

品种和产地对核桃油脂肪酸组成及含量的影响

时杨妮¹, 李鑫鑫¹, 马兆成^{1,2}

(1. 华中农业大学 园艺林学学院, 武汉 430070; 2. 武汉大学 公共卫生学院, 武汉 430071)

摘要:旨在为核桃品种选育和核桃油产品开发提供理论依据,探究不同品种和产地核桃油中脂肪酸组成及含量差异。以51个品种核桃、7个产地的香玲核桃和5个产地的清香核桃为研究对象,利用气相色谱-质谱联用仪测定其油脂的脂肪酸组成及含量,并进行相关性分析、主成分分析与聚类分析。结果表明:51个品种核桃油中含13种脂肪酸,含量较高的依次是亚油酸、油酸、 α -亚麻酸、棕榈酸、硬脂酸,这5种脂肪酸总含量约占总脂肪酸含量的99%,不饱和脂肪酸含量高达90%左右;51个品种核桃油中脂肪酸含量差异显著,5种主要脂肪酸中油酸的变异系数最高,为23.14%, α -亚麻酸变异系数次之,为14.86%,亚油酸的变异系数为7.24%;相关性分析发现,硬脂酸含量与棕榈酸含量呈极显著负相关, α -亚麻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,亚油酸含量与油酸含量呈极显著负相关;通过主成分分析和聚类分析将51个核桃品种分为3类,第1类为中油酸、中亚油酸组,第2类为低油酸、高亚油酸组,第3类为高油酸、低亚油酸组;不同产地核桃油的脂肪酸组成与不同品种核桃油一致,同一品种不同产地核桃油之间脂肪酸含量差异较小,经主成分分析和聚类分析发现甘肃华亭清香核桃单独为一类,其他产地的清香核桃为一类,不同产地的香玲核桃为一类。综上,核桃油脂肪酸含量受产地影响较小,主要是由品种决定,具有一定的遗传稳定性。

关键词:核桃油;脂肪酸;品种;产地

中图分类号:TS222+.1;TS227 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2025)01-0122-07

Effects of varieties and producing areas on fatty acid composition and content of walnut oil

SHI Yangni¹, LI Xinxin¹, MA Zhaocheng^{1,2}

(1. College of Horticulture and Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. School of Public Health, Wuhan University, Wuhan 430071, China)

Abstract: In order to provide a theoretical basis for the breeding of walnut varieties and the development of walnut oil products, the differences in fatty acid composition and content of walnut oil from different varieties and producing areas were explored. A total of 51 varieties of walnuts, Xiangling walnuts from 7 producing areas and Qingxiang walnuts from 5 producing areas were used as research objects, the composition and content of fatty acid in walnut oil were determined by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), and correlation analysis, principal component analysis (PCA) and cluster

analysis were carried out. The results showed that 51 varieties of walnut oils contained 13 kinds of fatty acids, and the total contents of linoleic acid, oleic acid, α -linolenic acid, palmitic acid and stearic acid were higher, and they accounted for about 99% of the total fatty acid content, the content of unsaturated fatty acid in walnut oil was as high as about 90%. The content of fatty acid in 51 varieties of walnut oil was significantly

收稿日期:2023-12-26;修回日期:2024-08-25

基金项目:国家中医药多学科交叉创新团队项目(ZYYCXTD-D-202005);名贵中药资源可持续利用能力建设(2060302);云南省科技厅科技计划项目(202204AC100001-A01, 202204BP090024)

作者简介:时杨妮(1999),女,在读硕士,研究方向为功能性成分(E-mail)shiyangni1999@163.com。

通信作者:马兆成,副教授(E-mail)mzhaocheng@whu.edu.cn。

different. The coefficient of variation of oleic acid was the highest (23.14%) in the five main fatty acid, the coefficient of variation of α -linolenic acid was the second (14.86%), and the coefficient of variation of linoleic acid was 7.24%. Correlation analysis showed that there was a highly significant negative correlation between stearic acid content and palmitic acid content. The content of α -linolenic acid was highly significantly negatively correlated with the content of oleic acid, and it was highly significantly positively correlated with the content of linoleic acid. Linoleic acid content was highly significantly negatively correlated with oleic acid content. Through cluster analysis and PCA, 51 walnut varieties were divided into three categories. The first category was medium oleic acid and medium linoleic acid group, the second category was low oleic acid and high linoleic acid group, and the third category was high oleic acid and low linoleic acid group. The composition of fatty acid in walnut oil from different producing areas was consistent with that of different varieties of walnut oil. The difference of fatty acid content of walnut oil between different producing areas of the same variety was small. Through cluster analysis and PCA, it was found that the Qingxiang walnut in Huating, Gansu Province was a separate category, the Qingxiang walnuts in other producing areas were clustered into one category, and the Xiangling walnuts in different producing areas were clustered into one category. In conclusion, the fatty acid content is less affected by the producing area, mainly determined by the variety, and it has certain genetic stability.

Key words: walnut oil; fatty acid; variety; producing area

核桃属胡桃科胡桃属植物,其栽培历史悠久,种类繁多且分布广泛,我国核桃产量位居世界第一^[1]。核桃是药食同源资源,核桃仁含有约 20% 的蛋白质和 60%~70% 的油脂,其油脂中不饱和脂肪酸含量高达 90%,主要有亚油酸、油酸和 α -亚麻酸等^[2]。亚油酸属于 ω -6 多不饱和脂肪酸(PUFA), α -亚麻酸属于 ω -3 PUFA,两者均是人体必需脂肪酸,只能从食物中获取^[3]。研究发现,不饱和脂肪酸具有抗氧化,保护肝脏,降低血脂、血糖,预防糖尿病和促进脂肪酸代谢等作用^[4-9]。因此,核桃油对人体健康具有多方面的积极影响,是一种价值较高的食用油。

研究表明,品种和产地对核桃油中脂肪酸含量均有一定的影响,如:晏梦溪等^[10]对四川 20 个品种核桃油的脂肪酸组成及含量进行分析,发现不同品种核桃油的脂肪酸含量存在显著差异,并筛选出油脂品质较好的核桃品种为陇南 15 号和广丰 1 号;李群等^[11]采用气相色谱法测定山西 37 个品种核桃油的脂肪酸组成和含量,结果表明,核桃油的脂肪酸主要有油酸、亚油酸和亚麻酸等,其中油酸的变异系数最大,并将 37 个品种划分为高含油率-高亚麻酸品种组 and 低含油率-高油酸品种组;郑悦雯等^[12]对山西 10 个品种核桃油的脂肪酸组成及含量进行分析,发现核桃品种对核桃油中脂肪酸含量有不同程度的影响,其中油酸的变异系数最大;李俊南等^[13]分析发现,不同地区的娘青核桃油的脂肪酸含量存在

一定程度的变异;朱振宝等^[14]研究发现,7 个产地红仁核桃油的脂肪酸组成以亚油酸、油酸、 α -亚麻酸为主,脂肪酸含量均存在差异,其中云南大理、山西平顺的红仁核桃油中亚油酸含量较高。

综上,核桃油营养丰富,主要体现在各脂肪酸含量及脂肪酸比例上,已有研究对核桃品种涉及不够全面,关于产地对脂肪酸含量的影响,没有排除品种因素。因此,本研究以 51 个品种核桃、7 个产地的香玲核桃、5 个产地的清香核桃为研究对象,利用气相色谱-质谱(GC-MS)联用仪对核桃油脂肪酸组成及含量进行测定分析,以期筛选出有特色的优良核桃品种提供理论基础,为同一品种不同地区的核桃利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

51 个品种核桃样品,其中:大麻果(dm)核桃采自云南临沧;薄壳香(bkx)、岱丰(df)、岱辉(dh)、丰辉(fh)、金薄丰 1 号(jbf1)、金薄香 1 号(jbx1)、金薄香 2 号(jbx2)、金薄香 5 号(jbx5)、金薄香 6 号(jbx6)、金薄香 8 号(jbx8)、京 861(j861)、礼品 1 号(lp1)、礼品 2 号(lp2)、辽宁 1 号(ln1)、辽宁 2 号(ln2)、辽宁 3 号(ln3)、辽宁 4 号(ln4)、辽宁 5 号(ln5)、辽宁 6 号(ln6)、辽宁 7 号(ln7)、辽宁 8 号(ln8)、鲁果 10 号(lg10)、鲁果 11 号(lg11)、鲁果 12 号(lg12)、鲁果 2 号(lg2)、鲁果 3 号(lg3)、鲁果 4

号(lg4)、鲁果5号(lg5)、鲁果6号(lg6)、鲁果7号(lg7)、鲁果8号(lg8)、鲁果9号(lg9)、鲁核1号(lh1)、鲁核2号(lh2)、鲁核3号(lh3)、鲁香(lx)、清香(qingx)、秋香(qiux)、泰勒(tl)、西扶1号(xf1)、西扶2号(xf2)、西林1号(xlin1)、西林2号(xlin2)、西洛1号(xluo1)、西洛2号(xluo2)、西洛7号(xluo7)、西洛9号(xluo9)、香玲(xling)、扎343(z343)、中林1号(zl1)核桃均来自山西省农业科学院果树研究所。香玲(xl)核桃[分别产自山西运城(sxyc)、陕西延安(sxya)、河南洛阳(hnly)、山东泰安(sdta)、陕西渭南(sxwn)、甘肃华亭(gsht)、陕西咸阳(sxxy)]、清香(qx)核桃[分别产自甘肃华亭(gsht)、河北邢台(hbxt)、山西运城(sxyc)、甘肃陇南(gsln)、陕西咸阳(sxxy)],均购自当地个体种植户。

正己烷,色谱级,上海麦克林生化科技有限公司;37种脂肪酸甲酯混合标准品,上海源叶生物科技有限公司。

1.1.2 仪器与设备

Trace1310气相色谱-质谱联用仪,美国赛默飞世尔科技公司;Agilent DB-23色谱柱(60 m×0.25 mm×0.15 mm),安捷伦科技有限公司;电子天平,北京赛多利斯仪器系统有限公司;RE100-Pro旋转蒸发仪,大龙兴创实验仪器(北京)有限公司;高速粉碎机,永康市铂欧五金制品有限公司;真空离心浓缩仪,德国艾本德有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 核桃样品前处理

将鲜核桃进行去青皮处理,清洗干净后将鲜果置于45℃烘箱中,烘干3 d后得到核桃干果,人工破壳后取核桃仁,利用高速粉碎机将其粉碎成核桃匀浆并储存于离心管中,于-80℃冰箱保存备用。

1.2.2 核桃油的提取

取10 g核桃匀浆,加入30 mL正己烷,涡旋10 min后,以3 000 r/min离心10 min,取上清液于另一试管中,取下层核桃匀浆重复上述步骤2次,合并3次上清液,旋转蒸发去除正己烷,再将提取物置于10 mL离心管中,利用真空离心浓缩仪烘干至恒重,得到核桃油,保存于-80℃冰箱。

1.2.3 核桃油脂肪酸组成及含量测定

脂肪酸甲酯化:参考文献[15]并作修改。取0.03 g核桃油于5 mL离心管中,加入2 mL正己烷,使油样完全溶解,再加入0.2 mL 0.5 mol/L的氢氧化钾-甲醇溶液,涡旋3 min后,静置澄清,加入约1

g无水硫酸氢钠,剧烈振摇后,以5 000 r/min离心10 min后,取上层有机相,过0.22 μm有机滤膜,于-80℃冰箱保存,待GC-MS检测。

GC-MS检测条件参考文献[16-18]并作修改。GC条件:DB-23色谱柱(60 m×0.25 mm×0.15 mm);载气为氦气,流速1 mL/min;进样口温度250℃;进样量1 μL,分流比50:1;柱升温程序为初始温度50℃,保持1 min,以25℃/min升至175℃,再以4℃/min升至230℃,保持5 min。MS条件:EI离子源,离子源温度280℃;传输线温度250℃;采用全扫描模式采集数据,扫描范围(*m/z*)45~500,4.5 min后开始采集数据。

通过37种脂肪酸甲酯混合标准品的保留时间和NIST质谱库检索对脂肪酸进行定性;利用Xcalibur软件计算各脂肪酸的峰面积,采用峰面积归一化法进行定量^[19]。

1.2.4 数据处理

每个样品重复3次,数据采用SPSS软件进行统计分析,结果以“平均值±标准差”表示。使用Origin绘制相关性热图、聚类分析图,使用Chip-lot在线网站绘制主成分得分图。

2 结果与分析

2.1 品种对核桃油脂肪酸组成及含量的影响

2.1.1 不同品种核桃油的脂肪酸组成及含量

本文采用GC-MS检测到51个品种核桃油的脂肪酸组成基本相同,除辽宁8号和西扶2号未检测到二十碳二烯酸外,其余品种均检测到13种脂肪酸,高于金春银^[20](10种)、王贵芳^[21](7种)等的研究结果。51个品种核桃油的脂肪酸含量范围及变异系数见表1。

由表1可知,核桃油中含量较高的脂肪酸依次是亚油酸、油酸、α-亚麻酸、棕榈酸、硬脂酸,这5种脂肪酸的总含量占总脂肪酸含量的99%以上,与前人的研究结果^[22-23]一致。51个品种核桃油中脂肪酸含量具有显著差异,5种主要脂肪酸中,亚油酸的含量范围为(45.54±0.15)%~(62.98±0.17)%,变异系数为7.24%,高亚油酸品种有西林1号(62.98%)、岱丰(61.91%)、金薄香5号(61.26%),低亚油酸品种有西扶2号(45.54%)、辽宁8号(46.04%)、鲁果10号(46.57%);油酸的含量范围为(13.61±0.22)%~(37.64±0.20)%,变异系数为23.14%,高油酸品种有西扶2号(37.64%)、辽宁8号(35.31%)、礼品2号(34.08%),低油酸品种有岱丰(13.61%)、西林1号(13.67%)、岱辉(14.49%);α-亚麻酸的含量范围为(7.12±

0.12)% ~ (16.10 ± 0.07)% , 变异系数为 14.86% , 高 α - 亚麻酸品种有泰勒 (16.10%) 、秋香 (14.92%) 、岱辉 (14.70%) , 低 α - 亚麻酸品种有西扶 2 号 (7.12%) 、礼品 2 号 (8.78%) 、辽宁 8 号 (9.22%) ; 棕榈酸的含量范围为 (5.75 ± 0.00)% ~ (7.44 ± 0.01)% , 变异系数为 6.83% , 变异系数较小, 说明棕榈酸在不同品种之间差异较小; 硬脂酸的含量范围为 (2.37 ± 0.03)% ~ (5.01 ± 0.07)% , 变异系数为 13.73% 。

由表 1 可知, 核桃油的饱和脂肪酸 (SFA) 主要由棕榈酸和硬脂酸组成, 含量范围为 (8.76 ± 0.17)% ~ (11.02 ± 0.09)% , 变异系数为 4.42% , 属于低度变异, 说明 SFA 含量在不同品种的核桃油之间稳定。单不饱和脂肪酸 (MUFA) 的主要组分是油酸, 含量范围为 (13.88 ± 0.21)% ~ (37.95 ± 0.19)% , 变异系数为 22.89% , 属于中度变异, 说明 MUFA 含量在不同品种核桃油之间不稳定且有明显差异。高 MUFA 品种有西扶 2 号 (37.95%) 、辽宁 8 号 (35.66%) 、礼品 2 号 (34.40%) , 低 MUFA 品种有岱丰 (13.88%) 、西林 1 号 (13.94%) 、岱辉 (14.77%) 。 PUFA 的主要组分为亚油酸和 α - 亚麻酸, 含量范围为 (52.65 ± 0.11)% ~ (76.62 ± 0.17)% , 高 PUFA 品种有西林 1 号 (76.62%) 、岱丰 (76.47%) 、岱辉 (75.03%) , 低 PUFA 品种有西扶 2 号 (52.65%) 、辽宁 8 号 (55.26%) 、礼品 2 号 (55.85%) 。 51 个品种核桃油 ω - 6 PUFA 与 ω - 3

PUFA 比值范围为 3.64 ~ 6.40 , 变异系数为 13.22% , 其中 43 个品种的核桃油均满足中国营养学会推荐的适宜比值 (4 ~ 6) 要求^[24] , 说明核桃油非常适合作为食用油。

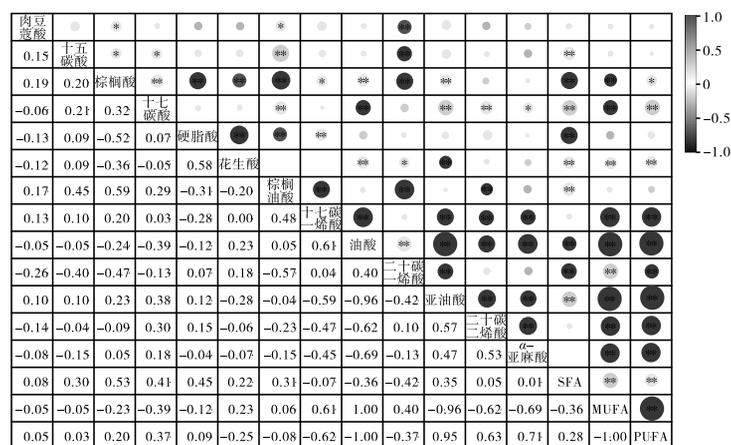
表 1 51 个品种核桃油的脂肪酸含量范围及变异系数

Table 1 Fatty acid content range and coefficient of variation of 51 varieties of walnut oil %

脂肪酸	含量范围	变异系数
肉豆蔻酸	(0.01 ± 0.00) ~ (0.05 ± 0.00)	32.32
十五碳酸	(0.01 ± 0.00) ~ (0.02 ± 0.00)	16.72
棕榈酸	(5.75 ± 0.00) ~ (7.44 ± 0.01)	6.83
十七碳酸	(0.05 ± 0.00) ~ (0.07 ± 0.00)	7.55
硬脂酸	(2.37 ± 0.03) ~ (5.01 ± 0.07)	13.73
花生酸	(0.07 ± 0.00) ~ (0.12 ± 0.00)	13.04
棕榈油酸	(0.05 ± 0.00) ~ (0.16 ± 0.00)	25.13
十七碳一烯酸	(0.02 ± 0.00) ~ (0.04 ± 0.00)	16.07
油酸	(13.61 ± 0.22) ~ (37.64 ± 0.20)	23.14
二十碳一烯酸	(0.12 ± 0.01) ~ (0.24 ± 0.01)	11.37
亚油酸	(45.54 ± 0.15) ~ (62.98 ± 0.17)	7.24
二十碳二烯酸	(0.00 ± 0.00) ~ (0.04 ± 0.01)	34.38
α - 亚麻酸	(7.12 ± 0.12) ~ (16.10 ± 0.07)	14.86
SFA	(8.76 ± 0.17) ~ (11.02 ± 0.09)	4.42
MUFA	(13.88 ± 0.21) ~ (37.95 ± 0.19)	22.89
PUFA	(52.65 ± 0.11) ~ (76.62 ± 0.17)	7.55

2.1.2 不同品种核桃油脂肪酸的相关性分析

对 51 个品种核桃油的脂肪酸含量进行 Pearson 相关性分析, 结果见图 1。



注: * 表示显著 (p ≤ 0.05) ; ** 表示极显著 (p ≤ 0.01)

Note: * p ≤ 0.05 ; ** p ≤ 0.01

图 1 核桃油脂肪酸的相关性热图

Fig. 1 Correlation heat map of walnut oil fatty acids

由图 1 可知, 硬脂酸含量与棕榈酸含量呈极显著负相关, 相关系数为 -0.52。α - 亚麻酸含量与油酸含量呈极显著负相关, 相关系数为 -0.69, 与亚油酸含量呈极显著正相关, 相关系数为 0.47。值得

注意的是, 亚油酸含量与油酸含量呈极显著负相关, 相关系数为 -0.96, 说明两者存在竞争关系。这与亚油酸和油酸的合成途径有关, 油酸在油酸脱氢酶的催化作用下去饱和生成亚油酸, 这是产生 PUFA

的关键步骤^[25]。SFA 含量与棕榈酸含量和硬脂酸含量均呈极显著正相关,相关系数分别为 0.53、0.45,这是因为核桃油中 SFA 的主要组成成分是棕榈酸和硬脂酸。亚油酸含量与 PUFA 含量呈极显著正相关,相关系数为 0.95,这是因为亚油酸为 PUFA 的主要组成成分,亚油酸含量与 MUFA 含量呈极显著负相关,相关系数为 -0.96,这是因为油酸是

MUFA 的主要组成成分。

2.1.3 不同品种核桃油脂肪酸的主成分分析及聚类分析

以 51 个品种核桃油的脂肪酸含量为变量,对核桃油脂肪酸进行主成分分析及聚类分析,结果如图 2 所示。

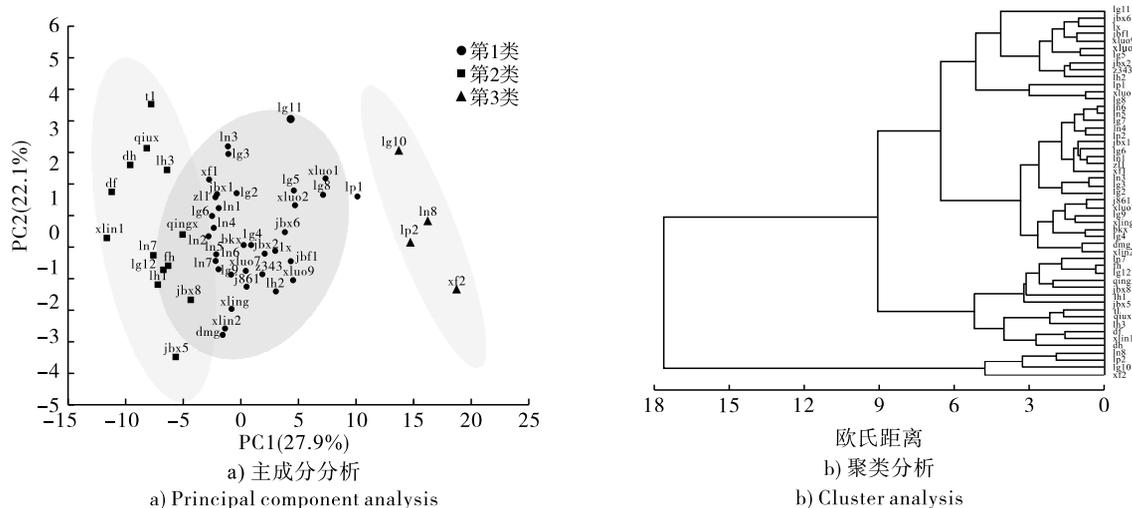


图 2 51 个品种核桃油脂肪酸主成分分析及聚类分析

Fig. 2 Principal component analysis and cluster analysis of fatty acids in 51 varieties of walnut oil

由图 2 可知,主成分分析与聚类分析(欧氏距离 8)结果一致,51 个品种核桃油可分为 3 类:第 1 类为中油酸、中亚油酸组,共有 34 个品种,分别为鲁果 11 号、金薄香 6 号、鲁香、金薄丰 1 号、西洛 9 号、西洛 2 号、鲁果 5 号、金薄香 2 号、扎 343、鲁核 2 号、礼品 1 号、西洛 1 号、鲁果 8 号、辽宁 6 号,辽宁 5 号、鲁果 7 号、辽宁 4 号、辽宁 2 号、金薄香 1 号、鲁果 6 号、辽宁 1 号、中林 1 号、西扶 1 号、辽宁 3 号、鲁果 3 号、鲁果 2 号、京 861、西洛 7 号、鲁果 9 号、香玲、薄壳香、鲁果 4 号、大麻果、西林 2 号;第 2 类为低油酸、高亚油酸组,共有 13 个品种,分别为辽宁 7 号、丰辉、鲁果 12 号、清香、金薄香 8 号、鲁核 1 号、金薄香 5 号、泰勒、秋香、鲁核 3 号、岱丰、西林 1 号、岱辉;第 3 类是高油酸、低亚油酸组,共有 4 个品种,分别为辽宁 8 号、礼品 2 号、鲁果 10 号、西扶 2 号。

2.2 产地对核桃油脂肪酸组成及含量的影响

2.2.1 不同产地核桃油的脂肪酸组成及含量

为了探究不同产地核桃油脂肪酸组成及含量的差异,对 7 个产地的香玲核桃油和 5 个产地的清香核桃油的脂肪酸组成及含量进行综合比较分析,其含量范围及变异系数如表 2 所示。

由表 2 可知:不同产地核桃油脂肪酸中油酸的变异系数较大,为 23.22%;甘肃华亭清香核桃油的

油酸含量为 $(28.16 \pm 0.05)\%$,显著高于其他产地的,较为特殊,而其他产地清香核桃油的油酸含量范围在 $(13.41 \pm 0.46)\% \sim (14.94 \pm 0.05)\%$ 之间;不同产地香玲核桃油油酸含量范围在 $(17.37 \pm 0.10)\% \sim (22.52 \pm 0.11)\%$ 之间。亚油酸的变异系数为 7.18%;甘肃华亭清香核桃油的亚油酸含量最低,为 $(51.05 \pm 0.11)\%$,而其他产地清香核桃油亚油酸含量范围在 $(64.86 \pm 0.39)\% \sim (66.65 \pm 0.29)\%$ 之间;不同产地香玲核桃油的亚油酸含量范围在 $(56.88 \pm 0.31)\% \sim (61.29 \pm 0.18)\%$ 之间。 α -亚麻酸的变异系数为 9.16%;不同产地清香核桃油的 α -亚麻酸含量范围在 $(10.02 \pm 0.19)\% \sim (12.02 \pm 0.07)\%$,不同产地香玲核桃油的 α -亚麻酸含量范围在 $(9.19 \pm 0.04)\% \sim (12.19 \pm 0.02)\%$,两者差异不大。棕榈酸的变异系数为 5.63%,不同产地间差异不显著。硬脂酸的变异系数为 14.85%,不同产地清香核桃油的硬脂酸含量范围为 $(2.63 \pm 0.03)\% \sim (3.82 \pm 0.06)\%$,不同产地香玲核桃油的硬脂酸含量范围为 $(2.69 \pm 0.04)\% \sim (3.93 \pm 0.05)\%$,不同产地之间差异也不明显。

由表 2 可知,不同产地核桃油的 SFA 含量范围为 $(8.41 \pm 0.02)\% \sim (10.69 \pm 0.05)\%$,变异系数为 7.89%,属于低度变异。MUFA 含量范围在

(13.72 ± 0.44)% ~ (28.50 ± 0.06)%, 含量最低和最高的分别为河北邢台清香核桃油和甘肃华亭清香核桃油。PUFA 含量范围为 (63.09 ± 0.04)% ~ (77.25 ± 0.09)%, 含量最低和最高的分别为甘肃华亭清香核桃油和陕西咸阳清香核桃油。河北邢台

清香核桃油的 MUFA 含量最低, 但 PUFA 含量较高 [(76.90 ± 0.37)%], 甘肃华亭清香核桃油的 MUFA 含量最高, PUFA 含量最低, 这也与前文中不同品种的脂肪酸含量相关性分析中 MUFA 与 PUFA 存在极显著负相关结论一致。

表 2 不同产地核桃油的脂肪酸含量范围及变异系数

脂肪酸	含量范围		变异系数
	清香	香玲	
肉豆蔻酸	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	12.20
十五碳酸	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	15.66
棕榈酸	(5.57 ± 0.02) ~ (6.60 ± 0.02)	(5.82 ± 0.01) ~ (6.70 ± 0.03)	5.63
十七碳酸	(0.05 ± 0.00) ~ (0.06 ± 0.00)	(0.05 ± 0.00) ~ (0.07 ± 0.00)	7.72
硬脂酸	(2.63 ± 0.03) ~ (3.82 ± 0.06)	(2.69 ± 0.04) ~ (3.93 ± 0.05)	14.85
花生酸	(0.07 ± 0.00) ~ (0.10 ± 0.02)	(0.06 ± 0.00) ~ (0.08 ± 0.01)	15.50
棕榈油酸	(0.05 ± 0.00) ~ (0.07 ± 0.00)	(0.06 ± 0.00) ~ (0.08 ± 0.00)	11.73
十七碳一烯酸	(0.02 ± 0.00) ~ (0.03 ± 0.00)	(0.02 ± 0.00) ~ (0.03 ± 0.01)	18.75
油酸	(13.41 ± 0.46) ~ (28.16 ± 0.05)	(17.37 ± 0.10) ~ (22.52 ± 0.11)	23.22
二十碳一烯酸	(0.20 ± 0.01) ~ (0.25 ± 0.02)	(0.20 ± 0.01) ~ (0.23 ± 0.01)	8.02
亚油酸	(51.05 ± 0.11) ~ (66.65 ± 0.29)	(56.88 ± 0.31) ~ (61.29 ± 0.18)	7.18
二十碳二烯酸	(0.02 ± 0.00) ~ (0.04 ± 0.01)	(0.02 ± 0.00) ~ (0.03 ± 0.01)	28.31
α-亚麻酸	(10.02 ± 0.19) ~ (12.02 ± 0.07)	(9.19 ± 0.04) ~ (12.19 ± 0.02)	9.16
SFA	(8.41 ± 0.02) ~ (10.60 ± 0.06)	(8.71 ± 0.06) ~ (10.69 ± 0.05)	7.89
MUFA	(13.72 ± 0.44) ~ (28.50 ± 0.06)	(17.68 ± 0.11) ~ (22.84 ± 0.12)	22.91
PUFA	(63.09 ± 0.04) ~ (77.25 ± 0.09)	(67.71 ± 0.04) ~ (73.51 ± 0.18)	6.01

2.2.2 不同产地核桃油脂肪酸的主成分分析及聚类分析

对不同产地核桃油的脂肪酸进行主成分分析和聚类分析, 结果见图 3。

由图 3 可知, 主成分分析和聚类分析结果(欧氏距离为 6)一致, 可将 12 个不同产地核桃油分为 3

类, 甘肃华亭清香核桃油单独为一类, 不同产地的其他清香核桃油聚为一类, 不同产地的香玲核桃油聚为一类。结果说明环境条件影响核桃油中脂肪酸的含量, 但核桃油中的脂肪酸含量不会因为环境发生太大的改变, 而主要由品种决定。

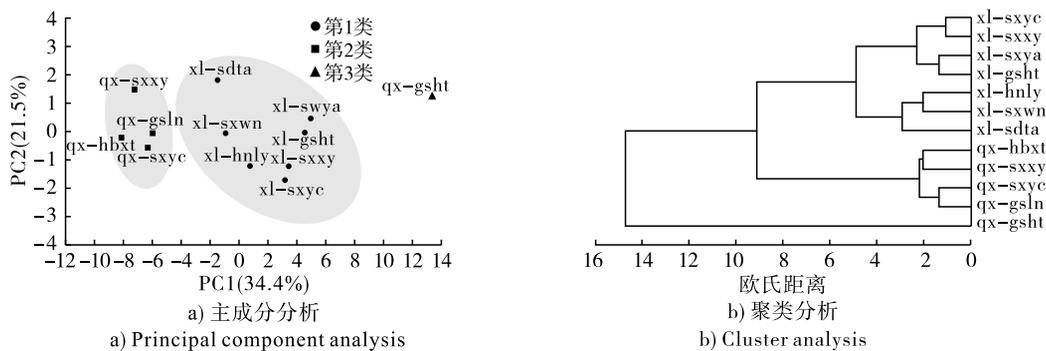


图 3 不同产地核桃油脂肪酸主成分分析及聚类分析

Fig. 3 Principal component analysis and cluster analysis of walnut oil from different producing areas

3 结 论

本文采用 GC-MS 对 51 个品种核桃、7 个产地香玲核桃和 5 个产地清香核桃中油脂的脂肪酸组成

和含量进行分析。结果表明, 核桃油中含有 13 种脂肪酸, 主要包括亚油酸、油酸、α-亚麻酸、棕榈酸、硬脂酸, 这 5 种脂肪酸总含量约占总脂肪酸含量的

99%。品种对核桃油脂肪酸含量的影响主要在脂肪酸总量以及个别脂肪酸的含量上,如油酸、亚油酸、 α -亚麻酸,而在脂肪酸组成方面没有较大影响。51个品种核桃油中有43个品种核桃油的 $\omega-6$ PUFA与 $\omega-3$ PUFA的比值在4~6之间,符合中国营养学会推荐的比值,说明核桃油非常适合作为食用油。同一品种不同产地的核桃油中脂肪酸含量总体无显著差异,且经主成分分析和聚类分析发现,不同产地的香玲核桃聚为一类,除了甘肃华亭清香核桃外,其余产地的清香核桃聚为一类。因此,核桃油脂肪酸含量主要受品种影响,但产地也会有一定影响,不同产地核桃油脂肪酸含量在一定范围内波动。

参考文献:

- [1] 怀婷婷, 卫伟, 刘春晓, 等. 核桃产业和贸易现状及发展建议[J]. 安徽农业科学, 2023, 51(18): 203-208.
- [2] GAO P, LIU R, JIN Q, et al. Comparison of different processing methods of iron walnut oils (*Juglans sigillata*): Lipid yield, lipid compositions, minor components, and antioxidant capacity [J/OL]. Eur J Lipid Sci Technol, 2018, 120: 1800151 [2023-12-26]. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201800151>.
- [3] ZHOU Y, ZHAO W, LAI Y, et al. Edible plant oil: Global status, health issues, and perspectives [J/OL]. Front Plant Sci, 2020, 11: 1315 [2023-12-26]. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01315>.
- [4] 洪晴悦, 张玉. 超声波辅助提取牡丹籽毛油的工艺优化及脂肪酸组成分析[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(3): 159-164.
- [5] WANG D D. Dietary $n-6$ polyunsaturated fatty acids and cardiovascular disease: Epidemiologic evidence [J]. Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids, 2018, 135: 5-9.
- [6] VOORTMAN T, VAN DEN HOOVEN E H, BRAUN K V E, et al. Effects of polyunsaturated fatty acid intake and status during pregnancy, lactation, and early childhood on cardiometabolic health: A systematic review [J]. Prog Lipid Res, 2015, 59: 67-87.
- [7] 郭子瑜, 钱云. $\omega-3$ 多不饱和脂肪酸与卵母细胞质量相关性研究进展[J]. 医学综述, 2021, 27(10): 1920-1925.
- [8] 潘浩斌, 蔡晨, 李兴照, 等. $\omega-3$ 多不饱和脂肪酸对严重烫伤大鼠肝脏及炎症反应的影响[J]. 安徽医科大学学报, 2013, 48(7): 738-741.
- [9] ABDELHAMID A S, BROWN T J, BRAINARD J S, et al. Omega-3 fatty acids for the primary and secondary prevention of cardiovascular disease [J/OL]. Cochrane Database Syst Rev, 2020, 3: CD003177 [2023-12-26]. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd003177>.
- [10] 晏梦溪, 刘婧玮, 徐珂鹏, 等. 20种新鲜核桃脂肪酸与卵磷脂品质分析[J]. 食品与机械, 2022, 38(1): 52-56.
- [11] 李群, 张倩茹, 尹蓉, 等. 不同核桃品种脂肪酸组分的化学计量学分析[J]. 中国农学通报, 2017, 33: 141-149.
- [12] 郑悦雯, 吴书天, 沈丹玉, 等. 10个品种核桃油品质比较[J]. 中国油脂, 2020, 45(10): 47-51.
- [13] 李俊南, 熊新武, 张雨, 等. 不同地区‘娘青’核桃坚果品质综合评价分析[J]. 中国油脂, 2024, 49(5): 114-119.
- [14] 朱振宝, 张芳, 段屹帆, 等. 我国不同产地红仁核桃及其油脂营养成分的比较分析[J]. 中国油脂, 2024, 49(1): 29-34, 49.
- [15] 冯小刚, 骆文进, 王丽英. 山茶油脂肪酸组成及微量活性物质测定[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(12): 61-65.
- [16] 向晶, 梁月荣, 赵东, 等. 不同品种、地区茶叶籽仁含油量及茶叶籽油中脂肪酸组分和含量差异性分析[J]. 茶叶科学, 2022, 42(2): 233-248.
- [17] 张旋, 方晓璞, 杨学华, 等. 我国不同产地核桃油与铁核桃油营养成分的分析比较[J]. 中国油脂, 2022, 47(5): 60-64.
- [18] 仲雪娜, 任小娜, 曾俊, 等. 新疆不同品种核桃及其油脂品质对比分析[J]. 中国油脂, 2018, 43(12): 130-133.
- [19] 陈晓祥, 杨璐, 于思琳, 等. 不同品种葡萄籽油脂肪酸含量的测定[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(10): 252-257.
- [20] 金银春, 任波, 胡定林, 等. 凉山州14个核桃品种主要经济指标及脂肪酸组成分析[J/OL]. 中国油脂, 2023: 1-7 [2023-12-26]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.230368>.
- [21] 王贵芳, 相昆, 穆清泉, 等. 核桃群体核仁脂肪酸组成分析[J]. 山东农业科学, 2021, 53(2): 7-13.
- [22] 辛国, 朱建朝, 汪海, 等. 陇南地区8个品种(系)核桃品质差异比较[J]. 经济林研究, 2020, 38(4): 52-61.
- [23] 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.
- [24] 段叶辉, 李凤娜, 李丽立, 等. $n-6/n-3$ 多不饱和脂肪酸比例对机体生理功能的调节[J]. 天然产物研究与开发, 2014, 26(4): 626-631, 479.
- [25] 曹福亮, 王欢利, 郁万文, 等. 高等植物脂肪酸去饱和酶及编码基因研究进展[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2012, 36(2): 125-132.