

不同提取方法对红花籽油品质的影响及其抗氧化性的研究

何玉柱, 王琼琼, 崔瑞国, 宋丽军

Effects of Different Extraction Methods on the Quality and Antioxidant Activity of Safflower Seed Oil

HE Yuzhu, WANG Qiongqiong, CUI Ruiguo, and SONG Lijun

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023110108>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

响应面法和人工神经网络对亚临界CO₂萃取红花籽油的建模与优化

Modeling and Optimization of Subcritical CO₂ Extraction of Safflower Seed Oil Using Response Surface Methodology and Artificial Neural Networks

食品工业科技. 2024, 45(10): 225-233 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023070185>

不同配比红花籽、亚麻籽油对 II 型糖尿病小鼠血糖的影响

Effects of Different Proportions of Safflower Seed and Flaxseed Oil on Blood Glucose in Type II Diabetic Mice

食品工业科技. 2020, 41(7): 314-319 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.07.052>

不同分子量红花籽抗氧化肽稳定性研究

Study on the Stability of Antioxidant Peptides from Safflower Seeds with Different Molecular Weight

食品工业科技. 2022, 43(13): 94-102 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021100248>

提取方法对奇亚籽油品质特性的影响

Effect of Extraction Methods on Quality Characteristics of Chia Seed Oil

食品工业科技. 2020, 41(6): 284-291 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.06.048>

不同提取方法对牡丹籽油品质与抗氧化性的影响

Effects of Different Extraction Methods on the Quality and Antioxidant Properties of *Paeonia suffruticosa* Seed Oil

食品工业科技. 2019, 40(1): 11-16,22 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.01.003>

特丁基对苯二酚与迷迭香提取物对亚麻荠籽油贮藏稳定性的影响

Effects of Tert-Butylhydroquinone and Rosemary Extract on the Storage Stability of *Camelina sativa*(L.)Crantz Seed Oil

食品工业科技. 2020, 41(5): 257-261 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.05.042>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

何玉柱, 王琼琼, 崔瑞国, 等. 不同提取方法对红花籽油品质的影响及其抗氧化性的研究 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(20): 262–270. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023110108

HE Yuzhu, WANG Qiongqiong, CUI Ruiguo, et al. Effects of Different Extraction Methods on the Quality and Antioxidant Activity of Safflower Seed Oil[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(20): 262–270. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023110108

· 分析检测 ·

不同提取方法对红花籽油品质的影响 及其抗氧化性的研究

何玉柱¹, 王琼琼², 崔瑞国^{3,*}, 宋丽军^{3,*}

(1. 商丘市质量技术监督检验检测中心, 河南商丘 221000;

2. 阿克苏职业技术学院生物工程学院, 新疆阿克苏 843000;

3. 河北科技师范学院食品科技学院, 河北秦皇岛 066600)

摘要: 本研究分别以带壳和脱壳红花籽为原料, 采用超声波辅助和振荡溶剂提取红花籽油, 旨在进一步研究不同提取方法对红花籽油理化品质和挥发性成分的影响, 明确带壳和脱壳红花籽油品质的差异。结果表明, 不同方法提取的红花籽油的相对密度、折光指数、皂化值、酸值、碘值、过氧化值等理化指标均满足红花籽油国家标准 (GB/T 22465-2008)。不同油样的脂肪酸主要是亚油酸 (57.53%~67.95%)、油酸 (6.46%~8.12%)、棕榈酸 (1.87%~2.12%) 和硬脂酸 (1.26%~1.77%), 其脂肪酸组成无显著差异, 但 UAE 法获得的红花籽油中的反-2-辛烯醛、正己醇和正戊醇含量为 2.74%、14.96% 和 1.93%, 而 CSE 法获得的红花籽油中的反-2-辛烯醛、正己醇和正戊醇含量为 2.14%、12.49% 和 1.88%; UAE-SO 和 CSE-SO 的 OSI 值分别为 6.89 h 和 5.57 h; 带壳红花籽油的抗氧化活性 (DPPH 和 ABTS⁺ 自由基清除率) 也显著高于脱壳红花籽油 ($P < 0.05$)。本文研究结果可为新疆红花籽油的制备和精炼提供理论依据。

关键词: 提取方法, 红花籽油, 品质, 抗氧化性

中图分类号: TS225.1⁺9

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)20-0262-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023110108

本文网刊:



Effects of Different Extraction Methods on the Quality and Antioxidant Activity of Safflower Seed Oil

HE Yuzhu¹, WANG Qiongqiong², CUI Ruiguo^{3,*}, SONG Lijun^{3,*}

(1. Shangqiu Quality Technology Supervision and Testing Center, Shangqiu 221000, China;

2. Aksu Vocational and Technical College, Aksu 843000, China;

3. College of Food Science and Technology, Hebei Normal University of Science and Technology,
Qinhuangdao 066600, China)

Abstract: In this study, the ultrasonic-assisted and oscillation-assisted solvent extraction methodologies were employed to extract safflower seed oil using unshelled and shelled safflower seeds harvested from Xinjiang as raw materials. The effects of different extraction methods on the physicochemical indices and volatile components of safflower seed oil were further investigated to clarify the differences in the quality of oils extracted from unshelled and shelled safflower seeds. Results showed that the physicochemical indices of safflower seed oil extracted by different methods, including relative density, refractive index, saponification value, acid value, iodine value, peroxide value and so on, were in compliance with the national standard of safflower seed oil (GB/T 22465-2008). The fatty acids of different oil samples were mainly linoleic

收稿日期: 2023-11-14

基金项目: 新疆维吾尔自治区乡村振兴项目 (202100823); 地区科学基金项目 (31960487)。

作者简介: 何玉柱 (1976-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向: 食品营养与安全检测, E-mail: 80219172@qq.com。

* 通信作者: 崔瑞国 (1993-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 食用油脂加工, E-mail: ruigc_hnust@163.com。

宋丽军 (1982-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品精深加工, E-mail: slj176@163.com。

acid (57.53%~67.95%), oleic acid (6.46%~8.12%), palmitic acid (1.87%~2.12%) and stearic acid (1.26%~1.77%). The fatty acid compositions of safflower seed oils extracted by these two different methods did not show any significant differences. The contents of trans-(2-octenal), n-hexanol and n-amyl alcohol in safflower oil obtained by the ultrasonic-assisted method were 2.74%, 14.96% and 1.93%, while those obtained by the oscillation-assisted method were 2.14%, 12.49% and 1.88%. In addition, the OSI values of safflower seed oils extracted by the ultrasonic-assisted method and the oscillation-assisted method were 6.89 h and 5.57 h, respectively. More importantly, the oils extracted from the unshelled safflower seeds exhibited significantly higher antioxidant activities (i.e. scavenging degrees of DPPH and ABTS⁺ free radicals) than those extracted from shelled safflower seeds. The results will provide a theoretical basis for the preparation and refining technology of safflower seed oil.

Key words: extraction methods; safflower seed oil; quality; antioxidant activity

红花籽是红花(*Carthamus tinctorius* L.)的种子, 呈白色三角状, 习称“白平子”、“血平子”^[1]。据《本草纲目》记载, 红花籽“功能与花同”^[1]。红花籽油是从红花籽中提取的食用植物油, 具有丰富的营养价值和较高的经济价值^[2]。红花籽品种及种植环境的不同可导致其营养成分和含量的差异^[2-3]。红花籽含油率为 23%~46%, 其中含有丰富的不饱和脂肪酸(>90%)、维生素 E、类黄酮、氨基酸和微量元素等生物活性成分^[3-6]。现代药理学研究表明, 红花籽油具有抗炎、抗氧化、抗肥胖和降血脂等多种生理功能^[7-8]。

传统制备红花籽油的方法主要是水酶法和有机溶剂浸提法^[6]。由于红花籽具有坚硬的外壳, 压榨法制油过程中需要较高的温度(>180 °C), 导致生物活性成分, 如类黄酮、维生素 E、甾醇等的损失^[9]。有机溶剂浸提法可以提高出油率, 但制备的红花籽油中有机溶剂残留量高, 后期精炼难度大^[9-10]。张建峰等^[6]利用冷榨法从红花籽中提取红花籽油并对其性质进行了研究。冯棋琴^[11]利用有机溶剂浸提法从红花籽中提取了红花籽油。近年来传统制备红花籽油采取的方法还是以水酶法为主, 李晓^[9]利用水酶法从红花籽中提取红花籽油, 并将其与有机溶剂浸提法提取的红花籽油进行了对比。李扬等^[10]与胡爱军等^[12]研究了超声波促进水酶法从红花籽中提取红花籽油。与传统方法相比, 超声波辅助提取(Ultrasonic-assisted extraction, UAE)具有提取温度低、时间短、溶剂用量少、出油率高等优点^[10-12]。范康俊等^[2]用脱壳机对红花籽进行脱壳后采用水酶法进行红花籽的提取。无壳种子是有效提取油脂的理想选择, 但红花籽的壳仁比高达 1.6:1^[6], 且外壳坚硬不易去除。红花籽油的制备一般都选用带壳红花籽为原料^[6]。然而, 关于不同提取方法对带壳红花籽油和脱壳红花籽油品质及挥发性成分影响的研究鲜见报道。

本研究以带壳和脱壳红花籽为原料, 分别采用超声辅助提取及常规溶剂浸提(Conventional shake extraction, CSE)两种方法提取红花籽油, 进一步研究不同红花籽油提取率、理化性质、脂肪酸组成及其挥发性成分的差异, 为红花籽油的提取及工业应用提供理论依据和科学指导。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

红花籽 采集自新疆塔城地区裕民县, 筛选无病虫害、无损伤、均匀一致的红花籽, 置于电热鼓风干燥箱中于 50 °C 干燥 6 h, 研磨粉碎过 60 目筛, 真空密封包装并于-18 °C 保存备用; 三氟化硼、甲醇、没食子酸、37 种脂肪酸混合标准品(均为色谱纯) Sigma-Aldrich 试剂公司; 其他试剂均为分析纯, 天津市致远化学试剂有限公司。

FA-1004 分析天平 上海舜宇恒平科学仪器有限公司; XS-O4 200g 多功能粉碎机 上海兆申科技有限公司; BGZ-246 型电热鼓风干燥箱 上海博迅有限公司医疗设备厂; JP-060S 超声清洗器 深圳市洁盟清洗设备有限公司; SHA-B 型数显恒温水浴摇床 江苏金怡仪器科技有限公司; DZKW-D-2 恒温水浴锅 北京市永光明医疗仪器厂; TDL-4A 型离心机 上海安亭科学仪器厂; Rancimat 743 型油脂氧化稳定性测定仪 瑞士万通公司; GC-MS-QP2020 气相色谱-质谱联用仪 日本岛津公司。

1.2 实验方法

1.2.1 红花籽油的制备 超声辅助提取: 将采集的植物材料红花籽样品机械脱壳, 置于 45 °C 电热鼓风干燥箱, 干燥 5 h, 然后研磨成粉末, 过 60 目筛。取脱壳红花籽粉末和带壳红花籽粉末各 20.0 g, 分别与 400 mL 正己烷混合并置于锥形瓶中(顶部用塑封膜封口), 在超声频率 40 Hz, 功率 360 W, 温度 35 °C 条件下提取 60 min。离心并将上清液在 60 °C 条件下旋转蒸发去除有机溶剂, 即分别得到超声波辅助提取的带壳红花籽油(UAE-SO)和脱壳红花籽油(UAE-DSO)^[10,12]。

振荡溶剂提取: 取脱壳红花籽粉末和带壳红花籽粉末各 20.0 g, 分别与 400 mL 正己烷混合并置于锥形瓶中(顶部用塑封膜封口)。在 50 °C 条件下, 采用水浴摇床 100 r/min 下提取 60 min。离心并将上清液在 60 °C 条件下旋转蒸发去除有机溶剂, 即分别得到振荡溶剂提取的带壳红花籽油(CSE-SO)和脱壳红花籽油(CSE-DSO)。

红花籽油提油率按下式计算:

$$Y(\%) = m_o/m_r \times 100$$

式中: m_o 为红花籽油重量(g); m_r 为红花籽原料

重量(g)。

1.2.2 理化性质的测定 色泽参照动植物油脂罗维朋色泽的测定方法(GB/T 22460-2008)^[13]测定;相对密度参照粮油检验粮食、油料相对密度的方法测定(GB/T 5518-2008)^[14];折光指数参照动植物油脂折光指数的方法测定(GB/T 5527-2010)^[15];皂化值参照动植物油脂皂化值的方法测定(GB/T 5534-2008)^[16];酸值参照植物油料油的酸度测定的方法测定(GB/T 5009.229-2016)^[17];碘值参照动植物油脂碘值的测定方法测定(GB/T 5532-2008)^[18];过氧化值参照动植物油脂过氧化值测定方法测定(GB 5009.227-2016)^[19]。

1.2.3 脂肪酸组成的测定 脂肪酸参照动植物油脂脂肪酸甲酯的气相色谱分析测定(GB/T 5009.168-2016)^[20]。

色谱条件: CD-2560 色谱柱(100 m×0.25 mm×0.20 μm), 进样口温度: 250 ℃, 分流: 10:1, 载气流速: 0.5 mL/min, 程序升温: 130 ℃ 保持 5 min, 以 4 ℃/min 的速率升温至 240 ℃, 保持 30 min, 检测器温度为 250 ℃。根据脂肪酸甲酯混标, 采用面积归一法进行定量分析。

1.2.4 挥发性成分的测定 样品预处理: 首先将萃取头于 250 ℃ 老化至无杂峰。取 2.000 g 样品于 20 mL 顶空瓶中密封, 于 60 ℃ 水浴中孵育 10 min, 60 ℃ 萃取 40 min, 萃取结束后立即进样检测。

气相色谱条件: DB-wax 色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)。进样口温度 250 ℃, 载气氦气。进样方式为恒流模式, 流速 1.8 mL/min。升温程序: 起始温度 35 ℃, 保持 2 min; 3 ℃/min 速率升至 85 ℃; 5 ℃/min 速率升至 150 ℃, 保持 2 min; 8 ℃/min 速率升至 230 ℃, 保持 10 min。质谱条件: 电子电离源, 离子源温度 230 ℃; 接口温度 250 ℃; 溶剂延迟时间 1 min; 扫描范围 m/z 30~500。利用 NIST 17 质谱库对数据进行匹配, 选择正反匹配度大于 80% 的化合物, 采用峰面积归一化测定相对含量^[1]。

1.2.5 总多酚含量的测定 采用 Folin-Ciocalteu 法测定样品中多酚的含量: 精准称取 0.100 g 没食子酸标准品, 加入去离子水溶液定容至 100 mL 容量瓶, 配制成浓度为 0.1 mg/mL 的没食子酸标准溶液。取 8 支 10 mL 刻度试管(编号 a1~a8), 于试管中分别加入不同体积浓度为 0.1 mg/mL 的没食子酸标准溶液(0、100、200、300、400、500 和 600 μL), 用去离子水补足至 10 mL, 混合均匀, 在 765 nm 处测定 A1~A8 号管的吸光度值。横轴为没食子酸标准溶液的浓度, 纵轴为其浓度对应测定的吸光值, 来绘制标准曲线。根据标准曲线($y=7.7205x+0.0076$, $R^2=0.9999$)计算提取液中多酚的浓度, 并按以下公式计算多酚含量。

$$\text{多酚含量(mg/g)} = \frac{\text{提取液中多酚的浓度(mg/mL)} \times \text{提取液体积(mL)}}{\text{红花样品冻干粉质量(g)}}$$

将 2.0 g 油样溶于 6 mL 甲醇溶液中(v/v, 70%), 涡旋振荡 2 min 后, 5000 r/min 离心 25 min, 收集上

清液于棕色容量瓶中低温保存待测。取待测液 3 mL 与 0.5 mL 福林酚试剂混合, 添加 1 mL Na₂CO₃ 溶液(10%), 用蒸馏水定容至 10 mL。混合液避光反应 2 h 后, 在 765 nm 处测定吸光度, 总多酚含量以没食子酸当量表示(mg GAE/100 g 油)^[21]。

1.2.6 氧化稳定性指数的测定 氧化稳定性指数(Oxidative stability index, OSI)采用油脂氧化稳定性测定仪测定, 温度为 110 ℃, 气流速度为 20 L/h^[22]。

1.2.7 抗氧化活性的测定 DPPH 自由基清除率: 取 0.2 g 油样与甲醇(0.75 mL)混合, 涡旋振荡 1 min 后取上清液待测。取待测液 0.21 mL, 加入 0.7 mL DPPH-乙醇溶液(0.1 mmol/L), 涡旋混匀后, 于 25 ℃ 避光反应 30 min, 在 517 nm 处测量吸光度。

ABTS⁺自由基清除率: 取待测液 0.30 mL, 加入 0.18 μL 工作溶液(由 7 mmol/L ABTS 溶液和 2.45 mmol/L K₂S₂O₈ 溶液制备), 于 25 ℃ 避光反应 30 min, 在 734 nm 处测量吸光度。

$$\text{清除率(\%)} = (A_0 - A_1)/A_0$$

式中: A₀ 为不含样品溶液的吸光度; A₁ 为含样品溶液的吸光度^[23]。

1.3 数据处理

所有数据平行测定 3 次并以平均值±标准差表示。采用 Origin 2019b 作图, 用 SPSS 25.0 进行数据分析, 用邓肯检验来确定显著性差异($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同提取方法对红花籽出油率的影响

油脂提取率是评价提取效率和红花籽种质的重要指标^[5]。不同提取方法对红花籽油提取率的影响如表 1 所示。UAE 法提取的带壳红花籽油和脱壳红花籽油的提取率分别为 24.58% 和 37.02%, 显著高于 CSE 法提取($P<0.05$)。去壳红花籽的油脂提取率显著高于带壳红花籽($P<0.05$)。原因是在提取过程中油料一定的含壳量可以在有机溶剂浸提时给予油料适当压力, 起到了一定搅拌作用^[6]。同时也说明原料的脱壳程度、研磨程度等均会影响红花籽油的提取率^[24]。本研究采用有机溶剂浸提方法得到的红花籽油提取率为 23.22%。而 Gecgel 等^[25]研究表明: 普通成熟型红花籽出油率为 27%~32%。本研究采用超声波辅助有机溶剂浸提得到的未脱壳红花籽的提取率为 24.58%, 而 Hu 等^[26]对比了超声波辅助提取和常规提取条件下, 不同溶剂类型、液料比、提取时

表 1 不同提取方法红花籽油提油率比较分析(%)

Table 1 Comparative analysis of oil extraction rates of safflower seed oil using different extraction methods (%)

提取方法	含量	
	SSO	HSSO
UAE	24.58±1.06 ^a	37.02±0.67 ^a
CSE	23.22±0.76 ^b	36.24±0.25 ^b

注: UAE 为超声辅助提取, CSE 为有机溶剂浸提, SSO 为带壳红花籽油, HSSO 为脱壳红花籽油; 同列肩标不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

间等因素对红花籽油提取率的影响, 结果表明: UAE 法提取的红花籽油得率为 27.02%。以上研究结果与本研究结果存在差异, 这可能与提取工艺、原料产地和品种的差异有关。

2.2 不同提取方法对红花籽理化性质的影响

油脂的营养价值及其应用取决于油脂的物理化学特性^[9]。不同提取方法对红花籽油理化性质的影响见表 2。不同方法提取的红花籽油的相对密度、折光指数、皂化值、酸值、碘值及过氧化值均无显著差异($P>0.05$)。两种提取方法所制备的带壳红花籽油和脱壳红花籽油的相对密度(d_{20}^{20})范围为 0.924~0.926, 折光指数(n^{40})范围为 1.4683~1.4690, 皂化值范围为 191~194 mg/g KOH, 酸值范围为 0.948~0.956 mg/g KOH, 碘值范围为 138~140 g/100 g, 过氧化值范围为 0.12~0.13 g/100 g, 上述质量指标均满足 GB/T 22465-2008《红花籽油》的规定^[27]。皂化值的高低反映油脂中脂肪酸分子量的大小。在 UAE 和 CSE 提取下, HSSO 皂化值与 SSO 皂化值无显著性差异, 说明 HSSO 和 SSO 中的游离脂肪酸含量及脂肪酸碳链的平均长度差异不显著。酸值是衡量油脂抗氧化性能的重要指标之一。在 UAE 和 CSE 提取下, 样品中的酸值最高为 0.956 mg KOH/g, 表明其油中游离脂肪酸含量较低, 低于食用油的国家标准(酸值 ≤ 4 mg KOH/g); 同时也说明红花籽油总体抗氧化性强, 相对不容易被氧化酸败。在 UAE 和 CSE 提取下, HSSO 碘值和 SSO 碘值均小于 140 g/100 g, 表明红花籽油属于不干性油类。过氧化值是衡量油脂氧化程度的指标, 一般说过氧化值越高其酸败程度越大。在 UAE 和 CSE 提取下, HSSO 过氧化值和 SSO 过氧化值无显著性差异, 说明油脂的质量相对较好, 营养价值较高, 相应的油脂氧化程度较低, 易于保存。

以 L^* 、 a^* 、 b^* 以及 ΔE 值作为评价指标观察红花籽油的色泽差异, 结果如表 3 所示。由表 3 可知: UAE 法提取和 CSE 法提取的脱壳红花籽油的 L^* 值分别为 93.07 和 93.08, 均高于带壳红花籽油($P<0.05$), 表

明脱壳红花籽油色泽更为明亮。UAE 法提取和 CSE 法提取的带壳红花籽油的 a^* 值分别为 1.49 和 2.01, 显著高于脱壳红花籽油($P<0.05$), 表明带壳红花籽油色泽偏红。UAE 法提取和 CSE 法提取的脱壳红花籽油的 b^* 值分别为 40.17 和 41.68, 显著低于带壳红花籽油($P<0.05$), 说明脱壳红花籽油黄色更淡。以上结果表明: 不论 UAE 法提取或 CSE 法提取, 带壳红花籽油与脱壳红花籽油色泽有显著差异($P<0.05$)。原因是油料在提取过程中一定的含壳量中的色素被一起提取出来, 造成带壳红花籽油的颜色在不同提取的方法中较脱壳的红花籽油颜色深。由此可见脱壳处理后提取的红花籽油在色泽上优于未脱壳处理提取的红花籽油。

2.3 不同提取方法对红花籽油脂脂肪酸组成及含量的影响

不同提取方法对红花籽油脂脂肪酸组成及含量的影响见表 4。不同提取方法下, 带壳红花籽油与脱壳红花籽油的主要脂肪酸组成无差异, 但是脂肪酸的含量存在差别。不同红花籽油中的脂肪酸主要是亚油酸(57.53%~67.95%), 其次是油酸(6.46%~8.12%)、棕榈酸(1.87%~2.12%)和硬脂酸(1.26%~1.77%)。赵雅霞^[28]对南北疆红花籽油的脂肪酸组成进行了对比分析, 结果表明亚油酸平均相对含量分别为 82.1% 和 78.0%, 本研究中从带壳红花籽中经过有机溶剂提取的红花籽油中亚油酸含量最高为 67.95%, 可见此研究的红花籽油中的亚油酸含量明显低于南北疆的红花籽油, 其原因可能是油料的品种、成熟度、产地、生产工艺条件等差异造成的^[28]。在 UAE 和 CSE 提取下, SSO 总不饱和脂肪酸含量范围在 77.87~79.22 g/100 g, HSSO 总不饱和脂肪酸含量范围在 70.60~79.22 g/100 g; SSO 总不饱和脂肪酸含量显著高于 HSSO。其中, 总不饱和脂肪酸以亚油酸为主, 其次是油酸, 而十七烷酸含量最低。在 UAE 和 CSE 提取下, SSO 总饱和脂肪酸含量范围在 1.09~1.11 g/100 g, HSSO 总饱和脂肪酸含量范围在 2.56~2.59 g/100 g; SSO 总饱和脂肪酸含量显著($P<0.05$)低于 HSSO。

表 2 不同方法提取红花籽油的理化性质

Table 2 Physicochemical properties of safflower seed oils obtained using different methods

油样	相对密度(d_{20}^{20})	折光指数(n^{40})	皂化值(mg/g)	酸值(mg/g KOH)	碘值(g/100 g)	过氧化值(g/100 g)
UAE-SSO	0.924±0.06 ^a	1.4683±0.35 ^a	192±1.00 ^a	0.948±0.40 ^a	139±0.50 ^a	0.12±0.00 ^a
UAE-HSSO	0.925±0.10 ^a	1.4681±0.10 ^a	194±2.00 ^a	0.948±0.10 ^a	140±0.50 ^a	0.13±0.00 ^a
CSE-SSO	0.926±0.15 ^a	1.4690±0.35 ^a	193±1.00 ^a	0.952±0.40 ^a	140±0.50 ^a	0.12±0.05 ^a
CSE-HSSO	0.925±0.12 ^a	1.4685±0.20 ^a	191±2.00 ^a	0.956±0.11 ^a	138±0.50 ^a	0.13±0.05 ^a

注: 同列肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 表3~表6同。

表 3 不同方法提取红花籽油的色度值

Table 3 Chromaticity values of safflower seed oils obtained using different methods

样品	L^* 值	a^* 值	b^* 值
UAE-SSO	84.98±0.26 ^b	1.49±0.01 ^b	78.72±0.2 ^b
UAE-HSSO	93.07±0.03 ^a	-2.69±0.02 ^d	40.17±0.02 ^d
CSE-SSO	85.03±0.04 ^b	2.01±0.04 ^a	81.90±0.08 ^a
CSE-HSSO	93.08±0.31 ^a	-2.49±0.05 ^c	41.68±0.24 ^c

表 4 不同方法提取的红花籽油的脂肪酸组成(%)

Table 4 Fatty acid compositions in safflower seed oils obtained using different methods (%)

脂肪酸种类	UAE-SSO	UAE-HSSO	CSE-SSO	CSE-HSSO
肉豆蔻酸(C14:0)	0.05±0.17 ^a	0.05±0.06 ^a	0.06±0.03 ^a	0.05±0.02 ^a
棕榈酸(C16:0)	2.10±0.05 ^a	1.87±0.15 ^b	2.12±0.16 ^a	1.89±0.94 ^b
棕榈油酸(C16:1)	0.03±0.22 ^a	0.02±0.21 ^a	0.03±0.02 ^a	0.02±0.01 ^a
十七烷酸(C17:0)	0.02±0.20 ^a	0.01±0.11 ^a	0.02±0.01 ^a	0.01±0.01 ^a
硬脂酸(C18:0)	1.74±0.02 ^a	1.26±0.09 ^b	1.77±0.88 ^a	1.28±0.64 ^b
油酸(C18:1n9c)	6.46±0.04 ^b	8.03±0.06 ^a	6.56±0.28 ^b	8.12±0.46 ^a
亚油酸(C18:2n6c)	66.76±0.07 ^a	57.53±0.19 ^b	67.95±0.97 ^a	58.12±0.00 ^b
α-亚麻酸(C18:3n3)	0.11±0.10 ^a	0.06±0.23 ^b	0.11±0.00 ^a	0.06±0.03 ^b
花生酸(C20:0)	0.41±0.14 ^a	0.42±0.23 ^a	0.41±0.21 ^a	0.42±0.21 ^a
顺-11-二十碳一烯酸(C20:1)	0.12±0.05 ^a	0.17±0.03 ^a	0.12±0.06 ^a	0.17±0.08 ^a
顺-11,14-二十碳二烯酸(C20:2)	0.02±0.06 ^a	0.03±0.06 ^a	0.02±0.01 ^a	0.03±0.01 ^a
顺-8,11,14-二十碳三烯酸(C20:3n6)	0.40±0.21 ^b	1.51±0.15 ^a	0.41±0.21 ^b	1.53±0.00 ^a
顺式-5,8,11,14,17-二十碳五烯酸(C20:5n3)	0.14±0.24 ^b	0.43±0.18 ^a	0.15±0.07 ^b	0.44±0.22 ^a
二十三碳酸(C23:0)	0.02±0.17 ^a	0.03±0.19 ^a	0.02±0.01 ^a	0.03±0.02 ^a
二十四烷酸(C24:0)	0.46±0.24 ^b	1.58±0.05 ^a	0.46±0.23 ^b	1.59±0.80 ^a
神经酸(C24:1)	0.12±0.18 ^b	0.16±0.24 ^a	0.12±0.06 ^b	0.17±0.08 ^a
总饱和脂肪酸	4.8±0.13 ^b	5.22±0.18 ^a	4.86±0.09 ^b	5.27±0.08 ^a
总不饱和脂肪酸	74.16±0.23 ^a	67.94±0.42 ^b	75.47±0.34 ^a	68.66±0.32 ^b

2.4 不同提取方法对红花籽油挥发性成分的影响

挥发性成分的种类和含量是评价植物油整体香气的重要指标^[29]。不同提取方法对红花籽油挥发性成分和种类的影响见表 5 和图 1。由表 5 可知: 4 种

红花籽油中共检出 7 类共 65 种挥发性物质。其中烃类 9 种(烷烃 4 种、烯烃 5 种)、醇类 14 种、酮类 2 种、醛类 8 种、酸类 15 种、酯类 17 种。两种方法提取的 4 种红花籽油共有的挥发性成分有烯烃类(苯

表 5 不同提取方法提取红花籽油的挥发性成分(%)

Table 5 Volatile components of safflower seed oils obtained using different methods (%)

分类	CAS号	名称	分子式	UAE-SSO	UAE-HSSO	CSE-SSO	CSE-HSSO
烷烃	112-40-3	正十二烷	C ₁₂ H ₂₆	1.22±0.03 ^a	—	1.11±0.10 ^b	—
	629-94-7	正二十一烷	C ₂₁ H ₄₄	0.24±0.01 ^a	0.20±0.06 ^a	—	—
	629-59-4	正十四烷	C ₁₄ H ₃₀	0.24±0.04 ^a	0.26±0.02 ^a	—	0.22±0.04 ^a
	294-62-2	环十二烷	C ₁₂ H ₂₄	0.52±0.01 ^a	—	—	—
烷烃总含量				2.22±0.0 ^a	0.46±0.08 ^c	1.11±0.10 ^b	0.22±0.04 ^d
烯烃	100-42-5	苯乙烯	C ₈ H ₈	17.48±0.11 ^b	8.94±0.04 ^c	23.86±0.30 ^a	8.07±0.07 ^d
	13360-61-7	1-十五烯	C ₁₅ H ₃₀	8.54±0.35 ^a	0.44±0.04 ^b	8.34±0.20 ^a	0.38±0.02 ^b
	275-51-4	环戊环庚烯	C ₁₀ H ₈	—	0.63±0.03 ^a	—	0.53±0.03 ^b
	502-61-4	三甲基-1,3,6,10-十二碳-四烯	C ₁₅ H ₂₄	0.23±0.02 ^a	—	0.21±0.07 ^a	—
烯炔总含量	91-20-3	萘	C ₁₀ H ₈	0.53±0.03 ^a	—	0.57±0.07 ^a	—
				26.25±0.48 ^b	10.47±0.19 ^c	32.98±0.50 ^a	8.98±0.08 ^d
	71-41-0	正戊醇	C ₅ H ₁₂ O	—	1.93±0.20 ^a	—	1.88±0.08 ^a
	111-70-6	正庚醇	C ₇ H ₁₆ O	0.29±0.01 ^a	0.20±0.03 ^b	0.28±0.02 ^a	0.16±0.00 ^c
醇类	111-27-3	正己醇	C ₆ H ₁₄ O	14.96±0.40 ^a	10.40±0.15 ^{ab}	12.49±0.40 ^a	6.54±4.79 ^b
	3391-86-4	1-烯-3-辛醇	C ₈ H ₁₆ O	0.44±0.04 ^c	1.24±0.03 ^a	0.37±0.02 ^d	1.18±0.03 ^b
	110-03-2	2,5-二甲基-2,5-己二醇	C ₈ H ₁₈ O ₂	—	0.09±0.54	—	—
	18409-17-1	反式-2-辛烯-1-醇	C ₈ H ₁₆ O	—	2.74±0.09 ^a	—	2.17±0.07 ^b
	143-08-8	1-壬醇	C ₉ H ₂₀ O	1.38±0.08 ^a	0.29±0.02 ^c	1.27±0.07 ^b	0.25±0.03 ^c
	100-51-6	苯甲醇	C ₇ H ₈ O	0.58±0.03 ^a	0.22±0.02 ^c	0.52±0.02 ^b	0.21±0.01 ^c
	35192-73-5	烯丙基正戊基甲醇	C ₉ H ₁₈ O	0.42±0.02 ^c	0.64±0.04 ^{ab}	0.59±0.09 ^b	0.73±0.01 ^a
	60-12-8	苯乙醇	C ₈ H ₁₀ O	0.60±0.06 ^b	0.10±0.04 ^d	0.28±0.06 ^c	0.69±0.01 ^a
	36653-82-4	1-十六烷醇	C ₁₆ H ₃₄ O	0.66±0.02 ^a	0.11±0.01 ^d	0.56±0.05 ^b	0.23±0.03 ^c
	1454-84-8	十九烷醇	C ₁₉ H ₄₀ O	0.30±0.04 ^a	—	0.15±0.02 ^b	0.18±0.02 ^b
	111-87-5	正辛醇	C ₈ H ₁₈ O	0.69±0.04 ^a	—	0.72±0.01 ^a	0.24±0.04 ^b
	112-30-1	1-癸醇	C ₁₀ H ₂₂ O	0.11±0.01	—	—	—

续表 5

分类	CAS号	名称	分子式	UAE-SSO	UAE-HSSO	CSE-SSO	CSE-HSSO
醇类总含量				20.43±0.53 ^a	18.27±0.91 ^{ab}	17.23±0.70 ^{ab}	14.46±4.63 ^b
酮类	1669-44-9	3-辛烯-2-酮	C ₈ H ₁₄ O	1.06±0.06 ^a	0.67±0.00 ^b	0.78±0.15 ^b	0.66±0.04 ^b
	1126-18-7	2-丁基环己酮	C ₁₀ H ₁₈ O	0.22±0.02 ^{ab}	0.30±0.10 ^a	0.13±0.03 ^b	0.25±0.06 ^a
酮类总含量				1.28±0.08 ^a	0.97±0.10 ^b	0.91±0.18 ^b	0.91±0.02 ^b
醛类	2548-87-0	反-2-辛烯醛	C ₈ H ₁₄ O	2.18±0.03 ^a	1.27±0.07 ^b	—	1.10±0.10 ^c
	2277-16-9	(E)-4-壬烯醛	C ₉ H ₁₆ O	—	0.32±0.02	—	—
	5910-87-2	(E,E)-2,4-壬二烯醛	C ₉ H ₁₄ O	0.22±0.03 ^a	0.15±0.05 ^a	—	0.15±0.05 ^a
	18829-55-5	(E)-2-庚烯醛	C ₇ H ₁₂ O	0.51±0.01 ^a	—	—	0.26±0.04 ^b
	124-19-6	壬醛	C ₉ H ₁₈ O	0.40±0.05	—	—	—
	112-31-2	正癸醛	C ₁₀ H ₂₀ O	0.21±0.01 ^a	—	0.21±0.01 ^a	—
	100-52-7	苯甲醛	C ₇ H ₆ O	1.23±0.03 ^a	—	0.23±0.03 ^b	0.23±0.03 ^b
	18829-56-6	反式-2-壬烯醛	C ₉ H ₁₆ O	0.23±0.03 ^b	—	—	0.28±0.02 ^a
醛类总含量				4.98±0.03 ^a	1.74±0.14 ^c	0.44±0.04 ^d	2.02±0.02 ^b
酸类	64-19-7	冰醋酸	C ₂ H ₄ O ₂	0.88±0.01 ^d	2.60±0.10 ^b	1.76±0.20 ^c	8.33±0.17 ^a
	107-92-6	正丁酸	C ₄ H ₈ O ₂	—	0.23±0.02 ^b	0.26±0.08 ^b	0.49±0.01 ^a
	503-74-2	异戊酸	C ₅ H ₁₀ O ₂	0.81±0.01 ^a	0.33±0.03 ^c	0.77±0.07 ^a	0.61±0.01 ^b
	109-52-4	正戊酸	C ₅ H ₁₀ O ₂	0.63±0.03 ^d	1.89±0.09 ^b	1.30±0.10 ^c	2.33±0.33 ^a
	142-62-1	正己酸	C ₆ H ₁₂ O ₂	12.20±0.20 ^c	31.30±1.00 ^a	16.00±2.00 ^b	31.35±3.00 ^a
	111-14-8	庚酸	C ₇ H ₁₄ O ₂	0.47±0.02 ^b	0.69±0.03 ^a	0.30±0.04 ^c	0.67±0.03 ^a
	124-07-2	辛酸	C ₈ H ₁₆ O ₂	0.28±0.02 ^b	0.46±0.06 ^a	0.27±0.07 ^b	0.32±0.02 ^b
	112-05-0	正壬酸	C ₉ H ₁₈ O ₂	0.20±0.03 ^b	0.63±0.03 ^a	0.12±0.02 ^c	0.14±0.00 ^c
	334-48-5	正癸酸	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	—	0.07±0.03	—	—
	143-07-7	月桂酸	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	0.09±0.01 ^b	0.17±0.07 ^a	0.08±0.02 ^c	0.14±0.02 ^{ab}
	544-63-8	肉豆蔻酸	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	0.40±0.02 ^{bc}	0.62±0.01 ^a	0.36±0.05 ^c	0.44±0.04 ^b
	1002-84-2	十五烷酸	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	0.11±0.02 ^b	0.22±0.06 ^a	—	0.16±0.05 ^{ab}
	57-10-3	棕榈酸	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	7.95±0.40 ^c	17.62±0.20 ^a	5.05±0.05 ^d	11.27±0.27 ^b
	57-11-4	硬脂酸	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	2.80±0.20 ^c	6.78±0.08 ^a	1.54±0.04 ^d	4.30±0.30 ^b
	112-80-1	油酸	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	—	1.10±0.06 ^a	—	0.70±0.03 ^b
酸类总含量				26.82±0.36 ^c	64.71±1.75 ^a	27.81±1.74 ^c	61.25±2.30 ^b
酯类	112-32-3	甲酸辛酯	C ₉ H ₁₈ O ₂	—	0.08±0.13 ^a	—	0.20±0.04 ^a
	3050-69-9	正己酸乙烯酯	C ₈ H ₁₄ O ₂	0.14±0.04 ^c	0.44±0.02 ^a	0.13±0.03 ^c	0.25±0.05 ^b
	695-06-7	γ-己内酯	C ₆ H ₁₀ O ₂	0.37±0.02 ^b	0.39±0.04 ^b	0.22±0.02 ^c	0.57±0.07 ^a
	104-50-7	丙位辛内酯	C ₈ H ₁₄ O ₂	—	0.11±0.03 ^a	—	0.14±0.05 ^a
	104-61-0	γ-壬内酯	C ₉ H ₁₆ O ₂	0.14±0.02 ^b	1.00±0.01 ^a	—	0.96±0.04 ^a
	599-04-2	D-(-)-泛酰内酯	C ₆ H ₁₀ O ₃	—	0.34±0.01 ^b	—	0.71±0.05 ^a
	110-27-0	肉豆蔻酸异丙酯	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	1.16±0.06 ^a	0.48±0.03 ^b	0.39±0.03 ^c	0.25±0.05 ^d
	112-39-0	棕榈酸甲酯	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	0.13±0.03 ^a	0.19±0.04 ^a	0.13±0.03 ^a	0.14±0.03 ^a
	84-69-5	邻苯二甲酸二异丁酯	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	0.15±0.02 ^b	0.29±0.01 ^a	0.13±0.05 ^b	0.17±0.03 ^b
	84-74-2	邻苯二甲酸二丁酯	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	0.22±0.02 ^b	0.78±0.02 ^a	0.19±0.04 ^b	0.21±0.01 ^b
	123-66-0	正己酸乙酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	0.23±0.03 ^b	—	0.30±0.05 ^a	—
	142-92-7	乙酸己酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	1.00±0.09 ^b	—	1.13±0.03 ^a	—
	626-82-4	己酸丁酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	0.98±0.08 ^b	—	1.23±0.03 ^a	—
	10032-15-2	异戊酸己酯	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	3.80±0.20 ^b	—	5.13±0.37 ^a	—
	106-32-1	辛酸乙酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	0.33±0.03 ^b	—	0.46±0.06 ^a	—
	540-07-8	己酸戊酯	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	0.22±0.02 ^b	—	0.28±0.02 ^a	—
	6378-65-0	己酸己酯	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	2.35±0.05 ^b	—	2.61±0.02 ^a	—
酯类总含量				11.19±0.09 ^b	4.10±0.16 ^c	12.33±0.11 ^a	3.60±0.06 ^d

乙烯、1-十五烯), 醇类(正己醇、正庚醇、1-烯-3-辛醇等)、酮类(3-辛烯-2-酮、2-丁基环己酮)、酸类(正己酸、异戊酸、棕榈酸等)、酯类(正己酸乙烯酯、γ-己内酯、肉豆蔻酸异丙酯等)。

研究表明, 醛类物质主要由不饱和脂肪酸氧化分解产生^[30], 且大多数醛类物质气味阈值相对较低,

会产生脂肪味和刺激性风味, 因此醛类物质对红花籽油整体香气的贡献相对较大^[29-30]。反-2-辛烯醛(1.10%~2.18%)是红花籽油中的主要醛类物质, 在UAE法提取的红花籽油中含量更高。醇类物质主要为油脂提供清香、醇香、果香等风味^[31]。正己醇(9.60%~14.96%)通常被描述为具有甜味, 所以醇类

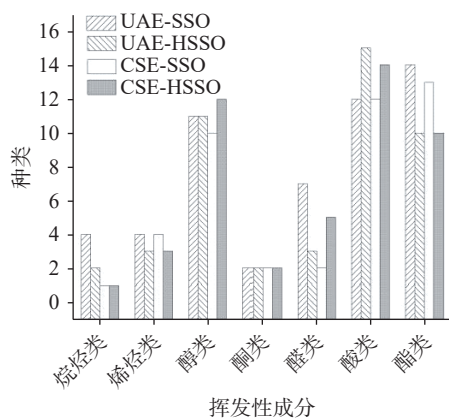


图1 不同方法提取的红花籽油挥发性成分的种类

Fig.1 Number of volatile components in different safflower seed oils

化合物是红花籽油挥发性香气中一类重要的组分。正己醇是红花籽油中主要的醇类物质^[32],在 UAE 法提取的红花籽油中含量更高。不同红花籽油中含有丰富的 C6 化合物正己醇(10.37%~14.96%),且带壳红花籽油中含量显著高于脱壳红花籽油。研究表明:在植物油料的生长过程中,亚油酸与亚麻酸可以通过酯氧合酶途径产生 C5 和 C6 醛醇化合物^[32]。红花籽油含有丰富的亚油酸,可能是其挥发性成分含有较高比例正己醇的原因之一。正戊醇是油酸氧化产物,具有油脂味、甜味和清香味^[30,32]。UAE-HSSO 中正戊醇含量(1.93%)高于 CSE-HSSO(1.88%),而带壳红花籽油中未检出。1-烯-3-辛醇具有蘑菇味和油脂味,是亚油酸氧化产物,对油脂味具有一定的贡献^[30,32]。脱壳红花籽油中 1-烯-3-辛醇的含量显著高于带壳红花籽油($P<0.05$)。由上述结果可知 UAE 法获得的红花籽油中的反-2-辛烯醛、正己醇和正戊醇含量高于 CSE 法获得的红花籽油,由此推测 UAE 提取方法能够使红花籽油具有丰富的香味。去壳红花籽油的正己酸含量显著高于带壳红花籽油($P<0.05$),酸类物质主要由脂氧合酶路径中的酶解反应产生^[31-32]。正己酸是红花籽油中的主要酸类物质,具有一定的酸败气味^[31-32]。推测去壳红花籽油的氧化稳定性更弱。

由表 5 可知:不同提取方法获得的红花籽油的挥发性成分中烯烃类、醇类和酸类的比例不同。UAE 法和 CSE 法提取的带壳红花籽油中烯烃类分别为 26.78% 和 32.98%,醇类分别为 20.42% 和 17.23%,酸类分别为 26.84% 和 27.82%;UAE 法和 CSE 法提取的脱壳红花籽油中烯烃类分别为 10.01% 和 8.98%,醇类分别为 17.93% 和 17.52%,酸类分别为 64.71% 和 61.25%。烃类物质和酸类物质阈值比较高,对于植物油的气味贡献度较小^[31]。而醇类物质有芳香、植物香、酸败和土气等风味,从而影响了红花籽油的风味。此外,红花籽油的风味还由其他几种挥发性成分提供,如醛类有青草、脂肪等风味,酮类提供果香和药香等风味,酯类提供水果酒香

等风味^[30-32]。综上所述,带壳和去壳红花籽油的挥发性成分差异显著($P<0.05$),籽壳的存在对红花籽油的风味具有重要影响。

2.5 不同提取方法对红花籽油氧化稳定性的影响

红花籽油中含有大量不饱和脂肪酸,这些不饱和脂肪酸会受到外界氧气、温度、光照等因素的影响而发生氧化酸败,植物油氧化稳定性则是油脂抵御氧化酸败的能力^[33]。多酚对食用植物油的品质影响主要体现在能够有效阻断脂肪氧化的连锁反应,延缓油脂氧化变质的速度^[34]。表 6 为不同提取方法带壳和去壳红花籽油的总多酚和氧化稳定性指数(OSI)的测定。UAE-SSO、UAE-HSSO、CSE-SSO 和 CSE-HSSO 总多酚含量分别为 66.62、31.86、52.57 和 26.52 mg/kg;该结果与水酶法提取的结果存在较大差异^[9],可见不同的提取方法获得的红花籽油的总多酚含量不同,带壳红花籽油的总多酚含量显著高于脱壳红花籽油,原因可能是红花籽壳中含有一定量的多酚,且 UAE 法提取的红花籽油的总多酚含量显著高于 CSE 法提取($P<0.05$),这可能是高频超声波局部热效应使蛋白质变性,影响总多酚的渗出^[12]。说明超声波辅助提取更有利于油料中多酚类物质的提取。UAE-SSO 和 CSE-SSO 的 OSI 值分别为 6.89 h 和 5.57 h,显著高于 UAE-HSSO 和 CSE-HSSO($P<0.05$),说明带壳红花籽油的氧化稳定性优于脱壳红花籽油。带壳红花籽油的抗氧化活性(DPPH 和 ABTS⁺自由基清除率)也显著高于脱壳红花籽油($P<0.05$)。综上所述,带壳红花籽油的氧化稳定性和抗氧化活性均显著高于脱壳红花籽油,超声波辅助有利于油料中多酚类物质的提取,从而增强了油脂的氧化稳定性和抗氧化活性。

表 6 不同方法提取红花籽油的总多酚、氧化稳定性和抗氧化活性

Table 6 Total polyphenols, oxidation stability, and antioxidant activity of safflower seed oil were extracted using various methodologies

油样	总多酚含量 (mg/kg)	氧化稳定性 指数(h)	DPPH 自由基 清除率(%)	ABTS ⁺ 自由基 清除率(%)
UAE-SSO	66.62±3.76 ^a	6.89±0.32 ^a	57.87±3.44 ^a	69.33±4.65 ^a
UAE-HSSO	31.86±3.64 ^c	4.37±0.26 ^c	45.39±3.12 ^c	55.18±4.16 ^c
CSE-SSO	52.57±3.12 ^b	5.57±0.19 ^b	53.72±3.67 ^b	62.77±5.32 ^b
CSE-HSSO	26.52±4.01 ^d	3.91±0.21 ^d	42.18±4.83 ^d	52.21±3.85 ^d

3 结论

本实验以带壳和去壳红花籽为原料,分别采用 UAE 法和 CSE 法提取红花籽油,并对其理化性质、挥发性成分、氧化稳定性及抗氧化活性进行了比较研究。结果表明,UAE 法提取的脱壳红花籽油的提取率最高为 38.63%;在 UAE 和 CSE 提取下,SSO 总不饱和脂肪酸含量范围在 77.87~79.22 g/100 g, HSSO 总不饱和脂肪酸含量范围在 70.60~79.22 g/100 g;在 UAE 和 CSE 提取下,SSO 总饱和脂肪酸

含量范围在 1.09~1.11 g/100 g, HSSO 总饱和脂肪酸含量范围在 2.56~2.59 g/100 g; UAE 法获得的红花籽油中的反-2-辛烯醛、正己醇和正戊醇含量为 2.74%、14.96% 和 1.93%, 而 CSE 法获得的红花籽油中的反-2-辛烯醛、正己醇和正戊醇含量为 2.14%、12.49% 和 1.88%; UAE-SO 和 CSE-SO 的 OSI 值分别为 6.89 h 和 5.57 h; 带壳红花籽油的抗氧化活性(DPPH 和 ABTS⁺ 自由基清除率)显著高于脱壳红花籽油($P<0.05$)。带壳红花籽油的总多酚含量、氧化稳定性和抗氧化活性均显著高于脱壳红花籽油; 超声波辅助有利于红花籽中多酚类物质的提取, 从而增加油脂的氧化稳定性和抗氧化活性。本研究为红花籽油制取及其品质评价提供了理论依据。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] 陈卓. 新疆红花籽油特征挥发性香气分析在品控中的应用[D]. 石河子: 石河子大学, 2019. [CHEN Zhuo. Application of characteristic volatile aroma analysis of Xinjiang safflower seed oil in quality control[D]. Shihezi: Shihezi University, 2019.]
- [2] 范康俊, 吴士筠, 艾廷阳, 等. 水酶法提取红花籽油的工艺优化及其抗氧化性研究[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(8): 61–65, 94. [FAN Kangjun, WU Shijun, AI Tingyang, et al. Study on process optimization and antioxidant activity of aqueous enzymatic extraction of safflower seed oil[J]. Journal of Cereals & Oils, 2022, 35(8): 61–65, 94.]
- [3] 王曦, 尚嘉毅, 惠菊, 等. 红花籽油营养成分和功效研究进展[J]. 中国油脂, 1–10 [2024-08-02]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.230192>. [WANG Xi, SHANG Jiayi, HUI Ju, et al. Research progress on nutrients and efficacy of safflower seed oil[J]. Journal of Cereals & Oils: 1–10 [2024-08-02]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.230192>.]
- [4] 李方, 张梦飞, 王宪龄. 红花籽油、紫苏籽油调和油干预高脂血症的可行性[J]. 中医学报, 2023, 38(6): 1240–1245. [LI Fang, ZHANG Mengfei, WANG Xianling. Feasibility of safflower seed oil and basil seed oil mixture in the intervention of hyperlipidemia[J]. Journal of Traditional Chinese Medicine, 2023, 38(6): 1240–1245.]
- [5] 梁慧珍, 许兰杰, 余永亮, 等. 红花籽油中脂肪酸组成评价与分析[J]. 食品科学, 2021, 42(6): 244–249. [LIANG Huizhen, XU Lanjie, YU Yongliang, et al. Evaluation and analysis of fatty acid composition and contents in safflower oil[J]. Journal of Food Science, 2021, 42(6): 244–249.]
- [6] 张建峰, 高鹏龙, 阮紫灵, 等. 响应面法优化带壳冷榨红花籽油的工艺[J]. 食品工业, 2019, 40(12): 37–40. [ZHANG Jianfeng, GAO Penglong, RUAN Ziling, et al. Optimization of cold pressed safflower seed oil with shell by response surface methodology[J]. Journal of Food Industry, 2019, 40(12): 37–40.]
- [7] ZHOU X D, TANG L Y, XU Y L, et al. Towards a better understanding of medicinal uses of *Carthamus tinctorius* L. in traditional Chinese medicine: A phytochemical and pharmacological review[J]. J Ethnopharmacol, 2014, 151(1): 27–43.
- [8] 胡滨, 陈一资, 王雪铭, 等. 红花籽油的抗氧化功能研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(6): 86–92. [HU Bin, CHEN Yizi, WANG Xueming, et al. Study on antioxidant function of safflower seed oil[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2016, 31(6): 86–92.]
- [9] 李晓. 水酶法提取红花籽油及其抗氧化活性与氧化稳定性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2019: 9. [LI Xiao. Study on safflower seed oil: extraction process by aqueous enzymatic, its antioxidant activity and oxidation[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2019: 9.]
- [10] 李杨, 冯红霞, 王欢, 等. 超声波辅助水酶法提取红花籽油的工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(7): 63–67. [LI Yang, FENG Hongxia, WANG Huan, et al. Study on technology of extraction of safflower seed oil by ultrasonic assisted water enzyme method[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2014, 29(7): 63–67.]
- [11] 冯棋琴. 超声对红花油性质影响及其提取与分离研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2013: 39. [FENG Qiqin. Influence of ultrasound on properties of safflower seed oil and study of its extraction and separation[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2013: 39.]
- [12] 胡爱军, 孙连立, 郑捷, 等. 超声波促进水酶法提取红花籽油工艺研究[J]. 粮食与油脂, 2012, 25(7): 20–22. [HU Aijun, SUN Lianli, ZHENG Jie, et al. Study on extraction process of safflower oil by aqueous enzymatic method assisted by ultrasound[J]. Journal of Cereals & Oils, 2012, 25(7): 20–22.]
- [13] 全国粮油标准化技术委员会. GB/T 22460-2008 动植物油脂罗维朋色泽的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [National Grain and oil Standardization Technical Committee. GB/T 22460-2008 Animal and vegetable fats and oils—Determination of Lovibond colour[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.]
- [14] 全国粮油标准化技术委员会. GB/T 5518-2008, 粮油检验粮食、油料相对密度的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [National Grain and oil Standardization Technical Committee. GB/T 5518-2008 Inspection of grain and oil—Determination of relatively density of grain and oilseeds[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.]
- [15] 全国粮油标准化技术委员会. GB/T 5527-2010, 动植物油脂折光指数的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010. [National Grain and oil Standardization Technical Committee. GB/T 5527-2010, Animal and vegetable fats and oils—Determination of refractive index[S]. Beijing: Standards Press of China, 2010.]
- [16] 全国粮油标准化技术委员会. GB/T 5534-2008, 动植物油脂皂化值的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [National Grain and oil Standardization Technical Committee. GB/T 5534-2008, Animal and vegetable fats and oils—Determination of saponification value[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.]
- [17] 全国粮油标准化技术委员会. GB/T 15689-2008, 植物油料油的酸度测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [National Grain and oil Standardization Technical Committee. GB/T 15689—2008, Oilseeds—Determination of acidity of oils[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.]
- [18] 全国粮油标准化技术委员会. GB/T 5532-2008 动植物油脂碘值的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [National Grain and oil Standardization Technical Committee. GB/T 5532-2008 Animal and vegetable fats and oils—Determination of iodine value[S]. Beijing: Standards press of china, 2008.]
- [19] 全国粮油标准化技术委员会. GB/T 5538-2005 动植物油脂过氧化值测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005. [National Grain and oil Standardization Technical Committee. GB/T 5538-2005

Animal and vegetable fats and oils—Determination of peroxide value[S]. Beijing: Standards Press of China, 2005.]

[20] 全国粮油标准化技术委员会. GB/T 17377-2008 动植物油 脂肪酸甲酯的气相色谱分析[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[National Grain and oil Standardization Technical Committee. GB/T 17377-2008 Animal and vegetable fats and oils—Analysis by gas chromatography of methyl esters of fatty acids[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.]

[21] XU L R, LIU T R, CAO H Q, et al. Influence of different extraction methods on the chemical composition, antioxidant activity, and overall quality attributes of oils from *Trichosanthes kirilowii* Maxim seed[J]. [Food Control](#), 2022, 142: 109201.

[22] GAO P, LIU R J, JIN Q Z, et al. Effects of processing methods on the chemical composition and antioxidant capacity of walnut (*Juglans regia* L.) oil[J]. [LWT-Food Science and Technology](#), 2021, 135: 109958.

[23] NIE R, ZHANG Y R, ZHANG H, et al. Effect of different processing methods on physicochemical properties, chemical compositions and *in vitro* antioxidant activities of *Paeonia lactiflora* Pall seed oils[J]. [Food Chemistry](#), 2020, 332: 127408.

[24] ZHANG L, ZHOU C S, WANG B, et al. Study of ultrasonic cavitation during extraction of the peanut oil at varying frequencies[J]. [Ultrasonics Sonochemistry](#), 2017, 37: 106–113.

[25] GECGEL U, DEMIRCI M, ESENDAL E, et al. Fatty acid composition of the oil from developing seeds of different varieties of safflower (*Carthamus tinctorius* L.)[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2006, 84(1): 47–54.

[26] HU J A, FENG Q Q, ZHANG J, et al. Kinetic model and technology of ultrasound extraction of safflower seed oil[J]. [Journal of Food Process Engineering](#), 2012, 35(2): 278–294.

[27] 全国粮油标准化技术委员会. GB/T 22465-2008 红花籽油[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [National Grain and oil Standardization Technical Committee. GB/T 22465-2008 Safflowerseed oil [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.]

[28] 赵雅霞. 关于新疆红花籽油理化性质及脂肪酸成分分析的

研究[J]. *农产品加工*, 2014(3): 77–78. [ZHAO Yaxia. Analysis of physicochemical properties and fatty acid composition from Xinjiang safflower seed[J]. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2014(3): 77–78.]

[29] 高定峰, 张言, 李思敏, 等. 响应面优化芥末籽油的水酶法提取工艺及其脂肪酸分析[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(21): 143–148. [GAO Dingfeng, ZHANG Yan, LI Simin, et al. Optimization of aqueous-enzymatic extraction process by response surface and analysis of fatty acid of mustard seed oil[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(21): 143–148.]

[30] 刘玉兰, 连四超, 陈璐, 等. 不同工艺制取油莎豆油中挥发性成分和特征风味成分的分析研究[J]. [中国粮油学报](#), 2023, 38(7): 123–132. [LIU Yulan, LIAN Sichao, CHEN Lu, et al. Volatile components and characteristic flavor components in *Cyperus esculent* oil prepared by different processes[J]. [Journal of the Chinese Cereals and Oils Association](#), 2023, 38(7): 123–132.]

[31] JIA Y M, YUAN B H, YANG Y N, et al. Flavor characteristics of peeled walnut kernels under two-steps roasting processes[J]. *Food Chemistry*, 2033, 423: 136290.

[32] OLIVEIRA-ALVES S C, PEREIRA R S, ANA B P, et al. Identification of functional compounds in baru (*Dipteryx alata* Vog.) nuts: Nutritional value, volatile and phenolic composition, antioxidant activity and antiproliferative effect[J]. [Food Research International](#), 2020, 131: 109026.

[33] 辛乐宇, 张泽鹏, 萨拉麦提, 等. 提不同脱酸工艺对红花籽油储藏品质的影响[J]. *中国油脂*, 2023, 48(4): 27–32. [XIN Leyu, ZHANG Zepeng, SALA Maiti, et al. Effect of deacidification process on storage quality of safflower seed oil[J]. *China Oils and Fats*, 2023, 48(4): 27–32.]

[34] 白兴斌, 解迎双, 张欢, 等. 植物油中总多酚含量测定方法的建立及应用[J]. *质量安全与检验检测*, 2023, 33(2): 67–74. [BAI Xingbin, XIE Yingshuang, ZHANG Huan, et al. Establishment and application of the determination method for total polyphenols in vegetable oils[J]. *Quality Safety Inspection and Testing*, 2023, 33(2): 67–74.]