

徐梦婷, 王强, 郝艳宾, 等. 基于主成分分析的核桃品种油用性状综合评价 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(2): 235–242. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023030206

XU Mengting, WANG Qiang, HAO Yanbin, et al. Comprehensive Evaluation of Oil-use Traits of Walnut Varieties Based on Principal Component Analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(2): 235–242. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023030206

· 分析检测 ·

基于主成分分析的核桃品种油用性状 综合评价

徐梦婷^{1,2}, 王 强³, 郝艳宾¹, 齐建勋^{1,*}, 张贇齐¹, 丁保森², 陈永浩^{1,4,*}

(1.北京市农林科学院林业果树研究所, 北京 100093;

2.长江大学生命科学学院, 湖北荆州 434025;

3.中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100193;

4.北京市落叶果树工程技术研究中心, 北京 100097)

摘要:针对核桃油用加工专用品种不明确现状, 本研究以 26 个主栽核桃品种为研究对象, 对其油用性状进行综合评价, 以期筛选出适宜油用加工的核桃专用品种。通过测定各品种的 7 个表观性状以及 19 个理化与营养品质性状, 对各性状的变异系数和相关性进行分析, 并通过主成分分析、聚类分析对与油用品质密切相关的性状进行综合评价。结果表明, 核桃坚果的品质性状指标间存在一定的相关性。其中出仁率与壳厚呈极显著负相关 ($P<0.01$), 壳越厚出仁率会出现明显的下降趋势。油酸与粗脂肪、硬脂酸呈显著正相关 ($P<0.05$); 亚油酸与棕榈酸、硬脂酸呈极显著正相关 ($P<0.01$); 亚麻酸与 δ -生育酚呈显著正相关 ($P<0.05$), 与 γ -生育酚呈显著负相关 ($P<0.05$)。基于主成分分析发现, 第 1 主成分反映了核桃的大小, 对方差的贡献率最大; 第 2 主成分反映了核桃油氧化稳定性; 第 3 主成分与出油率有关; 第 4 主成分属于坚果的经济性状; 第 5 主成分可作为衡量核桃油品质的重要指标。5 个主成分解释了 83.81% 的总变异, 反映了核桃油用性状的绝大部分信息。综合相关性分析和主成分分析得出评价核桃品种油用性状的代表性指标为坚果三径、壳厚、仁重、单果重、出仁率、水分、粗脂肪、粗蛋白、棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、总生育酚、总甾醇。根据综合评价值得分较高的品种包括云南华宁大白壳、新疆温 185、北京辽宁 1 号、云南细香、甘肃清香、河北香玲等, 表明上述品种更适宜油用加工, 为核桃油用加工专用品种筛选提供了参考。

关键词:核桃, 表观性状, 理化与营养品质, 主成分分析, 综合评价

中图分类号: TS222

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)02-0235-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023030206



本文网刊:

Comprehensive Evaluation of Oil-use Traits of Walnut Varieties Based on Principal Component Analysis

XU Mengting^{1,2}, WANG Qiang³, HAO Yanbin¹, QI Jianxun^{1,*}, ZHANG Yunqi¹,
DING Baomiao², CHEN Yonghao^{1,4,*}

(1. Institute of Forestry and Pomology, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100093, China;

2. College of Life Sciences, Yangtze University, Jingzhou 434025, China;

3. Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China;

4. Beijing Engineering Research Center for Deciduous Fruit Trees, Beijing 100097, China)

收稿日期: 2023-03-21

基金项目:新疆维吾尔自治区重点研发计划项目 (2022B02048); 泰山产业领军人才工程专项 (tsxc202306075); 北京市农林科学院科技创新能力建设项目 (KJCX20210406); 北京市农林科学院创新能力建设专项 (KJCX20230118)。

作者简介: 徐梦婷 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 2645386564@qq.com。

*** 通信作者:** 齐建勋 (1974-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 核桃种质资源评价与品种选育研究, E-mail: qjx@263.net。

陈永浩 (1979-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 核桃深加工与高值化利用研究, E-mail: cyh2010@126.com。

Abstract: To address the existing issue of ambiguous walnut varieties for oil processing, this study employed 26 main planted walnut varieties as the research object, completely analyzing their oil utilization features in order to filter out qualified walnut particular varieties for oil processing. By measuring seven phenotypic traits and nineteen physicochemical and nutritional quality traits of each variety, the coefficient of variation and correlation of each trait were calculated, and the traits closely related to oil quality were comprehensively evaluated using principal component analysis and cluster analysis. The findings revealed that there were relationships between walnut quality parameters. Among them, the kernel yield was found to be strongly inversely related to shell thickness ($P<0.01$), with the thicker the shell, the lower the kernel yield. There was a significant positive correlation between oleic acid and crude fat and stearic acid ($P<0.05$), linoleic acid was positively correlated with palmitic acid and stearic acid ($P<0.01$). Linolenic acid and δ -tocopherol were significantly positively correlated with γ -tocopherol ($P<0.05$) showed a significant negative correlation ($P<0.05$). The first principal component, according to the results of the principal component analysis, indicated the size of the walnuts and contributed the most to the variance. The second significant component denotes the oxidation stability of walnut oil. The third main factor was linked to oil yield. The fourth primary component dealt with the economic aspects of the nuts, while the fifth primary component might be used as an important predictor of walnut oil quality. The five key components explained 83.81% of the overall variation, showing that the majority of the information on walnut oil consumption features is available. Nut trichome, shell thickness, kernel weight, single fruit weight, kernel yield, moisture, crude fat, crude protein, palmitic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid, linolenic acid, total tocopherols, and total sterols were the representative indicators for evaluating the oil-use traits of walnut varieties. According to the comprehensive evaluation, the varieties with higher scores including Yunnan Huaning white shell, Xinjiang Wen 185, Beijing Liaoning 1, Yunnan Xixiang, Gansu Qingxiang, Hebei Xiangling, and others, indicating that the above varieties were more suitable for oil processing and could be used as a guideline for the selection of special varieties for walnut oil processing.

Key words: walnut; phenotypic trait; physicochemical and nutritional quality; principal component analysis; comprehensive assessment

核桃是世界重要的木本油料树种。近年来,我国核桃产业发展迅速,核桃产量约占世界总量的 60%^[1-2]。2021 年我国核桃种植总面积约 745.49 万 hm^2 , 总产量 540.35 万吨, 位居世界之首^[3], 主要产区有云南(159.9 万吨)、新疆维吾尔自治区(119.7 万吨)、四川(88.9 万吨)、陕西(36.8 万吨)、河北(18.2 万吨)、山东(13.1 万吨)、甘肃(12.9 万吨)和湖北省(10.0 万吨)^[4]。核桃品种选育是核桃产业的基础, 近年来, 核桃新品种也在不断增加, 据统计, 近五年新审定或授权植物新品种权的核桃品种有 20 余个。众多核桃品种的选育主要考虑了抗逆性、果壳薄厚等特性, 对其加工特性缺乏充分考虑。而在深加工拉动核桃产业发展的当下, 对核桃品种进行加工适宜性评价并开展适宜加工品种的筛选就显的尤为重要。

主成分分析(PCA)是将多个变量通过线性变换以选出较少个数重要变量的一种多元统计分析方法, 又称主分量分析。该分析方法可将初始变量转换为新的有效主成分, 以识别数据集中最显著的特征^[5-6]。聚类分析是一组将研究对象分为相对同质的群组的统计分析技术, 是采用 k-均值、k-中心点等算法的聚类分析工具进行数据建模、简化数据的一种方法。基于主成分分析和聚类分析相结合的方法, 已被广泛应用于不同品种核桃的种质资源评价和筛选, 例如 Swati 等^[7]对来自查漠克什米尔地区 37 个地点的 225 份核桃种质资源开展了形态性状分析, 采用主成分分析和聚类分析等多变量分析筛选出具有良好坚果和核仁潜力的优良核桃种质资源。薛岩晟等^[8]通过对西藏加查 48 株核桃遗传资源的果实特性及品

质指标进行综合分析筛选, 最终得到了 10 株优质核桃品种。

核桃由于含油量高, 有“树上油库”的美誉, 作为我国重要的木本粮油, 对于保障我国油料安全、满足人们对高品质植物油的需求均发挥着重要作用。各地主栽品种的核桃油含量和品质差异较大, 对核桃油用性状进行综合评价, 筛选适宜油用加工的核桃品种对于提高核桃油品质, 缓解我国植物油大量依赖进口的现状具有重要意义。但对核桃品种的油用性状综合评价研究刚刚起步, 国内外报道尚不多见。耿阳阳等^[9]为筛选贵州不同加工用途的核桃品种, 对贵州不同地区 289 份核桃样品的单果重、三径均值、出仁率、壳厚、粗脂肪和蛋白质进行统计分析, 同时结合内褶壁、横隔膜和取仁难易评分共 9 个农艺性状进行相关性、主成分分析与中心聚类分析, 将贵州核桃初步归为 5 类用途, 对适合油用加工原料指标进行了评价, 但仍存在取样范围和代表性不足、指标人为评价准确性等问题。本研究在对我国主栽区域的代表性核桃良种、种质资源进行初步调查的基础上, 收集、筛选出 26 个核桃品种进行油用性状的综合评价, 通过对各核桃品种的表现性状和理化、营养特性进行测定, 并对各品种核桃的油用性状指标进行主成分分析和综合评价, 以期筛选适宜加工制油的优良核桃品种提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

核桃 2022 年, 从我国主要核桃产区 9 个省

(市)(云南、新疆、四川、陕西、河北、山东、甘肃、湖北省和北京市)收集了 26 个主栽核桃品种(表 1)。将收集的带青皮的核桃放置在阴凉处风干,待青皮自然脱落后手工去除青皮并清洗,然后自然干燥至水分含量 8% 以下,编号备用。

表 1 26 个核桃品种名称及来源
Table 1 Name and origin of 26 walnut varieties

编号	品种名称	品种来源
1	漾濞泡核桃	云南省大理白族自治州永平县
2	华宁大百壳	云南省玉溪市华宁县
3	三台	云南省大理白族自治州宾川县
4	细香	云南省保山市昌宁县
5	温81	新疆维吾尔自治区温宿县
6	温185	新疆维吾尔自治区温宿县
7	新新2号	新疆维吾尔自治区温宿县
8	新萃丰	新疆维吾尔自治区温宿县
9	新早丰	新疆维吾尔自治区温宿县
10	扎343	新疆维吾尔自治区温宿县
11	硕星	四川省广元朝天区
12	盐源早	四川省甘孜州泸定县
13	西洛3号	陕西省商洛市洛南县
14	香玲	陕西省商洛市洛南县
15	香玲	河北省邢台市临城县
16	辽宁1号	河北省石家庄市赞皇县
17	鲁果2号	山东省泰安市肥城县
18	清香	山东省泰安市肥城县
19	强特勒	甘肃省陇南市武都区城关镇
20	元林	甘肃省陇南市武都区城关镇
21	清香	甘肃省陇南市武都区城关镇
22	辽核4号	湖北省十堰市郧西县
23	清香	湖北省十堰市郧西县
24	香玲	湖北省十堰市郧西县
25	礼品1号	北京市顺义区
26	辽宁1号	北京市房山区

YP5002 电子天平 上海佑科仪器仪表有限公司;JA1003 分析天平 上海越平科学仪器有限公司;HH-2 数显恒温水浴锅 金坛市鸿科仪器厂;GC-2010 Plus 气相色谱仪 GC-2010 Plus 日本岛津;Thermo Dionex Ultimate 3000 HPLC-MS/MS 美国赛默飞世尔科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 核桃坚果表观性状测定 核桃的横径、纵径、侧径用电子游标卡尺进行测量,单位均为 cm;壳厚用电子游标卡尺测量核壳胴部的厚度,精确到 0.01 mm;核桃坚果单果重和仁重用天平称量,精确到 0.01 g^[10]。通过测量的单果重和仁重指标参照 GB/T 20398-2021 计算出单果的出仁率^[11]。

1.2.2 核桃理化与营养品质测定 水分参照 GB 5009.3-2016 进行测定^[12];粗纤维参照 GB 5009.10-2003 进行测定^[13];灰分参照 GB 5009.4-2016 进行测定^[14];粗脂肪参照 GB 5009.6-2016 进行测定^[15];粗蛋白参照 GB 5009.5-2016 进行测定^[16];脂肪酸组成

及含量参照 GB 5009.168-2016 进行测定^[17];生育酚参照 Wang 等^[18]方法略作修改;植物甾醇参照 Vu 等^[19]方法略作修改。

1.3 数据处理

采用 Excel 2016 进行数据汇编和整理,在进行分析之前计算各核桃品质特性的平均值、标准差和变异系数。所有实验至少进行三次,采用 SPSS21.0 软件分析核桃品质特性的差异情况,其中应用 Duncan’s multiple range test 方法($P<0.05$)估计统计差异、应用 Pearson 方法分析核桃品质特性指标的相关性、以及应用主成分分析法对核桃油用性状进行降维分析。采用 Origin 2018 以欧氏距离结合离差平方和法对核桃油用性状进行系统聚类分析。

2 结果与分析

2.1 核桃表观性状分析

对 26 个主栽核桃品种的 7 项表观性状指标进行了统计分析(表 2)。由表 2 可知,表观性状中单果重的变化范围最大为 7.76~20.62 g,变异系数最大为 23.53%,说明不同品种核桃的单果重差异较大;其次为仁重,变异系数为 23.18%,变化范围为 3.42~9.75 g;壳厚的变异系数为 17.79%,超过 10.00%,说明不同品种的壳厚具有较高的离散程度。单果重、壳厚、仁重的变异系数大也进一步说明我国核桃品种在表观性状方面具有较大差异。

表 2 26 个核桃品种表观性状的统计分析
Table 2 Data analysis of phenotypic traits of 26 walnuts varieties

指标	最大值	最小值	极差	均值	标准差	变异系数(%)
横径(cm)	3.74	2.59	1.15	3.24	0.27	8.22
纵径(cm)	4.64	3.03	1.61	3.92	0.35	8.80
侧径(cm)	4.07	2.71	1.36	3.42	0.30	8.67
壳厚(cm)	1.60	0.79	0.81	1.16	0.21	17.79
单果重(g)	20.62	7.76	12.86	12.84	3.02	23.53
仁重(g)	9.75	3.42	6.33	6.68	1.55	23.18
出仁率(%)	64.00	43.15	20.85	52.18	4.96	9.51

对核桃坚果 7 个表观性状进行相关性分析(表 3)发现,出仁率与壳厚呈高度负相关,张赞齐等^[20]的研究结果与本研究结果一致。坚果横径、坚果纵

表 3 26 个核桃品种表观性状的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of phenotypic traits of 26 walnut varieties

表观性状	横径	纵径	侧径	壳厚	单果重	仁重	出仁率
横径	1.000	0.751**	0.891**	0.108	0.890**	0.904**	0.114
纵径		1.000	0.684**	-0.063	0.738**	0.757**	0.138
侧径			1.000	0.044	0.803**	0.862**	0.212
壳厚				1.000	0.334	0.049	-0.725**
单果重					1.000	0.921**	-0.117
仁重						1.000	0.269
出仁率							1.000

注:**表示在 $P<0.01$ 水平上显著相关;*表示在 $P<0.05$ 水平上显著相关。

经、坚果侧径、单果重、仁重相互之间呈极显著正相关, Khadivi 等^[21]的研究结果与本研究结果一致。出仁率与单果重相关性不显著, 表明出仁率受单果重的影响较小。

2.2 核桃理化与营养品质分析

各核桃品种中水分都低于 8%(表 4), 说明所有核桃品种的水分含量都在安全水分含量范围之内。26 个核桃品种的灰分含量为 1.4%~2.4%, 与 Erdogan 等^[22]报道结果相似; 总脂肪含量为 49.40%~62.90%, 平均值为 55.30%, 变异系数(4.96%)小于 10%, 说明各核桃品种间总脂肪含量变异较小。在各脂肪酸组分中, 油酸、亚油酸、亚麻酸是最常见的脂肪酸组分, 其中变异系数最大的油酸含量为 5.20~15.9 mg/100 g, 占总脂肪酸含量为 9.38%~27.85%, 变异系数最小的棕榈酸含量为 1.87~3.74 mg/100 g, 占总脂肪含量为 3.31%~6.54%。蛋白含量的变化范围为 14.70%~23.10%, 平均值为 19.78%, 高于 Geng 等^[23]报道的不同产区的粗蛋白平均含量。总生育酚的变化范围为 14.20~30.50 mg/100 g, 变异系数为 16.77%, 其中 γ -生育酚含量最高, 变化范围为 12.00~27.20 mg/100 g, 低于 Li 等^[24]报道的我国主要核桃种植区域中 γ -生育酚含量。总甾醇的变化范围为 80.00~148.00 mg/100 g, 其中 β -谷甾醇是核桃仁中最丰富的甾醇, 变化范围为 64.60~135.00 mg/100 g, 低于 Ribeico 等^[25]报道的巴西南部 11 个薄壳山核桃中 β -谷甾醇含量。

表 4 26 个核桃品种理化与营养品质的统计分析
Table 4 Data analysis of chemical quality of 26 walnut varieties

指标	最大值	最小值	极差	均值	标准差	变异系数(%)
含水量(%)	5.92	1.00	4.92	3.04	1.07	35.23
粗纤维(%)	7.60	3.50	4.10	5.27	1.03	19.60
灰分(%)	2.40	1.40	1.00	1.85	0.20	11.03
脂肪含量(%)	62.90	49.40	13.50	55.30	2.74	4.96
蛋白含量(%)	23.10	14.70	8.40	19.78	2.36	11.93
棕榈酸(g/100 g)	3.74	1.87	1.87	2.63	0.47	17.86
硬脂酸(g/100 g)	1.99	0.69	1.30	1.26	0.33	25.94
油酸(g/100 g)	15.90	5.20	10.70	8.80	2.69	30.60
亚油酸(g/100 g)	35.50	17.00	18.50	26.94	5.08	18.84
亚麻酸(g/100 g)	7.64	2.17	5.47	4.06	1.09	26.79
α -生育酚(mg/100 g)	1.62	0.33	1.29	0.93	0.27	29.42
γ -生育酚(mg/100 g)	12.00	27.20	15.20	16.98	3.31	19.51
δ -生育酚(mg/100 g)	4.79	1.54	3.25	2.90	0.93	32.20
总生育酚(mg/100 g)	30.50	14.20	16.30	20.81	3.49	16.77
菜油甾醇(mg/100 g)	5.50	3.61	1.89	4.25	0.47	11.07
豆甾醇(mg/100 g)	1.18	0.00	1.18	0.50	0.36	72.67
β -谷甾醇(mg/100 g)	135.00	64.60	70.40	93.53	13.63	14.57
$\Delta 5$ -燕麦甾醇(mg/100 g)	12.60	3.21	9.39	5.53	1.91	34.45
总甾醇(mg/100 g)	148.00	80.00	68.00	117.73	16.24	13.79

对核桃坚果 19 个理化与营养品质进行相关性分析(表 5)发现, 粗脂肪与粗蛋白呈高度负相关($P<0.01$); 油酸与粗脂肪、硬脂酸呈显著正相关

($P<0.05$), 与粗纤维呈显著负相关($P<0.05$), 与 α -生育酚呈高度负相关($P<0.01$); 亚油酸与棕榈酸、硬脂酸呈高度正相关($P<0.01$); 亚麻酸与粗纤维呈高度正相关($P<0.01$), 与 δ -生育酚呈显著正相关($P<0.05$), 与 γ -生育酚呈显著负相关($P<0.05$); 总生育酚与 γ -生育酚呈高度正相关($P<0.01$), 与豆甾醇呈显著负相关($P<0.05$); 总甾醇与 β -谷甾醇呈高度正相关($P<0.01$), 与 $\Delta 5$ -燕麦甾醇呈显著正相关。由此可见, 核桃理化与营养品质间存在着不同程度的相关性。

核桃性状间的相关性反映了核桃种质资源的油用潜力, 为育种家确定亲本选择和育种目标提供了依据^[26]。因此需要进一步对所有核桃品质指标进行相关性分析, 以便找到与油用密切相关的主要支撑指标。

2.3 核桃油用性状的主成分分析

主成分分析的方法可以降低数据的维度, 将原始变量转换为新的有效主成分, 并在少数主成分中尽可能多地保留数据的总变化^[27-28]。由于评价核桃品质指标比较多, 很难简单通过一个指标来评价一个核桃样品优异程度。在对油用性状的研究中, 通过因子分析选择与油用密切相关的 17 个品质特性指标进行主成分分析(表 6)。由表 6 可知, 提取了 5 个特征值大于 1.0 的主成分, 累计方差贡献率达 83.85%, 能够较为准确的反映油用核桃性状的大部分信息。

第 1 主成分方差贡献率最大(29.09%), 特征根也最大, 为 4.945。特征向量中正向载荷较高的性状有坚果三径、单果重、仁重, 其特征向量值均大于 0.7, 反映了核桃的大小。第 2 主成分方差贡献率为 19.70%, 特征根为 3.349, 特征向量中正向载荷比较高的性状有棕榈酸、总甾醇, 反映核桃油氧化稳定性。第 3 主成分特征根为 2.382, 解释 14.01% 的油用性状变异, 正向载荷较高的性状为硬脂酸, 负向载荷较高的性状有粗脂肪、总生育酚, 这类性状与出油率有关。第 4 主成分特征根为 1.945, 解释 11.44% 的油用性状变异, 正向载荷较高的性状为出仁率, 负向载荷较高的性状为壳厚, 属于坚果的经济性状。第 5 主成分方差贡献率为 9.565%, 特征根为 1.626, 正向载荷较高的性状为油酸, 负向载荷较高的性状为亚麻酸, 而不同脂肪酸比例对于氧化稳定性有一定影响, 故这类性状可作为衡量核桃油品质的重要指标。

2.4 核桃油用性状的聚类分析

聚类分析是一种工具, 根据欧氏距离计算各个数据点之间的相似度, 并将两个最近的数据点按顺序组合, 生成层次嵌套的聚类树^[1,29]。将核桃坚果的油用品质指标数据标准化后, 对 26 个核桃品种进行聚类分析, 在欧氏距离为 10 时, 可以分为 5 个类型(图 1)。第一类包括了 10 个核桃品种, 分别为云南漾濞泡核桃、山东清香、四川盐源早、北京礼品 1 号、新疆新新 2 号、新早丰、新萃丰、扎 343、陕西西洛 3 号、陕西香玲, 这类核桃平均壳厚较薄

表 5 26 个核桃品种理化与营养品质的相关性分析
Table 5 Correlation analysis of chemical quality of 26 walnut varieties

指标	水分	粗纤维	灰分	粗脂肪	粗蛋白	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	α -生育酚	γ -生育酚	δ -生育酚	总生育酚	菜油甾醇	豆甾醇	β -谷甾醇	Δ^5 -燕麦甾醇	总甾醇
水分	1.000																		
粗纤维	-0.290	1.000																	
灰分	-0.268	-0.304	1.000																
粗脂肪	-0.461*	0.212	0.123	1.000															
粗蛋白	0.405*	-0.297	0.214	-0.718**	1.000														
棕榈酸	-0.445*	0.044	0.023	-0.036	-0.216	1.000													
硬脂酸	-0.059	-0.129	-0.091	-0.108	-0.053	0.501**	1.000												
油酸	-0.323	-0.437*	0.515**	0.435*	-0.214	0.325	0.452*	1.000											
亚油酸	-0.367	-0.217	0.005	-0.098	-0.159	0.845**	0.661**	0.384	1.000										
亚麻酸	-0.410*	0.661**	-0.333	0.181	-0.359	0.385	0.027	-0.309	0.184	1.000									
α -生育酚	0.216	0.173	-0.332	-0.383	0.299	-0.149	-0.311	-0.507**	-0.274	0.099	1.000								
γ -生育酚	-0.209	-0.443*	0.525**	0.298	-0.084	-0.155	-0.292	0.372	-0.034	-0.426*	-0.074	1.000							
δ -生育酚	-0.439*	0.451*	0.220	0.201	-0.054	0.109	-0.377	-0.088	-0.137	0.473*	0.158	0.059	1.000						
总生育酚	-0.298	-0.285	0.529**	0.307	-0.071	-0.132	-0.405*	0.287	-0.093	-0.270	0.050	0.957**	0.335	1.000					
菜油甾醇	0.153	-0.087	0.086	0.025	0.035	-0.175	0.094	-0.008	0.039	0.053	-0.119	0.129	0.079	0.134	1.000				
豆甾醇	0.427*	-0.083	-0.186	-0.162	0.198	-0.117	0.375	-0.117	-0.042	0.117	0.041	-0.447*	-0.251	-0.489*	0.351	1.000			
β -谷甾醇	-0.346	0.109	0.343	0.332	-0.371	0.299	0.293	0.418*	0.324	0.106	-0.253	0.141	0.294	0.192	0.423*	0.034	1.000		
Δ^5 -燕麦甾醇	-0.417*	0.396*	-0.174	0.368	-0.468*	-0.059	-0.056	-0.152	-0.164	0.492*	0.025	0.123	0.121	0.149	0.019	0.038	0.055	1.000	
总甾醇	-0.487*	0.268	0.164	0.510**	-0.558**	0.318	0.251	0.359	0.251	0.358	-0.176	0.069	0.319	0.136	0.283	0.115	0.891**	0.391*	1.000

注:**表示在 $P<0.01$ 水平上显著相关;*表示在 $P<0.05$ 水平上显著相关。

表 6 核桃油用性状的主成分分析
Table 6 Principal component analysis of characteristics of walnut for oil

油用性状	主成分				
	1	2	3	4	5
横径	0.871	-0.372	0.181	0.044	0.034
纵径	0.759	-0.388	-0.183	0.063	-0.131
侧径	0.885	-0.259	0.100	0.095	0.152
壳厚	-0.065	-0.418	0.428	-0.659	0.089
单果重	0.789	-0.525	0.171	-0.174	-0.019
仁重	0.868	-0.404	0.025	0.113	-0.068
出仁率	0.286	0.290	-0.360	0.727	-0.197
水分	-0.584	-0.478	0.227	0.076	0.129
粗脂肪	0.380	0.395	-0.611	-0.368	0.123
粗蛋白	-0.491	-0.356	0.211	0.597	0.099
棕榈酸	0.299	0.692	0.436	0.212	-0.157
硬脂酸	0.217	0.396	0.754	-0.014	0.251
油酸	0.270	0.567	-0.055	0.121	0.708
亚油酸	0.464	0.508	0.593	0.227	0.061
亚麻酸	0.257	0.364	-0.020	-0.091	-0.848
总生育酚	0.314	-0.064	-0.607	0.120	0.422
总甾醇	0.218	0.656	-0.108	-0.542	0.029
特征根	4.945	3.349	2.382	1.945	1.626
贡献率(%)	29.086	19.699	14.011	11.443	9.565
累计贡献率(%)	29.086	48.785	62.796	74.239	83.805

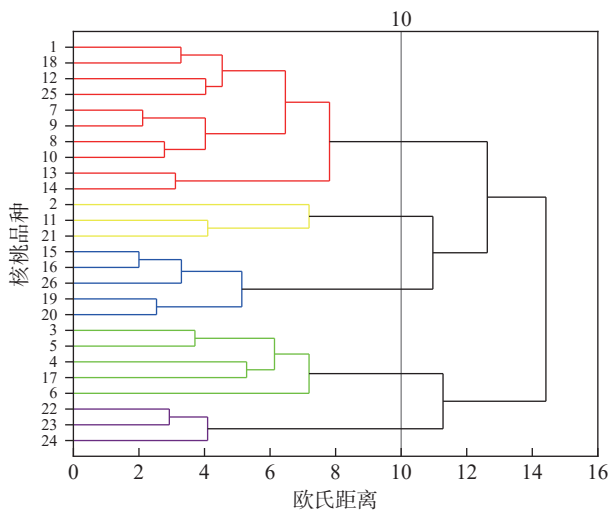


图 1 基于油用性状指标对 26 个核桃品种进行聚类分析
Fig.1 Cluster analysis of 26 walnut varieties based on oil characters indicators

(1.10±0.13 mm), 平均出仁率较高(52.96%±3.44%), 平均粗脂肪含量较高(55.66%±2.05%), 平均总生育酚含量较高(21.38±2.56 mg/100 g), 平均总甾醇含量最低(106.80±14.64 mg/100 g); 第二类包括了 3 个核桃品种, 分别为云南华宁大白壳、四川硕星和甘肃清香, 这类核桃平均壳厚较厚(1.35±0.26 mm), 平均出仁率较高(51.00%±6.58%), 平均粗脂肪含量较高(57.07%±0.65%), 平均总生育酚含量最高(24.13±5.82 mg/100 g), 平均总甾醇含量较高(125.67±12.50 mg/100 g); 第三类包括了 5 个核桃品种, 分别

为河北香玲、河北辽宁 1 号、甘肃强特勒、元林、北京辽宁 1 号, 这类核桃平均壳厚略厚(1.16±0.14 mm), 平均出仁率较高(51.80%±3.26%), 平均粗脂肪含量最低(52.04%±1.85%), 平均总生育酚含量最低(18.42±2.37 mg/100 g), 平均总甾醇含量略低(112.20±9.93 mg/100 g); 第四类包括了 5 个品种, 分别为云南三台、细香、新疆温 81、新疆温 185、山东鲁果 2 号, 这类核桃平均壳厚最薄(1.07±0.95 mm), 平均出仁率(56.22%±5.20%)最高, 平均粗脂肪含量(57.48%±3.16%)最高, 平均总生育酚含量较高(21.08±4.31 mg/100 g), 平均总甾醇含量较高(131.80±14.06 mg/100 g); 第五类包括了 3 个核桃品种, 分别为湖北辽核 4 号、湖北清香、湖北香玲, 这类核桃平均壳厚最厚(1.47±0.08 mm), 为中厚壳核桃, 剥壳取仁较难, 平均出仁率(44.61%±1.81%)最低, 平均粗脂肪含量略低(54.13%±1.39%), 平均总生育酚含量略低(19.13±1.93 mg/100 g), 总甾醇含量最高(132.00±3.60 mg/100 g)。

2.5 核桃油用性状的综合评价结果

将油用密切相关的 17 个品质特性指标数据标准化, 根据 5 个主成分的贡献率和隶属函数模型, 计算出核桃油用性状的综合得分并进行排序。综合得

表 7 核桃油用性状综合得分排序表
Table 7 Ranking list of composite scores of walnut oil characters

品种名称	综合评价值	排名
华宁大白壳	1.26	1
温185	1.21	2
北京辽宁1号	1.15	3
细香	0.98	4
甘肃清香	0.96	5
河北香玲	0.87	6
硕星	0.47	7
漾濞泡核桃	0.43	8
河北辽宁1号	0.43	9
山东清香	0.33	10
三台	0.09	11
鲁果2号	0.08	12
元林	0.07	13
强特勒	0.03	14
温81	0.01	15
礼品1号	-0.20	16
扎343	-0.24	17
新早丰	-0.40	18
湖北清香	-0.40	19
盐源早	-0.74	20
新新2号	-0.76	21
新萃丰	-0.89	22
陕西香玲	-0.93	23
辽核4号	-0.97	24
西洛3号	-1.25	25
湖北香玲	-1.59	26

分越高,表明核桃油用性状的综合表现越好,综合得分排序情况见表 7。26 个核桃品种的油用性状综合分值范围为-1.59~1.26,华宁大白壳的油用性状综合表现最佳(1.26),而湖北香玲的油用性状综合得分最低(-1.59)。根据综合得分,并结合聚类分析的结果,经过排序得到 5 个类型中综合表现最佳的核桃品种;在第一类中云南漾濞核桃的油用性状综合得分最高(0.43);在第二类中云南华宁大白壳的油用性状综合得分最高(1.26);在第三类中河北香玲的油用性状综合得分最高(0.87);在第四类中温 185 的油用性状综合得分最高(1.21);在第五类中湖北清香的油用性状综合得分最高(-0.40)。

3 结论

我国核桃主要种植省份的 26 个主栽品种核桃坚果的品质性状指标间存在一定的相关性。其中出仁率与壳厚呈极显著负相关($P<0.01$),意味着核桃果壳厚度增加,出仁率会出现明显的下降趋势;油酸与粗脂肪、硬脂酸的正相关性显著($P<0.05$);亚油酸与棕榈酸、硬脂酸呈极显著正相关($P<0.01$);亚麻酸与 δ -生育酚正相关性显著($P<0.05$),与 γ -生育酚负相关性显著($P<0.05$)。主成分分析中的 5 个主成分解释了 83.81% 的总变异,反映了核桃油用性状的绝大部分信息,第 1 主成分反映了核桃的大小,对方差的贡献率最大;第 2 主成分反映核桃油氧化稳定性;第 3 主成分与出油率有关;第 4 主成分属于坚果的经济性状;第 5 主成分可作为衡量核桃油品质的重要指标。综合相关性分析和主成分分析从 26 个核桃品质性状中筛选出了 17 个有代表性的主要油用性状,对与油用密切相关的 17 个性状进行主成分分析,并结合隶属函数法经过综合评价得到前 6 名为云南华宁大白壳、新疆温 185、北京辽宁 1 号、云南细香、甘肃清香、河北香玲。

本研究收集了我国核桃主要种植省份的 26 个主栽品种,对其油用性状进行综合评价,以期充分利用我国核桃资源,筛选适宜油用加工的品种,提高核桃油品质和稳定性提供理论参考,并为防范国家粮油供给风险提供种质资源保障。但本研究仍存在一些不足之处:a. 只收集了同一年的核桃品种,而各地因每年天气和栽培管理水平的差异会造成果实相关数据的波动;b. 各地区核桃品种的选择仍存在一定局限性,可能还有更合适的品种未被选入分析队列,因采样地域跨度大,在样品品种数量方面仍存在不足;c. 本文仅从核桃坚果品质与油用品质相关性方面进行了分析,而氧化稳定性作为核桃油用加工的重要品质指标,在后续研究中需要进一步重点考虑。

参考文献

[1] LI H K, HAN J J, ZHAO Z K, et al. Roasting treatments affect oil extraction rate, fatty acids, oxidative stability, antioxidant activity, and flavor of walnut oil[J]. *Frontiers in Nutrition*, 2023, 9: 1077081.

[2] WANG P, ZHONG L L, YANG H B, et al. Comparative analysis of antioxidant activities between dried and fresh walnut kernels by metabolomic approaches[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2022, 155: 112875.

[3] 徐梦婷,李俊,郝艳宾,等.核桃膳食化-从膳食结构需求角度浅析核桃仁全利用[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(16): 362-368.

[XU M T, LI J, HAO Y B, et al. Dietary nutrition of walnuts-Analysis of the full utilization of walnut kernels from the perspective of dietary structure demand[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2023, 49(16): 362-368.]

[4] 国家统计局. 中国统计年鉴-2022[M]. 北京: 中国统计出版社, 2022. [National Bureau of Statistics. China statistical yearbook-2022[M]. Beijing: China Statistics Press, 2022.]

[5] GAO P, LIU R J, JIN Q Z, et al. Comparative study of chemical compositions and antioxidant capacities of oils obtained from two species of walnut: *Juglans regia* and *Juglans sigillata*[J]. *Food Chemistry*, 2019, 279: 279-287.

[6] MEIER N, COGGESHALL M V, WEBBER J B, et al. Genetic variation among 54 eastern black walnut cultivars for phenological and morphological traits[J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2022, 147(5): 281-289.

[7] SWATI J Q, KHAN M Q, BUTT L, et al. Genetic diversity based on morphological traits and germplasm conservation of walnut in Kashmir, Pakistan[J]. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus*, 2021, 20(5): 3-13.

[8] 薛岩晟,高尚,叶家保,等.基于主成分分析对西藏加查县核桃果实品质的综合性评价[J/OL]. *分子植物育种*: 1-14[2023-02-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.s.20220701.0827.002.html>. [XUE Y S, GAO S, YE J B, et al. Comprehensive evaluation of walnut fruit quality in Jiacha county, Tibet autonomous based on principal component analysis[J/OL]. *Molecular Plant Breeding*: 1-14[2023-02-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.s.20220701.0827.002.html>.]

[9] 耿阳阳,胡伯凯,王纪辉,等.贵州不同地区核桃果实特性分析及加工适宜性分类[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(15): 184-192. [GENG Y Y, HU B K, WANG J H, et al. Walnut fruit characteristics and processing suitability classification in different areas of Guizhou province[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(15): 184-192.]

[10] OZCAN A, SUTYEMEZ M, BUKUCU S B. Kurtulus 100, a new superior walnut cultivar in Turkey; field experimental comparative results with chandler[J]. *Erwerbs-Obstbau*, 2023, 65(1): 93-99.

[11] IORDANESCU O A, RADULOV I, BUHAN I P, et al. Physical, nutritional and functional properties of walnuts genotypes (*Juglans regia* L.) from Romania[J]. *Agronomy-Basel*, 2021, 11(6): 1092-1105.

[12] 廖梅,吴恋,戴琴,等.四川凉山木里地区野生核桃品种对比及其油脂品质分析[J]. *食品研究与开发*, 2023, 44(3): 190-194. [LIAO M, WU L, DAI Q, et al. Comparison of wild walnut varieties and their oil quality in Muli, Liangshan, Sichuan[J]. *Food Research and Development*, 2023, 44(3): 190-194.]

[13] 李俊南,梁林波,习学良,等.不同海拔下娘青核桃坚果性状及营养特征分析[J]. *经济林研究*, 2019, 37(4): 44-49. [LI J N, LIANG L B, XI X L, et al. Analysis on nut characters and nutritional characteristics in 'Nangqing' walnut at different altitudes[J]. *Non-wood Forest Research*, 2019, 37(4): 44-49.]

[14] 王建友,刘凤兰,毛金梅,等.采摘期对新疆 3 个品种核桃品质的影响[J]. *食品与机械*, 2016, 32(3): 145-148. [WANG J Y, LIU F L, MAO J M, et al. Effect of different harvest dates on quali-

- ties of *Juglans sigillata* L.[J]. Food & Machinery, 2016, 32(3): 145-148.]
- [15] 余启明, 谢代祖, 蔡锦源, 等. 19种不同产地核桃的营养成分及脂肪酸的分析比较研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(2): 149-156. [YU Q M, XIE D Z, CAI J Y, et al. Analysis and comparison of the nutrients and fatty acids components in 19 walnuts (*Juglans regia* L.) from different regions[J]. Food Research and Development, 2020, 41(2): 149-156.]
- [16] 黄晓露, 赵志珩, 李开祥, 等. 广西优良核桃单株果实品质差异及综合评价研究[J]. 西南农业学报, 2019, 32(3): 489-494. [HUANG X L, ZHAO Z H, LI K X, et al. Research on fruit quality differences and comprehensive evaluation of excellent walnut monocots in Guangxi[J]. Southwest Journal of Agriculture, 2019, 32(3): 489-494.]
- [17] YANG H B, XIAO X, LI J J, et al. Chemical compositions of walnut (*Juglans* Spp.) oil: Combined effects of genetic and climatic factors[J]. Forests, 2022, 13(6): 962-975.
- [18] WANG R H, ZHONG D L, WU S T, et al. The phytochemical profiles for walnuts (*J. regia* and *J. sigillata*) from China with protected geographical indications[J]. Food Science and Technology, 2021, 41: 695-701.
- [19] VU D C, LEI Z T, SUMNER L W, et al. Identification and quantification of phytosterols in black walnut kernels[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2019, 75: 61-69.
- [20] 张赞齐, 董宁光, 郝艳宾, 等. 109份丰产核桃单株坚果表型多样性分析及性状评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2023, 47(3): 87-96. [ZHANG Y Q, DONG N G, HAO Y B, et al. Nuts' phenotypic diversity analysis and character evaluation for 109 high-yield walnut individual trees[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2023, 47(3): 87-96.]
- [21] KHADIVI A, MONTAZERAN A, REZAEI M, et al. The pomological characterization of walnut (*Juglans regia* L.) to select the superior genotypes-An opportunity for genetic improvement[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 248: 29-33.
- [22] ERDOGAN U, ARGIN S, TURAN M, et al. Biochemical and bioactive content in fruits of walnut (*Juglans regia* L.) genotypes from Turkey[J]. Fresenius Environmental Bulletin, 2021, 30(6): 6713-6727.
- [23] GENG S X, NING D L, MA T, et al. Comprehensive analysis of the components of walnut kernel (*Juglans regia* L.) in China[J]. Journal of Food Quality, 2021, 2021: 9302181.
- [24] LI Q Y, MO R H, WANG R H, et al. Characterization and assessment of chemical components in walnuts with various appearances[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2022, 107: 104361.
- [25] RIBEIRO S R, KLEIN B, RIBEIRO Q M, et al. Chemical composition and oxidative stability of eleven pecan cultivars produced in southern Brazil[J]. Food Research International, 2020, 136: 109596.
- [26] ZAREI A, ERFANI-MOGHADAM J, JALILIAN H. Assessment of variability within and among four *Pyrus* species using multivariate analysis[J]. Flora, 2019, 250: 27-36.
- [27] LIU B H, ZHAO D C, ZHANG P Y, et al. Seedling evaluation of six walnut rootstock species originated in China based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Scientia Horticulturae, 2020, 265: 109212.
- [28] 刘丙花, 王开芳, 王小芳, 等. 基于主成分分析的蓝莓果实质地品质评价[J]. 核农学报, 2019, 33(5): 927-935. [LIU B H, WANG K F, WANG X F, et al. Evaluation of fruit texture quality of blueberry based on principal component[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2019, 33(5): 927-935.]
- [29] GRANATO D, SANTOS J S, ESCHER G B, et al. Use of principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) for multivariate association between bioactive compounds and functional properties in foods: A critical perspective[J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 72: 83-90.