

# 冷榨法和水酶法提取对山核桃油活性成分的影响

李 晴<sup>1,2</sup>, 陆胜民<sup>2</sup>, 王阳光<sup>1</sup>, 郑美瑜<sup>2</sup>, 王 璐<sup>2</sup>

(1. 浙江海洋大学 食品与药学院, 浙江 舟山 316022; 2. 浙江省农业科学院 食品科学研究所, 浙江省果蔬保鲜与加工技术研究重点实验室, 农业农村部果品产后处理重点实验室, 杭州 310021)

**摘要:** 分别采用冷榨法和水酶法提取山核桃油, 测定其中的总多酚、总黄酮、维生素 E、角鲨烯、 $\beta$ -谷甾醇含量和脂肪酸组成及含量, 对比分析冷榨法和水酶法提取对山核桃油中活性成分含量的影响。结果表明: 冷榨法山核桃油中总多酚、总黄酮和维生素 E 含量显著高于水酶法山核桃油, 而角鲨烯和  $\beta$ -谷甾醇含量显著低于水酶法山核桃油。冷榨法山核桃油共检出 11 种脂肪酸, 水酶法山核桃油共检出 8 种脂肪酸, 两种方法提取的山核桃油中不饱和脂肪酸总量均达到 90% 以上。

**关键词:** 冷榨法; 水酶法; 山核桃油; 活性成分

中图分类号: TS225.1; TS224 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2022)02-0023-05

## Effect of cold pressing and aqueous enzymatic extraction methods on the active ingredients of *Carya cathayensis* oil

LI Qing<sup>1,2</sup>, LU Shengmin<sup>2</sup>, WANG Yangguang<sup>1</sup>, ZHENG Meiyu<sup>2</sup>, WANG Lu<sup>2</sup>

(1. College of Food and Pharmacology, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, Zhejiang, China;

2. Key Laboratory of Postharvest Handling of Fruits of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of Fruit and Vegetables Postharvest and Processing Technology Research of Zhejiang Province, Institute of Food Science, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

**Abstract:** *Carya cathayensis* oil was extracted by cold pressing and aqueous enzymatic methods, respectively. The contents of total polyphenols, total flavonoids, vitamin E, squalene,  $\beta$ -sitosterol and fatty acids composition and content in the cold pressed oil and aqueous enzymatic oil were determined to analyze the effects of cold pressing and aqueous enzymatic extraction method on the content of active ingredients in *Carya cathayensis* oil. The results showed that the contents of total polyphenols, total flavonoids and vitamin E in cold pressed *Carya cathayensis* oil were significantly higher than those in aqueous enzymatic method, while the contents of squalene and  $\beta$ -sitosterol were significantly lower than those in aqueous enzymatic method. A total of 11 kinds of fatty acids were detected in cold pressed *Carya cathayensis* oil, and 8 kinds of fatty acids were detected in aqueous enzymatic *Carya cathayensis* oil. The total content of unsaturated fatty acids in *Carya cathayensis* oil extracted by the two methods was more than 90%.

**Key words:** cold pressing; aqueous enzymatic method; *Carya cathayensis* oil; active ingredient

收稿日期: 2021-02-24; 修回日期: 2021-10-17

基金项目: 浙江省重点研发计划项目(2017C02004)

作者简介: 李 晴(1995), 女, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工(E-mail) leurha@163.com。

通信作者: 陆胜民, 研究员, 博士生导师(E-mail) lushengmin@hotmail.com; 王阳光, 教授, 硕士生导师(E-mail) 634449563@qq.com。

山核桃(*Carya cathayensis* Sarg.) 又称小核桃、山哈, 系胡桃科山核桃属木本油料作物<sup>[1]</sup>。山核桃主产于浙皖交界的昌化山区, 其中安徽省宁国市和浙江省杭州市临安区是主要种植区, 其产量接近全国的 90%<sup>[2]</sup>。山核桃仁含油量高达 53%~69%, 其油脂含多酚、黄酮、维生素 E、角鲨烯、 $\beta$ -谷甾醇等多种活性成分, 因此山核桃长期以来备受大众欢迎。

近年来对山核桃油的研究多着眼于营养成分、

品质控制技术及功能性开发等方面,而不同提取方法对山核桃油活性成分影响各异<sup>[3]</sup>,如何选择可以更好地保留其中活性成分的油脂提取方法就显得尤为重要。植物油的提取方法有压榨法、超临界 CO<sub>2</sub> 萃取法、有机溶剂浸出法、微波-超声辅助提取法和水酶法等。这些提取方法中,压榨法是为常见的提取方法,其中低温冷榨法更具绿色、无污染、营养价值保留度高的优点<sup>[4]</sup>。水酶法作为安全环保的新兴油脂提取技术,符合当下低碳环保、绿色安全、环境友好的发展理念与趋势,具有显著的优势和潜力,目前水酶法提取油茶籽油已有工业化应用<sup>[5]</sup>。

本研究利用冷榨法和水酶法提取山核桃油,对比分析这两种提取方法对山核桃油总多酚、总黄酮、维生素 E、角鲨烯、 $\beta$ -谷甾醇含量和脂肪酸组成及含量的影响,以期对山核桃油的绿色提取、合理利用和深加工等领域提供技术参考和理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

山核桃,产自浙江省杭州市临安区,手工剥壳取仁,置于-60℃超低温冰箱,保存待用;木瓜蛋白酶(6 000 U/mg,最适反应温度 50~60℃,最适 pH 4.8~6.2),国药集团化学试剂有限公司;没食子酸(99%)、芦丁(97%)、维生素 E(97%)、角鲨烯(98%)、 $\beta$ -谷甾醇(97%)标准品和脂肪酸甲酯混标,上海源叶生物科技有限公司;福林酚(BR),上海麦克林生化科技有限公司;碳酸钠、无水乙醇、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠、氯化钠、氢氧化钾、石油醚、无水硫酸镁、二氯甲烷、苯均为分析纯,上海凌峰化学试剂有限公司;甲醇、乙腈均为色谱纯,上海麦克林生化科技有限公司。

#### 1.1.2 仪器与设备

BS200S-WE1 电子天平;MJ-PB80 Easy 218 搅拌机;DHG-9146 A 电热恒温鼓风干燥箱;DD85G 种子榨油机,德国 KOMET 公司;MDF-U32V(N)超低温冰箱;BCD-207 AK 冰箱;RE-52AA 旋转蒸发器;LXJ-HB 飞鸽低速大容量离心机;循环水式多用真空泵;DK-8 B 型电热恒温水浴锅;UV-1800 紫外/可见分光光度仪;LC-2030C 3D Plus 高效液相色谱仪,日本岛津株式会社;7890 B 气相质谱联用仪,安捷伦科技有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 山核桃油的提取

将山核桃仁于 40℃烘干至水分含量 3%~5%,待提油。

冷榨法:设置榨油机温度 100℃、转头 D15、转速 20 r/min 榨取粗油,静置 72 h 后过滤除去残渣,放置于深色玻璃容器中并以锡纸包裹,4℃避光储藏,备用。

水酶法:参考钱浩杰等<sup>[6]</sup>的方法并进行了改良。山核桃仁经粉碎机粉碎,过 0.3 mm(50 目)筛,按料液比 1:5 加入蒸馏水充分混匀,调节 pH 至 6.2,放入 50.5℃水浴锅中预热 1 h,加入占山核桃原料质量 0.20% 的木瓜蛋白酶后,在 50.5℃酶解 150 min,于 100℃煮沸灭酶 10 min,以 4 800 r/min 离心 30 min 后分离料液,液体层和固体层分别用适量石油醚进行萃取,收集萃取液于 40℃进行旋转蒸发回收石油醚,所得粗油置于深色玻璃容器,敞口于常温下放置 24 h 使石油醚充分挥发后以锡纸包裹,4℃避光储藏,备用。

以所得油脂质量占山核桃仁质量计算山核桃油得率。

#### 1.2.2 总多酚和总黄酮含量测定

总多酚含量测定采用 Folin-Ciocalteu 法。准确称取 10 mg 没食子酸标准品,加无水乙醇定容至 100 mL 配制成 100 mg/L 的标准溶液,吸取 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2、1.4、1.6、1.8、2.0 mL 的没食子酸标准溶液分别置于 25 mL 容量瓶中,加入 2.5 mL Folin-Ciocalteu 显色剂摇匀,避光后,加入 5 mL 5% 碳酸钠溶液,加无水乙醇定容,在 40℃下放置 30 min,在 750 nm 处测定其吸光值。以没食子酸质量浓度( $X$ )为横坐标,吸光值( $Y$ )为纵坐标绘制标准曲线,得到的曲线回归方程为  $Y = 0.1055X + 0.0045$ ,相关系数( $R^2$ )为 0.9994。配制一定质量浓度的样品溶液,加入 Folin-Ciocalteu 显色剂,按上述方法测定吸光值,带入标准曲线回归方程中,计算总多酚含量,结果以没食子酸质量计。

总黄酮含量测定采用硝酸铝络合分光光度法。精密称取芦丁标准品 20 mg,加入 60% 乙醇定容至 200 mL 配制成 100 mg/L 的标准溶液。分别吸取 0、1、2、3、4、5、6 mL 的芦丁标准溶液于 25 mL 容量瓶中,加入 60% 乙醇至 6 mL,加入 1 mL 5% NaNO<sub>2</sub> 溶液摇匀,静置 6 min,加入 1 mL 10% Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> 溶液摇匀,静置 6 min,加入 10 mL 4% NaOH 溶液摇匀,加入 60% 乙醇定容,放置 15 min,在 509 nm 波长处测定其吸光值。以芦丁质量浓度( $X$ )为横坐标,吸光值( $Y$ )为纵坐标绘制标准曲线,得到的曲线回归方程为  $Y = 11.0223X + 0.0005$ ,相关系数( $R^2$ )为 0.9994。配制一定质量浓度的样品溶液,加入

NaNO<sub>2</sub>溶液,按上述方法测定吸光值,带入标准曲线方程中,计算总黄酮含量,结果以芦丁质量计。

### 1.2.3 维生素 E、角鲨烯和β-谷甾醇含量测定

标准溶液的制备:分别精密称取维生素 E、角鲨烯和β-谷甾醇标准品 100 mg 置于 50 mL 容量瓶中,用甲醇溶解定容,配成质量浓度为 2.0 mg/mL 的标准溶液。加入甲醇分别稀释为 0、0.01、0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1.0 mg/mL 的质量浓度梯度。进高效液相色谱仪,在各自的 HPLC 条件下进行测定,绘制质量浓度(X)与峰面积(Y)关系曲线。得出在 0~1.0 mg/mL 范围内维生素 E、角鲨烯与β-谷甾醇的含量分别与其峰面积呈良好线性关系,回归方程分别为  $Y=2\ 495\ 037.670\ 5X+22\ 694.311\ 4$ 、 $Y=14\ 158\ 844.726\ 7X+4\ 973.559\ 1$  和  $Y=1\ 545\ 486.702\ 1X-9\ 411.714\ 3$ ,相关系数( $R^2$ )分别为 0.999 8、0.999 7 和 0.999 8。

维生素 E 含量测定:称取山核桃油 0.1 g(精确到 0.1 mg),置于 50 mL 离心管中,加入适量甲醇,利用旋涡振荡器振荡 3 min,加入甲醇定容,以 4 000 r/min 离心 5 min,取上清液过 0.22 μm 有机微孔滤膜,进行 HPLC 测定<sup>[7]</sup>。将测定结果代入标准曲线回归方程中,计算山核桃油维生素 E 含量。HPLC 条件:C<sub>18</sub> 色谱柱(4.6 mm×150 mm,5 μm);流动相为甲醇,流速 1.0 mL/min;PDA 检测器;进样量 10 μL;柱温 30℃;检测波长 290 nm。

角鲨烯含量测定:参考刘丽婉<sup>[8]</sup>的方法稍作修改。称取 0.1 g 山核桃油,置于 250 mL 烧杯中,加入 50 mL 2 mol/L 氢氧化钾-乙醇溶液混匀,在 70℃ 恒温水浴锅中皂化反应 50 min,冷却至室温后,转移至 500 mL 分液漏斗,加入 50 mL 石油醚,振荡混匀 3 min,静置分层,取上层石油醚相;再用 50 mL 石油醚分别萃取下层水相 2 次,合并所有的石油醚相,用超纯水洗涤石油醚相至中性,经无水硫酸镁脱水,于 40℃ 旋转蒸发至近干,用 1 mL 乙腈溶解过 0.22 μm 有机微孔滤膜,进行 HPLC 测定。将测定结果代入标准曲线回归方程,计算山核桃油中角鲨烯含量。HPLC 条件:C<sub>18</sub> 色谱柱(4.6 mm×150 mm,5 μm);流动相为乙腈-甲醇(体积比 60:40),流速 1.0 mL/min;PDA 检测器;进样量 10 μL;柱温 30℃;检测波长 210 nm。

β-谷甾醇含量测定:以邱丰艳等<sup>[9]</sup>的方法为基础稍加修改。精确称取山核桃油 0.1 g 置于容量瓶中,加入 10 mL 2 mol/L 氢氧化钾-乙醇溶液,于 70℃ 水浴加热皂化 180 min,再加入 10 mL 饱和氯

化钠溶液,将皂化液转移至 500 mL 分液漏斗,利用石油醚对皂化液提取 3 次,每次加石油醚 50 mL,于 4 000 r/min 离心 10 min。将上层的石油醚相合并,用超纯水洗至中性,经无水硫酸镁脱水过滤后,旋转蒸发将料液蒸干,得到的不皂化物按体积比 1:9 加入二氯甲烷-甲醇溶液(体积比 1:1)溶解,转移至 50 mL 容量瓶定容,过 0.22 μm 有机微孔滤膜,进行 HPLC 测定。将测定结果代入标准曲线回归方程,计算山核桃油β-谷甾醇含量。HPLC 条件:C<sub>18</sub> 色谱柱(4.6 mm×150 mm,5 μm);流动相为甲醇-水(体积比 98.5:1.5),流速 1.0 mL/min;PDA 检测器;进样量 10 μL;柱温 35℃;检测波长 210 nm。

### 1.2.4 脂肪酸组成及含量测定

称取 0.1 g(精确到 0.1 mg)山核桃油,置于 25 mL 具塞试管,加入 3 mL 石油醚-苯(体积比 1:1)溶液,于 40℃ 恒温水浴 30 min,冷却后加入 2 mL 0.4 mol/L 氢氧化钾-乙醇溶液涡旋混合均匀,沿试管壁加入 3.5 mL 饱和氯化钠溶液,静置待分层,取上清液过 0.22 μm 有机微孔滤膜,进行 GC-MS 测定<sup>[10]</sup>。GC-MS 条件:Agilent DB-FFAP 型毛细管色谱柱(30 mm×0.25 mm,0.25 μm);柱流量 0.5 mL/min;进样口温度 250℃;载气为高纯氦气;升温程序为初始柱温 80℃,保持 1 min,以 15℃/min 升温到 170℃,保持 6 min,再以 10℃/min 升温到 220℃,保持 15 min;进样量 1 μL;分流比 20:1;EI 离子源,离子源温度 230℃;电离电压 70 eV;电子倍增电压 980 V;质荷比范围 50~550;扫描速率 5 次/s,全扫描模式。

利用保留时间结合 NIST 2014 标准质谱库检索进行定性,采用峰面积归一化法定量。

### 1.2.5 数据处理

每组实验重复 3 次,数据以“平均值±标准差”表示。采用 SPSS (Version 25.0 for Windows, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 进行方差分析(ANOVA),采用 Tukey 检验确定均值之间的显著性差异( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 提取方法对山核桃油得率的影响(见表 1)

表 1 两种方法提取的山核桃油得率对比 %

冷榨法	水酶法
34.47±0.65 <sup>a</sup>	26.90±0.26 <sup>b</sup>

注:同行数据右肩不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下同

由表 1 可看出,冷榨法的山核桃油得率显著高于水酶法的( $P < 0.05$ )。冷榨法工艺简单,出油快、效率高、损耗小,影响得率因素仅有物料水分和榨油温度<sup>[11]</sup>;而水酶法工艺复杂,耗时长,可诱发失油因素多,如物料破碎度过高<sup>[12]</sup>、酶解温度不适<sup>[13]</sup>、酶解时间过长<sup>[14]</sup>等,本实验由于物料破碎度过高,致使其乳化现象严重,导致水酶法山核桃油得率显著低于冷榨法( $P < 0.05$ )。

## 2.2 提取方法对山核桃油中总多酚和总黄酮含量的影响

两种方法提取的山核桃油总多酚和总黄酮含量对比结果见表 2。

表 2 两种方法提取的山核桃油中总多酚

和总黄酮含量对比 mg/L

活性成分	冷榨法	水酶法
总多酚	5.676 ± 0.021 <sup>a</sup>	3.964 ± 0.124 <sup>b</sup>
总黄酮	31.830 ± 1.052 <sup>a</sup>	16.527 ± 0.343 <sup>b</sup>

山核桃油中总多酚和总黄酮具有广泛的生物活性,可起到良好的保护心血管、抗衰老、抗肿瘤及抑菌等作用<sup>[15-16]</sup>。由表 2 可看出,冷榨法提取的山核桃油中总多酚和总黄酮含量均显著高于水酶法( $P < 0.05$ )。水酶法提油过程中总多酚和总黄酮可能受酸碱、酶解温度、酶解时间的影响而发生降解。

## 2.3 提取方法对山核桃油中维生素 E、角鲨烯和 $\beta$ -谷甾醇含量的影响

两种方法提取的山核桃油中维生素 E、角鲨烯与  $\beta$ -谷甾醇含量对比结果见表 3。

表 3 两种方法提取的山核桃油中维生素 E、角鲨烯和  $\beta$ -谷甾醇含量对比 mg/L

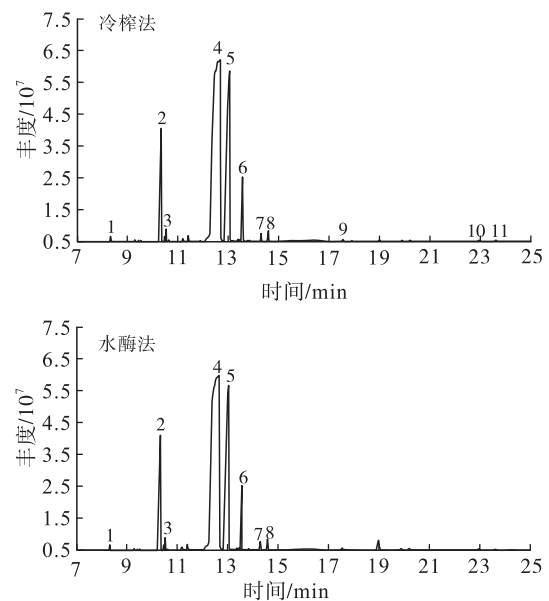
活性成分	冷榨法	水酶法
维生素 E	0.070 ± 0.001 <sup>a</sup>	0.061 ± 0.001 <sup>b</sup>
角鲨烯	0.012 ± 0.002 <sup>b</sup>	0.057 ± 0.001 <sup>a</sup>
$\beta$ -谷甾醇	0.086 ± 0.015 <sup>b</sup>	0.350 ± 0.014 <sup>a</sup>

维生素 E、角鲨烯和  $\beta$ -谷甾醇作为天然营养成分,是山核桃油中的微量脂质伴随物。维生素 E 具有抗氧化、抗癌、增强机体免疫力等功能,角鲨烯具有抗疲劳、抗衰老、抗肿瘤等功能<sup>[17]</sup>, $\beta$ -谷甾醇具有降低胆固醇、预防癌症、防治心血管疾病功能<sup>[18]</sup>。这 3 种活性成分含量的高低受其自身在油脂中的溶解程度以及热耐受程度影响。由表 3 可看出,冷榨法山核桃油的维生素 E 含量显著高于水酶法山核桃油( $P < 0.05$ ),而角鲨烯和  $\beta$ -谷甾醇含量显著低于水酶法山核桃油( $P < 0.05$ ),这可能与水酶法对油料的破碎程度高更有利于活性成分的溶出有关。维生素 E 是评价油脂抗氧化性能的重要指

标,冷榨法山核桃油中高维生素 E 含量可能更有利于其保质期的延长<sup>[19]</sup>。

## 2.4 提取方法对山核桃油中脂肪酸组成及含量的影响

图 1 为两种方法提取的山核桃油的脂肪酸 GC-MS 图,表 4 为两种方法提取的山核桃油的脂肪酸含量。



注:1. 肉豆蔻酸;2. 棕榈酸;3. 棕榈油酸;4. 油酸;5. 亚油酸;6. 亚麻酸;7. 花生酸;8. 顺-11-二十碳烯酸;9. 山嵛酸;10. 木蜡酸;11. DHA。

图 1 两种方法提取的山核桃油的脂肪酸 GC-MS 图

表 4 两种方法提取的山核桃油的脂肪酸组成及含量对比 %

脂肪酸	冷榨法	水酶法
肉豆蔻酸	2.71 ± 0.40 <sup>a</sup>	1.19 ± 0.04 <sup>b</sup>
棕榈酸	1.59 ± 0.31 <sup>b</sup>	4.03 ± 0.10 <sup>a</sup>
棕榈油酸	1.54 ± 0.10 <sup>b</sup>	3.85 ± 0.10 <sup>a</sup>
油酸	56.32 ± 0.30 <sup>b</sup>	59.05 ± 0.19 <sup>a</sup>
亚油酸	25.42 ± 0.44 <sup>b</sup>	26.00 ± 0.26 <sup>a</sup>
亚麻酸	4.61 ± 0.34 <sup>a</sup>	4.72 ± 0.18 <sup>a</sup>
花生酸	3.31 ± 0.38 <sup>a</sup>	0.51 ± 0.13 <sup>b</sup>
顺-11-二十碳烯酸	1.53 ± 0.22 <sup>a</sup>	0.47 ± 0.07 <sup>b</sup>
山嵛酸	1.24 ± 0.05	-
木蜡酸	0.56 ± 0.36	-
DHA	1.51 ± 0.11	-
饱和脂肪酸	9.41 ± 0.31 <sup>a</sup>	5.74 ± 0.27 <sup>b</sup>
不饱和脂肪酸	90.93 ± 0.11 <sup>b</sup>	94.09 ± 0.20 <sup>a</sup>

注:“-”为未检出。

由表 4 可看出:冷榨法山核桃油共检出 11 种脂肪酸,以油酸含量最高,为 56.32%,其次是亚油酸,含量为 25.42%,不饱和脂肪酸总量为 90.93%,而饱和脂肪酸总量为 9.41%;水酶法山核桃油共检出

8种脂肪酸,以油酸含量最高,达59.05%,其次是亚油酸,含量为26.00%,不饱和脂肪酸总量高达94.09%,而饱和脂肪酸总量仅为5.74%。冷榨法山核桃油的脂肪酸种类多于水酶法,其中山萘酸、木蜡酸、DHA未在水酶法山核桃油中检出,原因可能是水酶法提取油脂步骤多,因时间、温度和酶等各种因素造成流失。两种提取方法山核桃油中除亚麻酸含量之间无显著性差异( $P > 0.05$ )外,其他脂肪酸含量之间均有显著性差异( $P < 0.05$ )。

脂肪酸是油脂营养价值高低的重要评判依据,人体摄入饱和脂肪酸过高会导致血胆固醇、三酰甘油、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)升高,继发引起动脉管腔狭窄,形成动脉粥样硬化,增加患冠心病的风险<sup>[20]</sup>;不饱和脂肪酸在降低胆固醇、预防和缓解心脑血管疾病、糖尿病和肥胖症方面具有重要功效,还能使血液的黏稠度减小,其中油酸和亚油酸是主要的功能因子<sup>[21]</sup>。冷榨法山核桃油的饱和脂肪酸以花生酸含量最高,其次为肉豆蔻酸,而水酶法山核桃油的饱和脂肪酸以棕榈酸含量最高,其次是肉豆蔻酸;两种山核桃油的不饱和脂肪酸均以油酸、亚油酸和亚麻酸为主。水酶法山核桃油的棕榈酸和棕榈油酸含量显著高于冷榨法的,可用于化学乳化剂、工业润滑剂等。冷榨法山核桃油的花生酸和肉豆蔻酸含量显著高于水酶法的,适用于工业用洗涤剂、香料溶剂等。

### 3 结论

冷榨法山核桃油得率显著高于水酶法的,其总多酚、总黄酮、维生素E含量显著高于水酶法的,而角鲨烯和 $\beta$ -谷甾醇含量显著低于水酶法的。冷榨法山核桃油共检出11种脂肪酸,水酶法山核桃油共检出8种脂肪酸,未检出山萘酸、木蜡酸、DHA,但两种方法提取的山核桃油中不饱和脂肪酸总量均达到90%以上。根据脂肪酸种类及含量的差异,两种方法提取的山核桃油可用于不同的用途。

### 参考文献:

- [1] 褚朝森,周梅生,顾明华,等.鲜食核桃油的超声辅助萃取及其成分分析[J].食品工业,2020,41(5):183-187.
- [2] 杨惠思,赵科理,叶正钱,等.山核桃品质对产地土壤养分的空间响应[J].植物营养与肥料学报,2019,25(10):1752-1762.
- [3] 张丽,陈计峦,宋丽军,等.提取方法对核桃油理化特性及其脂肪酸组成的影响[J].粮油加工,2010(7):23-26.
- [4] ILGIN D, HILAL U H, OGUZ U, et al. Prediction of chemical parameters and authentication of various cold pressed oils with fluorescence and mid-infrared spectroscopic methods [J/OL]. Food Chem, 2021, 345: 128815 [2021-02-20]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128815>.
- [5] 李木子.全球首条水酶法油茶籽油生产线投产[J].农产品加工,2013(2):74.
- [6] 钱浩杰,邵海燕,穆宏磊,等.水酶法提取山核桃油脂工艺研究[J].核农学报,2017,31(7):1365-1373.
- [7] 刘翠红,陈科,姚雪清,等.不同液相色谱仪测定辣椒油中维生素E的含量分析[J].中国药物经济学,2016,11(11):23-26.
- [8] 刘丽婉.高效液相色谱法测定山茶油中角鲨烯的含量[J].现代食品,2017(11):84-85.
- [9] 邱丰艳,丁力,曹红云.高效液相色谱法测定油脂中 $\beta$ -谷甾醇的含量[J].中国油脂,2014,39(7):91-95.
- [10] FERRUH A, BUSRA A, UYSAL A G, et al. Fatty acid methyl ester analysis of *Aspergillus fumigatus* isolated from fruit pulps for biodiesel production using GC-MS spectrometry [J]. Bioengineered, 2020, 11(1):408-415.
- [11] 梁静,高鹏龙,李昕宇,等.正交试验优化冷榨红花籽油脱色工艺的研究[J/OL].吉林农业大学学报,2020:1-5 [2021-02-04]. <https://doi.org/10.13327/j.jjlau.2020.5435>.
- [12] 刘霞.葡萄籽油的提取方法综述[J].河西学院学报,2020,36(5):69-73.
- [13] 沈玉平,周旭,张祖姣,等.水酶法提取油脂研究进展[J].中国油脂,2021,46(2):14-19.
- [14] 周龙正,陈复生,赵自通,等.水酶法同步提取花生油和蛋白研究进展[J].食品研究与开发,2018,39(20):219-224.
- [15] 邬文艾琳,张杰,陈伟圣,等.基于NLRP3炎症信号通路探讨山核桃叶总黄酮抗高尿酸血症作用机制研究[J].中国卫生检验杂志,2019,29(13):1543-1546,1550.
- [16] 邵海燕,李兴飞,陈杭君,等.山核桃多酚物质提取及抗氧化研究进展[J].食品科学,2011,32(5):336-341.
- [17] 李文,王伟,关荣发,等.橄榄油中角鲨烯组分功能特性及其研究进展[J].食品研究与开发,2020,41(6):218-224.
- [18] 陈元堃,曾奥,罗振辉,等. $\beta$ -谷甾醇药理作用研究进展[J].广东药科大学学报,2021,37(1):148-153.
- [19] 段雨劫,肖丽佳,李理,等.火麻油、山茶油和维生素E混合物对大小鼠抗氧化作用的研究[J].实用预防医学,2021,28(1):70-73.
- [20] 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.
- [21] 王鲁黔.山核桃仁中脂肪酸分析和多肽的制备及活性研究[D].杭州:浙江工业大学,2019.