

低温螺旋压榨核桃油工艺优化及其营养成分分析

卢红伶¹, 俞罡雷², 蒋起宏¹, 蒋陈凯¹, 胡文君¹, 骆红阳²,
相兴伟³, 冯永才⁴, 沈国新¹, 陈琳¹

(1. 浙江省农业科学院 蚕桑与茶叶研究所, 杭州 310021; 2. 东阳市林业局, 浙江 金华 322100; 3. 浙江工业大学 食品科学与工程学院, 浙江 湖州 313200; 4. 阿克苏首疆健康科技有限公司, 新疆 阿克苏 842008)

摘要: 为了促进核桃油的开发和利用, 以核桃仁出油率为指标, 采用单因素试验和响应面法优化低温螺旋压榨核桃油的工艺条件(核桃仁含水量、榨头温度、出渣孔径), 并在最优条件下对不同品种核桃油的脂肪酸组成和活性成分进行分析。结果表明: 在出渣孔径 12 mm、核桃仁含水量 6%、榨头温度 100 °C 条件下, 核桃仁出油率最高, 达 57.63%; 最优条件下压榨所得的新疆纸皮核桃油、美国山核桃油和临安山核桃油的不饱和脂肪酸含量均超过 90%, 其中油酸含量为 18.08% ~ 63.44%, 亚油酸含量为 26.63% ~ 60.96%, α -亚麻酸含量为 1.90% ~ 11.45%, 3 种核桃油的角鲨烯含量为 214.9 ~ 282.1 mg/kg, 总多酚含量为 20.2 ~ 23.1 mg/kg, 维生素 E 含量为 2.68 ~ 13.31 mg/100 g, 美国山核桃油的角鲨烯含量和维生素 E 含量最高。综上, 通过低温螺旋压榨法可以获得出油率高且富含多种活性成分的核桃油。

关键词: 核桃油; 低温螺旋压榨; 响应面; 脂肪酸组成; 活性成分

中图分类号: TS224.3; TS222+.1 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2025)04-0028-06

Process optimization of low temperature screw pressed walnut oil and its nutritional components analysis

LU Hongling¹, YU Ganglei², JIANG Qihong¹, JIANG Chenkai¹, HU Wenjun¹,
LUO Hongyang², XIANG Xingwei³, FENG Yongcai⁴, SHEN Guoxin¹, CHEN Lin¹
(1. Institute of Sericultural and Tea, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China;
2. Dongyang Forestry Bureau, Jinhua 322100, Zhejiang, China; 3. College of Food Science and
Technology, Zhejiang University of Technology, Huzhou 313200, Zhejiang, China;
4. Akesu Shoujiang Health Technology Co., Ltd., Akesu 842008, Xinjiang, China)

Abstract: To promote the development and utilization of walnut oil, the low temperature screw pressing process conditions (moisture content of walnut kernels, pressing temperature, and outlet size) based on the walnut oil yield using single-factor experiments and response surface methodology were optimized. The fatty acid composition and active components of walnut oils from different varieties prepared under the optimal conditions were analyzed. The results indicated that the highest oil yield of 57.63% was achieved with an outlet size of 12 mm, a walnut kernel moisture content of 6%, and a pressing temperature of 100 °C.

The unsaturated fatty acid content in walnut oils from Xinjiang paper-shelled walnuts, American pecans, and Lin'an hickory nuts all exceeded 90%. Specifically, oleic acid content ranged from 18.08% to 63.44%, linoleic acid from 26.63% to 60.96%, and α -linolenic acid from 1.90% to 11.45%. Squalene content in the

收稿日期: 2023-10-19; 修回日期: 2024-10-28

基金项目: 浙江省中西医结合肿瘤防治技术研究重点实验室
开放课题基金(202208CL); 浙江省农业科学院成果示范推广项目

作者简介: 卢红伶(1980), 女, 助理研究员, 主要从事油脂加工
技术研究(E-mail) luhongling@zaas.ac.cn。

通信作者: 陈琳, 副研究员(E-mail) chenlinsdau@163.com。

three walnut oils was between 214.9 mg/kg and 282.1 mg/kg, total polyphenols content ranged from 20.2 mg/kg to 23.1 mg/kg, and vitamin E content varied from 2.68 mg/100 g to 13.31 mg/100 g, with the highest squalene and vitamin E contents found in American pecan oil. In conclusion, walnut oil with high yield and rich in various active ingredients can be obtained by low temperature screw pressing method.

Key words: walnut oil; low temperature screw pressing; response surface; fatty acid composition; active components

核桃是世界四大坚果之一,种植历史悠久。近年来,我国核桃种植面积和产量逐年增加,核桃产量已位居世界前列^[1]。核桃仁含油量高达 52.0% ~ 70.0%^[2],居木本油料之首。核桃油不仅味美清香,且营养价值较高,富含油酸、亚油酸及亚麻酸等不饱和脂肪酸,总含量超过 90%^[3],同时还含有酚类、甾醇、角鲨烯、褪黑素、维生素和矿物质等多种对人体有益的活性成分^[2],具有抗炎^[4]、抗肿瘤、抗氧化、免疫调节^[5]、改善肠道损伤^[6]、保护心脏、抗糖尿病和抗高血脂^[7]等保健功能。

目前,机械压榨法是工业生产核桃油最常用的方法。根据原料前处理方式的不同可分为热榨法和低温压榨法^[8]。热榨法是指在压榨前将原料通过高温蒸炒后再进行压榨,能够提高出油率且产生良好的风味。但热榨法的高温会破坏核桃油中热敏性物质及饼中蛋白质,导致营养价值降低^[9]。而低温压榨法却能最大程度地保留核桃油中的各种天然营养物质,不会产生反式脂肪酸,保留核桃油原有的风味,且该工艺对核桃饼中蛋白质的破坏较小^[10-11],所得核桃饼可用于制作核桃蛋白粉、核桃酥、核桃乳等高附加值产品。

机械压榨根据压榨原理又分为螺旋压榨、带式压榨和板框压榨,其中螺旋压榨机因其在榨取软质物料方面表现出色而在全球应用广泛^[12],但利用该设备制备核桃油的最优工艺条件尚不明确。研究表明:在坚果低温压榨制油工艺中,种仁含水量过高会导致料坯成团块从而抑制出油,而种仁含水量过低料坯又会被压榨成粉末状,容易焦化反而堵膛^[13];另一方面,榨膛温度过高会造成饼颜色加深甚至烧焦,严重降低出油率和油脂品质;此外,压榨料渣太多会堵塞油嘴、油路,使油无法流出,降低出油率^[14]。本文基于以往对于油脂压榨关键参数控制的研究,以核桃仁出油率为考察指标,采用单因素试验和响应面法优化核桃低温螺旋压榨制油工艺中核桃仁含水量、榨头温度、出渣孔径 3 个工艺参数,并分析最优工艺条件下不同品种核桃油的脂肪酸组成和活性成分,以期对核桃油产业提质增效及开发

利用提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

新疆阿克苏纸皮核桃仁、浙江临安山核桃仁、美国德克萨斯州山核桃仁。

角鲨烯标准品(99.4%)、角鲨烷标准品(99.9%)、维生素 E 标准品、37 种脂肪酸甲酯混标,DR 公司;石油醚(30 ~ 60 °C)、KOH、NaHSO₄、乙醇等均为分析纯,上海凌峰化学试剂有限公司;异辛烷、甲醇、正己烷均为色谱纯,Honeywell 公司。

1.1.2 仪器与设备

CA59G 型冷榨螺旋榨油机,德国 Komet 公司;ACS 电子秤,东莞市龙脉衡器制造有限公司;BSA223S 电子分析天平,德国赛多利斯公司;高速台式离心机,上海安亭科学仪器厂;MB45 型水分测定仪,上海浦予工业科技有限公司;CT-C 型烘箱,常州市海江干燥设备有限公司;气相色谱仪、高效液相色谱仪,安捷伦科技有限公司;紫外分光光度计,上海尤尼柯仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 核桃油的制取

精确称取 1 kg 新疆阿克苏纸皮核桃仁,调制核桃仁至一定含水量,采用榨油机在一定榨头温度、出渣孔径条件下进行压榨,经静置离心除残渣,得到核桃原油,并以出油质量与核桃仁质量的比值计算出油率。

1.2.2 核桃油脂肪酸组成测定

参考文献[15]采用气相色谱法测定脂肪酸组成,并稍作修改。精密称取 0.1 g 油样于具塞试管中,加入 4 mL 异辛烷溶解试样,然后加入 680 μL 1 mol/L 的氢氧化钾-甲醇溶液,盖上玻璃塞,猛烈振摇 1 min 后静置 30 min 至澄清,加入约 1 g NaHSO₄,猛烈振摇中和氢氧化钾,待盐沉淀后,加入饱和食盐水加速分层,静置 30 min,取上清液过 0.45 μm 滤膜,待气相色谱分析。

气相色谱条件:HP-88 毛细管色谱柱(30 m ×

0.25 mm, 0.20 μm);进样口温度 270 $^{\circ}\text{C}$;进样量 1 μL ;载气为氮气,流速 30 mL/min;升温程序为初始温度 70 $^{\circ}\text{C}$,保持 1 min,以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 230 $^{\circ}\text{C}$,保持 5 min。

1.2.3 核桃油中活性成分测定

角鲨烯参照 LS/T 6120—2017 测定;总多酚参照 LS/T 6119—2017 测定;维生素 E 参照 GB 5009.82—2016 测定。

1.2.4 数据分析

每组试验重复 3 次,结果以“平均值 \pm 标准差”表示,使用 SPSS 20 软件进行 ANOVA 检验以及邓肯检验, $p < 0.05$ 表示具有统计学意义。

2 结果与讨论

2.1 核桃油制取单因素试验

2.1.1 出渣孔径对出油率的影响

在核桃仁含水量 6%、榨头温度 100 $^{\circ}\text{C}$ 条件下,考察出渣孔径对出油率的影响,结果见图 1。

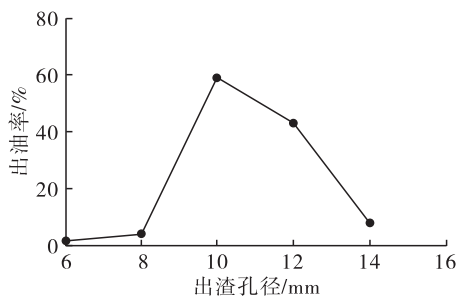


图 1 出渣孔径对出油率的影响

Fig.1 Effect of outlet size on oil yield

由图 1 可知,核桃仁出油率随出渣孔径的增加先升高后降低,在出渣孔径为 10 mm 时出油率最高,为 59.37%,且试验观察到出渣呈长条形,渣条表面光滑,压榨彻底。当出渣孔径为 14 mm 时,由于出渣口过大,出渣呈粉末状,无法成形,导致出油率低;出渣孔径为 12 mm 时,出渣基本成形,但是渣里肉眼可见核桃仁,压榨不彻底;当出渣孔径为 8 mm 和 6 mm 时,由于出渣口太小不能正常出渣,导致压榨受限,无法正常出油。Todorović 等^[16]探究了低温压榨条件对油脂产量和工艺效率的影响,发现螺杆频率为 50 Hz、榨头温度为 80 $^{\circ}\text{C}$ 、出渣头直径为 10 mm 时,出油率最佳,与本研究结果较为接近。

2.1.2 核桃仁含水量对出油率的影响

水分是控制核桃油品质以及饼残油的关键因素^[17]。在榨头温度 100 $^{\circ}\text{C}$ 、出渣孔径 10 mm 条件下,考察核桃仁含水量对出油率的影响,结果如图 2 所示。

由图 2 可知,随着核桃仁含水量的增加,出油率

呈先升高后降低的变化趋势,在含水量为 6% 时出油率最高,达 60.28%。其主要原因在于核桃仁含水量过低,饼渣不成形或者成形不完全,松弛易断,导致出油率较低;而含水量过高,原料中蛋白质的弹性和塑性发生变化,也会导致出油率较低^[18]。

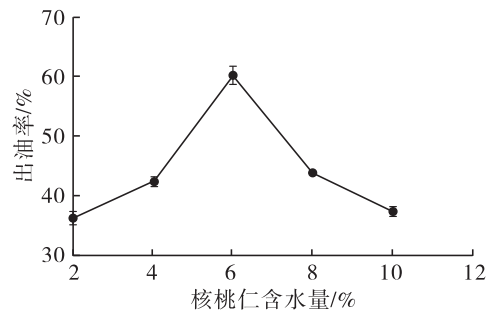


图 2 核桃仁含水量对出油率的影响

Fig.2 Effect of walnut kernel moisture content on oil yield

2.1.3 榨头温度对出油率的影响

在核桃仁含水量 6%、出渣孔径 10 mm 的条件下,考察榨头温度对出油率的影响,结果如图 3 所示。

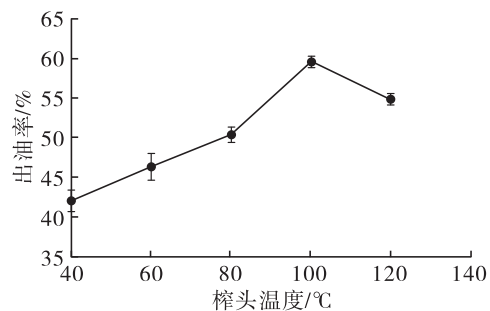


图 3 榨头温度对出油率的影响

Fig.3 Effect of pressing temperature on oil yield

由图 3 可知,随着榨头温度的升高,核桃仁出油率呈先上升后降低的趋势,在榨头温度为 100 $^{\circ}\text{C}$ 时,核桃仁出油率最高,为 59.48%。这可能是由于压榨温度过低时,油脂黏度增大、流动性变差,使压榨机无法正常运转,造成出油困难;随着压榨温度的升高,油脂黏度降低的同时提高了榨料的可塑性,进而提高了出油率^[19];但当温度增加至 120 $^{\circ}\text{C}$ 时,在温度、水分和压力的共同作用下,核桃仁发生焦(炭)化,长时间压榨时油渣会堵塞在螺杆中,导致渣饼无法挤出,出油率下降。

2.2 核桃油制取响应面优化试验

2.2.1 响应面试验设计及分析

在单因素试验的基础上,应用 Design Expert 8.0 软件对核桃仁含水量、榨头温度、出渣孔径 3 个因素进行 Box - Behnken 中心组合试验设计,以核桃仁出油率(Y)为响应值进行响应面试验,试验因素与水平见表 1,试验设计及结果见表 2。

表1 试验因素与水平

| 水平 | A 出渣 孔径/mm | B 核桃仁 含水量/% | C 榨头 温度/°C |
|----|---------------|----------------|---------------|
| -1 | 10 | 4 | 80 |
| 0 | 12 | 6 | 100 |
| 1 | 14 | 8 | 120 |

表2 试验设计及结果

| 试验号 | A | B | C | 出油率/% |
|-----|----|----|----|-------|
| 1 | 0 | -1 | 1 | 45.21 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 55.75 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 56.34 |
| 4 | -1 | 1 | 0 | 40.37 |
| 5 | 1 | 0 | -1 | 42.17 |
| 6 | 1 | 1 | 0 | 44.34 |
| 7 | 0 | -1 | -1 | 43.24 |
| 8 | 0 | 1 | 1 | 42.23 |
| 9 | 1 | 0 | 1 | 40.37 |
| 10 | 1 | -1 | 0 | 38.65 |
| 11 | -1 | -1 | 0 | 44.62 |
| 12 | -1 | 0 | 1 | 39.06 |
| 13 | -1 | 0 | -1 | 36.12 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 57.98 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 58.02 |
| 16 | 0 | 1 | -1 | 45.13 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 57.57 |

采用 Design Expert 8.0 软件对表 2 结果进行回归分析,得二次多元回归模型: $Y = 57.13 + 0.67A + 0.04B + 0.026C + 2.49AB - 1.19AC - 1.22BC - 9.83A^2 - 5.31B^2 - 7.87C^2$ 。响应面模型方差分析结果如表 3 所示。

表3 响应面模型方差分析

| 方差来源 | 平方和 | 自由度 | 均方 | F | p |
|----------------|--------|-----|--------|--------|----------|
| 模型 | 911.48 | 9 | 101.28 | 42.90 | <0.000 1 |
| A | 3.59 | 1 | 3.59 | 1.52 | 0.257 2 |
| B | 0.02 | 1 | 0.02 | 0.01 | 0.938 1 |
| C | 0.01 | 1 | 0.01 | 0.00 | 0.962 8 |
| AB | 24.70 | 1 | 24.70 | 10.46 | 0.014 4 |
| AC | 5.62 | 1 | 5.62 | 2.38 | 0.166 8 |
| BC | 5.93 | 1 | 5.93 | 2.51 | 0.157 0 |
| A ² | 406.84 | 1 | 406.84 | 172.35 | <0.000 1 |
| B ² | 118.60 | 1 | 118.60 | 50.24 | 0.000 2 |
| C ² | 260.94 | 1 | 260.94 | 110.54 | <0.000 1 |
| 残差 | 16.52 | 7 | 2.36 | | |
| 失拟项 | 12.29 | 3 | 4.10 | 3.87 | 0.112 2 |
| 纯误差 | 4.24 | 4 | 1.06 | | |
| 总和 | 928.01 | 16 | | | |

由表 3 可知:该模型的 F 值为 42.90, p 值小于 0.000 1,表示该模型具有很强的显著性;失拟项的 F 值为 3.87, p 值为 0.112 2,大于 0.05,失拟项不显著。该模型决定系数(R^2)为 0.982 2,调整决定系数(R_{Adj}^2)为 0.959 3,表明核桃仁出油率的预测值与实际值有较好的拟合程度,回归方程能够较好地表示核桃仁出油率与核桃仁含水量、榨头温度、出渣孔径的关系。由表 3 还可知,交互项 AB 的 p 值小于 0.05,说明出渣孔径与核桃仁含水量的交互作用对核桃仁出油率影响显著。

2.2.2 核桃油制取最优工艺条件的确定及验证

根据响应面模型得到核桃油制取的最优工艺条件为出渣孔径 12.07 mm、核桃仁含水量 6.02%、榨头温度 99.95 °C,在此条件下核桃仁出油率预测值达到 57.14%。为了便于实际工艺操作,将最优工艺参数调整为出渣孔径 12 mm、核桃仁含水量 6%、榨头温度 100 °C,在此优化条件下进行 3 组验证试验,核桃仁出油率平均值为 57.63%,与预测值接近,说明该模型的预测性较好,优化的工艺条件可靠。

2.3 核桃油脂脂肪酸组成

对最优工艺条件下制取的不同品种核桃油的脂肪酸组成进行测定,结果见表 4。

表4 不同品种核桃油脂脂肪酸组成及相对含量

| 脂肪酸 | 新疆纸皮 核桃油 | 美国 山核桃油 | 临安 山核桃油 |
|----------------------|-------------|------------|------------|
| 棕榈酸(C16:0) | 6.43 | 7.55 | 4.91 |
| 硬脂酸(C18:0) | 2.84 | 1.86 | 2.38 |
| 油酸(C18:1) | 18.08 | 54.15 | 63.44 |
| 亚油酸(C18:2) | 60.96 | 34.21 | 26.63 |
| α -亚麻酸(C18:3) | 11.45 | 1.90 | 2.31 |
| 花生酸(C20:0) | 0.07 | 0.09 | 0.09 |
| 花生烯酸(C20:1) | 0.16 | 0.24 | 0.24 |
| 饱和脂肪酸(SFA) | 9.34 | 9.51 | 7.38 |
| 不饱和脂肪酸(UFA) | 90.66 | 90.49 | 92.62 |

由表 4 可知,核桃油主要由棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、 α -亚麻酸等 7 种脂肪酸组成,其中新疆纸皮核桃油中脂肪酸含量范围均符合 GB/T 22327—2019《核桃油》要求(棕榈酸 2.2%~10.0%,硬脂酸 0.5%~6.0%,油酸 11.5%~35.0%,亚油酸 50.0%~70.0%, α -亚麻酸 5.5%~18.0%)。3 种核桃油中不饱和脂肪酸含量均超过 90%,其中临安市核桃油最高,达到 92.62%。修雪燕等^[20]研究表明,低温压榨核桃油中不饱和脂肪酸含量高达 90%

以上,与本研究结果一致。此外,相较于美国山核桃油和临安山核桃油,新疆纸皮核桃油中硬脂酸(2.84%)、亚油酸(60.96%)和 α -亚麻酸(11.45%)含量更高,而油酸(18.08%)、花生酸(0.07%)和花生烯酸含量(0.16%)含量较低。不

同核桃油的脂肪酸组成及含量差异可能与核桃品种、产地以及当地气候有关。

2.4 核桃油中活性成分含量

对最优工艺条件下制取的不同品种核桃油的活性成分含量进行了测定,结果见表5。

表5 不同品种核桃油的活性成分含量

Table 5 Active components content of walnut oils from different varieties

| 核桃油 | 角鲨烯/ (mg/kg) | 总多酚/ (mg/kg) | 维生素 E/(mg/100 g) | | | | 合计 |
|---------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | | | α -维生素 E | β -维生素 E | γ -维生素 E | δ -维生素 E | |
| 新疆纸皮核桃油 | 214.9 ± 2.5 ^b | 20.2 ± 1.2 ^a | 0.18 ± 0.02 ^b | 0.08 ± 0.01 ^c | 9.55 ± 0.73 ^b | 3.06 ± 0.15 ^a | 12.87 ± 0.73 ^a |
| 临安山核桃油 | 207.1 ± 3.7 ^c | 23.1 ± 0.9 ^a | 0.08 ± 0.01 ^c | 0.11 ± 0.01 ^b | 2.10 ± 0.24 ^c | 0.39 ± 0.08 ^c | 2.68 ± 0.17 ^b |
| 美国山核桃油 | 282.1 ± 3.1 ^a | 22.4 ± 1.1 ^a | 0.51 ± 0.02 ^a | 0.33 ± 0.01 ^a | 11.75 ± 0.21 ^a | 0.72 ± 0.10 ^b | 13.31 ± 0.21 ^a |

注:同列不同字母表示具有显著差异($p < 0.05$)

Note: Different letters in the same column indicate significant difference ($p < 0.05$)

由表5可知,美国山核桃油的角鲨烯含量最高,达282.1 mg/kg,新疆纸皮核桃油次之。临安山核桃油中总多酚含量最高(23.1 mg/kg),其次是美国山核桃油(22.4 mg/kg),新疆纸皮核桃油中最低(20.2 mg/kg),但3种核桃油间不存在显著差异($p > 0.05$)。美国山核桃油中维生素E含量最高,总量达13.31 mg/100 g,其中 γ -维生素E占88.28%。临安山核桃油中维生素E总量最低,为2.68 mg/kg,显著低于美国山核桃油和新疆纸皮核桃油($p < 0.05$)。

3 结论

本研究以新疆阿克苏纸皮核桃仁为原料,采用单因素试验和响应面试验对低温螺旋压榨制取核桃油的工艺条件进行优化,得到最优工艺条件为出渣孔径12 mm、榨头温度100℃、核桃仁含水量6%,在此条件下核桃仁出油率达57.63%。对最优工艺条件下制取的新疆阿克苏纸皮核桃油、临安山核桃油和美国山核桃油的脂肪酸组成和活性成分含量进行了对比,发现3种核桃油主要由油酸、亚油酸、 α -亚麻酸、棕榈酸、硬脂酸等组成,不饱和脂肪酸含量均超过90%。值得注意的是,与其他核桃油相比,美国山核桃油中角鲨烯和维生素E含量较高。综上所述,通过优化低温螺旋压榨工艺,可以获得出油率高且富含多种活性成分的核桃油。

参考文献:

[1] 王鲁明,黄闽敏,陈业明. 不同品种核桃仁成分及烘烤对其油脂品质和内源性蛋白酶活性的影响[J]. 中国油脂,2024,49(5):42-47.

[2] SONG H, CONG Z, WANG C, et al. Research progress on walnut oil: Bioactive compounds, health benefits, extraction methods, and medicinal uses [J/OL]. J Food Biochem, 2022, 46(12): e14504 [2023-10-19]. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14504>.

[3] 卢付青,游敬刚,潘红梅,等. 响应面法优化核桃油复合抗氧化剂的研究[J]. 中国油脂,2019,44(5):114-117.

[4] MIAO F, SHAN C, MA T, et al. Walnut oil alleviates DSS-induced colitis in mice by inhibiting NLRP3 inflammasome activation and regulating gut microbiota [J/OL]. Microb Pathog, 2021, 154: 104866 [2023-10-19]. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2021.104866>.

[5] MIAO F, SHAN C, SHAH S A H, et al. Effect of walnut (*Juglans sigillata*) oil on intestinal antioxidant, anti-inflammatory, immunity, and gut microbiota modulation in mice [J/OL]. J Food Biochem, 2021, 45(1): e13567 [2023-10-19]. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13567>.

[6] MIAO F, SHAN C, SHAH S A H, et al. The protective effect of walnut oil on lipopolysaccharide-induced acute intestinal injury in mice [J]. Food Sci Nutr, 2021, 9(2): 711-718.

[7] EGBUNA C, AWUCHI C G, KUSHWAHA G, et al. Bioactive compounds effective against type 2 diabetes mellitus; A systematic review [J]. Curr Top Med Chem, 2021, 21(12): 1067-1095.

[8] 李欢康,杨佳玮,刘文玉,等. 不同工艺核桃油挥发性物质比对及关键香气成分表征[J]. 食品科学,2021,42(16):185-192.

[9] 董国鑫,王淑珍,雷风,等. 焙炒处理对不同植物油品质特性的影响[J]. 中国油脂,2022,47(9):19-25.

[10] 吴凤智,周鸿翔,柳荫,等. 液冷压榨提取核桃油工艺研究[J]. 食品科技,2014,39(1):182-186.

[11] MARTÍNEZ M L, BORDÓN M G, LALLANA R L, et al. Optimization of sesame oil extraction by screw-pressing at low temperature [J]. Food Bioprocess Technol, 2017, 10(6): 1113-1121.

[12] BOGAERT L, MATHIEU H, MHEMDI H, et al. Characterization of oilseeds mechanical expression in an instrumented pilot screw press [J]. Ind Crops Prod, 2018, 121: 106-113.

(下转第45页)

- polysaccharides protect intestinal epithelial cells from hydrogen peroxide - induced oxidative stress [J]. *Int J Biol Macromol*, 2019, 135: 203 - 211.
- [18] 卫萍, 游向荣, 张雅媛, 等. 大麻蛋白加工特性、改性及其活性肽研究进展[J]. *中国粮油学报*, 2023, 38(10): 231 - 242.
- [19] 侯一峰, 李雪馨, 包小兰. 亚麻籽蛋白酶解肽的降胆固醇作用研究[J]. *中国油脂*, 2024, 49(9): 28 - 35.
- [20] TANG C H, WANG X S, YANG X Q. Enzymatic hydrolysis of hemp (*Cannabis sativa* L.) protein isolate by various proteases and antioxidant properties of the resulting hydrolysates[J]. *Food Chem*, 2009, 114: 1484 - 1490.
- [21] LU R R, QIAN P, SUN Z, et al. Hemp seed protein derived antioxidative peptides; Purification, identification and protection from hydrogen peroxide - induced apoptosis in PC12 cells[J]. *Food Chem*, 2010, 4: 1210 - 1218.
- [22] 魏连会, 宋淑敏, 董艳, 等. 大麻籽多肽对高脂饮食喂养大鼠血脂的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(11): 161 - 167.
- [23] RAIYAN M, ESTHER C, SHIWANGNI R, et al. The effect of selected hemp seed protein hydrolysates in modulating vascular function[J/OL]. *Food Biosci*, 2022, 45: 101504[2024 - 06 - 19]. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101504>.
- [24] GIRGIH A T, HE R, MALOMO S, et al. Structural and functional characterization of hemp seed (*Cannabis sativa* L.) protein - derived antioxidant and antihypertensive peptides[J]. *J Funct Foods*, 2014, 6: 384 - 394.
- [25] GIRGIH A T, UDENIGWE C C, LI H, et al. Kinetics of enzyme inhibition and antihypertensive effects of hemp seed (*Cannabis sativa* L.) protein hydrolysates[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2011, 88: 1767 - 1774.
- [26] GIRGIH A T, ALASHI A, HE R, et al. Preventive and treatment effects of a hemp seed (*Cannabis sativa* L.) meal protein hydrolysate against high blood pressure in spontaneously hypertensive rats[J]. *Eur J Nutr*, 2014, 53(5): 1237 - 1246.
- [27] MALOMO S A, ONUH J O, GIRGIH A T, et al. Structural and antihypertensive properties of enzymatic hemp seed protein hydrolysates[J]. *Nutrients*, 2015, 7(9): 7616 - 7632.
- [28] 卫萍, 游向荣, 张雅媛, 等. 酶法制备大麻肽及其血管紧张素转化酶抑制活性研究[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(18): 127 - 132.
- [29] 胡学佳. 红娘鱼鱼肉降血压肽的制备及其降血压机理的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2023.
- [30] 刘飞, 苗建银, 杨余语, 等. 牛乳酪蛋白源 ACE 抑制肽对大鼠的降血压作用[J]. *现代食品科技*, 2021, 37(7): 1 - 7.
- [31] 高博, 赵新淮. 耦合 Plastein 反应的大豆蛋白降压肽酶法制备技术[J]. *食品科学*, 2010, 31(22): 25 - 30.
- [32] LÓPEZ - FANDIÑO R, OTTE J, VAN CAMP J. Physiological, chemical and technological aspects of milk - protein - derived peptides with antihyper - tensive and ACE - inhibitory activity [J]. *Int Dairy J*, 2006, 16(11): 1277 - 1293.
- [33] 赵谋明, 任娇艳. 食源性生物活性肽结构特征与生理活性的研究现状与趋势[J]. *中国食品学报*, 2011, 11(9): 69 - 81.
- [34] 刘冬, 李世敏, 张丽君, 等. 降血压肽的研究进展[J]. *深圳职业技术学院学报*, 2005, 4(1): 46 - 50.
-
- (上接第 32 页)
- [13] EVANGELISTA R L, ISBELL T A, TODD J, et al. *Euphorbia lagascae* seed oil obtained by pre - pressing and solvent extraction[J/OL]. *Ind Crops Prod*, 2022, 180: 114799[2023 - 10 - 19]. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114799>.
- [14] RABADÁN A, PARDO J E, GÓMEZ R, et al. Influence of temperature in the extraction of nut oils by means of screw pressing[J]. *LWT - Food Sci Technol*, 2018, 93: 354 - 361.
- [15] 蒋起宏, 卢红伶, 姚诗炜, 等. 不同香榧品种果实特性比较及脂肪酸组成分析[J]. *浙江农业科学*, 2023, 64(4): 945 - 948.
- [16] TODOROVIĆ Z B, MITROVIĆ P M, ZLATKOVIĆ V, et al. Optimization of oil recovery from oilseed rape by cold pressing using statistical modeling [J]. *J Food Meas Charact*, 2024, 18(1): 474 - 488.
- [17] 周万猛, 张新文, 石胜瑜, 等. 10 v/d 双螺杆榨油机压榨油茶籽的工艺研究[J]. *粮油食品科技*, 2024, 32(1): 77 - 81.
- [18] 刘梁, 张煜, 刘建, 等. 全自动卧式液压榨机制备核桃油的工艺优化[J]. *中国油脂*, 2022, 47(10): 8 - 10, 17.
- [19] 李芑荃, 胡文凯, 谭雪松. 核桃榨油的发展现状[J]. *现代食品*, 2020(16): 67 - 68, 71.
- [20] 修雪燕, 严欢, 张倩, 等. 两种工艺提取核桃油理化指标及主要营养成分分析[J]. *中国食物与营养*, 2023, 29(10): 21 - 24.