

加工部位及提取工艺对沙棘油品质特性 及主要脂质伴随物油相迁移的影响

曾凡正¹, 邓乾春², 禹晓³

(1. 国家市场监督管理总局 食品审评中心, 北京 100070; 2. 中国农业科学院油料作物研究所, 武汉 430062; 3. 郑州轻工业大学 食品与生物工程学院, 郑州 450001)

摘要:比较分析了不同加工部位及提取工艺对沙棘油得率、品质特性及主要脂质伴随物的影响规律。结果表明:与果肉油 and 全果油相比,沙棘籽油具有较低的酸价、过氧化值、*p*-茴香胺值、 K_{232} 值和 K_{270} 值,且具有较高的得率、 α -亚麻酸和植物甾醇含量;沙棘果肉油 and 全果油则具有较高的生育酚、类胡萝卜素和总酚含量。与传统溶剂提取(SE)和超声波辅助溶剂提取(UAE)相比,微波预处理+溶剂提取(MPE)和加速溶剂萃取(ASE)均能够显著增加沙棘油得率,但ASE同时增加了沙棘油尤其是果肉油的脂质过氧化水平;MPE能够增加沙棘油中植物甾醇和类胡萝卜素的油相迁移,而ASE则更有利于生育酚和酚类化合物的释放和油相迁移。总之,从沙棘油得率、营养品质的角度考虑,微波预处理作为一种有效的前处理方法,与短时加速溶剂萃取的联合将能够实现沙棘油的提质制取。

关键词:沙棘油;加工部位;提取工艺;品质特性;脂质伴随物

中图分类号:TS224;TS225.1 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2020)05-0093-07

Effect of processing parts and extraction technology on the quality property and oil phase migration of main lipid concomitants of seabuckthorn oil

ZENG Fanzheng¹, DENG Qianchun², YU Xiao³

(1. Center for Food Evaluation, State Administration for Market Regulation, Beijing 100070, China; 2. Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430062, China; 3. College of Food and Biological Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The effects of different processing parts and extraction technologies on the yield, quality property and main lipid concomitants of seabuckthorn oil were analyzed. The results showed that compared with pulp oil and whole berry oil, seabuckthorn seed oil had lower acid value, peroxide value, *p*-anisidine value, K_{232} value and K_{270} value, but higher yield and contents of α -linolenic acid and phytosterol. However, seabuckthorn pulp oil and whole berry oil had high contents of tocopherols, carotenoids and total phenolics. Compared with traditional solvent (SE) and ultrasound-assisted extraction (UAE), microwave pretreatment coupled with solvent extraction (MPE) and accelerated solvent extraction (ASE) could significantly increase the yield of seabuckthorn oil, but ASE also exacerbated the lipid peroxidation of seabuckthorn pulp oil. MPE increased the migration of phytosterols and carotenoids in seabuckthorn oil. ASE was more conducive to the release of tocopherols and phenolic compounds into oil phase. In conclusion, from the perspective of seabuckthorn oil yield and nutritional quality, microwave pretreatment, as an effective pretreatment method, could be applied to the preparation of seabuckthorn oil when coupled with short accelerated solvent extraction.

Key words: seabuckthorn oil; processing part; extraction technology; quality property; lipid concomitant

收稿日期:2019-06-19;修回日期:2020-01-03

作者简介:曾凡正(1986),男,助理研究员,硕士,主要从事功能性油脂以及保健食品原料的工艺研究(E-mail) zengfz259@163.com。

沙棘油提取自沙棘果实或种子,因具有改善心血管疾病、炎症、视网膜损伤等生物活性而受到越来越多的关注^[1-2]。高含量的 α -亚麻酸(ALA)是其发挥生物活性的重要物质基础^[3]。研究表明,酚类化合物、生育酚、植物甾醇、类胡萝卜素等极性或非极性脂质伴随物,能够与功能性脂质组分协同改善年龄相关退行性疾病^[4]。因此,为最大限度地增加沙棘油中关键脂质伴随物的富集,探讨沙棘油的提质制取技术显得尤为重要。

研究发现,不同加工部位来源的沙棘油在主要脂肪酸组成及脂质伴随物如植物甾醇、生育酚、类胡萝卜素含量上存在明显差异^[5-8]。此外,提取工艺可能是影响沙棘油品质特性的另一关键因素。目前沙棘油提取工艺主要包括传统溶剂提取法、超临界CO₂流体萃取法、水酶法、超声波和微波辅助提取法^[9-13]。与传统溶剂提取法相比,超临界CO₂流体萃取等方法在提高沙棘油得率方面具有明显的优势。加速溶剂萃取是在较高的温度和压力下用溶剂萃取固体或半固体样品的处理方法^[14],已逐步应用于功能性脂质提质制取研究。加速溶剂萃取具有溶剂用量小、萃取率高等优点,但对沙棘油提取的影响鲜有报道。

尽管目前关于沙棘油的提取工艺已开展了较多的研究,但不同加工部位及提取工艺对沙棘油品质及生物活性脂质伴随物如生育酚、类胡萝卜素、植物甾醇等的影响仍缺乏较为系统的研究。基于此,本研究以沙棘籽、果肉和全果为对象,探讨传统溶剂提取、微波预处理+溶剂提取、超声波辅助溶剂提取和加速溶剂萃取对沙棘油得率、品质特性及主要脂质伴随物油相迁移的影响规律,旨在获得一种适合沙棘籽、果肉及全果油的提质制取工艺。

1 材料与方法

1.1 实验材料

沙棘全果(水分5.22%,杂质2.10%),购自青海康普生物科技股份有限公司,经低温干燥、低速粉碎、过筛和手动分拣后获得沙棘果肉和沙棘籽。

福林酚、5 α -胆甾烷、植物甾醇、 α -生育酚、 γ -生育酚、叶黄素、番茄红素、 β -胡萝卜素,购自美国Sigma-Aldrich公司;Tri-SiL(HMDS-TMCS-Pyridine, 2:1:10)试剂,购于美国Pierce公司;正己烷、无水甲醇、异丙醇均为色谱纯,购自德国Merck公司;其他试剂均为分析纯,购自国药集团化学试剂有限公司。

GM200粉碎机,德国Retsch公司;密闭式微波

消解仪,美国CEM公司;ASE100加速溶剂萃取仪,美国DIONEX公司;RV10D旋转蒸发仪,德国IKA集团;DHG90A电热恒温干燥箱,上海索谱仪器有限公司;XS205万分之一电子天平,瑞士Mettler Toledo公司;KQ5200DB型数控超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 原料预处理

将沙棘全果、沙棘籽及沙棘果肉进一步粉碎,过40目筛,4℃贮藏备用。

1.2.2 沙棘油提取

(1)传统溶剂提取(SE):准确称取一定量的沙棘籽、沙棘果肉及沙棘全果粉,根据实验室前期优化的提取参数,按料液比1:10加入正己烷,45℃搅拌提取2h,经离心、旋转蒸发及氮吹,分别获得沙棘籽油、果肉油及全果油。

(2)微波预处理+溶剂提取(MPE):根据实验室前期优化的微波预处理参数,将沙棘籽、沙棘果肉和沙棘全果粉调至水分含量为12%,4℃条件下调质24h。称取一定量样品平铺于玻璃平皿中,置于微波炉转盘上。设置微波频率2450MHz,功率560W,分别微波处理2、2、3min。再称取适量经微波处理后的沙棘籽、沙棘果肉及沙棘全果粉,按料液比1:10加入正己烷,45℃搅拌提取2h,经离心、旋转蒸发及氮吹,分别获得沙棘籽油、果肉油及全果油。

(3)超声波辅助溶剂提取(UAE):准确称取一定量的沙棘籽、沙棘果肉及沙棘全果粉,按料液比1:10加入正己烷,置于超声波清洗器中。根据实验室前期优化的超声波辅助提取参数,在超声波功率750W、水浴温度50℃的条件下,搅拌提取1h,经抽滤、旋转蒸发及氮吹,分别得到沙棘籽油、果肉油及全果油。

(4)加速溶剂萃取(ASE):准确称取一定量的沙棘籽、沙棘果肉及沙棘全果粉,放入加速溶剂萃取仪的萃取釜中,加入一定体积正己烷,按照实验室前期优化萃取参数进行萃取,获得沙棘籽油、果肉油及全果油。沙棘籽油为萃取压力10MPa、萃取温度90℃、静态萃取时间5min、萃取次数2次。沙棘果肉油为萃取压力10MPa、萃取温度90℃、静态萃取时间7min、萃取次数3次。沙棘全果油为萃取压力10MPa、萃取温度100℃、静态萃取时间7min、萃取次数3次。

1.2.3 沙棘油得率计算

沙棘油得率 = $m/M \times 100\%$

式中: m 为沙棘籽油、沙棘果肉油或沙棘全果油的质量,g; M 为沙棘籽粉、沙棘果肉粉或沙棘全果粉的干重,g。

1.2.4 基本理化指标测定

酸价和过氧化值测定分别参考 GB/T 5530—2008 和 GB/T 5538—2008 方法; p -茴香胺值测定参考 AOCS Method Cd 18-90 方法; K_{232} 、 K_{270} 值测定参考 IUPAC (1979) 方法。脂肪酸甲酯化采用 GB/T 17376—2008 方法,脂肪酸甲酯分离采用气相色谱法,参考禹晓等^[15]的方法。

1.2.5 生育酚含量测定

生育酚含量的测定采用 AOCS Official Method Ce 8-89 的方法。称取约 2 g(精确至 0.001 g)油样于 25 mL 容量瓶内,正己烷定容,混匀,过 0.22 μm 滤膜,进行 HPLC 分析。HPLC 条件:流动相为正己烷-异丙醇(体积比 99.5:0.5),进样量 20 μL ,流速 1.0 mL/min。外标法定量。

1.2.6 植物甾醇含量测定

植物甾醇含量测定参照 Azadmard - Damirchi 等^[16]的方法,并稍作修改。称取 30 mg 油样于 10 mL 塑料离心管中,加入 3 mL 2 mol/L 的氢氧化钾-乙醇溶液、150 μL 0.5 mol/L 的 5 α -胆甾烷内标溶液,置于 90 $^{\circ}\text{C}$ 、160 r/min 水浴摇床皂化 20 min,冷却至室温,再加入 2 mL 去离子水和 1.5 mL 正己烷,旋涡提取 5 min,5 000 g 离心 10 min,上清液进行气相色谱分析。气相色谱分析条件:Agilent 6890N 型气相色谱仪,Agilent 7683B 自动进样器,氢火焰离子化检测器;Agilent DB-5HT 毛细管色谱柱(30.0 m \times 320 μm \times 0.10 μm);进样量 2 μL ,进样口温度 260 $^{\circ}\text{C}$;柱箱温度 60 $^{\circ}\text{C}$ 保持 1 min,程序升温为 40 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升到 310 $^{\circ}\text{C}$,保持 6 min,然后升至 380 $^{\circ}\text{C}$,保持 4 min;载气为氦气,流量 2.0 mL/min,分流比 25:1,分流流量 50 mL/min。外标法定量。

1.2.7 类胡萝卜素含量测定

参照 Kha 等^[17]的方法,并稍作修改。称取一定量的油样于 10 mL 棕色容量瓶,三氯甲烷定容,混匀,0.22 μm 滤膜过滤,滤液用于 HPLC 分析。HPLC 条件:Inertsil C18 色谱柱(4.6 mm \times 250 mm, 5 μm , Tokyo, Japan),紫外检测器;流动相为乙腈-甲醇-二氯甲烷(体积比 50:40:10),流速 1.0 mL/min;检测波长 450、470 nm;进样量 10 μL 。以 β -胡萝卜素、叶黄素和番茄红素为标准品,外标法定量。

1.2.8 总酚含量测定

总酚提取参考 Khattab 等^[18]的方法,并稍作修改。准确称取 1.25 g 油样于 10 mL 离心管中,加入 1.5 mL 正己烷和 1.5 mL 80% 甲醇水溶液,旋涡提取 5 min,5 000 g 离心 10 min,重复提取 3 次,合并提取液。总酚含量采用 Folin-Ciocalteu 法(1959)测定,结果以芥子酸当量表示,即 mgSAE/100 g。

1.2.9 统计分析

采用 SPSS12.0 软件包进行数据统计分析,结果以“均值 \pm s”表示。采用单因素方差分析(ANOVA)进行统计学差异检验,显著性水平 $p < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 加工部位及提取工艺对沙棘油得率的影响(见图 1)

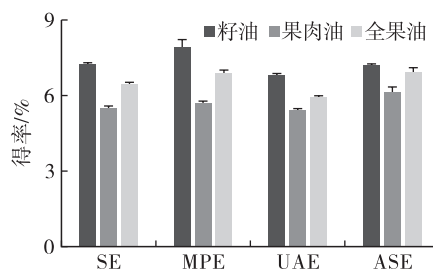


图 1 加工部位及提取工艺对沙棘油得率的影响

由图 1 可知,就不同加工部位沙棘油而言,沙棘籽油得率最高,为 6.83% ~ 7.94%,其次为沙棘全果油(5.93% ~ 6.92%)和沙棘果肉油(5.42% ~ 6.12%)。这与沙棘籽的含油量较高有关。就提取工艺而言,MPE 所得沙棘籽油得率最高,为 7.94%;ASE 所得沙棘果肉油得率最高,为 6.12%,其次为 MPE(5.73%);ASE 和 MPE 所得沙棘全果油得率最高,分别为 6.92% 和 6.91%。经湿热调质处理后的沙棘籽粉能够充分地吸收电磁波而产生热量,破坏细胞壁,可能有利于溶剂提取过程中脂滴溶出^[19]。加速溶剂萃取诱导的沙棘果肉细胞壁组分高温高压下的热降解则有利于脂滴与提取溶剂接触,促进其溶出^[20]。但提取工艺对沙棘果不同部位的特定适用性仍待进一步研究。

2.2 加工部位及提取工艺对沙棘油品质特性的影响(见图 2 ~ 图 4)

由图 2A 可知,沙棘果肉油和全果油酸价明显高于沙棘籽油,这可能与果肉中存在较高含量的有机酸有关^[21]。不同的提取工艺对沙棘油酸价有较大的影响。其中,ASE 在提高沙棘油得率的同时,也显著增加了油脂的酸价。以沙棘全果油为例,ASE 所得油脂酸价(KOH)较 SE(8.03 mg/g)增加 62% ($p < 0.05$)。一方面,ASE 提取过程中高温高

压环境可能更容易诱导果肉中的有机酸溶出;另一方面,ASE 更可能诱导了甘油三酯的水解,进而释放较多含量的游离脂肪酸在油相中^[14]。从图 2B 可以看出,沙棘果肉油过氧化值显著高于沙棘籽油和全果油($p < 0.05$)。推测这种氧化易感性可能与沙棘果肉中脂质存在的特异性有关。就不同的提取工艺而言,UAE 和 ASE 所获得的沙棘籽油和全果油过氧化值最低,分别为 1.12 mmol/kg 和 1.39 mmol/kg,1.63 mmol/kg 和 1.58 mmol/kg,其次为 SE 和 MPE。相比较而言,SE 所得果肉油过氧化值明显低于 MPE、UAE 和 ASE,分别为 2.59、2.86、2.81 mmol/kg 和 2.87 mmol/kg。这表明,MPE、UAE 和 ASE 提取过程中所产生的热效应一定程度上加剧了果肉油脂质过氧化。因此,针对沙棘果肉油较高的氧化易感性,应选择温和的提取工艺。

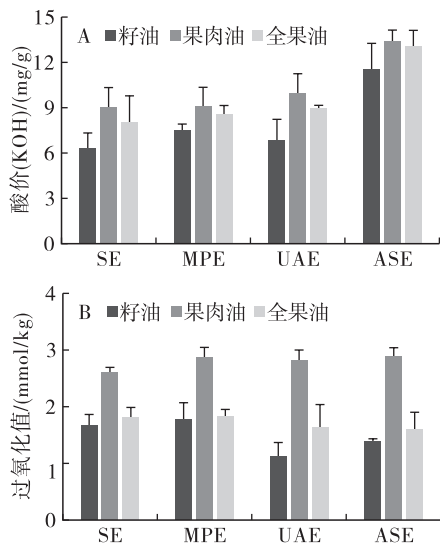


图2 加工部位及提取工艺对沙棘油酸价和过氧化值的影响

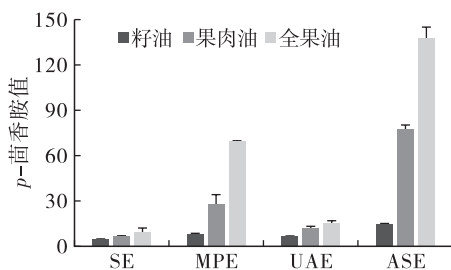


图3 加工部位及提取工艺对沙棘油 *p*-茴香胺值的影响

由图 3 可知,就同一提取工艺而言,沙棘全果油 *p*-茴香胺值最高,其次为沙棘果肉油和籽油。这一结果表明以沙棘全果形式制油过程更容易引起脂质过氧化产物的分解,其潜在的原因仍待进一步探讨。就不同的提取工艺而言,与 SE(8.94)相比,ASE 和 MPE 所得沙棘全果油 *p*-茴香胺值分别增加 14.37

倍和 6.74 倍($p < 0.05$),达到 137.44 和 69.21;与 SE 相比(6.07),ASE 和 MPE 所得沙棘果肉油 *p*-茴香胺值分别增加 11.75 倍和 3.56 倍($p < 0.05$),达到 77.38 和 27.67;与 SE(4.05)相比,ASE、MPE 和 UAE 所得沙棘籽油 *p*-茴香胺值分别增加 2.47 倍、0.77 倍和 0.56 倍($p < 0.05$),达到 14.09、7.19 和 6.32。因此,不同提取工艺对沙棘全果油、果肉油和籽油脂质过氧化具有不同程度的影响。其中,以 ASE 制取的沙棘全果油脂质过氧化程度最为明显,这可能与 ASE 高温高压的萃取条件有关。

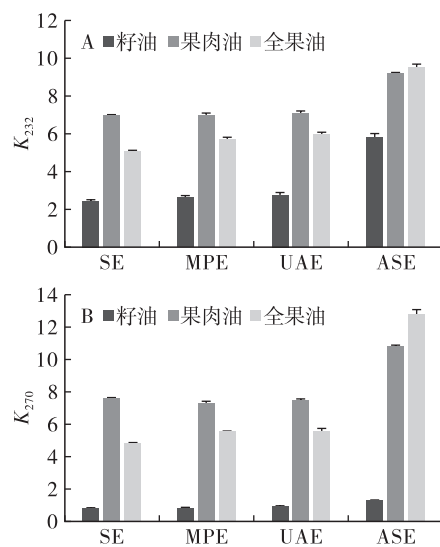


图4 加工部位及提取工艺对沙棘油 K_{232} 和 K_{270} 值的影响

共轭二烯(K_{232})和共轭三烯(K_{270})作为脂质过氧化的早期标志物,能够一定程度上反映油脂初级和次级氧化产物的含量。由图 4 可知,就不同加工部位而言,沙棘籽油 K_{232} 值最低(2.46 ~ 5.84),而果肉油最高(6.98 ~ 9.20)。不同加工部位沙棘油 K_{270} 值也表现出类似的趋势。就不同的提取工艺而言,SE、MPE 和 UAE 对沙棘籽油、果肉油和全果油 K_{232} 和 K_{270} 值无明显影响,而 ASE 使沙棘籽油、果肉油和全果油中 K_{232} 和 K_{270} 值显著增加。与 SE(2.46、6.98 和 5.12)相比,ASE 使沙棘籽油、果肉油和全果油 K_{232} 值分别增加 137.4%、31.8% 和 85.9% ($p < 0.05$),达到 5.84、9.20 和 9.52;与 SE(0.75、7.58 和 4.79)相比,ASE 使 K_{270} 值分别增加 70.7%、42.3% 和 167% ($p < 0.05$),达到 1.28、10.79 和 12.79。

结合图 1,与 SE 相比,MPE 和 ASE 均能够不同程度提高沙棘油得率,但 ASE 同时对沙棘油尤其是全果油和果肉油脂质氧化有较强的促进作用,MPE 诱导脂质氧化的潜力则相对较弱。

2.3 加工部位及提取工艺对沙棘油主要脂肪酸组成的影响(见表1)

表1 沙棘油主要脂肪酸组成 %

脂肪酸	籽油	果肉油	全果油
C14:0	0.11 ± 0.00	0.71 ± 0.00	0.48 ± 0.01
C16:0	10.68 ± 0.00	32.47 ± 0.02	22.97 ± 0.00
C16:1	1.38 ± 0.00	30.98 ± 0.02	18.95 ± 0.01
C18:0	2.28 ± 0.00	1.15 ± 0.00	1.67 ± 0.01
C18:1n-9	21.47 ± 0.02	17.22 ± 0.01	18.97 ± 0.04
C18:1n-7	-	8.01 ± 0.00	5.12 ± 0.05
C18:2n-6	32.33 ± 0.00	7.22 ± 0.03	18.73 ± 0.01
C18:3n-3	31.56 ± 0.02	2.12 ± 0.01	12.98 ± 0.02

由表1可知,不同加工部位对沙棘油主要脂肪酸组成具有重要影响。其中,C18:2n-6、C18:3n-3和C18:1n-9是沙棘籽油的主要脂肪酸,占比分别为32.33%、31.56%和21.47%;C16:0和C16:1

是沙棘果肉油主要脂肪酸组成,占比分别为32.47%和30.98%;C16:0、C16:1、C18:1n-9、C18:2n-6和C18:3n-3是沙棘全果油主要脂肪酸组成,占比分别为22.97%、18.95%、18.97%、18.73%和12.98%。这与Yang^[3]、薄海波^[22]等的研究基本一致。我们的研究发现,不同提取工艺对沙棘油主要脂肪酸组成无明显影响,因此对于同一加工部位沙棘油而言表1仅列出了不同提取工艺主要脂肪酸组成的平均值。但Cenkowski等^[8]指出,与氯仿/甲醇提取相比,超临界CO₂流体萃取和螺旋压榨所获得的沙棘籽油C18:3n-3含量明显增加。这种制取工艺对沙棘油脂肪酸组成的影响是否具有品种特异性仍待进一步证实。

2.4 加工部位及提取工艺对沙棘油植物甾醇含量的影响(见表2)

表2 加工部位及提取工艺对沙棘油植物甾醇含量的影响

mg/100 g

沙棘油	植物甾醇	SE	MPE	UAE	ASE
籽油	菜油甾醇	33.96 ± 3.19a	37.90 ± 3.58a	35.28 ± 1.32a	32.14 ± 3.28a
	β-谷甾醇	1 303.31 ± 13.44a	1 320.42 ± 20.16a	1 301.07 ± 53.61a	1 093.25 ± 22.97b
	Δ5 燕麦甾醇	470.43 ± 35.97ab	514.25 ± 21.73a	501.23 ± 5.46a	420.77 ± 5.99b
	环阿屯醇	99.21 ± 2.35ab	108.27 ± 18.43a	99.38 ± 0.98ab	71.08 ± 17.29b
	总量	1 906.92 ± 43.86a	1 980.84 ± 63.90a	1 936.95 ± 61.37a	1 617.24 ± 37.55b
果肉油	胆甾醇	167.97 ± 1.67a	233.61 ± 5.85b	166.51 ± 8.30a	163.77 ± 1.80a
	菜油甾醇	31.01 ± 0.84ab	35.27 ± 1.20a	29.13 ± 8.18ab	23.07 ± 0.50b
	β-谷甾醇	810.65 ± 41.58a	962.83 ± 12.48b	808.15 ± 17.35a	609.49 ± 9.67c
	Δ5 燕麦甾醇	63.32 ± 12.59ab	84.15 ± 8.67a	57.32 ± 5.34ab	40.79 ± 12.71b
	环阿屯醇	78.83 ± 12.16a	111.11 ± 4.60b	62.00 ± 7.46a	51.92 ± 15.60a
总量	1 151.78 ± 67.16a	1 426.97 ± 7.84b	1 123.11 ± 31.71a	889.04 ± 36.68c	
全果油	胆甾醇	119.62 ± 4.54a	134.92 ± 2.00b	131.41 ± 3.43b	122.46 ± 1.70a
	菜油甾醇	27.15 ± 0.84a	33.66 ± 1.50b	28.09 ± 0.18a	25.07 ± 1.64a
	β-谷甾醇	822.46 ± 13.82a	1 015.10 ± 3.23b	874.79 ± 5.50c	775.50 ± 9.86d
	Δ5 燕麦甾醇	126.12 ± 3.08a	161.43 ± 5.49b	142.45 ± 1.94ab	135.32 ± 12.65a
	环阿屯醇	82.33 ± 1.26a	101.96 ± 0.69b	90.29 ± 0.57ab	79.81 ± 9.02a
总量	1 177.69 ± 23.53a	1 447.06 ± 3.46b	1 267.02 ± 0.87c	1 138.16 ± 34.86a	

注:同一行字母不同表示具有显著性差异($p < 0.05$)。下同。

由表2可知,沙棘籽油中植物甾醇含量明显高于沙棘果肉油。此外,不同加工部位沙棘油植物甾醇组成也具有特异性。其中,沙棘籽油中植物甾醇主要为β-谷甾醇和Δ5燕麦甾醇;沙棘果肉油中植物甾醇主要为β-谷甾醇和胆甾醇。不同提取工艺对沙棘油主要植物甾醇含量也具有重要影响,且具有部位特异性。就沙棘籽油而言,与ASE相比,MPE和UAE所得沙棘籽油具有较高含量的β-谷甾醇和Δ5燕麦甾醇($p < 0.05$),这可能与微波诱导的沙棘籽细胞壁降解效应以及超声波辅助提取诱导

的空穴效应有关^[19]。与SE、UAE和ASE相比,MPE所得沙棘油中β-谷甾醇、Δ5燕麦甾醇和环阿屯醇含量最高。基于水介质这一微波能量的传递材料,微波湿热调质能够进一步破坏植物细胞壁结构,进而诱导植物甾醇从细胞壁的释放和溶出^[19],且对沙棘籽和果肉细胞壁的破坏效应具有通用性。

2.5 加工部位及提取工艺对沙棘油生育酚含量的影响(见表3)

由表3所示,沙棘果肉油生育酚主要以α-生育酚为主,含量明显高于沙棘籽油,二者分别为

257.26 ~ 275.59 mg/100 g 和 93.04 ~ 107.09 mg/100 g, 全果油 α -生育酚含量则介于两者之间。此外,沙棘籽油中生育酚主要为 α -生育酚和 γ -生育酚,而果肉油中生育酚则主要为 α -生育酚,这与 Kallio 等^[7]的研究结果基本一致。不同提取工艺对沙棘油生育酚含量也具有影响,且具有加工部位特异性。就沙棘

全果油而言,ASE 所得油脂生育酚含量明显高于 SE、MPE 和 UAE($p < 0.05$)。表明 ASE 提取过程中高温高压环境有利于全果中非极性生育酚释放和油相迁移。但整体而言,沙棘籽油和果肉油中生育酚含量受加工工艺影响的程度相对较弱,这可能与生育酚在沙棘籽油和果肉油制取过程中的迁移特性有关。

表 3 加工部位及提取工艺对沙棘油生育酚含量的影响

		mg/100 g			
沙棘油	生育酚	SE	MPE	UAE	ASE
籽油	α -生育酚	97.99 ± 0.19a	98.39 ± 6.00a	93.04 ± 0.05a	107.09 ± 0.75b
	γ -生育酚	87.40 ± 5.71a	90.90 ± 4.11a	82.43 ± 6.67a	95.69 ± 7.49a
	总量	185.39 ± 5.53ab	189.29 ± 10.10ab	175.47 ± 6.72a	202.78 ± 6.74b
果肉油	α -生育酚	269.11 ± 5.60ab	275.59 ± 2.01a	257.26 ± 1.31b	269.96 ± 8.27ab
	α -生育酚	215.80 ± 7.17a	216.08 ± 7.26ab	230.59 ± 0.07b	254.21 ± 2.87c
全果油	γ -生育酚	17.09 ± 2.65a	20.05 ± 2.99a	11.19 ± 3.10b	22.05 ± 2.64a
	总量	232.89 ± 9.60a	236.13 ± 10.09a	241.78 ± 3.22a	276.26 ± 2.95b

2.6 加工部位及提取工艺对沙棘油类胡萝卜素含量的影响(见表 4)

由表 4 可知,不同加工部位沙棘油中类胡萝卜素含量顺序为沙棘果肉油 > 沙棘全果油 > 沙棘籽油。这与 Yang 等^[3]的研究结果基本一致。不同提取工艺对沙棘油类胡萝卜素含量的影响具有加工部位特异性。与 SE 相比,MPE、UAE 和 ASE 显著增加了沙棘籽油中类胡萝卜素含量,其中以番茄红素和 β -胡萝卜素的增加最为显著($p < 0.05$)。MPE 所得沙棘果

肉油中叶黄素含量最高(92.06 mg/100 g),UAE 所得果肉油中番茄红素含量最高(68.07 mg/100 g),SE 和 MPE 所得果肉油中 β -胡萝卜素含量最高(104.82、111.01 mg/100 g)。就沙棘全果油而言,与 SE 相比,MPE 所得油脂中叶黄素和番茄红素增加最为显著($p < 0.05$),而 UAE 所得油脂中 β -胡萝卜素含量最高(77.30 mg/100 g)。这种加工工艺对不同加工部位沙棘油中番茄红素、 β -胡萝卜素和叶黄素的差异性迁移规律仍待进一步探讨。

表 4 加工部位及提取工艺对沙棘油类胡萝卜素含量的影响

		mg/100 g			
沙棘油	类胡萝卜素	SE	MPE	UAE	ASE
籽油	叶黄素	12.57 ± 0.76a	15.64 ± 0.75b	14.92 ± 0.07b	14.85 ± 0.13b
	番茄红素	10.10 ± 0.04a	23.60 ± 1.07b	19.29 ± 0.74c	24.65 ± 0.67b
	β -胡萝卜素	7.78 ± 0.01a	11.53 ± 0.25b	11.35 ± 0.38b	11.94 ± 0.37b
	总量	30.46 ± 0.79a	50.78 ± 2.06b	45.56 ± 1.20c	51.43 ± 0.18b
果肉油	叶黄素	68.49 ± 0.85a	92.06 ± 5.27b	75.15 ± 0.19a	72.82 ± 3.80a
	番茄红素	45.94 ± 1.03a	53.07 ± 1.96a	68.07 ± 5.66b	51.93 ± 0.44a
	β -胡萝卜素	104.82 ± 1.01a	111.01 ± 3.06a	91.99 ± 4.64b	85.49 ± 2.91b
	总量	219.25 ± 2.89ac	256.15 ± 6.37b	235.21 ± 10.11a	210.24 ± 0.45c
全果油	叶黄素	50.12 ± 3.76a	69.93 ± 4.71b	59.47 ± 2.08c	62.00 ± 0.30bc
	番茄红素	55.71 ± 4.33a	80.27 ± 2.03b	55.98 ± 3.20a	58.42 ± 0.28a
	β -胡萝卜素	65.56 ± 4.23a	67.11 ± 3.80a	77.30 ± 2.40b	65.77 ± 1.99a
	总量	171.39 ± 3.67a	217.31 ± 1.12b	192.74 ± 3.52c	186.19 ± 1.96c

2.7 加工部位及提取工艺对沙棘油总酚含量的影响(见图 5)

由图 5 可知,不同加工部位沙棘油中总酚含量顺序为沙棘全果油 > 沙棘果肉油 > 沙棘籽油。不同提取工艺对沙棘油总酚含量具有重要影响。4 种提取工艺中,ASE 所得沙棘油总酚含量最高。与 SE

(13.98、39.97、48.24 mg/100 g)相比,ASE 所得沙棘籽油、果肉油和全果油总酚含量分别增加 3.37、3.34、3.76 倍($p < 0.05$),达到 47.07、133.36 mg/100 g 和 181.34 mg/100 g。总之,ASE 高温高压环境可能诱导沙棘籽、果肉和全果中酚类化合物的解聚及油相迁移。目前关于沙棘油中酚酸组成的研究还鲜有

报道,不同提取工艺对不同加工部位沙棘油结合态、游离态酚酸含量和组成的影响仍待进一步研究。

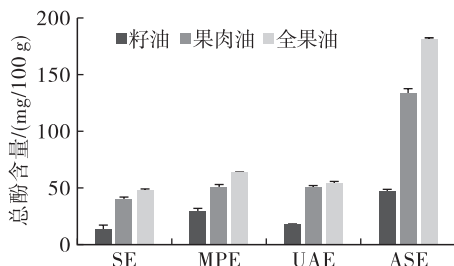


图5 加工部位及提取工艺对沙棘油总酚含量的影响

3 结论

本研究比较分析了加工部位及传统溶剂提取、微波预处理+溶剂提取、超声波辅助溶剂提取和加速溶剂萃取对沙棘油得率、理化品质和典型脂质伴随物含量的影响,得出如下结论:

(1)沙棘籽油具有较低的酸价、过氧化值、 p -茴香胺值、 K_{232} 值和 K_{270} 值,较高的得率、C18:3 n -3和植物甾醇含量;沙棘果肉油和全果油则具有较高的生育酚、类胡萝卜素和总酚含量。

(2)微波预处理+溶剂提取和加速溶剂萃取均能够显著增加沙棘油得率,但加速溶剂萃取同时增加了沙棘油尤其是沙棘果肉油脂质过氧化程度。

(3)微波预处理+溶剂提取能够增加沙棘油中植物甾醇和类胡萝卜素的油相迁移;加速溶剂萃取则更有利于生育酚和总酚的溶出和释放。

从兼顾沙棘油品质和活性脂质伴随物含量的角度,微波预处理+溶剂提取能够实现不同加工部位沙棘油的提质制取。但加速溶剂萃取作为一种有效富集沙棘油脂质伴随物的方法,微波预处理+短时加速溶剂萃取将能够进一步提高沙棘油的营养品质。

参考文献:

[1] 侯冬岩, 回瑞华, 李铁纯, 等. 沙棘的研究进展[J]. 鞍山师范学院学报, 2002, 4(1):49-53.

[2] 刘凤云. 沙棘油的药理研究[J]. 生物学通报, 2005, 40(2):13-15.

[3] YANG B R, KALLIO H. Composition and physiological effects of sea buckthorn (*Hippophaë*) lipids [J]. Trends Food Sci Tech, 2002, 13:160-167.

[4] GIP X, ZHANG T, SHI L, et al. The relationship between lipid phytochemicals, obesity and its related chronic diseases[J]. Food Funct, 2018, 9:6048-6062.

[5] RANJITH A, KUMAR S K, VENUGOPALAN V V, et al. Fatty acids, tocopherols, and carotenoids in pulp oil of three sea buckthorn species (*Hippophaë rhamnoides*, *H. salicifolia*, and *H. tibetana*) grown in the Indian Himalayas [J]. J Am Oil Chem Soc, 2006, 83(4):359-364.

[6] KALLIO H, YANG B, PEIPPO P. Effects of different ori-

gins and harvesting time on vitamin C, tocopherols, and tocotrienols in sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides*) berries [J]. J Agric Food Chem, 2002, 50(21):6136-6142.

[7] KALLIO H, YANG B, PEIPPO P, et al. Triacylglycerols, glycerophospholipids, tocopherols, and tocotrienols in berries and seeds of two subspecies (ssp. *sinensis* and *mongolica*) of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides*) [J]. J Agric Food Chem, 2002, 50(10):3004-3009.

[8] CENKOWSKI S, YAKIMISHEN R, PRZYBYLSKI R, et al. Quality of extracted sea buckthorn seed and pulp oil [J]. Can Biosyst Eng, 2006, 48:9-16.

[9] 宋于洋. 沙棘油提取工艺研究[J]. 食品科学, 2006, 27(10):370-372.

[10] 贺晓光, 李海峰, 王松磊. SFE-CO₂技术提取沙棘油的工艺研究[J]. 食品与发酵科技, 2008, 44(6):32-35.

[11] 郭玉霞, 柴庆伟, 马新付. 响应面法优化沙棘果油水酶复合提取工艺[J]. 食品工业, 2013(10):82-84.

[12] 孟春玲, 王建中, 王丰俊, 等. 响应面法优化超声波辅助提取沙棘籽油的工艺研究[J]. 北京林业大学学报, 2008(5):122-126.

[13] MICHEL T, DESTANDAU E, ELFAKIR C. Evaluation of a simple and promising method for extraction of antioxidants from sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) berries: pressurised solvent-free microwave assisted extraction [J]. Food Chem, 2011, 126:1380-1386.

[14] 牟世芳, 刘勇建. 加速溶剂萃取的原理及应用[J]. 环境化学, 2001(3):18-20.

[15] 禹晓, 黄沙沙, 程晨, 等. 不同品种亚麻籽组成及抗氧化特性分析[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(6):879-888.

[16] AZADMARD-DAMIRCHI S, HABIBI-NODEH F, HESARI J, et al. Effect of pretreatment with microwaves on oxidative stability and nutraceuticals content of oil from rapeseed [J]. Food Chem, 2010, 121(4):1211-1215.

[17] KHA T C, NGUYEN M H, ROACH P D, et al. Effects of Gac aril microwave processing conditions on oil extraction efficiency, and β -carotene and lycopene contents [J]. J Food Eng, 2013, 117(4):486-491.

[18] KHATTAB R, ESKIN M, ALIANI M, et al. Determination of sinapic acid derivatives in canola extracts using high-performance liquid chromatography [J]. J Am Oil Chem Soc, 2010, 87(2):147-155.

[19] KOUBAA M, MHEMDI H, BARBA F J, et al. Oilseed treatment by ultrasounds and microwaves to improve oil yield and quality: an overview [J]. Food Res Int, 2016, 85:59-66.

[20] RICHTER B E, JONES B A, EZZELL J L, et al. Accelerated solvent extraction: a technique for sample preparation [J]. Anal Chem, 1996, 68(6):1033-1039.

[21] 张靛灵, 高锦明. 中国沙棘果实化学成分初步研究 [J]. 陕西林业科技, 1999(2):14-15.

[22] 薄海波, 秦裕. 沙棘果油与沙棘籽油脂肪酸成分对比研究 [J]. 食品科学, 2008, 29(5):378-381.