

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90013

提取方式对接骨木籽油品质的影响

Effects of extraction methods on the quality of elderberry seed oil

薛 晴¹ 赵红金² 代 龙³ 赵文鑫⁴XUE Qing¹ ZHAO Hong-jin² DAI Long³ ZHAO Wen-xin⁴王 军⁴ 朱新亮⁵ 高 鹏¹ 张宏萌⁶WANG Jun⁴ ZHU Xin-liang⁵ GAO Peng¹ ZHANG Hong-meng⁶

(1. 山东中医药大学药学院, 山东 济南 250355; 2. 山东禹泽药康产业技术研究院有限公司, 山东 德州 251200; 3. 滨州医学院药学院, 山东 烟台 264003; 4. 山东鑫诚现代农业科技有限责任公司, 山东 滨州 256600; 5. 河南亚临界萃取技术研究院有限公司, 山东 安阳 455000;

6. 山东中医药大学实验中心, 山东 济南 250355)

(1. College of Pharmacy, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan, Shandong 250355, China; 2. Shandong Yuze Institute of Pharmaceutical and Health Industry Technology, Dezhou, Shandong 251200, China; 3. School of Pharmacy, Binzhou Medical University, Yantai, Shandong 264033, China; 4. Shandong Xincheng Modern Agricultural Technology Co., Ltd., Binzhou, Shandong 256600, China; 5. Henan Subcritical Extraction Technology Research Institute Co., Ltd., Anyang, Shandong 455000, China; 6. Shandong University of Traditional Chinese Medicine Experimental Center, Jinan, Shandong 250355, China)

摘要:目的:比较冷榨法、索式提取法、亚临界丁烷萃取法对接骨木籽油得率、理化指标、脂肪酸组成以及体外抗氧化活性的影响。方法:以接骨木籽为原料,采用冷榨法、索式提取法和亚临界丁烷萃取法 3 种方式提取接骨木籽油,参考国家标准测定其理化指标与体外抗氧化活性,并利用 GC-MS 联用技术分析其脂肪酸组成。结果:3 种提取方式中,亚临界丁烷萃取法的得油率最高(28.8%),索式提取法次之(27.6%),冷榨法最低(18.8%);亚临界丁烷萃取法所得的接骨木籽油的酸价和过氧化值最低,碘值最高;3 种不同提取方式所得的接骨木籽油脂肪酸组成相似,主要成分为亚麻酸、亚油酸、棕榈酸,但含量存在一定差异,亚临界丁烷萃取法所得的接骨木籽油的亚麻酸含量最高,为 46.94%;3 种提取方式所得的接骨木籽油均具有良好的抗氧化活性,但亚临界丁烷萃取法的 DPPH 自由基、ABTS 自由基清除能力高于冷榨法与索式提取法。结论:不同提取方法对接骨木籽油的品质存在一定

影响,亚临界丁烷萃取法对接骨木籽油有较高提取率,所得油脂品质较好,是提取接骨木籽油的理想方法。

关键词:接骨木籽油;冷榨;索式提取;亚临界丁烷萃取;得油率;脂肪酸组成

Abstract: Objective: This study aimed to compare the effects of different extraction methods including cold pressing extraction, soxhlet extraction and subcritical butane extraction on the yield, physicochemical properties, fatty acid composition and *in vitro* antioxidant activity of elderberry seed oil. **Methods:** Elderberry seed oils were extracted from elderberry seed by cold pressing extraction, soxhlet extraction and subcritical butane extraction. The physicochemical parameters and *in vitro* antioxidant activity of oil were determined with reference to national standards, and the fatty acid composition was analyzed by GC-MS. **Results:** Among the three extraction methods, the highest oil yield was obtained by subcritical butane extraction (28.8%), followed by soxhlet extraction (27.6%) and cold pressing extraction (18.8%). The acid value and peroxide value of elderberry seed oil obtained by subcritical butane extraction were the lowest, and its iodine value was the highest, compared to other methods. The fatty acid composition of elderberry seed oils obtained from the three extraction methods were similar, mainly including linolenic acid, linoleic acid and palmitic acid, whereas the contents were different, with the highest linolenic acid content (46.94%) in the elderberry seed oil obtained by subcritical butane extraction. The elderberry oils

基金项目:山东省重点研发计划(编号:2020CXGC010505);济南市农业科技创新计划项目(编号:201707)

作者简介:薛晴,女,山东中医药大学在读硕士研究生。

通信作者:高鹏(1978—),男,山东中医药大学教授,博士生导师,博士。E-mail: gaopeng@sducm.edu.cn

张宏萌(1979—),女,山东中医药大学副教授,硕士。E-mail: zhanghm_2009@126.com

收稿日期:2021-08-22

obtained by three extraction methods had good antioxidant activity, and the elderberry oils obtained by subcritical butane extraction had the strongest scavenging ability of DPPH free radicals and ABTS free radicals. **Conclusion:** Different extraction methods had certain influence on the quality of elderberry seed oil, and subcritical butane extraction had good effect on extraction rate and quality of elderberry seed oil, which was an ideal method for the extraction of elderberry seed oil.

Keywords: elderberry seed oil; cold pressing extraction; soxhlet extraction; subcritical butane extraction; oil yield; fatty acid composition

接骨木 (*Sambucus williamsii* Hance) 为忍冬科接骨木属, 主要分布于中国东北、华北及西伯利亚、俄罗斯等部分地区, 是一种珍稀的野生木本油料植物, 具有良好的抗炎、镇痛等作用, 已被广泛应用于医药、化妆品、保健品等行业^[1-3]。目前对接骨木的研究多集中在其果实、叶子、根皮与茎中的化学成分及药理作用等方面, 对种子研究较少。接骨木种子油脂含量丰富, 且与传统食用油相比富含多种人体必需脂肪酸, 展现出良好的抗氧化、降血糖、降血脂等生物活性, 是一种优质的保健食用油, 具有良好的研究与开发价值^[4-6]。

油脂品质是决定油脂价值的首要因素, 油脂原生组成成分受其品种、产地等因素影响, 但不同提取方式对油脂品质影响也较为显著, 压榨法、有机溶剂提取法、亚临界萃取法、超临界 CO₂ 法等是目前植物油的普遍提取方式。压榨法操作方便, 但出油率低^[7]; 溶剂提取法有机溶剂易残留^[8]; 亚临界萃取法作为新型提取方式, 投资成本低, 产能大, 可以有效保留目标活性成分^[9]; 超临界提取法所得油脂品质较高, 但价格昂贵^[10]。因此, 选择适当的提取方式是保证油脂质量的重要环节, 而目前对不同提取方式影响接骨木籽油品质的研究却未见报道。

研究拟比较冷榨法、索式提取法、亚临界丁烷萃取法 3 种提取方式对接骨木籽油理化性质以及体外抗氧化活性的影响, 并运用 GC-MS 联用技术对其脂肪酸成分进行定性定量分析, 探究不同提取方式对接骨木籽油品质的影响, 旨在为接骨木籽油的进一步开发利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 仪器

气质联用仪: Agilent 7890B/7000D QQQ 型, 美国安捷伦公司;

万能粉碎机: YB-4500A 型, 永康市速锋工贸有限公司;

索式提取器: 1794 改良式, 四川蜀玻(集团)有限责任公司;

自动快速液压榨油机: 6YY-230 型, 山东源泉机械有限公司;

亚临界萃取试验装置: CBE-29L 型, 河南省亚临界生物技术有限公司;

紫外分光光度计: UV-2450 型, 日本岛津公司。

1.2 材料

接骨木籽: 山东鑫诚现代农业科技有限责任公司;

牡丹籽油: 菏泽瑞璞牡丹产业科技发展有限公司;

正庚烷: 色谱纯, 阿拉丁试剂(上海)有限公司;

石油醚(30~60 °C): 分析纯, 天津市富宇精细化工有限公司;

无水硫酸钠、过二硫酸钾、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS): 分析纯, 美国 Sigma 公司。

1.3 方法

1.3.1 接骨木籽油提取

(1) 冷榨法: 称取 10 kg 接骨木籽, 粉碎, 装入液压榨油机中, 压榨头出口温度设置为 50 °C, 压榨液过滤并离心(5 000 r/min), 取上层得到接骨木籽油样, 装瓶密封, 保存于 4 °C 冰箱中, 备用。

(2) 索式提取法: 称取接骨木籽 100 g, 装入纸包, 以石油醚(30~60 °C)为提取溶剂, 索式提取 5 h, 回收油脂, 装瓶密封, 保存于 4 °C 冰箱中, 备用。

(3) 亚临界丁烷萃取法: 将粉碎后的接骨木籽样品(1 kg)置于亚临界萃取试验装置中, 以丁烷为提取溶剂, 使其没过物料约 3 cm, 调整罐内压力为 0.42 MPa, 提取温度 44 °C, 每次 40 min, 共提取 4 次, 得到接骨木籽油。

1.3.2 接骨木籽油得率计算

$$D = \frac{m_2}{m_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

D ——接骨木籽油得率, %;

m_2 ——所得接骨木籽油质量, g;

m_1 ——接骨木籽质量, g。

1.3.3 接骨木籽油理化指标测定

(1) 酸价: 按 GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》执行。

(2) 过氧化值: 按 GB 5009.227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》执行。

(3) 碘值: 按 GB/T 5532—2008《动植物油脂 碘值的测定》执行。

1.3.4 接骨木籽油脂肪酸成分

(1) 甲酯化: 根据文献^[11], 修改如下: 取不同提取方式得到的接骨木籽油 1 g, 分别加入 2% 氢氧化钠甲醇溶液 8 mL, 80 °C 回流 30 min, 加入 15% 三氟化硼甲醇溶液 7 mL, 80 °C 水浴保温 2 min, 之后趁热加入饱和氯化钠水溶液 5 mL, 加入正庚烷 10 mL, 混匀后静置 5 min, 取上层正庚烷层, 加入适量无水硫酸钠振荡 1 min, 静置 5 min 后取上层溶液, 待气相色谱—质谱分析。

(2) GC 条件:根据文献[11],修改如下:HP-5MS 石英毛细管柱(30 m×0.25 μm,0.25 μm);载气:高纯度 He(质量分数>99.999%);流速 1.0 mL/min;进样口温度 250 °C,分流比 20:1;进样量 1 μL;程序升温:从 80 °C 开始,以 5 °C/min 升温至 220 °C,再以 1 °C/min 升温至 250 °C,并以 250 °C 保持 10 min,随后结束测定。

(3) MS 条件:根据文献[11],修改如下:EI 源;离子源温度 230 °C;电离电压 70 eV;四极杆温度 150 °C;扫描质量范围 35~600 (*m/z*)。

1.3.5 接骨木籽油体外抗氧化活性

(1) 对 DPPH 自由基清除作用:参考文献[12],修改如下:精密称定 3 mg DPPH 固体于 100 mL 容量瓶,加无水乙醇溶解,超声 5 min 后用无水乙醇定容至刻度线,制得质量浓度为 30 μg/mL (0.076 mmol/L) 的 DPPH 溶液。以无水乙醇为溶剂,将 100 μL 接骨木籽油稀释至 3 mL,制得接骨木籽油样品溶液。移取 2 mL DPPH 溶液与 1 mL 无水乙醇摇匀混合,常温放置 30 min,在 517 nm 处测量吸光度值为 A_0 ;移取 2 mL DPPH 溶液与 1 mL 样品溶液摇匀混合,常温放置 30 min,在 517 nm 处测量吸光度值为 A_1 ;移取 2 mL 无水乙醇与 1 mL 样品溶液摇匀混合,常温放置 30 min,在 517 nm 处测量吸光度值为 A_j 。按式(2)分别测定牡丹籽油和不同提取方法得到的接骨木籽油体积为 10, 20, 50, 100, 200 μL 时的 DPPH 自由基清除率,并利用量效关系,以接骨木籽油体积(x)和自由基清除率(y)建立回归方程,将 $y=50$ 代入方程,求出 DPPH 自由基清除率为 50% 时所需样品的体积,即 ED_{50} 。

$$y = \left(1 - \frac{A_i - A_j}{A_0}\right) \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

y ——清除率, %;

A_1 ——样品与 DPPH 自由基混合溶液的吸光度;

A_j ——样品与无水乙醇混合溶液的吸光度;

A_0 ——无水乙醇与 DPPH 自由基混合溶液的吸光度。

(2) 对 ABTS 自由基清除作用:参考文献[13]修改如下:将 7.00 mmol/L 的 ABTS 溶液与 2.45 mmol/L 的过二硫酸钾溶液等量混匀,于暗处静置 12 h,并用无水乙醇稀释,使之在 734 nm 处的吸光度值为 0.70 ± 0.02 ,制得 ABTS 自由基混合溶液。分别取 10, 20, 30, 40, 50 μL 无水乙醇与 2 mL ABTS 溶液摇匀混合,常温放置 6 min,在 743 nm 处测量吸光度值为 A_0 ;将 10, 20, 30, 40, 50 μL 接骨木籽油分别加入 2 mL ABTS 溶液中,摇匀混合后常温放置 6 min,在 743 nm 处测量吸光度值为 A_1 ;取 10, 20, 30, 40, 50 μL 接骨木籽油分别加入 2 mL 无水乙醇溶液中,摇匀混合后常温放置 6 min,在 743 nm 处测量吸光度值为 A_j 。上述试验加入接骨木籽油少于 50 μL 时,均用

无水乙醇补至 50 μL。以牡丹籽油为对照,按式(2)分别测定牡丹籽油和不同提取方法得到的接骨木籽油不同体积时的 ABTS 自由基清除率,并利用回归方程,求出 ABTS 自由基清除率为 50% 时所需样品的体积,即 ED_{50} 。

1.3.6 数据处理与分析

采用 SPSS 22.0 软件对数据进行处理与分析,结果以平均值±标准偏差表示, $P < 0.05$ 为显著性差异。

2 结果与讨论

2.1 提取方式对接骨木籽油得率的影响

由图 1 可知,亚临界丁烷萃取法(28.8%)高于索式提取法(27.6%)与冷榨法(18.8%),冷榨法得油率最低。冷榨法采用物理挤压的方式提取接骨木籽油,因此无法将油粕中的部分脂肪油榨出,存在提取不完全的缺点。索式提取法以石油醚为溶剂,提取时间长,因此提取比较完全。亚临界丁烷萃取法萃取温度低,萃取次数多,能够较好地保存接骨木籽油的原生成分,提油率最高。

2.2 不同方式提取接骨木籽油的理化指标

由表 1 可知,采用亚临界萃取法得到的接骨木籽油酸价与过氧化值均为最低,索式提取法获得的接骨木籽油的酸价和过氧化值最高,推测原因可能是索式提取法提取时间长、温度高,其中不饱和脂肪酸物质在高温下易被氧化^[14],而亚临界丁烷萃取过程温度低,较少与氧气接触,因此过氧化值与酸价最低^[15]。不同提取方式对接骨木籽油碘值影响同样显著,其中亚临界丁烷萃取法>冷榨法>索式提取法。

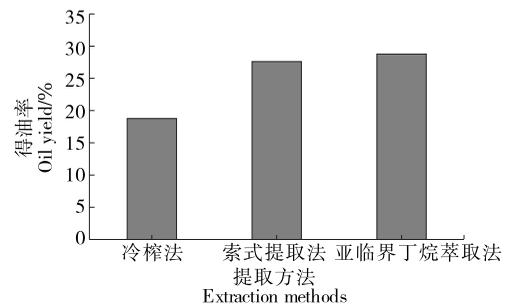


图 1 不同方法提取接骨木籽油的得率

Figure 1 Yield of elderberry seed oils extracted by different methods

表 1 不同方式提取接骨木籽油的理化指标[†]

Table 1 Physicochemical indexes of elderberry seed oils extracted by different extraction methods

提取方法	酸价/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	过氧化值/ ($10^{-2} \text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	碘值/ ($10^{-2} \text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)
冷榨法	2.719 ± 0.018^b	0.061 ± 0.003^b	131.727 ± 2.081^b
索式提取法	2.786 ± 0.011^a	0.083 ± 0.006^a	125.212 ± 2.114^c
亚临界丁烷 萃取法	2.655 ± 0.009^c	0.050 ± 0.003^c	138.546 ± 1.644^a

[†] 同列小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

2.3 提取方式对接骨木籽油脂肪酸成分的影响

由表 2 可知,3 种提取方式共检测出 12 种成分,其中饱和脂肪酸成分 7 种,占总脂肪酸组成的 11.79%~18.80%;多不饱和脂肪酸 2 种,占总成分的 71.36%~87.03%;单不饱和脂肪酸 3 种,冷榨法产生芥酸;三者共有成分 11 种。以上表明,3 种提取方式下所得脂肪酸种类基本一致,但成分含量有所差异。3 种方式下产生的多不饱和脂肪酸均为亚麻酸与亚油酸, α -亚麻酸为人体必需氨基酸之一,是合成长链、更多不饱和的 $n-3$ 脂肪酸——二十碳五烯酸、二十二碳五烯酸、二十二碳六烯酸的前体物质,具有抗炎、抗血栓、抗心率失常、抗癌、降低血脂血压等作用,在医药、保健品等领域具有广阔的开发前景^[16-17]。3 种提取方式下亚麻酸含量均高于亚油酸,且不同提取方式亚麻酸含量依次为亚临界丁烷萃取法(46.94%)>索式提取法(45.50%)>冷榨法(41.22%),亚麻酸含量丰富,表明接骨木籽油具有较高的潜在开发价值。

虽然 3 种方式提取的接骨木籽油脂肪酸组成相似,但冷榨法的检出芥酸。芥酸是存在于食用油中的一种单不饱和脂肪酸,临床研究^[18]证实,芥酸能使人体心肌纤维化造成心脏病变,产生心脏脂肪沉积等问题,目前联合国粮农组织及世界卫生组织规定菜籽油中芥酸含量应低于 2%,GB/T 1536—2004《菜籽油》要求低芥酸菜籽油中芥酸含量不超过 3%。而通过亚临界与索式提取法提取的接骨木籽油未检测到芥酸成分,因此采用亚临界与索式

表 2 不同方法提取接骨木籽油的脂肪酸组成[†]

Table 2 Fatty acid content of elderberry seed oils extracted by different extraction methods

脂肪酸	相对百分含量/%		
	冷榨法	索式提取法	亚临界丁烷萃取法
十一碳酸	0.10	0.02	0.05
十四碳酸	0.47	0.21	0.28
十五碳酸	0.04	0.02	0.03
棕榈油酸	1.80	0.64	1.09
棕榈酸	14.30	9.06	8.96
十七酸	0.06	0.06	0.05
亚油酸	30.14	41.53	39.27
亚麻酸	41.22	45.50	46.94
硬脂酸	3.37	2.23	2.55
顺-11-二十烯酸甲酯	2.93	0.54	0.54
二十酸	0.46	0.19	0.24
芥酸	5.11	—	—
饱和脂肪酸	18.80	11.79	12.16
单不饱和脂肪酸	9.84	1.18	1.63
多不饱和脂肪酸	71.36	87.03	86.21

† —为未检出。

提取法获得接骨木籽油的方法优于冷榨法。索式提取法的得油率和接骨木籽油脂肪酸组成虽然与亚临界丁烷提取法相近,但油的理化指标相差较大,且存在溶剂易残留等问题。亚临界丁烷提取法萃取条件温和,能够有效保存油脂原生成分,操作方便,成本投入低,产量大,是一种新型绿色工艺。

2.4 提取方式对接骨木籽油体外抗氧化活性的影响

2.4.1 DPPH 自由基清除能力 如图 2 所示,在测试体积范围内,3 种提取方式下接骨木籽油对 DPPH 自由基清除能力均随样品量增加而增大,且清除能力均能达到 70% 以上。此外,高浓度下接骨木籽油和牡丹籽油 DPPH 自由基清除能力较为接近,但低浓度下接骨木籽油 DPPH 自由基清除能力强于牡丹籽油。由表 3 可知,牡丹籽油和 3 种方法提取接骨木籽油清除 DPPH 自由基的 ED₅₀ 值分别为索式提取法(89.08 μ L)>冷榨法(83.75 μ L)>牡丹籽油(83.35 μ L)>亚临界丁烷萃取法(79.78 μ L)。说明亚临界丁烷萃取法提取的接骨木籽油对自由基的清除能力优于牡丹籽油、冷榨法与索式提取法。不同提取方法下接骨木籽油对自由基的清除能力不同,猜测与脂肪酸组成和含量差异相关,亚临界丁烷萃取法下接骨木籽油清除自由基能力最强,是提取接骨木籽

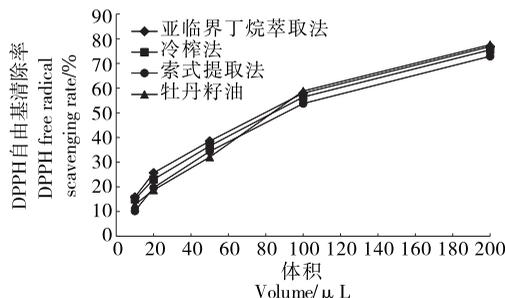


图 2 牡丹籽油和不同方法提取接骨木籽油清除 DPPH 自由基的能力

Figure 2 Scavenging ability of peony seed oil and elderberry seed oils extracted by different methods on DPPH free radicals

表 3 牡丹籽油和不同方法提取接骨木籽油清除 DPPH 自由基的 ED₅₀ 值[†]

Table 3 ED₅₀ values of peony seed oil and elderberry seed oils extracted by different methods for scavenging DPPH free radicals

样品	回归方程	R ²	ED ₅₀ / μ L
牡丹籽油	$y=0.506\ 3x+7.802$	0.998 5	83.35
冷榨法	$y=0.445\ 7x+12.673$	0.989 9	83.75
索式提取法	$y=0.465\ 3x+8.552\ 8$	0.981 0	89.08
亚临界丁烷萃取法	$y=0.446\ 1x+14.411$	0.980 9	79.78

† x 为接骨木籽油体积, μ L; y 为 DPPH 自由基清除率,%。

油的理想方式。

2.4.2 ABTS 自由基清除能力 由图 3 可知,接骨木籽油对 ABTS 自由基有很好的清除效果,清除率与样品量呈正相关,当接骨木籽油体积为 50 μL 时,ABTS 自由基清除率高达 90%,且在测试体积范围内,接骨木籽油对 ABTS 自由基的清除能力均明显高于牡丹籽油。由表 4 可知,牡丹籽油和 3 种方法提取接骨木籽油清除 ABTS 自由基的 ED_{50} 值分别为牡丹籽油(23.07 μL)>索式提取法(21.04 μL)>冷榨法(18.44 μL)>亚临界丁烷萃取法(15.98 μL),3 种方法中亚临界丁烷萃取法对 ABTS 自由基的清除作用最强,与 DPPH 自由基清除作用的 ED_{50} 趋势基本一致,表明接骨木籽油具有良好的体外抗氧化活性,且亚临界丁烷萃取法提取接骨木籽油品质更佳。

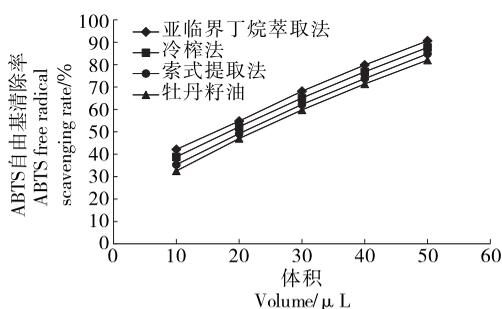


图 3 牡丹籽油和不同方法提取接骨木籽油清除 ABTS 自由基的能力

Figure 3 Scavenging ability of peony seed oil and elderberry seed oils extracted by different methods on ABTS free radicals

表 4 牡丹籽油和不同提取方法接骨木籽油清除 ABTS 自由基的 ED_{50} 值[†]

Table 4 ED_{50} values of peony seed oil and elderberry seed oils extracted by different methods for scavenging ABTS free radicals

样品	回归方程	R^2	$\text{ED}_{50}/\mu\text{L}$
牡丹籽油	$y = 1.2325x + 21.5703$	0.9963	23.07
冷榨法	$y = 1.2225x + 27.4537$	0.9981	18.44
索式提取法	$y = 1.2361x + 23.9917$	0.9977	21.04
亚临界丁烷萃取法	$y = 1.2206x + 30.4990$	0.9984	15.98

[†] x 为接骨木籽油体积, μL ; y 为 ABTS 自由基清除率, %。

3 结论

研究采用冷榨法、索式提取法和亚临界丁烷萃取法对接骨木籽油的提取率、理化指标、脂肪酸组成和体外抗氧化能力的影响进行了考察。发现 3 种提取方式下接骨木籽油总脂肪酸组成相似,主要成分均为亚麻酸、亚油酸和棕榈酸,但在含量上存在一定差异,且冷榨法下检出芥酸。虽然索式提取法所得接骨木籽油总不饱和脂肪酸含

量略高于亚临界丁烷萃取法,但亚麻酸是目前公认具有较大营养价值的不饱和脂肪酸,接骨木籽油中亚麻酸含量依次为亚临界丁烷萃取法(46.94%)>索式提取法(45.50%)>冷榨法(41.22%);并且亚临界丁烷萃取法对接骨木籽油的提取率均高于索式提取法与冷榨法,更可以有效避免有机溶剂残留;在理化性质方面,亚临界萃取法获得的接骨木籽油酸价、过氧化值显著低于其他 2 种方式,碘值显著高于其他 2 种方式;除此之外,在体外抗氧化方面,亚临界丁烷萃取法下所得接骨木籽油相较于冷榨法、索式提取法和牡丹籽油,具有更显著的优势,表现出良好的体外抗氧化活性,均提示亚临界丁烷萃取法是接骨木籽油的一种理想提取方法。综上所述,不同提取方式对接骨木籽油的质量存在一定影响,相较于冷榨法与索式提取法,亚临界丁烷萃取法可以实现对接骨木籽油的高效、优质提取,是提升接骨木籽油营养价值和商业经济价值的有力手段。

参考文献

[1] 胡照明, 张文康, 朱庆生, 等. 中华本草[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1999: 544.
 HU Xi-ming, ZHANG Wen-kang, ZHU Qing-sheng, et al. The Chinese materia medica [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishing House, 1999: 544.

[2] 刘楚含, 张继元, 丁业, 等. 接骨木中的活性成分及其研究进展[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2018(19): 68-70.
 LIU Chu-han, ZHANG Ji-yuan, DING Ye, et al. Active components in Elderberry and their research progress[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2018(19): 68-70.

[3] 李巧月, 李莲慧, 李大山, 等. 接骨木属植物化学成分和药理作用的研究进展[J]. 中国药房, 2021, 32(9): 1118-1130.
 LI Qiao-yue, LI Hui-lian, ZHANG Da-shan, et al. Advances in studies on chemical constituents and pharmacological effects of Elderberry[J]. China Pharmacy, 2021, 32(9): 1118-1130.

[4] 郭宇兰, 刘克武, 宗宪春. 接骨木概况及遗传多样性研究进展[J]. 中国林副特产, 2019(4): 82-86.
 GUO Yu-lan, LIU Ke-wu, ZONG Xian-chun. Sambucus williamsii and its research advances on genetic diversity[J]. Forest By-Product and Speciality in China, 2019(4): 82-86.

[5] 胡伟, 李辉, 刘克武. 接骨木籽油抗氧化、降血糖和降血脂生物活性的研究[J]. 中国林副特产, 2018(1): 1-7.
 HU Wei, LI Hui, LIU Ke-wu. Study on antioxidant hypoglycemic and hypolipidemic activities of the sambucus williamsii seed oil[J]. Forest By-Product and Speciality in China, 2018(1): 1-7.

[6] 娄桂艳, 赵青, 迟松江, 等. 富含 α -亚麻酸的新油源——接骨木籽油的研究[J]. 中国油脂, 1998(3): 59.
 LOU Gui-Yan, ZHAO Qing, CHI Song-jiang, et al. Study on elderberry seed oil, a new oil source rich in α -linolenic acid[J]. China Oils and Fats, 1998(3): 59.

- [7] 余科义, 岳振超, 薄新党, 等. 植物挥发油的提取技术研究进展[J]. 农村经济与科技, 2019, 30(11): 68-70.
YU Ke-yi, YUE Zhen-chao, BO Xin-dang, et al. Research progress on extraction technology of plant volatile oil[J]. Rural Economy and Science, 2019, 30(11): 68-70.
- [8] 吕凤. 植物精油七大提取方法对比[N]. 中国医药报, 2021-04-20(7).
LU Feng. Comparison of seven extraction methods of plant essential oil[N]. Zhongguo Yiyao Bao, 2021-04-20(7).
- [9] 吴颖颖, 盛占武, 郑晓燕, 等. 不同预处理方法对油茶籽种皮成分、结构和抗氧化活性的影响[J]. 热带作物学报, 2021, 42(2): 553-561.
WU Ying-ying, SHENG Zhan-wu, ZHENG Xiao-yan, et al. Effects of different pretreatment methods on the composition, structure and antioxidant activity of camellia oleifera episperm [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(2): 553-561.
- [10] 耿风华, 张睿, 刘海燕, 等. 生物油组分分离与化学品提取的研究进展[J/OL]. 化工进展. [2021-05-31]. <https://doi.org/10.16085/j.issn.1000-6613.2020-2539>.
GENG Feng-hua, ZHANG Rui, LIU Hai-yan, et al. Progress in the separation of components and extraction of chemicals from bio-oils[J/OL]. Chemical Industry and Engineering Progress. [2021-05-31]. <https://doi.org/10.16085/j.issn.1000-6613.2020-2539>.
- [11] 陈向阳, 毕淑峰, 李艳, 等. 野生柳叶蜡梅籽油理化性质、脂肪酸组成及抗氧化活性研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(6): 115-119.
CHEN Xiang-yang, BI Shu-feng, LI Yan, et al. Physicochemical properties, fatty acid composition and antioxidant activities of wild *Chimonanthus salicifolius* Hu seed oil[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(6): 115-119.
- [12] 唐琳琳, 桑英, 陈思睿, 等. 不同提取方法的红树莓籽油品质及体外抗氧化活性对比[J]. 现代食品科技, 2020, 36(3): 80-88.
TANG Lin-lin, SANG Ying, CHEN Si-rui, et al. Comparison of antioxidant activity and quality of red raspberry seed oil extracted by different methods[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(3): 80-88.
- [13] 刘义军, 卜梦婷, 谭戈, 等. 不同提取方法对牛油果油理化特性、抗氧化性能及脂肪酸组成的对比研究[J]. 四川农业大学学报, 2020, 38(2): 161-167.
LIU Yi-jun, BU Meng-ting, TAN Ge, et al. Comparative study on physicochemical properties, antioxidant activity and fatty acid composition of avocado oil by different extraction methods[J]. Journal of Sichuan University, 2020, 38(2): 161-167.
- [14] 朱振宝, 刘旷, 易建华, 等. 3种不同方法提取大扁杏仁油脂性质比较[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(2): 57-60.
ZHU Zhen-bao, LIU Kuang, YI Jian-hua, et al. Comparative research on the properties of three different extraction methods of almonds oil from *Prunus armeniaca* Linn[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 30(2): 57-60.
- [15] 孔凡, 黄宏飞, 杨晨, 等. 不同方法提取黑水虻油工艺优化及品质比较分析[J]. 中国油脂, 2021, 46(6): 15-20.
KONG Fan, HUANG Hong-fei, YANG Chen, et al. Process optimization and quality comparison of black soldier fly larvae oils extracted by different methods[J]. China Oils and Fats, 2021, 46(6): 15-20.
- [16] BURDGE G C. Metabolism of alpha-linolenic acid in humans[J]. Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids, 2006, 75(3): 161-168.
- [17] 窦晓宁, 蒋苏苏, 魏芳, 等. α -亚麻酸和亚油酸通过抑制脂肪细胞分化和诱导凋亡减弱猪脂肪形成[J/OL]. 基因组学与应用生物学. [2021-06-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1369.Q.20210524.1326.004.html>.
DOU Xiao-ning, JIANG Su-su, WEI Fang, et al. α -Linolenic acid and linoleic acid attenuated the adipogenesis by inhibiting differentiation and inducing apoptosis in porcine adipocytes[J/OL]. Genomics and Applied Biology. [2021-06-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1369.Q.20210524.1326.004.html>.
- [18] KNUSEN Helle-katrine, ALEXANDER Jan, BARREGÅRD Lars, et al. Erucic acid in feed and food[J]. EFSA Journal, 2016, 14(11): 4 593-4 766.
- (上接第 182 页)
- [30] 洪燕婷. 酶解海鲈鱼鳞制备抗氧化肽的工艺研究和性质鉴定[J]. 中国食品添加剂, 2021, 32(10): 29-37.
HONG Yan-ting. Process research and characteristic determination of antioxidant peptides from sea bass scales by enzymatic hydrolysis[J]. China Food Additives, 2021, 32(10): 29-37.
- [31] 胡杨, 杨莉莉, 熊善柏, 等. 水解进程对酶法制备的鱼鳞胶原蛋白肽性能的影响[J]. 华中农业大学学报, 2017, 36(1): 103-109.
HU Yang, YANG Li-li, XIONG Shan-bai, et al. Hydrolysis process of fish scale and its effect on properties of collagen peptide[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2017, 36(1): 103-109.
- [32] LIU Qian, KONG Bao-hua, XIONG You-ling, et al. Antioxidant activity and functional properties of porcine plasma protein hydrolysate as influenced by the degree of hydrolysis [J]. Food Chemistry, 2010, 118(2): 403-410.
- [33] 杨雅兰, 阳志军, 阳格. 不同蛋白酶对燕麦蛋白水解物乳化性和抗氧化性的影响[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(7): 28-31.
YANG Ya-lan, YANG Zhi-jun, YANG Ge. Effects of different proteases on emulsification and antioxidation of oat protein hydrolysates[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(7): 28-31.
- [34] 王颂萍, 钟强, 杨欣悦, 等. 多酚抑制脂肪氧化的作用机理及其在肉制品中应用的研究进展[J/OL]. 食品工业科技. [2021-09-14]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021050187>.
WANG Song-ping, ZHONG Qiang, YANG Xin-yue, et al. The mechanism of polyphenols inhibiting lipid oxidation and its development in meat products[J/OL]. Science and Technology of Food Industry. [2021-09-14]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021050187>.