scientific basis of purposeful fine seed breeding as well as its development and utilization. 【Method】Seven main economic characteristics and the contents of six main nutrients of fruit from 22 fine trees of *C. cathayensis* were compared and analyzed and a correlation analysis was made on the above indicators. 【Result】There were highly significant differences in the fresh fruit masses, the nut masses, the dry nut masses, the dry masses, the fresh seed rate, the dry seed rate and the dry kernel rate. Of all these fine trees, there were highly significant differences in the contents of crude fat, protein and the main fatty acid. According to the results of correlation analysis, the fresh fruit masses had an extremely significant positive correlation with the nut masses, the dry nut masses, the dry masses and the dry kernel rate. The contents of the crude fat had a significant positive correlation with the oleic acid content and a significant

收稿日期 Received: 2020-12-02

修回日期 Accepted: 2021-06-02

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFD1001603)。

第一作者: 季琳琳(xum1984@163.com), 副研究员。* 通信作者: 陈素传(Chengsuch@yeah.net), 研究员。

引文格式: 季琳琳, 陈素传, 吴志辉, 等. 山核桃果实主要经济性状和养分含量的差异分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2021, 46(1): 131-137. JI L L, CHEN S C, WU Z H, et al. Variation and cluster analysis on the main economic characters and nutrients of fruit from *Carya cathayensis* and *C. dabieshanensis* fine trees[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2021, 46(1): 131-137. DOI: 10.12302/j.issn.1000-2006.202012044.

negative correlation with the linoleic acid. The result of the principal component analysis demonstrates the nut masses, the dry nut masses and the oleic acid content. Based on the results of cluster analysis, the 22 fine trees were divided into five groups including Hule No. 1 tree, Guoziyuan No. 1 tree and Guoziyuan No. 3 tree, which were individually clustered into one type; other excellent samples of *C. cathayensis* and *C. dabieshanensis* were also classified as one type.

【Conclusion】The nut mass, dry nut mass and oleic acid content were very important for providing a scientific basis for fine seed breeding as genetic resources were very abundant in all these fine trees and there were highly significant differences in their economic characteristics and nutrients as well as their development and utilization. According to the results of cluster analysis, there are differences between *C. cathayensis* from Ningguo City and *C. dabieshanensis* from Dabieshan Mountain.

Keywords: *Carya cathayensis*; *C. dabieshanensis*; fine trees; economic characters; nutrients; cluster analysis

山核桃(*Carya cathayensis*)和大别山山核桃(*C. dabieshanensis*)属胡桃科(Juglandaceae)山核桃属(*Carya*)植物,主要栽培范围集中在天目山山脉、黄山余脉及大别山山区,主产区在浙江的西部、安徽的南部及西部、湖北的东部等地^[1-4]。山核桃作为我国重要的干果和木本油料树种,具有较高的经济价值和生态价值。山核桃仁中含有不饱和脂肪酸等物质,具有降低胆固醇、疏通血管及健脑等作用,目前畅销市场的手剥山核桃及山核桃仁制品深受百姓青睐;山核桃含油率较高,其不饱和脂肪酸含量超过油茶4倍,可作为高档的食用油开发资源^[5-10]。目前,关于山核桃的研究主要是种群表型、脂肪酸组成、果实营养品质及繁殖栽培技术等方面;张深梅等^[11]发现大别山山核桃表型变异主要来自种群间;王正加等^[12]利用RAPD分子标记了大别山山核桃3个天然群体,研究发现其种群内具有较丰富的遗传多样性;常君等^[13]选取11个山核桃无性系对其果实性状及营养成分分析,认为可从果用和食用油利用方向开展无性系选育。笔者通过对从安徽宁国市筛选的13个山核桃优株及金寨县复选9个大别山山核桃优株的果实进行主要经济性状和营养成分含量差异的研究,旨在初步筛选出研究区优良的山核桃优株,为山核桃良种选育与开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

宁国市位于安徽东南部(118°36′~119°24′E, 30°16′~30°47′N),为皖南山地丘陵区,属北亚热带湿润季风气候区,是我国山核桃主产区之一。该区气候温和,雨量充沛,四季分明,年均气温15.4℃,年均日照1 889 h以上,年均降雨量1 590 mm,无霜期226 d,气候、土壤等条件非常适宜山核桃生长,其中南极、万家等镇(乡)以低山、中山为主,属天目山山脉,土壤主要由花岗岩、闪长岩、花岗斑岩

发育而成,并有少部分石灰岩;甲路、胡乐等镇(乡)属黄山余脉,土壤主要由泥质岩、硅质砂岩发育而成,pH 5.5~6.5。

金寨县位于皖西地区、大别山腹地(115°22′~116°11′E, 31°06′~31°48′N),属亚热带季风气候区,四季分明,雨量充沛,年均气温15.1℃,年均日照1 750 h,年均降雨量1 300 mm,无霜期220 d。大别山山核桃主要分布于金寨县关庙、果子园、天堂寨及燕子河等十几个乡镇海拔500 m以上的阴坡和半阴坡,600~800 m地区较集中,为天然次生林。土壤主要由花岗岩、石灰岩、板岩发育而成,pH 5.5~6.5。

1.2 供试材料

共选取宁国市南极、万家、甲路、胡乐等镇(乡)决选出的13株优株,金寨县关庙和果子园等乡镇9株优株。每年果实成熟时,在优株向阳面中部树冠采收青果5 kg进行果实经济性状测定,连续测定3 a。

1.3 指标测定及数据处理

经济性状指标包括青果单果质量、坚果鲜质量、坚果干质量、干仁单仁质量、鲜出籽率、干出籽率、干出仁率等7个,营养成分指标包括粗脂肪、蛋白质、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸等6个。青果、坚果、干果、干仁质量测定:每年各优株随机选取30个山核桃青果,用游标卡尺测量其纵径、横径,用电子天平称其质量;剥去青果果蒲,测其坚果大小(纵径、横径)和质量;将坚果风干,测干果质量;敲开山核桃干果,测其干仁质量。鲜出籽率=坚果质量/青果质量×100%;干出籽率=干果质量/青果质量×100%;干出仁率=干仁质量/干果质量×100%。以上各指标测算后均取平均值。粗脂肪含量测定参照GB/T 14772—2008《食品中粗脂肪的测定》,蛋白质含量测定参照GB 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》。

所测指标数据均为3年平均值。相关数据使

用 Excel 2007、DPS、SPSS 16.0 进行方差分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析^[14-15]。

2 结果与分析

2.1 山核桃优株果实经济性状差异分析

供试山核桃优株果实经济性状的比较结果见表 1。由表 1 可知,22 个山核桃优株青果单果质量变化幅度为 12.59~21.08 g,其中胡乐 1 号青果单

果质量最高,甲路 1 号青果单果质量最低,前者是后者的 1.67 倍;坚果干质量变化幅度为 3.19~5.41 g,金寨 18 号坚果干质量最大,甲路 2 号坚果干质量最小,两者相差 2.22 g。方差分析表明,22 个山核桃优株的青果单果质量、坚果鲜质量差异均达到极显著水平,从果实的表型性状看,金寨大别山山核桃优株的果实性状优于宁国山核桃优株果实性状。

表 1 山核桃优株果实主要经济性状的方差分析与多重比较

Table 1 Variance analysis and multiple comparison on the main economic characters of fruit among *Carya cathayensis* and *C. dabieshanensis* fine trees

优株 fine trees	青果单果质量/g single fruit mass	坚果鲜质量/g single nut mass	坚果干质量/g single dried mass	干仁单仁质量/g single dry kernel mass	鲜出籽率/% fresh seed yield rate	干出籽率/% dry seed yield rate	干出仁率/% rate of dried kernel
南极 1 号 Nanji1	13.61±2.10 HIJ	4.40±0.52 HI	3.35±0.40 G	1.48±0.33 F	32.98±3.32 GH	25.18±2.62 GH	41.95±7.30 DE
南极 2 号 Nanji2	15.03±0.90 FG	4.46±0.39 H	3.41±0.32 G	1.54±0.31 EF	30.14±1.76 I	23.02±1.68 I	43.80±7.50 BCDE
南极 3 号 Nanji3	13.63±1.03 HIJ	4.52±0.45 H	3.43±0.32 FG	1.56±0.25 EF	34.04±2.88 G	25.91±2.05 G	43.72±6.81 BCDE
南极 14 号 Nanji14	13.31±1.27 IJ	4.35±0.33 HI	3.38±0.27 G	1.58±0.20 EF	33.21±3.10 GH	25.90±3.01 G	46.51±5.40 ABC
南极 15 号 Nanji15	13.34±1.09 IJ	4.40±0.48 HI	3.30±0.42 G	1.43±0.40 FG	33.86±2.34 GH	25.40±2.05 G	41.23±9.75 EF
甲路 1 号 Jialu1	12.59±1.51 GH	4.34±0.47 I	3.20±0.43 G	1.11±0.31 GH	35.98±3.06 J	26.88±3.63 I	32.60±7.43 F
甲路 2 号 Jialu2	14.60±2.04 J	4.06±0.69 HI	3.19±0.36 G	1.22±0.30 H	27.92±2.94 F	22.46±3.77 FG	37.45±7.22 G
万家 2 号 Wanjia2	17.46±1.01 BC	5.33±0.44 E	3.97±0.32 E	1.93±0.27 CD	30.77±1.88 I	22.91±1.73 I	47.59±5.24 ABC
胡乐 1 号 Hule1	21.08±1.62 A	6.35±0.58 D	4.56±0.46 D	1.99±0.45 C	30.30±2.25 I	21.91±1.84 IJ	41.76±8.30 DEF
胡乐 2 号 Hule2	18.36±1.40 B	4.96±0.51 EFG	3.72±0.43 EF	1.68±0.35 DEF	27.43±2.28 J	20.55±1.95 J	43.77±5.84 BCDE
云梯 1 号 Yunti1	16.66±1.18 CDE	4.66±0.41 FGH	3.72±0.42 EF	1.66±0.40 EF	28.06±2.08 J	23.38±2.94 HI	43.22±7.17 CDE
云梯 2 号 Yunti2	13.53±1.24 HIJ	4.61±0.55 GH	3.49±0.42 FG	1.50±0.34 F	32.01±2.56 HI	26.16±2.03 FG	41.33±7.16 EF
仙霞 2 号 Xianxia2	16.66±0.92 CDE	5.01±0.33 EF	3.80±0.27 E	1.79±0.25 CDE	30.68±1.43 I	23.25±1.13 I	46.64±4.71 ABC
果子园 1 号 Guoziyuan1	17.63±1.26 BC	6.80±0.80 C	5.12± 0.59 ABC	2.34±0.31 B	40.85±3.77 DE	30.83±3.23 E	44.96±7.35 ABCDE
果子园 3 号 Guoziyuan3	20.60±1.66 A	7.53±0.87 A	5.37± 0.65 A	2.62± 0.31A	39.01±3.36 E	27.74±3.61 F	46.56±8.53 ABC
金寨 15 号 Jinzhai15	16.17±4.30 DE	6.93±0.83 BC	5.16± 0.56 AB	2.47± 0.20 AB	45.27±4.63 B	33.41±2.45 CD	46.87±4.14 ABC
金寨 16 号 Jinzhai16	15.85±1.84 DEF	6.80±0.74 C	4.84± 0.54 CD	2.34± 0.25 B	43.39±3.81 BC	30.73±2.48 E	46.13±5.83 ABCD
金寨 18 号 Jinzhai18	16.94 ±1.58 CD	7.23±0.73 AB	5.41± 0.63 A	2.64±0.33 A	42.76±2.55 C	31.94±2.41 DE	48.63±3.57 A
金寨 19 号 Jinzhai19	13.94± 1.19 GHI	6.58±0.48 CD	4.86± 0.43 BCD	2.44± 0.20 AB	47.69±2.27 A	35.18±2.41 BC	49.13±5.55 A
金寨 61 号 Jinzhai61	14.16 ±1.51 GHI	6.87±0.35 BC	4.99± 0.56 BC	2.44± 0.40 AB	48.41±1.99 A	35.34±1.93 B	47.85±5.85 AB
金寨 62 号 Jinzhai62	15.78±1.35 EF	6.65±0.67 CD	4.82± 0.47 CD	2.30± 0.45 B	42.23±2.42 CD	30.58±1.91 E	46.01±5.92 ABCD
金寨 63 号 Jinzhai63	13.97±1.49 GHI	6.63±0.68 CD	5.12± 0.55 ABC	2.41± 0.30 AB	48.84±3.22 A	38.34±5.24 A	45.88±7.35 ABCD
F	58.809 **	125.692 **	94.795 **	46.464 **	191.623 **	101.898 **	9.949 **

注:同列后不同大写字母表示优株间差异极显著;F 值中,* 为差异显著(P<0.05),** 为差异极显著(P<0.01)。下同。Different lowercase letters mean significant difference among fine trees.* means the difference was significant(P<0.05),** means the difference was extremely significant (P<0.01). The same below.

从表 1 还可知,22 个山核桃优株坚果鲜质量变化幅度为 4.06~7.53 g,其中果子园 3 号坚果鲜质量最大,甲路 2 号坚果鲜质量最小,前者高出后者 85.46%;干仁单仁质量变化幅度 1.11~2.64 g,果子园 3 号干仁单仁质量最大,甲路 1 号干仁单仁质量最小,前者是后者的 2.36 倍。方差分析结果同时表明,22 个山核桃优株的坚果鲜质量、干仁单仁质量均差异极显著,其中果子园 3 号坚果鲜质量和干仁单仁质量最大。

22 个山核桃优株鲜出籽率变化幅度 27.43%~48.84%,干出籽率变化幅度 20.55%~38.34%,干出仁率变化幅度 32.60%~49.13%,22 个山核桃优株的果实鲜出籽率、干出籽率、干出仁率均差异极显

著,其中金寨 63 号鲜出籽率和干出籽率最高,金寨 19 号干出仁率最高。

2.2 山核桃优株种仁主要养分含量的比较

山核桃种仁品质主要与粗脂肪、蛋白质、主要脂肪酸含量密切相关^[16]。22 个山核桃优株种仁粗脂肪、蛋白质、主要脂肪酸含量的测定分析结果表明(表 2):不同优株种仁的粗脂肪、蛋白质、主要脂肪酸含量均存在极显著差异,种仁粗脂肪含量最高的是果子园 3 号,超过总体均值 2.42%,最低的是甲路 1 号,为总体均值的 94.35%;金寨 16 号蛋白质含量最高,超过总体均值 11.76%,果子园 1 号蛋白质含量最低,仅是总体均值的 84.81%。主要脂肪酸组成中,油酸、亚油酸是脂肪酸的重要组成

部分,对粗脂肪中不饱和脂肪酸含量起到关键作用,22 个山核桃优株中,油酸含量最高的是果子园 3 号,超过总体均值的 12.96%,最低的是甲路 1 号,比总体均值低 9.19%;亚油酸含量最高的为甲路 1 号,比总体均值高出 44.61%,最低是果子园 3 号,较总体均值低 49.05%;亚麻酸含量最高的是万家 2 号,超过总体均值 110.70%,最低的是金寨 15 号和金寨 18 号,较总体均值低 25.13%;硬脂酸含量最高为南极 15 号、甲路 1 号,比均值高 20.30%,金寨 15 号硬脂酸含量较总体均值低 27.41%。

表 2 山核桃优株种仁主要营养成分含量的方差分析及多重比较

优株 fine trees	粗脂肪含量/ (mg·g ⁻¹) crude fatcontent	蛋白质含量/ (mg·g ⁻¹) protein content	粗脂肪中主要组分质量占比/% main fatty acid content in crude fat			
			硬脂酸 stearic acid	油酸 oleic acid	亚油酸 linoleic acid	亚麻酸 linolenic acid
南极 1 号 Nanji1	67.93±1.25 A	7.95±0.27 CDE	1.94±0.19 CDE	68.80±1.90 FGH	22.20±2.90 CDE	0.408±0.006 CD
南极 2 号 Nanji2	65.57±0.75 ABCDE	7.68±0.17 EFG	2.14±0.09 ABC	69.00±1.00 EFGH	21.00±1.40 EF	0.337±0.006 JKL
南极 3 号 Nanji3	67.40±0.90 ABC	7.78±0.04 DEFG	2.04±0.12 BCD	72.23±0.95A	19.13±1.25FG	0.375±0.007EFG
南极 14 号 Nanji14	65.43±1.35 ABCDE	8.38±0.06 AB	2.16±0.11 ABC	69.50±1.90 C	21.43±1.15 DEF	0.330±0.005 KL
南极 15 号 Nanji15	65.07±0.85 BCDE	8.06±0.08 CD	2.37±0.12 A	69.10±0.70 CD	21.00±1.40 EF	0.338±0.006 JKL
甲路 1 号 Jialu1	62.00±1.20 F	6.74±0.05 IJ	2.37±0.07 A	63.40±0.80 I	26.00±0.80 A	0.372±0.010 FGH
甲路 2 号 Jialu2	66.20±0.90 ABCD	6.48±0.06 JK	2.36±0.07 A	69.87±1.35 CDEFG	20.00±1.60 EFG	0.348±0.008 IJK
万家 2 号 Wanjia2	66.13±0.95 ABCD	8.12±0.07 BC	2.29±0.03 A	71.23±0.95 CDEF	19.53±0.65 FG	0.788±0.004 A
胡乐 1 号 Hule1	67.40±1.20 ABC	6.79±0.05 I	1.70±0.06 FGH	72.90±1.60 CD	16.77±1.15 H	0.327±0.009 L
胡乐 2 号 Hule2	65.93±1.15 ABCDE	7.84±0.09 DEF	1.81±0.12 DEF	73.13±2.05 C	18.20±0.80 GH	0.338±0.011 JKL
云梯 1 号 Yunti1	66.20±1.40 ABCD	7.87±0.11 CDEF	2.30±0.10 A	66.20±0.90 HI	24.00±1.00 ABC	0.289±0.014 M
云梯 2 号 Yunti2	64.70±1.10 CDEF	8.38±0.19 AB	2.31±0.15 A	64.53±1.15 I	25.40±0.80 AB	0.335±0.013 JKL
仙霞 2 号 Xianxia2	64.83±1.75 BCDE	8.37±0.07 AB	2.17±0.09 ABC	66.77±1.95 GHI	23.43±1.25 BCD	0.335±0.012 JKL
果子园 1 Guoziyuan1	67.53±0.65 AB	6.42±0.20 K	1.97±0.18 CDE	81.00±0.40 AB	10.40±0.17 JK	0.503±0.021 B
果子园 3 Guoziyuan3	68.13±0.95 A	6.68±0.12 IJK	2.26±0.08 AB	82.00±0.50 A	9.16±0.23 K	0.410±0.010 C
金寨 15 号 Jinzhai15	66.27±1.55 ABC	7.76±0.18 EFG	1.43±0.09 I	80.27±2.05 AB	11.40±0.10 IJK	0.280±0.010 M
金寨 16 号 Jinzhai16	63.43±2.35 DEF	8.46±0.09 A	1.67±0.12 FGHI	69.80±2.70 CDEFG	20.03±0.15 EFG	0.360±0.010 GHI
金寨 18 号 Jinzhai18	66.13±0.95 ABCD	7.22±0.11 H	1.48±0.08 HI	78.57±1.65 B	12.60±0.10 IJ	0.280±0.010 M
金寨 19 号 Jinzhai19	65.77±1.65 ABCDE	7.52±0.14 G	1.54±0.15 GHI	77.63±1.95 B	13.60±0.10 I	0.353±0.015 HIJ
金寨 61 号 Jinzhai61	63.33±1.35 EF	7.82±0.17 DEF	1.73±0.09 EFG	71.87±1.95 CDEF	18.20±0.10 GH	0.350±0.010 IJK
金寨 62 号 Jinzhai62	64.77±1.15 BCDEF	7.60±0.11 FG	1.62±0.10 FGHI	79.03±2.25 AB	11.70±0.20 IJ	0.390±0.010 DE
金寨 63 号 Jinzhai63	65.53±1.15 ABCDE	6.64±0.14 IJK	1.74±0.07 EFG	80.20±0.60 AB	10.40±0.10 JK	0.387±0.015 EF
F	4.390 **	81.002 **	26.811 **	39.478 **	74.113 **	459.754 **

2.3 山核桃优株果实主要经济性状和种仁主要营养成分含量的相关性分析

2.3.1 果实主要经济性状的相关性

山核桃优株果实主要经济性状相关性分析结

果见表 3。

由表 3 可知:山核桃果实主要经济性状间几乎都达到极显著正相关,其中青果单果质量与坚果鲜质量、坚果干质量、干仁单仁质量及干出仁率呈极

表 3 山核桃优株果实主要经济性状的相关性分析

指标 index	SFM	SNM	SDNM	SDKM	FSYR	DSYR	RDK
SFM	1.000						
SNM	0.558 **	1.000					
SDNM	0.587 **	0.964 **	1.000				
SDKM	0.477 **	0.916 **	0.939 **	1.000			
FSYR	-0.108	0.688 **	0.650 **	0.662 **	1.0000		
DSYR	-0.151	0.620 **	0.617 **	0.638 **	0.973 **	1.000	
RDK	0.438 **	0.647 **	0.694 **	0.776 **	0.572 **	0.571 **	1.000

注:SFM.青果单果质量 single fruit mass;SNM.坚果鲜质量 single nut mass;SDNM.坚果干质量 single dry nut mass;SDKM.干仁单仁质量 single dry kernel mass;FSYR.鲜出籽率 fresh seed yield rate;DSYR.干出籽率 dry seed yield rate;RDK.干出仁率 rate of dried kernet。

显著 ($P<0.01$) 正相关,与鲜出籽率、干出籽率呈负相关且相关性均不显著;坚果鲜质量与坚果干质量、干仁单仁质量、鲜出籽率、干出籽率、干出仁率均呈极显著正相关;干果单仁质量与干仁单仁质量、鲜出籽率、干出籽率、干出仁率呈极显著正相关;干仁单仁质量与鲜出籽率、干出籽率、干出仁率均呈极显著正相关;鲜出籽率与干出籽率、干出仁率均呈极显著正相关;干出籽率与干出仁率呈极显著正相关。

2.3.2 种仁主要营养成分间的相关性

山核桃种仁主要营养成分含量的相关性分析

表 4 山核桃优株种仁主要营养成分含量的相关性分析

Table 4 Correlation analysis on the main nutrient contents of kernel from *C. cathayensis* and *C. dabieshanensis* fine trees

营养成分 nutrient content	粗脂肪 crude fat	蛋白质 protein	硬脂酸 stearic acid	油酸 oleic acid	亚油酸 linoleic acid	亚麻酸 linolenic acid
粗脂肪 crude fat	1.000					
蛋白质 protein	-0.200	1.000				
硬脂酸 stearic acid	0.052	0.065	1.000			
油酸 oleic acid	0.461 **	-0.441 **	-0.550 **	1.000		
亚油酸 linoleic acid	-0.286 *	0.520 **	0.619 **	-0.933 **	1.000	
亚麻酸 linolenic acid	0.147	-0.021	0.250 *	0.099	-0.073	1.000

结果见表 4。由表 4 可知:粗脂肪含量与油酸含量呈极显著正相关;与亚油酸含量呈显著负相关,与硬脂酸、亚麻酸含量呈正相关,与蛋白质含量呈负相关,但相关性不显著。蛋白质含量与油酸含量呈极显著负相关,与亚油酸含量呈极显著正相关;其他营养成分含量相关性不显著。硬脂酸含量与油酸含量呈极显著负相关,与亚油酸含量呈极显著正相关,与亚麻酸含量呈显著正相关。油酸含量与亚油酸含量呈极显著负相关,与亚麻酸含量呈正相关,但相关性不显著。亚油酸含量与亚麻酸呈负相关。

2.3.3 山核桃主要经济性状主成分分析

以供试的 22 个山核桃优株为样本,将果实主要经济性状与种仁主要营养成分含量指标作变量进行主成分分析,结果见表 5。

表 5 山核桃优株果实品质影响因子的主成分分析

Table 5 Principal component analysis of influencing factors on the fruits quality of *C. cathayensis* and *C. dabieshanensis* fine trees

指标 index	主成分 PC		
	1	2	3
青果单果质量 single fruit mass	0.307	-0.742	-0.104
坚果鲜质量 single nut mass	0.949	-0.019	-0.083
坚果干质量 single dry nut mass	0.932	-0.181	0.033
干仁单仁质量 single dry kernel mass	0.874	0.153	0.162
鲜出籽率 fresh seed yield rate	0.691	0.617	0.004
干出籽率 dry seed yield rate	0.694	0.613	0.081
干出仁率 rate of dried kernel	0.411	0.486	0.477
粗脂肪 crude fat	0.243	-0.692	0.292
蛋白质 protein	-0.339	0.608	0.176
硬脂酸 stearic acid	-0.673	-0.175	0.408
油酸 oleic acid	0.890	-0.309	0.033
亚油酸 linoleic acid	-0.902	0.274	0.064
亚麻酸 linolenic acid	-0.029	-0.259	0.858
特征根 latent root	5.981	2.718	1.308
贡献率/% contribution rate	46.055	20.907	10.031

由表 5 可知,3 个主成分的贡献率分别为 46.055%、20.907%、10.031%,累积贡献率达 76.993%。在第 1 主成分上荷载量较大的因子由大至小依次是坚果鲜质量、坚果干质量和油酸,集中反映了果实的经济性状指标;在第 2 主成分上荷载量较大的因子由大至小依次是鲜出籽率、干出籽率和蛋白质,集中反映了果实的经济性状指标;在第 3 主成分上荷载量较大的因子由大至小依次是亚麻酸、干出仁率和硬脂酸,集中反映了种仁主要营养成分含量。主成分分析结果显示,影响山核桃果实品质的主要性状是坚果鲜质量、坚果干质量和油酸含量。

2.3.4 山核桃优株聚类分析

以山核桃果实主要经济性状与种仁主要营养成分含量为指标,对 22 个山核桃优系进行聚类分析,结果见图 1。如图 1 所示,可将供试的 22 个优系分为 5 类:第 1 类为宁国的南极 1 号、南极 2 号、南极 3 号、南极 14 号、南极 15 号、甲路大树王、甲路 1 号、万家 2 号、胡乐 2 号、云梯 1 号、云梯 2 号、仙霞 2 号;第 2 类为胡乐 1 号;第 3 类为果子园 1 号;第 4 类为果子园 3 号;第 5 类为金寨 15 号、金寨 16 号金寨 18 号、金寨 19 号、金寨 61 号、金寨 62

号、金寨63号。宁国山核桃主要为人工林,从聚类分析可以看出其表型较少,其中的胡乐1号变异较大,单独聚为一类,与宁国其他山核桃优株表型差异较大,其坚果鲜质量最大,比单果鲜质量最小的甲路2号高56.40%,但与金寨系列未聚在一起,说明宁国山核桃与金寨山核桃之间存在差异。金寨山核桃为天然种群,优株的表型多样性非常丰富,两个乡镇的山核桃优株可分为3类,果子园1号和果子园3号均单独聚为一类,其余关庙镇聚为一类。

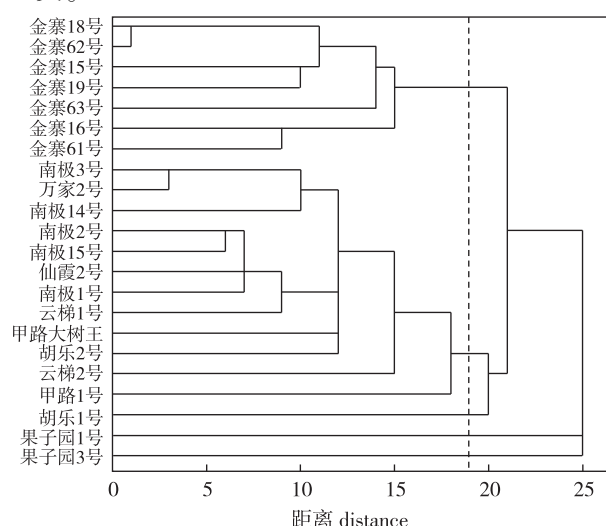


图1 22个山核桃优株聚类图

Fig.1 The cluster dendrogram of *C. cathayensis* and *C. dabieshanensis* fine trees

3 讨论

植物物种遗传多样性或变异越丰富,就越有利于群体进化,适应能力也就越强^[17]。22株山核桃优株果实主要经济性状测定分析结果表明,优株青果单果质量、坚果鲜质量、坚果干质量、干仁单仁质量、果实鲜出籽率、干出籽率、干出仁率差异均达到极显著水平,生产中建议将胡乐1号、金寨18号作为手剥型大果商品株培育,并逐步加以开发利用,以满足消费者的需求。

山核桃种仁中营养成分含量较高的是脂肪,其次是蛋白质,山核桃优株脂肪酸中油酸和亚油酸相对含量约占90%,蛋白具有一定的抗氧化性。22个山核桃优株种仁粗脂肪、蛋白质、主要脂肪酸含量均达到极显著差异,果子园3号种仁粗脂肪、油酸含量均最高,超过总体均值2.42%、12.96%;金寨16号蛋白质含量最高,超过总体均值11.76%;亚油酸含量最高的为甲路1号,超过总体均值达

44.61%;亚麻酸含量最高的是万家2号,超过总体均值110.70%;硬脂酸含量最高为南极15号、甲路1号,比均值高20.30%。杜洋文等^[1]研究表明,大别山山区18株山核桃优树种仁含油率变幅为48.6%~70.3%,变异系数达到7.83%,脂肪酸中变异最大的为亚油酸(21.23%),其次为亚麻酸(12.93%),其中饱和脂肪酸变异低于不饱和脂肪酸。脂肪酸中的油酸、亚油酸等不饱和脂肪酸是细胞膜的重要成分,山核桃较高含量的不饱和脂肪酸,具有降低血脂、预防心血管疾病等功能^[7,18-20]。目前山核桃多为天然实生繁殖群体,脂肪酸含量受基因及环境等多方面因素的影响^[21-26],不同的优株间具有不同的基因型,优株间脂肪酸含量差异较大,可为油用良种的选择提供丰富的遗传资源。

22个山核桃优株果实主要经济性状与种仁主要营养成分含量相关性分析结果表明,青果单果质量与干仁单仁质量及干出仁率呈极显著正相关,鲜出籽率与干出籽率、干出仁率均呈极显著正相关。山核桃为优良的经济树种,林中选育优系时,可以通过单果质量、鲜出籽率指标做出初步判断。粗脂肪含量与油酸含量呈极显著正相关(相关系数为0.461),与亚油酸含量呈显著负相关(相关系数为-0.286),说明粗脂肪含量越高则油酸含量越高、亚油酸含量越低。将22个山核桃优株果实主要经济性状与种仁主要营养成分含量指标作变量进行主成分分析可知,第1主成分为46.055%,在第1主成分上荷载量较大的因子由大至小依次是坚果鲜质量、坚果干质量和油酸,集中反映了果实的经济性状指标,根据上述研究结果,在山核桃优良品种的筛选过程中,可以将坚果鲜质量、坚果干质量和油酸作为重要的选优指标。

对22个山核桃优系进行聚类分析结果表明,胡乐1号、果子园1号、果子园3号3个优株单独聚为一类,其他宁国山核桃为一类,金寨大别山山核桃为一类。胡乐1号大果型与宁国其他山核桃优株表型差异较大,但与金寨的大果型未聚在一起,说明宁国山核桃与金寨大别山山核桃之间存在差异。胡乐1号变异较大,需进行更深入的研究。刘茂春等^[27]在金寨县燕子河镇调查时发现大别山山核桃是不同于山核桃的新种;Huang等^[28]通过基因组测序表明大别山山核桃与山核桃的亲缘关系最近,本次聚类结果与前人研究结论一致。金寨大别山山核桃为天然种群,同一乡镇的山核桃优株被聚为不同类,可见大别山区山核桃遗传资源的丰富性,还需深入研究并加以利用。

参考文献(reference):

- [1] 杜洋文,邓先珍,周席华,等.不同大别山山核桃优树含油率与脂肪酸组分含量分析[J].西南林业大学学报,2019,39(3):124-131.DU Y W, DENG X Z, ZHOU X H, et al. Oil content and fatty acid composition of superior *Carya dabieshanensis* trees in Dabieshan[J]. J Southwest For Univ, 2019, 39(3): 124-131. DOI: 10.11929/j.swfu.201809060.
- [2] 许治平,程元兵,刘声喜.宁国市发展创汇林业的前景与对策[J].林业科技开发,2001,15(3):54-56. [J]. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8101.2001.03.026.
- [3] 姚小华.山核桃高效栽培技术[M].北京:金盾出版社,2012. YAO X H. Highly effective cultivation technology of *Carya cathayensis*[M]. Beijing: Golden Shield Press, 2012.
- [4] 王静,吕芳德.我国山核桃属植物研究进展[J].经济林研究,2012,30(1):138-142. WANG J, LÜ F D. Advances in research on *Carya* Nutt. in China[J]. Econ For Res, 2012, 30(1): 138-142. DOI: 10.14067/j.cnki.1003-8981.2012.01.022.
- [5] 姚小华,毛明振,常维霞,等.模拟薄壳山核桃自然散粉对浙江山核桃实生林果实直感效应的研究[J].江西农业大学学报,2016,38(3):403-411. YAO X H, MAO M Z, CHANG W X, et al. A study of the fruit Xenia effect of pecan pollination on hickory seedling forest by simulating natural pollination condition[J]. Acta Agric Univ Jiangxiensis, 2016, 38(3): 403-411. DOI: 10.13836/j.jjau.2016058.
- [6] 章亭洲.山核桃的营养、生物学特性及开发利用现状[J].食品与发酵工业,2006,32(4):90-93. ZHANG T Z. The nutrition, biological characteristics and development and utilization of *Carya cathayensis*[J]. Food Ferment Ind, 2006, 32(4): 90-93. DOI: 10.3321/j.issn.0253-990X.2006.04.025.
- [7] 刘力,龚宁,夏国华,等.山核桃种仁蛋白质及氨基酸成分含量的变异分析[J].林业科学研究,2006,19(3):376-378. LIU L, GONG N, XIA G H, et al. Analysis on the protein and amino acids contents in hickory (*Carya cathayensis* Sarg.) kernel and their variations[J]. For Res, 2006, 19(3): 376-378. DOI: 10.3321/j.issn.1001-1498.2006.03.021.
- [8] 程晓建,黄坚钦,郑炳松,等.山核桃研究进展[J].浙江林业科技,2002,22(3):19-23,42. CHENG X J, HUANG J Q, ZHENG B S, et al. Advances in study of *Carya cathayensis*[J]. J Zhejiang For Sci Technol, 2002, 22(3): 19-23, 42. DOI: 10.3969/j.issn.1001-3776.2002.03.004.
- [9] 傅松玲,丁之恩,周根土,等.安徽山核桃适生条件及丰产栽培研究[J].经济林研究,2003,21(2):1-4. FU S L, DING Z E, ZHOU G T, et al. The suitable condition and cultivation technique of *Carya cathayensis*[J]. Econ For Res, 2003, 21(2): 1-4. DOI: 10.3969/j.issn.1003-8981.2003.02.001.
- [10] 裴东,鲁新政.中国核桃种质资源[M].北京:中国林业出版社,2011. PEI D, LU X Z. Walnut germplasm resources in China[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2011.
- [11] 张深梅,奚建伟,洪俊彦,等.大别山山核桃果实与叶片性状的表型多样性研究[J].林业科学研究,2020,33(1):152-161. ZHANG S M, XI J W, HONG J Y, et al. A study on phenotypic diversity of fruit and leaf traits in *Carya dabieshanensis*[J]. For Res, 2020, 33(1): 152-161. DOI: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2020.01.020.
- [12] 王正加,黄有军,郭传友,等.大别山山核桃种群遗传多样性研究[J].植物生态学报,2006,30(3):534-538. WANG Z J, HUANG Y J, GUO C Y, et al. RAPD analysis on genetic diversity of *Carya dabieshanensis* populations[J]. J Plant Ecol, 2006, 30(3): 534-538.
- [13] 常君,任华东,姚小华,等.山核桃不同无性系果实性状及营养成分分析[J].林业科学研究,2017,30(1):166-173. CHANG J, REN H D, YAO X H, et al. Nut fruit characteristics and nutrients of *Carya cathayensis* clones[J]. For Res, 2017, 30(1): 166-173. DOI: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2017.01.023.
- [14] 崔党群. Logistic 曲线方程的解析与拟合优度测验[J].数理统计与管理,2005,24(1):112-115. CUI D Q. Analysis and making good fitting degree test for logistic curve regression equation[J]. Appl Stat Manag, 2005, 24(1): 112-115. DOI: 10.13860/j.cnki.sltj.2005.01.020.
- [15] 吕振通,张凌云.SPSS 统计分析与应用[M].北京:机械工业出版社,2011. LYU Z T, ZHANG L Y. SPSS statistical analysis and application[M]. Beijing: China Machine Press, 2009.
- [16] 俞春莲,王正加,夏国华,等.10个不同品种的薄壳山核桃脂肪含量及脂肪酸组成分析[J].浙江农林大学学报,2013,30(5):714-718. YU C L, WANG Z J, XIA G H, et al. Fat content and fatty acid composition of ten *Carya illinoensis* cultivars[J]. J Zhejiang A&F Univ, 2013, 30(5): 714-718.
- [17] 高乐旋,陈家宽,杨继.表型可塑性变异的生态-发育机制及其进化意义[J].植物分类学报,2008,46(4):441-451. GAO L X, CHEN J K, YANG J. Phenotypic plasticity: Eco-Devo and evolution[J]. Acta Phytotaxon Sin, 2008, 46(4): 441-451. DOI: 10.3724/SP/J.1002-2008.07170.
- [18] 陆浩,杨会芳,毕艳兰,等.山核桃油的理化性质及脂肪酸组成分析[J].中国油脂,2010,35(5):73-76. LU H, YANG H F, BI Y L, et al. Physicochemical properties and fatty acid composition of pecan oil[J]. China Oils Fats, 2010, 35(5): 73-76.
- [19] 翟大才,姚琦,潘健,等.皖南山核桃果实表型性状和种仁主要养分含量的比较及相关性分析[J].植物资源与环境学报,2019,28(2):10-17. ZHAI D C, YAO Q, PAN J, et al. Comparison and correlation analysis on phenotypic characters of fruit and main nutrient contents in kernel of *Carya cathayensis* in southern Anhui[J]. J Plant Resour Environ, 2019, 28(2): 10-17. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2019.02.02.
- [20] 姚小华,常君,王开良.中国薄壳山核桃[M].北京:科学出版社,2014. YAO X H, CHANG J, WANG K L. The research proceeding of pecan in China[M]. Beijing: Science Press, 2014.
- [21] 张辉,董雷鸣,曾燕如,等.山核桃天然群体家系种实和幼苗性状变异分析[J].林业科技开发,2014,28(3):93-95. ZHANG H, DONG L M, ZENG Y R, et al. Phenotypic variation on fresh nuts, seeds and seedlings traits among open-pollinated families of *Carya cathayensis* from natural population[J]. Chi For Sci Tech, 2014, 28(3): 93-95. DOI: 10.13360/j.issn.1000-8101.2014.03.024.
- [22] 张汇慧,吴彩娥,李永荣,等.不同品种薄壳山核桃营养成分比较[J].南京林业大学学报(自然科学版),2014,38(3):55-58. ZHANG H H, WU C E, LI Y R, et al. Comparison of nutritive compositions in different cultivars of pecans[J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci Ed), 2014, 38(3): 55-58. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2006.2014.03.011.
- [23] 傅松玲.安徽山核桃[M].合肥:安徽科学技术出版社,2017. FU S L. Pecan in Anhui[M]. Hefei: Anhui Science & Technology Publishing House, 2017.
- [24] 王江铭,饶盈,郑永明,等.山核桃与大别山山核桃种仁营养成分比较分析[J].果树学报,2020,37(11):1694-1700. WANG J M, RAO Y, ZHENG Y M, et al. Comparative analysis of kernel nutrients between *Carya cathayensis* and *Carya dabieshanensis*[J]. J Fruit Sci, 2020, 37(11): 1694-1700. DOI: 10.13925/j.cnki.gsxb.20200111.
- [25] 夏玉洁,姚小华,任华东,等.22个山核桃无性系果实营养成分的比较分析[J].中国粮油学报,2018,33(4):49-55. XIA Y J, YAO X H, REN H D, et al. Comparative analysis of the nutritional components of 22 *Carya cathayensis* clones[J]. J Chin Cereals Oils Assoc, 2018, 33(4): 49-55. DOI: 10.3969/j.issn.1003-0174.2018.04.009.
- [26] 耿树香,宁德鲁,李勇杰,等.云南省主栽核桃与美国山核桃品种营养成分分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2017,41(6):193-198. GENG S X, NING D L, LI Y J, et al. A comparative study on quality characteristics of main walnut and pecan varieties in Yunnan Province[J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci Ed), 2017, 41(6): 193-198. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2006.201610020.
- [27] 刘茂春,黎章矩.中国山核桃属一新种[J].浙江林学院学报,1984(1):41-43. LIU M C, LI Z J. A new species of *Carya* from China[J]. J Zhejiang For Coll, 1984(1): 41-43.
- [28] HUANG Y J, XIAO L H, ZHANG Z R, et al. The genomes of pecan and Chinese hickory provide insights into *Carya* evolution and nut nutrition[J]. Gigascience, 2019, 8(5): giz036. DOI: 10.1093/gigascience/giz036.

(责任编辑 郑琰琰)