

7株香榧优株坚果表型性状与品质特性的研究

陶涛¹, 刘耀辉², 薛中俊⁴, 高越², 袁璐鸿², 郑芬⁵, 吴炜^{3*}, 黄界颖^{2*}

(1.安徽林业职业技术学院,安徽 合肥 230031; 2.安徽农业大学资源与环境学院,安徽 合肥 230036;
3.安徽省农业科学院农业工程研究所,安徽 合肥 230031; 4.南京农业大学资源与环境科学学院,
江苏 南京 210095; 5.安徽黟县宏盛香榧种植园,安徽 黄山 245000)

摘要:【目的】对黟县7株香榧(*Torreya grandis* ‘Merrillii’)优株坚果的主要物理性质和主要成分含量进行比较,分析黟县香榧品质情况,为香榧良种选育与开发利用提供理论依据。【方法】选取安徽黟县7个香榧种质,测定其表型特征、矿物元素、营养成分及脂肪酸组成等29个物理、化学性质指标,对所测数据进行关联、聚类分析。【结果】香榧的表型性状及内在品质各指标差异显著($P<0.05$)。粗蛋白质质量分数变化范围为6.67%~14.69%;粗脂肪质量分数为36.20%~55.51%,其中多不饱和脂肪酸平均质量分数最高的是亚油酸47.81%,其次是金松酸12.20%;全钾(TK)质量分数为0.77%~1.39%,不同优株间主要矿物元素差异极显著($P<0.05$)。【结论】黟县7株香榧优株中,外观偏长圆形的诸暨一号和浙江细榧粗蛋白质含量相比偏圆形的高产木榧、和尚榧、叶里笑、米榧和大圆榧高,而偏圆形的香榧种仁油脂酸价更低,油脂的品质更好;可将酸价、核形指数、油酸含量作为筛选香榧优株的优选指标。

关键词:香榧;优株;表型性状;品质;优选指标

中图分类号:S791.53

文献标志码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号:1000-2006(2024)02-0037-08



Studies on the phenotypic traits and quality characteristics of seven superior tree nuts of *Torreya grandis* ‘Merrillii’

TAO Tao¹, LIU Yaohui², XUE Zhongjun⁴, GAO Yue², YUAN Luhong²,
ZHENG Fen⁵, WU Wei^{3*}, HUANG Jieying^{2*}

(1. Anhui Vocational and Technical College of Forestry, Hefei 230031, China; 2. College of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 3. Institute of Agricultural Engineering, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China; 4. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 5. Hongsheng Torreya Grandis Plantation of Yi County, Anhui Province, Huangshan 245000, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated seven nuts of *Torreya grandis* ‘Merrillii’ to compare and analyze the primary physical properties and content of the main components, understand the quality of *T. grandis* in Yi County, and provide a theoretical basis for the selection, development, and utilization of improved varieties of *T. grandis* ‘Merrillii’ 【Method】 Seven *T. grandis* were selected ‘Merrillii’ germplasms from Yi County, southern Anhui Province; measured their phenotypic characteristics, mineral elements, nutrient composition, fatty acid composition, and 29 additional physical and chemical properties; and carried out correlation and cluster analyses on the measured data. 【Result】 The phenotypic characteristics and internal quality indices of *T. grandis* ‘Merrillii’ differed significantly ($P < 0.05$). The crude protein content ranged from 6.67% to 14.69%. The crude fat content varied from 36.20% to 55.51%, among which the highest

收稿日期 Received: 2022-11-28

修回日期 Accepted: 2023-03-05

基金项目:安徽省果树产业技术体系[皖农科函〔2021〕711号];安徽高校自然科学重点研究项目(KJ2020A1127);安徽省农业科学院黟县黑果项目(2020YL083);安徽省重点研究和开发计划(201904A06020053)。

第一作者:陶涛(2269635691@qq.com),副教授。*通信作者:吴炜(59830729@qq.com),助理研究员,博士,负责组织联络,参与样品采集和数据分析,提出论文修改意见。黄界颖(48166266@qq.com),副教授,参与样品采集和实验数据分析,指导论文撰写并提出修改意见;

引文格式:陶涛,刘耀辉,薛中俊,等. 7株香榧优株坚果表型性状与品质特性的研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2024, 48(2): 37-44. TAO T, LIU Y H, XUE Z J, et al. Studies on the phenotypic traits and quality characteristics of seven superior tree nuts of *Torreya grandis* ‘Merrillii’ [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2024, 48(2): 37-44. DOI: 10.12302/j.issn.1000-2006.202211034.

average content of polyunsaturated fatty acids was linoleic acid at 47.81%, followed by chrysotile acid at 12.20%. The total potassium (TK) content varied from 0.77% to 1.39%, and there was a significant difference between different superior plants ($P < 0.05$). 【Conclusion】 According to the comprehensive analysis, the crude protein content of the oblong-shaped Zhujiyihao and Zhejiangxifei was higher than that of *T. grandis* ‘Merrillii’ types with a round appearance, while the oil acid value of the oblong *T. grandis* ‘Merrillii’ kernel was lower, and the oil quality was better. Acid value, nuclear shape index, and oleic acid content can be used as the optimum indexes for screening superior plants of *T. grandis* ‘Merrillii’.

Keywords: *Torreya grandis* ‘Merrillii’; superior strain; phenotypic traits; quality; optimization index

香榧(*Torreya grandis* ‘Merrillii’)属裸子植物红豆杉科(Taxaceae)榧属(*Torreya*)常绿乔木,为第三纪孑遗植物,是榧树中唯一一个优良栽培类型,由实生榧树中优良变异类型或优株经过人工嫁接无性繁殖栽培而成^[1]。香榧作为我国特有珍贵经济树种,果实风味独特、营养丰富,在对抗炎症、病毒、真菌、细菌、动脉硬化等方面有一定药理作用^[2-3]。我国香榧主要分布于长江流域以南的浙江、江苏和安徽等省,黟县是安徽省香榧生产历史最悠久、品种资源最丰富、产品知名度最高的香榧产地^[4-5]。目前,关于香榧的研究主要集中在资源调查、脂肪酸组成、果实营养品质、繁殖栽培技术等方面^[6-9]。程诗明等^[10]利用表型和分子标记(AFLP)方法对香榧主要分布区6个主要群体进行遗传多样性研究,证实了香榧天然群体具有较高的遗传丰富度,且遗传变异主要集中在群体内。武栋^[11]研究了徽州区天然榧树种群内种子的理化性质,认为榧树具有多目标选育优良单株和营养食品开发的潜力。任少华等^[8]通过测定对比国内4种坚果的痕量硒和汞比值,结果表明比值大小顺序为黄山香榧>黄山核桃>新疆杏仁>东北松子,黄山香榧具有特殊的食用价值。而根据香榧物理性状和品质筛选香榧优株方面的研究较少。因此,本研究通过对黟县香榧核心产区的7种主栽香榧优株种质的物理性质和内在品质指标的差异分析,旨在初步筛选出研究区优良的香榧优株,为安徽省香榧新品种选育和开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

本试验选取浙江细榧、诸暨一号、高产木榧、米榧、和尚榧、叶里笑、大圆榧7株安徽黟县核心产区主栽香榧优株。样品采摘时间为2020年10月^[12],采集地为安徽黟县宏村镇泗溪村(117.98°E,30.01°N),树龄为80~100 a。在每株树冠的南面中上部随机采30个充分成熟未开裂果实(未去掉种蒲的香榧果实),将采摘的新鲜香榧洗净,人工剥去其外层假种皮,90℃杀青30 min,然后60

℃烘干,用于测定待测指标。

1.2 指标测定

1) 香榧果实形态指标测定。随机选取各香榧品种优株30粒种质,使用电子式游标卡尺测量种核纵径、种核横径、种仁质量和种壳厚度等物理指标,计算核形指数(种核纵径与横径之比)、仁形指数(种仁纵径与横径之比);种仁质量由1/100天平直接测得。

2) 香榧种仁内含物指标测定。将香榧样品干燥至质量恒定(前后两次称量差不超过0.002 g),去壳,然后将仁粉碎均匀备用。粗脂肪质量分数测定采用索氏抽提(残余法)^[13],样品处理,以乙醚为溶剂,称量烘干样品质量,萃取油脂,称量残余物质量。计算公式为 $c = m_1/m_2 \times 100\%$ 。式中: c 为粗脂肪质量分数,%; m_1 为油脂质量,g; m_2 为样品质量,g。重复3次,取平均值。油脂脂肪酸组成鉴定采用赵赓等^[14]的方法,用日本岛津2010GC plus气相色谱仪测定,结果采取与NIST’08质谱图谱检索库检索比较鉴定,采用峰面积归一法进行定量。油脂过氧化值、酸价的测定分别采用GB 5009.227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》和GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》;粗蛋白质含量测定采用GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》;总糖含量测定采用蒽酮比色法^[11];矿质元素的测定参照严睿文^[15]的方法,使用微波消解仪消解样品后,ICP-OES测定各元素含量。

采用1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)法测定样品自由基清除率^[16-18]。准确称量0.400 0 g粉碎样品,放入小烧杯中加入95%乙醇30 mL,封住杯口以免乙醇蒸发,超声震荡3~5 min,静置充分浸提6 h,快速滤纸过滤,定容到50 mL容量瓶中,吸取样品与DPPH混合避光反应后,紫外分光光度计测得吸光度,绘制浓度与吸光度(清除率)曲线,并计算半数清除率IC₅₀值(清除率50%时自由基清除剂浓度)。

1.3 数据处理

试验数据用Excel 2016进行初步整理,采用

SPSS 22.0 进行单因素方差分析 (One-way ANOVA)、多重比较 (Duncan 新复极差法)、相关性分析 (Pearson 相关系数法)、主成分分析以及聚类分析。

2 结果与分析

2.1 7 株香榧优株种质物理性质差异分析

7 株香榧优株种质物理性质分析结果如表 1 所示,香榧优株种核纵径变化范围为 19.68~26.88 mm、种核横径为 11.63~18.45 mm,诸暨一号的种核纵径最长,其次是大圆榧;种核横径值最大的是大圆榧,最小是诸暨一号。种仁纵径和种仁横径变化范围分别为 14.71~25.53 mm、9.27~13.88 mm,

诸暨一号的种仁核纵径值最大,叶里笑种仁核纵径值最小,种仁横径值最大的是大圆榧;种仁质量变化范围为 0.98~2.22 g,质量最大的是诸暨一号,最小的是浙江细榧。种壳厚度变化范围为 0.52~1.03 mm,浙江细榧和高产木榧的种壳最薄;核形指数变化范围为 1.39~2.34,仁形指数为 1.33~2.52,浙江细榧与诸暨一号的核形指数与仁形指数值较大,其他 5 种香榧优株种质核形指数与仁形指数值较为接近,均低于 2.00。香榧优株种质核形指数与仁形指数值变化趋势一致。方差分析显示,7 株香榧优株种仁质量、种壳厚度等物理性质差异均达极显著。从物理性质分析结果看,诸暨一号和大圆榧种仁品质较优。

表 1 7 株香榧优株种质物理性质比较

Table 1 Compare on the physical properties of seven superior tree species of *Torreya grandis* ‘Merrillii’

优株 superior tree	种核 seed nucleus		种仁 seed kernel		质量/g mass	种壳厚度/mm seed shell thickness	核形指数 fruit shape index	仁形指数 kernel shape index
	纵径/mm longitudinal diameter	横径/mm transverse diameter	纵径/mm longitudinal diameter	横径/mm transverse diameter				
ZJXF	25.89±0.51 a	12.58±0.38 d	21.58±0.64 b	9.27±0.21 d	0.98±0.18 e	0.52±0.03 d	2.06±0.02 b	2.34±0.04 b
ZJYH	26.88±1.24 a	11.63±0.67 e	25.53±1.25 a	10.27±0.68 cd	2.22±0.21 b	0.68±0.02 bc	2.34±0.02 a	2.52±0.04 a
GCMF	21.89±0.19 b	15.12±0.26 b	17.83±0.21 c	10.98±0.02 bc	1.84±0.02 c	0.52±0.02 d	1.45±0.01 d	1.63±0.01 d
MF	22.78±0.26 b	14.98±0.44 bc	18.00±0.16 c	9.69±0.48 d	1.69±0.04 c	1.03±0.07 a	1.52±0.03 c	1.88±0.07 c
HSF	20.67±0.16 c	14.93±0.26 bc	16.45±0.26 d	11.76±0.59 b	1.42±0.14 d	0.67±0.09 bc	1.39±0.04 e	1.42±0.07 e
Y LX	19.68±0.59 c	14.18±0.36 c	14.71±0.63 e	11.12±0.17 bc	1.45±0.09 d	0.63±0.03 c	1.39±0.01 e	1.33±0.06 e
DYF	26.82±0.73 a	18.45±0.70 a	22.23±0.56 b	13.88±1.30 a	1.68±0.10 a	0.75±0.04 b	1.46±0.02 d	1.64±0.14 d
F	67.135 **	64.320 **	106.254 **	17.718 **	56.217 **	36.046 **	917.780 **	124.256 **

注:ZJXF. 浙江细榧 Zhejiangxifei;ZJYH. 诸暨一号 Zhujiyihao;GCMF. 高产木榧 Gaochanmufei;MF. 米榧 Mifei;HSF. 和尚榧 Heshangfei;Y LX. 叶里笑 Yelixiao;DYF. 大圆榧 Dayuanfei。* .P<0.05; * * .P<0.01。同列不同字母表示不同香榧种物理性质差异显著。Different letters in the same column indicate significant differences in physical properties of different *Torreya grandis* ‘Merrillii’ superior trees。下同 the same below。

2.2 7 株香榧优株种质化学成分分析

2.2.1 7 株香榧优株种仁主要营养成分及油脂品质指标含量的比较

香榧品质受粗脂肪、不饱和脂肪酸组成、蛋白质质量分数等的影响^[19]。7 种香榧优株种仁粗脂肪、粗蛋白质、总糖质量分数测定分析结果如表 2 所示,香榧优株种仁粗脂肪质量分数变化范围为 36.20%~55.51%,粗脂肪质量分数最高的是诸暨一号,质量分数最低的是高产木榧,7 株香榧优株间诸暨一号、大圆榧和米榧粗脂肪质量分数高于其他 4 种优株,而叶里笑、和尚榧和浙江细榧的粗脂肪质量分数显著高于高产木榧;粗蛋白质质量分数变化在 6.67%~14.69%之间,各样品的粗蛋白质质量分数大小顺序为:诸暨一号>浙江细榧>叶里笑>米榧=大圆榧>和尚榧>高产木榧,诸暨一号的粗蛋白质质量分数最高,与浙江细榧的差异较小,但显著高于高产木榧,米榧和尚榧以及大圆榧粗蛋白质质量分数较为接近,差异不显著;总糖质量分数范

围为 0.70%~6.84%,诸暨一号的含量最低,比均值低 2.68%,米榧的质量分数最高,达 6.84%。

DPPH 自由基清除率(IC50)、过氧化值和酸价是衡量坚果油脂品质优劣的重要指标^[18-21]。从表 2 可知,供试香榧优株种仁油脂的 DPPH 自由基清除率(IC50)范围为 1.11~32.91 mg/mL,IC50 越小,说明该香榧种仁油对 DPPH 自由基清除能力越强,抗氧化能力越强。米榧 IC50 为 32.91 mg/mL,显著高于其他株种香榧优株,而浙江细榧、高产木榧及和尚榧 IC50 较低且无显著差异。过氧化值范围为 0.08~4.15 mmol/kg,浙江细榧过氧化值最高,为 4.15 mmol/kg,香榧种仁油脂过氧化值均值为 1.52 mmol/kg。方差分析显示,不同香榧优株种仁油脂过氧化值存在显著差异,高产木榧和米榧的远低于均值 1.52 mmol/kg。香榧优株种仁酸价范围为 0.08~0.66 mg/g,其中米榧和尚榧的最低,两者无显著差异性,诸暨一号酸价最高,显著高于其他香榧优株。

表 2 7 株香榧优株种仁主要营养成分及油脂品质指标含量比较

Table 2 Compare of the main nutrient components and oil quality indexes in the kernels of seven superior tree species of *Torreya grandis* ‘Merrillii’

优株 superior tree	主要营养成分/%main nutrient components			IC50/ (mg·mL ⁻¹)	过氧化值/ (mmol·kg ⁻¹) peroxide value	酸价/(mg·g ⁻¹) acid value
	粗脂肪 crude fat	粗蛋白质 crude protein	总糖 total sugar			
ZJXF	39.72±0.72 cd	13.39±0.57 a	4.15±0.17 c	1.11±0.11 d	4.15±0.17 a	0.34±0.17 b
ZJYH	55.51±0.41 a	14.69±0.75 a	0.70±0.07 f	5.67±0.23 b	0.70±0.07 d	0.66±0.07 a
GCMF	36.20±1.34 e	6.67±0.23 e	2.92±0.22 d	1.25±0.05 d	0.08±0.01 e	0.13±0.22 c
MF	42.68±0.55 b	10.13±0.26 d	6.84±0.43 a	32.91±0.78 a	0.08±0.01 e	0.08±0.43 d
HSF	38.45±1.39 d	9.94±0.45 d	4.96±0.21 b	1.58±0.05 d	2.27±0.05 b	0.09±0.21 d
YLX	40.87±2.41 bc	11.42±0.44 c	1.18±0.02 e	2.70±0.11 c	1.18±0.02 c	0.13±0.02 c
DYF	43.10±0.95 b	10.13±0.25 d	2.88±0.25 d	2.81±0.09 c	2.20±0.15 b	0.15±0.25 c
F	72.561 **	98.159 **	264.210 **	4 046.176 **	769.129 **	936.744 **

2.2.2 7 株香榧优株种仁主要矿物元素含量的比较

与维持正常的生理功能方面具有重要作用^[22]。7 株香榧优株种仁主要矿物元素含量分析结果见表 3。

钾、铁、锰、锌等矿物元素在构成人体机体组织

表 3 7 株香榧优株种仁主要矿物元素含量比较

Table 3 Compare of main mineral elements in the kernels of seven superior tree species of *Torreya grandis* ‘Merrillii’

优株 superior tree	全磷质量分数/% TP mass concentration	全钾质量分数/% TK mass concentration	锌含量/(mg·kg ⁻¹) content of Zn	铁含量/(mg·kg ⁻¹) content of Fe	锰含量/(mg·kg ⁻¹) content of Mn
ZJXF	0.30±0.02 a	0.99±0.02 d	30.66±0.40 c	45.35±0.69 b	65.72±1.16 a
ZJYH	0.27±0.01 bc	1.20±0.05 b	27.58±0.49 d	31.82±0.91 d	12.31±0.56 c
GCMF	0.26±0.01 d	1.09±0.11 c	26.75±0.27 d	58.74±0.73 a	12.03±0.40 c
MF	0.25±0.01 d	1.39±0.03 a	19.20±0.68 e	31.75±0.87 d	8.89±0.19 d
HSF	0.28±0.01 b	1.24±0.01 b	27.41±0.84 d	40.95±1.12 c	12.00±0.34 c
YLX	0.27±0.01 bc	0.77±0.03 e	42.63±0.47 a	29.08±1.21 e	17.51±1.47 b
DYF	0.27±0.00 bc	1.27±0.01 b	36.28±0.44 b	22.95±1.06 f	11.60±0.63 c
F	8.833 **	56.052 **	581.033 **	477.298 **	1 927.521 **

由表 3 可知,不同香榧优株的全磷(TP)、全钾(TK)、锌(Zn)、铁(Fe)、锰(Mn)含量均存在极显著差异,总磷(TP)质量分数最高的是浙江细榧,为 0.30%,诸暨一号、叶里笑、大圆榧含量基本一致,含量居中;TK 质量分数范围为 0.77%~1.39%,最高的是米榧,最低的是叶里笑,诸暨一号、和尚榧、大圆榧质量分数较为接近,无显著性差异。微量元素 Zn 含量变化范围为 19.20~42.63 mg/kg,Fe 为 22.95~58.74 mg/kg,Mn 为 8.89%~65.72 mg/kg。其中,Zn 含量最高的是叶里笑,较含量最低的米榧高 23.43%;Fe 含量最高的是高产木榧,最低的是大圆榧,诸暨一号和米榧 Fe 含量无显著性差异;Mn 含量最高的是浙江细榧,是最低含量米榧的 7.39 倍,诸暨一号、高产木榧、和尚榧及大圆榧含量大体一致,差异性不显著。

2.2.3 7 株香榧优株种仁粗脂肪中脂肪酸组成含量的对比

坚果食品的脂肪酸含量高,食品芳香的气味与口感也来源于油脂脂肪酸组成的丰富多样。由表 4

香榧优株种仁脂肪酸组成分析结果表明,7 株香榧优株种仁粗脂肪中的 10 种脂肪酸(棕榈酸、硬脂酸、花生酸为饱和脂肪酸,其他 7 种脂肪酸由单不饱和脂肪酸及多不饱和脂肪酸组成)组成以亚油酸、油酸为主。粗脂肪中不饱和脂肪酸质量分数变化幅值 86.97%~89.79%,其中,多不饱和脂肪酸质量分数最高的是亚油酸(均值 47.81%),其次是金松酸(均值 12.20%),质量分数最低的是亚麻酸(均值 0.59%);单不饱和脂肪酸由油酸、二十碳一烯酸构成,平均质量分数分别为 24.12%、0.64%。亚油酸质量分数最高的是米榧,比最低诸暨一号的含量高 9.45%;金松酸质量分数最低的是诸暨一号,与其他 6 种优株间差异极显著;亚麻酸质量分数最高的是米榧,最低的是诸暨一号,二者差异显著;诸暨一号的油酸质量分数高达 35.97%,是最低高产木榧的 1.80 倍。米榧、叶里笑、大圆榧的二十碳一烯酸质量分数接近,差异性不显著,而 7 株香榧优株间差异性显著;顺-10,顺-13-二十碳二烯酸平均质量分数为 0.76%,各香榧优株间差异性不显著。

表 4 7 株香榧优株种仁粗脂肪中脂肪酸质量分数

Table 4 Analysis of fatty acid composition in crude fat of seeds of seven superior tree species of *Torreya grandis* ‘Merrillii’

优株 superior tree	PA	SA	OA	LA	LIA	AA	EA	S10S13EA	S11S13EA	AUA
ZJXF	8.64±0.05 b	2.71±0.15 b	25.20±0.14 b	47.33±0.55 b	0.51±0.05 c	0.16±0.01 b	0.52±0.04 c	0.70±0.07 bc	2.00±0.18 de	12.26±0.22 de
ZJYH	7.74±0.02 e	2.88±0.21 b	35.97±0.22 a	41.04±0.83 c	0.38±0.04 d	0.13±0.01 d	0.59±0.02 bc	0.75±0.06 abc	1.79±0.18 e	8.55±0.19 f
GCMF	9.57±0.07 a	2.76±0.15 b	20.03±0.09 f	48.18±1.08 b	0.67±0.05 ab	0.15±0.01 bc	0.62±0.04 b	0.81±0.04 a	2.73±0.18 c	13.93±0.02 a
MF	7.41±0.01 f	2.39±0.14 c	20.53±0.1 f	50.49±1.14 a	0.72±0.06 a	0.12±0.01 d	0.73±0.06 a	0.80±0.07 ab	3.09±0.19 b	13.14±0.03 b
HSF	7.82±0.01 d	3.34±0.21 a	22.13±0.03 d	49.81±1.21 a	0.70±0.02 ab	0.18±0.01 a	0.61±0.03 b	0.82±0.07 a	2.27±0.20 d	12.00±0.04 e
YLX	7.42±0.02 f	2.25±0.12 c	23.61±0.26 c	48.06±0.65 b	0.52±0.05 c	0.13±0.01 d	0.71±0.08 a	0.73±0.05 abc	3.60±0.15 a	12.57±0.01 cd
DYF	8.08±0.04 c	2.16±0.03 c	21.36±0.78 e	49.75±0.41 a	0.62±0.05 b	0.14±0.02 cd	0.72±0.06 a	0.69±0.02 c	3.62±0.21 a	12.97±0.71 bc
F	1 457.977 **	22.110 **	854.787 **	39.236 **	21.942 **	12.825 **	8.271 *	2.707	49.147 **	106.790 **

注: PA. 棕榈酸 palmitic acid; SA. 硬脂酸 stearic acid; OA. 油酸 oleic acid; LA. 亚油酸 linoleic acid; LIA. 亚麻酸 linolenic acid; AA. 花生酸 arachidic acid; EA. 二十碳一烯酸 eicosaenoic acid; S10S13EA. 顺-10,顺-13-二十碳二烯酸 shun-10, shun-13-eicosadienoic acid; S11S13EA. 顺-11,顺-13-二十碳二烯酸 shun-11, shun-13-eicosadienoic acid; AUA.金松酸 auropic acid。

2.3 7 株香榧优株主要物理性质和种仁内在品质关系

2.3.1 主要物理性质、营养成分及矿物元素间的关系

香榧优株种质物理性质相关分析见表 5。由

表 5 可知,种核纵径与种仁纵径呈极显著正相关,与仁形指数呈极显著正相关;种核横径与种仁横径呈显著正相关;种仁纵径与核形指数、仁形指数均呈显著正相关;核形指数与仁形指数呈极显著正相关。

表 5 7 株香榧优株种质主要物理性质间的相关分析

Table 5 Correlation analysis of main physical properties of seven superior tree species of *Torreya grandis* ‘Merrillii’ germplasm

指标 index	SNLD	SND	SKLD	KD	KQ	SST	NSI
SND	-0.064	1					
SKLD	0.960 **	-0.244	1				
KD	0.048	0.821 *	-0.03	1			
KQ	0.477	0.516	0.485	0.669	1		
SST	0.024	0.292	-0.033	0.006	0.293	1	
NSI	0.704	-0.751	0.818 *	-0.517	-0.011	-0.194	1
KSI	0.770 *	-0.646	0.839 *	-0.567	0.013	-0.034	0.957 **

注: SNLD.种核纵径 seed nucleus longitudinal diameter; SND.种核横径 seed nucleus transverse diameter; SKLD.种仁纵径 seed kernel longitudinal diameter; KD.种仁横径 seed kernel transverse diameter; KQ.种仁质量 kernel mass; SST.种壳厚度 seed shell thickness; NSI.核形指数 nuclear shape index; KSI.仁形指数 kernel shape index。下同。The same below.

香榧优株种质主要营养成分和矿物元素间的相关分析结果表明(表 6),粗脂肪、粗蛋白质质量分数与酸价呈显著正相关;过氧化值与全磷质量分

数呈极显著正相关,与 Mn 含量显著正相关;全磷质量分数与 Mn 呈显著正相关。

表 6 7 株香榧优株种质主要营养成分及矿物元素含量间的相关分析

Table 6 Correlation analysis of the main nutrient components and other mineral elements in seven superior tree species of *Torreya grandis* ‘Merrillii’

指标 index	CF	CP	TS	IC50	POV	AV	TP	TK	Zn	Fe	Mn
CP	0.728	1									
TS	-0.454	-0.335	1								
IC50	0.152	-0.050	0.633	1							
POV	-0.204	0.402	0.079	-0.480	1						
AV	0.830 *	0.786 *	-0.556	-0.206	0.093	1					
TP	-0.107	0.498	-0.127	-0.631	0.937 **	0.299	1				
TK	0.236	-0.160	0.573	0.563	-0.244	-0.041	-0.409	1			
Zn	-0.074	0.159	-0.661	-0.628	0.333	-0.045	0.340	-0.742	1		
Fe	-0.529	-0.444	0.147	-0.276	-0.014	-0.087	0.154	-0.165	-0.358	1	
Mn	-0.193	0.440	0.069	-0.291	0.802 *	0.243	0.831 *	-0.425	0.143	0.281	1

注: CF.粗脂肪 crude fat; CP.粗蛋白质 crude protein; TS.总糖 total sugar; POV.过氧化值 peroxide value; AV.酸价 acid value。下同。The same below.

2.3.2 7株香榧种质主要物理性质与种仁主要内含物含量的关系

7株香榧优株种质物理性质与种仁主要营养成分及矿物元素含量间相关性分析结果见表7。

由表7可知,蛋白质质量分数与核形指数呈显著正相关,与其他指标间相关性不显著;IC50与种壳厚度呈极显著正相关;酸价与种仁纵径、仁形指数呈显著正相关,与核形指数呈极显著正相关。

表7 7株香榧优株种质物理性质与种仁主要内含物含量的相关分析

Table 7 Correlation analysis between the physical properties of seven superior tree species of *Torreya grandis* ‘Merrillii’ germplasm and the content of main contents in the kernel

指标 index	SNLD	SND	SKLD	KD	KQ	SST	NSI	KSI
CF	0.595	-0.423	0.737	-0.110	0.477	0.258	0.728	0.656
CP	0.518	-0.654	0.586	-0.369	-0.117	-0.023	0.812 *	0.701
TS	-0.174	0.250	-0.302	-0.223	-0.337	0.547	-0.334	-0.111
IC50	-0.048	0.043	-0.091	-0.369	0.026	0.903 **	-0.084	0.117
POV	0.315	-0.061	0.190	0.033	-0.399	-0.418	0.224	0.182
AV	0.661	-0.700	0.819 *	-0.338	0.169	-0.242	0.955 **	0.853 *
TP	0.261	-0.339	0.221	-0.123	-0.493	-0.632	0.395	0.287
TK	0.353	0.328	0.339	0.156	0.466	0.681	0.007	0.190
Zn	-0.101	0.184	-0.159	0.469	0.064	-0.451	-0.183	-0.375
Fe	-0.26	-0.264	-0.201	-0.384	-0.458	-0.58	-0.005	0.033
Mn	0.297	-0.421	0.200	-0.478	-0.633	-0.487	0.448	0.456

2.3.3 7株香榧优株种质内外品质特征及贡献率分析

以试验香榧优株种质29个物理、化学性质指标作为变量,提取主因子成分进行分析,如表8所示,第1、2、3、4主成分的累加贡献率85.60%。在第1主成分上,贡献率为36.34%,载荷量较大的是酸价、核形指数、油酸含量等6个性状。这些性状主要为种质的表型性状与营养成分性状。第2主成分贡献率为22.18%,主要由花生酸、Fe、硬脂酸、Mn含量性状组成。第3主成分贡献率为16.98%,包括了IC50、顺-10,顺-13-二十碳二烯酸含量、种壳厚度、TK含量,说明种质脂肪酸组成、油脂品质指标、矿物元素含量和种壳厚度对香榧的品质具有重要影响。第4主成分贡献率为10.11%,特征根为2.93,载荷量较大的是TK、种核横径、种核纵径、种仁纵径、棕榈酸、总糖含量。

2.3.4 7株香榧优株聚类分析

以试验香榧种质物理性质、种仁主要内含物含量指标作为变量进行聚类分析(图1),7株香榧优株在图距为20时,可分为2大类,其中高产木榧、和尚榧、叶里笑、米榧、大圆榧归为一个大类,这5种优株均含有很低的酸价(0.08~0.15 mg/g),相似的油酸、金松酸含量,而高产木榧与和尚榧的Mn、亚麻酸含量基本相同,故归为一小类。浙江细榧、诸暨一号可归为一大类,这两种香榧优株种质外形都为纺锤形,且均具有较高的粗蛋白质质量分数。

表8 7株香榧优株种质品质影响因子的主成分分析

Table 8 Principal component analysis of factors affecting the quality of seven superior tree species of *Torreya grandis* ‘Merrillii’ germplasms

指标 index	主成分 principal component			
	1	2	3	4
种核纵径 seed nucleus longitudinal diameter	0.686	-0.366	-0.072	0.585
种核横径 seed nucleus transverse diameter	-0.697	-0.403	-0.334	0.469
种仁纵径 seed kernel longitudinal diameter	0.815	-0.334	0.038	0.455
种仁横径 seed kernel transverse diameter	-0.331	-0.480	-0.558	0.293
种仁质量 seed kernel mass	0.049	-0.811	-0.076	0.347
种壳厚度 seed shell thickness	-0.331	-0.593	0.632	0.096
核形指数 nuclear shape index	0.962	0.015	0.187	0.035
仁形指数 kernel shape index	0.856	-0.001	0.318	0.225
粗脂肪 crude fat	0.735	-0.589	0.288	-0.141
粗蛋白质 crude protein	0.832	-0.169	0.015	-0.254
总糖 total sugar	-0.490	0.264	0.516	0.442
IC50	-0.305	-0.329	0.789	0.028
过氧化值 peroxide value	0.316	0.368	-0.546	0.288
酸价 acid value	0.973	-0.123	0.104	-0.075
TP	0.505	0.517	-0.516	0.102
TK	-0.079	-0.320	0.613	0.664
Zn	0.002	-0.206	-0.884	-0.413
Fe	-0.057	0.845	0.092	0.159
Mn	0.413	0.553	-0.321	0.122
棕榈酸 palmitic acid	0.009	0.543	-0.252	0.457
硬脂酸 stearic acid	0.313	0.635	0.352	0.019
油酸 oleic acid	0.926	-0.226	0.117	-0.228
亚油酸 linoleic acid	-0.851	0.011	-0.214	0.323
亚麻酸 linolenic acid	-0.718	0.469	0.510	0.061
花生酸 arachidic acid	0.107	0.910	0.126	0.050
二十碳一烯酸 eicosaenoic acid	-0.676	-0.426	0.239	-0.518
顺-10,顺-13-二十碳二烯酸 cis-10, cis-13-eicosadienoic acid	-0.074	0.591	0.686	-0.370
顺-11,顺-13-二十碳二烯酸 cis-11, cis-13-eicosadienoic acid	-0.789	-0.448	-0.258	-0.246
金松酸 auropic acid	-0.836	0.345	-0.136	0.162
特征根 eigenvalue	10.540	6.431	4.923	2.931
累计贡献率/% cumulative contribution rate	36.344	58.521	75.498	85.604

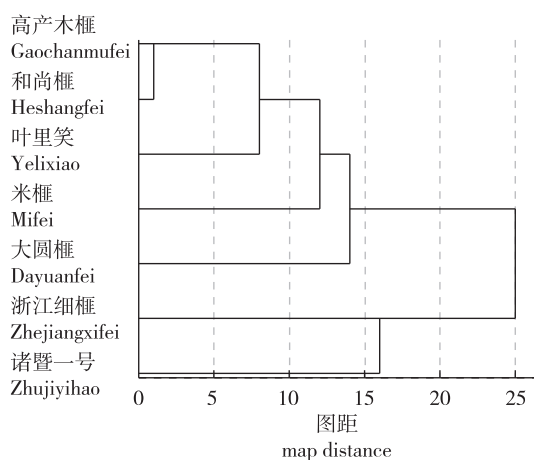


图1 7株香榧优株聚类图

Fig. 1 Cluster diagram of seven superior tree species of *Torrey grandis* 'Merrilli'

3 讨论

果实性状的表型变异是研究植物种群的一个重要组成部分^[23]。香榧优株种质种核纵径、种核横径、种仁纵径等物理指标均达差异极显著,诸暨一号、大圆榧单仁质量较大,而浙江细榧、高产木榧易脱壳。可根据不同的市场需求,打造不同特色的产品。

粗脂肪质量分数变化范围为 36.20% ~ 55.51%,与胡绍泉等^[9]研究的绍兴香榧种质油质量分数(44.96%~53.58%)基本相符。粗脂肪、粗蛋白质和总糖含量等其他主要营养成分指标差异极显著,这表明所选材料具有丰富的遗传变异。其中,诸暨一号的粗脂肪、粗蛋白质质量分数均最高。高产木榧的 DPPH 自由基清除率 IC50 值、过氧化值、酸价在 7 株香榧优树中含量较低,抗氧化强,更耐贮存。香榧优株种仁中 5 种矿物元素含量丰富,TP 平均质量分数为 0.27%、TK 为 1.14%、Zn 为 30.26 mg/kg、Fe 为 37.66 mg/kg、Mn 为 20.24 mg/kg,其中浙江细榧的微量元素 Zn、Fe、Mn 含量均高于平均值,7 种香榧优株种仁的全磷含量较为稳定。这些香榧优株的矿物元素含量与戴文圣等^[24]、严睿文^[15]的研究结果一致。香榧种仁中不饱和脂肪酸具有稳定细胞膜、抗心血管病、降低血脂等功能^[25-27]。供试香榧优株种仁粗脂肪中油酸含量除诸暨一号外均低于 He 等^[28]研究的油酸质量分数(30.47%~37.54%),亚油酸与金松酸含量丰富,香榧栽培历史悠久,遗传变异丰富,为油用良种的选择提供丰富的遗传资源。

种核纵径与种仁纵径呈极显著正相关,种仁纵径与核形指数、仁形指数均呈显著正相关;核形指

数与仁形指数呈极显著正相关。这说明香榧种核的外形受种仁外形的影响。因此,在筛选种质时,挑选种核大的更有利于增产。过氧化值与全磷呈极显著正相关,与 Mn 显著正相关,说明香榧油脂受氧化程度与生长环境全磷的含量具有一定相关性。粗蛋白质与核形指数呈显著正相关;DPPH 自由基清除率(IC50)与种壳厚度呈极显著正相关;酸价与种仁纵径、仁形指数呈显著正相关,与核形指数呈极显著正相关。这说明香榧的表型性状一定程度上可以反映种仁油脂品质指标,偏长圆形的香榧粗蛋白质含量相对偏圆形的高。据此,可由种质资源的表型性状特征初选果实油脂品质好、粗蛋白质含量高的树种。

7 株香榧优株种质的表型性状与内在品质指标存在一定的相关性,香榧的物理特征如种仁质量、种壳厚度等在一定程度上可以直观反映香榧的内在品质(粗脂肪、不饱和脂肪酸组成、蛋白质含量),因此选择内外品质均一的果品更有利于提高香榧品质。在香榧优良品种的筛选过程中,可以将酸价、核形指数、油酸含量作为重要的优选指标。聚类分析表明,黟县 7 株香榧优株,偏长圆形的诸暨一号和浙江细榧相比偏圆形的高产木榧、和尚榧、叶里笑、米榧及大圆榧具有更高的粗蛋白质含量,而偏圆形的香榧种仁油脂酸价更低,油脂的品质更好。

参考文献(reference):

- [1] 黎章矩,程晓建,戴文圣,等. 香榧品种起源考证[J]. 浙江林学院学报, 2005(4): 443-448. LI Z J, CHENG X J, DAI W S, et al. Origin of *Torrey grandis* 'Merrilli' [J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2005(4): 443-448. DOI: 10.3969/j.issn.2095-0756.2005.04.018.
- [2] SAEED M K, DENG Y, ZAHIDE P, et al. Studies on the chemical constituents of *Torrey grandis* Fort. Ex Lindl [J]. Journal of Applied Sciences, 2007(7): 269-273. DOI: 10.3923/jas.2007.269.273.
- [3] 王向阳,修丽丽. 香榧的营养和功能成分综述[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(2): 20-22. WANG X Y, XIU L L. A review of the nutritional and functional components of *Torrey* [J]. Food Research and Development, 2005, 26(2): 20-22. DOI: 10.3969/j.issn.1005-6521.2005.02.007.
- [4] PATRICIA M, SUHAILA M, NOORDIN M M, et al. Antioxidant activities and phenolics content of eight species of seaweeds from north Borneo [J]. Journal of Applied Phycology, 2008(20): 367-373. DOI: 10.1007/s10811-007-9264-6.
- [5] 吴剑权,戴丽玲. 黟县香榧产业现状及发展建议[J]. 现代农业科技, 2021(2): 55-57. WU J Q, DAI L L. Current situation and development suggestion of *Torrey* in Yi County [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2021(2): 55-57. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5739.2021.02.024.

- [6] 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 X J, LI Z J, DAI W S, et al. Investigation and evaluation of *Torreya grandis* germplasm resource[J]. Journal of Fruit Science, 2009, 26(5): 654-658. DOI: CNKI:SUN:GSKK.0.2009-05-016.
- [7] 王衍彬, 刘本同, 秦玉川, 等. 不同品种香榧种子油脂脂肪酸及香味物质组成分析[J]. 中国油脂, 2016, 41(2): 101-105. WANG Y B, LIU B T, QIN Y C, et al. Compositions of fatty acid and flavor compounds in different cultivars of *Torreya grandis* seed oil[J]. China Oils and Fats, 2016, 41(2): 101-105.
- [8] 任少华, 龙成昌, 王陈, 等. 香榧及其优质高产栽培技术探讨[J]. 现代园艺, 2021, 44(19): 72-74. REN S H, LONG C C, WANG C, et al. Discussion on *Torreya grandis* and its high-quality and high-yield cultivation techniques[J]. Contemporary Horticulture, 2021, 44(19): 72-74. DOI: 10.14051/j.cnki.xddy.2021.19.028.
- [9] 胡绍泉, 求鹏英, 杜铁君, 等. 绍兴市售香榧坚果品质研究[J]. 中国南方果树, 2016, 45(3): 102-106. HU S Q, QIU P Y, DU Y J, et al. Study on the quality of *Torreya* nut on the market in Shaoxing[J]. South China Fruits, 2016, 45(3): 102-106. DOI: 10.13938/j.issn.1007-1431.20150701.
- [10] 程诗明, 闵会, 康志雄, 等. 香榧天然群体遗传多样性分析与评价研究[J]. 浙江林业科技, 2014, 34(4): 11-16. CHENG S M, MIN H, KANG Z X, et al. Genetic diversity of different populations in *Torreya grandis* cv. Merrillii[J]. Jour of Zhejiang for Sci & Tech, 2014, 34(4): 11-16. DOI: 10.3969/j.issn.1001-3776.2014.04.003.
- [11] 武栋. 安徽徽州榧树种群内种子理化性质的分析[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2012. WU D. Analysis of physico-chemical properties of the seeds from a natural *Torreya* population in Hui zhou, Anhui[D]. Hangzhou: Zhejiang A & F University, 2012.
- [12] WANG Y P, YAO X H, YANG L, et al. Effects of harvest time on the yield, quality and active substance of *Torreya grandis* nut and its oil: oils and fats[J]. Journal of Oleo Science, 2021, 70(2): 175-184. DOI: org/10.5650/jos.ess20155.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 285-287. BAO S D. Soil agrochemical analysis[M]. 3th ed. Beijing: China Agricultural Press, 2000: 285-287.
- [14] 赵颀, 张星海, 虞培力. 香榧子超临界萃取物的气相色谱-质谱分析[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(1): 186-188. ZHAO L, ZHANG X H, YU P L. Analysis of volatile components extracted from *Torreya grandis* with supercritical fluid extraction by gas chromatography-mass spectrometry[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2013, 52(1): 186-188. DOI: 10.3969/j.issn.0439-8114.2013.01.053.
- [15] 严睿文. ICP-AES法测定黄山香榧中17种元素[J]. 安徽大学学报(自然科学版), 2007, 31(3): 76-78. YAN R W. Determination of seventeen elements in Huangshan Chinese torrey by ICP-AES[J]. Journal of Anhui University(Natural Science Edition), 2007, 31(3): 76-78. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2162.2007.03.021.
- [16] LARRAURI J A, NCHEZ-MORENO C S, SAURA-CALIXTO F. Effects of temperature on the free radical scavenging capacity of extracts from red and white grape pomace peels[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1998(16): 2694-2697. DOI: org/10.1021/jf980017p.
- [17] WANG X Q, LIANG X Q, ZHAO J, et al. Cultivar characterization of tea seed oils by their active components and antioxidant capacity[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2014, 91(4): 629-639. DOI: org/10.1007/s11746-013-2397-7.
- [18] DUDONNE S, VITRAC X, COUTIERE P, et al. Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009(57): 1768-1774. DOI: org/10.1021/jf803011r.
- [19] 叶珊, 王为宇, 周敏樱, 等. 不同采收成熟度和堆沤方式对香榧种子堆沤后熟品质的影响[J]. 林业科学, 2017, 53(11): 43-51. YE S, WANG W Y, ZHOU M Y, et al. Effects of different harvest maturity and after-ripening ways on the harvested quality of *Torreya grandis* 'Merrillii' seeds[J]. Sci Silvae Sin, 2017, 53(11): 43-51. DOI: 10.11707/j.1001-7488.20171105.
- [20] 李兴飞, 邵海燕, 陈杭君, 等. 香榧坚果生物活性成分与抗氧化研究进展[J]. 食品科学, 2012, 33(7): 341-345. LI X F, GAO H Y, CHEN H J, et al. Recent advances in research on bioactive compounds and antioxidant activity of *Torreya grandis* [J]. Food Science, 2012, 33(7): 341-345.
- [21] LASEKAN O, ALFI K, ABBAS K. Volatile compounds of roasted and steamed malaysian tropical almond nut (*Terminalia catappa* L.)[J]. International Journal of Food Properties, 2012, 15(5): 1120-1132. DOI: 10.1080/10942912.2010.514086.
- [22] 唐丽. 矿物质元素与人体健康[J]. 新疆职业大学学报, 2002, 10(4): 94-96. TANG L. Mineral elements and human health[J]. Journal of Xinjiang Vocational University, 2002, 10(4): 94-96. DOI: 10.3969/j.issn.1009-9549.2002.04.038.
- [23] 蔡永立, 王希华, 宋永昌. 中国东部亚热带青冈果实形态变异的研究[J]. 生态学报, 1999, (4): 581-586. CAI Y L, WANG X H, SONG Y C. Variation of fruit size and its shape of *Cyclobalanopsis glauca* in the eastern subtropical zone, China[J]. Acta Eco Sin, 1999(4): 581-586. DOI: 10.1088/0256-307X/16/12/025.
- [24] 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 W S, LI Z J, CAO F L, et al. Mineral elements in *Torreya grandis* 'Merrillii' seeds and their forestland soils[J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 2006, 26(2): 14-18. DOI: 10.3969/j.issn.1001-3776.2006.02.004.
- [25] ENDO Y, OSADA Y, KIMURA F, et al. Effects of Japanese torrey (*Torreya nucifera*) seed oil on lipid metabolism in rats[J]. Nutrition, 2006, 22(5): 553-558. DOI: 10.1016/j.nut.2005.08.012.
- [26] ENDO Y, TSUNOKAKE K, IKEDA I. Effects of nonmethyl-interrupted polyunsaturated fatty acid, sciadonic (all-cis-5,11,14-eicosatrienoic acid) on lipid metabolism in rats[J]. Biosci Biotechnol Biochem, 2009, 73(3): 577-581. DOI: 10.1271/bbb.80646.
- [27] BERGER A, MONNARD I, BAUR M, et al. Epidermal anti-inflammatory properties of 5,11,14 20:3: effects on mouse ear edema, PGE2 levels in cultured keratinocytes, and PPAR activation[J]. Lipids in Health and Disease, 2002(1): 1-12. DOI: 10.1186/1476-511X-1-5.
- [28] HE Z, ZHU H, LI W, et al. Chemical components of cold pressed kernel oils from different *Torreya grandis* cultivars[J]. Food Chemistry, 2016(209): 196-202. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.04.053.

(责任编辑 李燕文)