

超临界 CO₂ 萃取对油茶饼中油脂品质 及茶皂素理化特性影响的研究

王 羚^{1,2}, 方学智¹, 杜孟浩¹, 龙奇志²

(1. 中国林业科学院 亚热带林业研究所, 杭州 311400; 2. 中南林业科技大学 食品科学与工程学院, 长沙 410004)

摘要:以油茶饼为原料,采用超临界 CO₂萃取法进行脱油和茶皂素的提取,通过单因素实验和响应面分析对提取工艺进行优化,同时对油茶籽油的理化性质、营养品质及茶皂素特性进行分析。结果表明:最佳萃取工艺条件为萃取温度 45 ℃、萃取压力 30 MPa、萃取时间 3.5 h、夹带剂(乙醇)体积分数 75%,此条件下茶皂素提取率为 89.21%。超临界 CO₂萃取油茶籽油的酸价、过氧化值和皂化值低于有机溶剂提取的,油中 α-生育酚、角鲨烯、β-谷甾醇含量高于有机溶剂提取的。超临界 CO₂萃取茶皂素的表面张力和接触角较小,发泡能力和乳化性较好。

关键词:油茶饼;超临界 CO₂萃取;油茶籽油;品质;茶皂素

中图分类号:TS229;TQ645

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2020)08-0109-06

Effects of supercritical CO₂ extraction on the quality of oil and physicochemical properties of tea saponin in oil – tea camellia seed cake

WANG Ling^{1,2}, FANG Xuezhì¹, DU Menghao¹, LONG Qizhi²

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, China;

2. School of Food Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: Supercritical CO₂ extraction method was used to remove oil and extract tea saponin from oil – tea camellia seed cake. The extraction process was optimized by single factor experiment and response surface methodology. The physicochemical properties and nutritional quality of the extracted oil and characteristics of tea saponin were analyzed. The results showed that the optimal extraction conditions were obtained as follows: extraction temperature 45 ℃, extraction pressure 30 MPa, extraction time 3.5 h and volume fraction of entrainer ethanol 75%. Under the optimal conditions, the extraction rate of tea saponin was 89.21%. The acid value, peroxide value and saponification value of oil extracted by supercritical CO₂ were lower than that extracted by organic solvent, while the contents of α-tocopherol, squalene, β-sitosterol were higher. The surface tension and contact angle of tea saponin extracted by supercritical CO₂ were small, and the foaming ability and emulsifying ability were better.

Key words: oil – tea camellia seed cake; supercritical CO₂ extraction; oil – tea camellia seed oil; quality; tea saponin

收稿日期:2019-12-11;修回日期:2020-01-07

基金项目:浙江省科技重点研发计划(2017C02003);中国林科院亚林所基金重点项目(185003)

作者简介:王 羚(1994),女,在读硕士,研究方向为食品加工与安全(E-mail)Wanglingina@126.com。

通信作者:方学智,高级工程师(E-mail)fxzhn@caf.ac.cn。

截至2018年底,我国油茶籽油年产量近60万t,榨油后产生的油茶饼中含有10%~15%的茶皂素^[1]。茶皂素是一种天然非离子型表面活性剂,有较好的乳化、分散和湿润能力,还具有祛痰、消炎、止咳等作用,可广泛应用于食品、日用化工、医药等行业^[2-3]。

从油茶饼中提取茶皂素的方法有水提法、有机溶剂提取法、超声波辅助提取法、微波辅助提取法、超临界 CO₂ 萃取法等^[4-8]。水提法成本低,经过浓缩干燥产生的水汽可冷凝回收重新利用,无污水处理成本,但周期长、产品纯度低、能耗大,易使淀粉糊化、蛋白质胶体化,后续纯化困难^[5];有机溶剂提取法所使用的甲醇、异丙醇、正丁醇等溶剂存在易挥发、易燃、易爆且有毒有害等不利因素^[4]。超声波辅助提取法、微波辅助提取法、超临界 CO₂ 萃取法等新型环保的提取工艺逐渐被应用。其中超临界 CO₂ 萃取法具有操作简便等特点,受到广泛关注,但目前该方法多用于油茶籽油的提取工艺及品质研究^[9-10],虽然有研究者^[8]开展了超临界萃取油茶饼残油、茶皂素的工艺研究,但鲜有对超临界萃取油茶饼中的残油品质及茶皂素性质开展研究。

本研究应用超临界 CO₂ 萃取油茶饼中残油及茶皂素,并考察其对油脂及茶皂素品质的影响,以期超临界 CO₂ 萃取工艺对油茶饼中油脂及茶皂素的萃取提供理论和技术依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

油茶饼(油茶籽经液压压榨提油后得到),浙江康能食品有限公司;茶皂素标准品,源叶生物科技有限公司;脂肪酸甲酯混合标准品、 β -谷甾醇,上海安谱实验科技股份有限公司;角鲨烯、 α -生育酚,美国 Sigma 公司;甲醇、正己烷、甲基叔丁基醚、四氢呋喃均为色谱纯;其余试剂均为分析纯。

1.1.2 仪器与设备

Spe-edTMSFE-2 型超临界萃取实验装置,环球分析测试仪器有限公司;E-816SOX 索氏萃取仪,瑞士 Buchi 有限公司;LGJ-18C 冷冻干燥机,北京四环科学仪器厂有限公司;GC-2010 plus 气相色谱仪、UV-2550 紫外可见分光光度计,日本 Shimadzu 公司;DSA100 光学接触角形貌联用仪,德国克吕士科学仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 超临界 CO₂ 萃取^[8]

准确称取油茶饼粉 15 g 装填于萃取釜中,在 CO₂ 流量 2 mL/min、萃取压力 30 MPa、萃取釜温度 50 °C、出口温度 110 °C 条件下动态萃取 2 h,直至残油基本萃取完全。

脱油后的油茶饼粉在不同的萃取压力、萃取温度、萃取时间、夹带剂(乙醇)体积分数条件下进行单因素实验,考察各因素对茶皂素萃取率的影响。

根据单因素实验结果进行响应面实验。

1.2.2 有机溶剂提取

取 200 g 油茶饼粉于三口烧瓶,加入 400 mL 石油醚,于 60 °C 水浴锅中浸提 1 h,提取两次后抽滤,旋蒸得油茶籽油。固相挥干后使用 80% 乙醇浸提 1 h,提取两次后旋蒸得茶皂素^[11-12]。

1.2.3 茶皂素含量的测定

参照文献^[13]采用香草醛-浓硫酸比色法对茶皂素含量进行测定。线性回归方程为 $y = 0.2707x + 0.0982$, $R^2 = 0.997$ 。

茶皂素萃取率 = 超临界萃取茶皂素含量/油茶饼中茶皂素含量 $\times 100\%$

1.2.4 油茶籽油的品质分析

酸价的测定参考 GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》;过氧化值的测定参考 GB 5009.227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》;皂化值的测定参考 GB/T 5534—2008《动植物油脂 皂化值的测定》;脂肪酸的测定参考 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》;生育酚的测定参考 GB 5009.82—2016《食品安全国家标准 食品中维生素 A、D、E 的测定》;角鲨烯、甾醇的测定参考文献^[14]。

1.2.5 茶皂素理化性质的测定

表面张力使用 DSA100 光学接触角形貌联用仪采用悬滴法进行测定^[15];接触角通过 DSA100 光学接触角形貌联用仪采用座滴法进行测定;起泡性及泡沫稳定性参考文献^[16]进行测定;乳化性参考文献^[17]采用搅动法进行测定。

1.2.6 数据处理

所有数据采用 Microsoft Excel 2016 和 SPSS 22.0 软件进行统计分析,响应面优化采用 Design-Expert 8.0.6 分析处理。

2 结果与分析

2.1 超临界 CO₂ 萃取条件对茶皂素萃取率的影响

2.1.1 单因素实验

2.1.1.1 萃取温度对茶皂素萃取率的影响

按照 1.2.1 方法在萃取时间 3 h、CO₂ 流量 2 mL/min、出口温度 110 °C、萃取压力 30 MPa、夹带剂体积分数 65% 的条件下进行实验,考察萃取温度对茶皂素萃取率的影响,结果见图 1。

由图 1 可知,在 35 ~ 55 °C 的范围内,茶皂素萃取率先上升后下降,在 50 °C 时萃取率最高。萃取温度会影响扩散系数和传质系数,当温度升高,溶质的萃取率也会增加,茶皂素的溶解度随温度的升高而

增大^[18-19]。在55℃时茶皂素萃取率下降是由于温度持续升高会使得茶皂素结构遭破坏被降解。因此,选择50℃为茶皂素的最佳萃取温度。

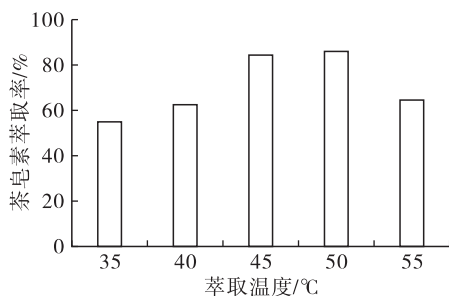


图1 不同萃取温度对茶皂素萃取率的影响

2.1.1.2 萃取压力对茶皂素萃取率的影响

按照1.2.1方法在萃取温度50℃、萃取时间3 h、CO₂流量2 mL/min、出口温度110℃、夹带剂体积分数65%的条件下进行实验,考察萃取压力对茶皂素萃取率的影响,结果见图2。

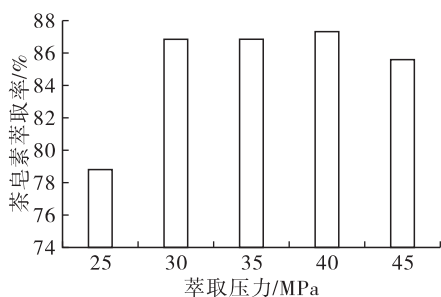


图2 不同萃取压力对茶皂素萃取率的影响

由图2可知,在萃取压力25~40 MPa范围内,茶皂素萃取率随萃取压力的增加而升高,在40 MPa时茶皂素萃取率最高,在45 MPa时茶皂素萃取率略有下降。当温度不变,压力升高会使流体密度增加,从而使茶皂素溶解能力增大^[20]。考虑到仪器承受能力,压力不宜过高。因此,较佳萃取压力为40 MPa。

2.1.1.3 萃取时间对茶皂素萃取率的影响

按照1.2.1方法在萃取温度50℃、CO₂流量2 mL/min、出口温度110℃、萃取压力30 MPa、夹带剂体积分数65%的条件下进行实验,考察萃取时间对茶皂素萃取率的影响,结果见图3。

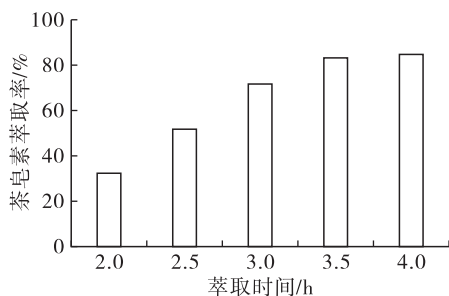


图3 不同萃取时间对茶皂素萃取率的影响

由图3可知,随着萃取时间的延长,茶皂素萃取率不断增加,2~3.5 h之间增幅较大,而3.5~4 h之间变化趋于平缓。有文献^[21]报道,萃取初期超临界CO₂与溶质接触不充分,随着萃取时间延长,传质良好,使得大部分茶皂素被溶出,达到最大值。综合考虑,3.5 h为最佳萃取时间。

2.1.1.4 夹带剂体积分数对茶皂素萃取率的影响

本实验选用不同体积分数的乙醇作夹带剂,按照1.2.1方法在萃取温度50℃、萃取时间3 h、CO₂流量2 mL/min、出口温度110℃、萃取压力30 MPa的条件下进行实验,考察夹带剂体积分数对茶皂素萃取率的影响,结果见图4。

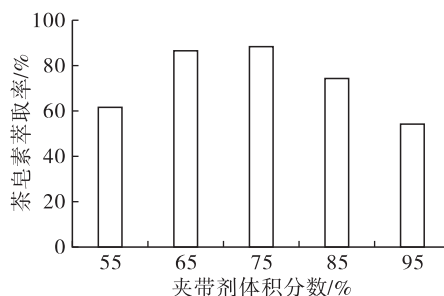


图4 不同夹带剂体积分数对茶皂素萃取率的影响

由图4可知,夹带剂体积分数对萃取率影响较大,随着夹带剂体积分数的升高,茶皂素萃取率先升高后降低。茶皂素可溶于含水乙醇,而不溶于无水乙醇,有文献^[22]指出溶剂中含水量高会导致大量水溶性杂质,如蛋白质、糖等溶出。而乙醇体积分数的升高则会引起茶皂素中的杂质凝固,导致茶皂素溶出被抑制^[2]。在本实验中乙醇体积分数为65%和75%时的茶皂素萃取率较高。

2.1.2 响应面实验

2.1.2.1 响应面实验设计及结果

在单因素实验的基础上,选取萃取温度(X_1)、萃取压力(X_2)、萃取时间(X_3)、夹带剂体积分数(X_4)为自变量,茶皂素萃取率(Y)为响应值,采用Box-Behnken进行响应面实验。响应面实验因素水平见表1,响应面实验设计及结果见表2,方差分析见表3。

表1 响应面实验因素水平

水平	萃取温度/℃	萃取压力/MPa	萃取时间/h	夹带剂体积分数/%
-1	40	25	3.0	65
0	45	30	3.5	75
1	50	35	4.0	85

表2 响应面实验设计及结果

实验号	X_1	X_2	X_3	X_4	$Y/\%$
1	-1	0	0	-1	81.50
2	0	-1	-1	0	75.10
3	0	0	0	0	88.11
4	-1	0	1	0	78.33
5	-1	-1	0	0	73.61
6	0	0	0	0	89.24
7	0	0	0	0	89.91
8	0	0	0	0	89.96
9	0	0	1	1	80.07
10	0	-1	1	0	74.43
11	0	1	1	0	84.11
12	1	-1	0	0	75.92
13	0	1	0	-1	82.68
14	1	0	1	0	81.29
15	0	0	0	0	89.77
16	1	0	-1	0	84.41
17	0	-1	0	1	72.99
18	-1	1	0	0	80.58
19	0	1	0	1	83.04
20	-1	0	-1	0	79.66
21	0	0	-1	1	78.17
22	1	0	0	-1	82.28
23	0	0	-1	-1	85.96
24	-1	0	0	1	75.76
25	0	1	-1	0	82.83
26	0	0	1	-1	86.22
27	1	0	0	1	79.20
28	0	-1	0	-1	77.50
29	1	1	0	0	88.05

通过 Design - Expert 8.0.6 软件对表 2 中 29 个实验点的响应值进行多元回归拟合,得到茶皂素萃取率与萃取温度、萃取压力、萃取时间、夹带剂体积分数的二次多项回归方程: $Y = 89.40 + 1.81X_1 + 4.31X_2 - 0.14X_3 - 2.24X_4 + 1.29X_1X_2 - 0.45X_1X_3 + 0.67X_1X_4 + 0.49X_2X_3 + 1.22X_2X_4 + 0.41X_3X_4 - 4.78X_1^2 - 6.00X_2^2 - 3.53X_3^2 - 4.18X_4^2$ 。

模型可信度分析表明,回归模型的 R^2 大于 0.95,表明预测值与实验结果有良好的拟合度;校正相关系数 R_{Adj}^2 为 0.906 3,表明实验中 90.63% 的数据可被该模型预测。由表 3 可知,模型的 P 小于 0.01,表明回归模型极显著。失拟项的 P 为 0.050 9,大于 0.05,不显著,表明模型合理,即该模型可用于实验预测。

表3 方差分析

来源	平方和	自由度	均方	F	P
模型	719.81	14	51.42	19.07	<0.000 1**
X_1	39.26	1	39.26	14.56	0.001 9**
X_2	223.20	1	223.20	82.78	<0.000 1**
X_3	0.23	1	0.23	0.09	0.772 6
X_4	60.37	1	60.37	22.39	0.000 3**
X_1X_2	6.66	1	6.66	2.47	0.138 2
X_1X_3	0.80	1	0.80	0.30	0.594 6
X_1X_4	1.77	1	1.77	0.66	0.431 3
X_2X_3	0.95	1	0.95	0.35	0.561 6
X_2X_4	5.94	1	5.94	2.20	0.159 9
X_3X_4	0.67	1	0.67	0.25	0.625 9
X_1^2	148.17	1	148.17	54.95	<0.000 1**
X_2^2	233.24	1	233.24	86.50	<0.000 1**
X_3^2	80.86	1	80.86	29.99	<0.000 1**
X_4^2	113.35	1	113.35	42.04	<0.000 1**
残差	37.75	14	2.70		
失拟项	35.35	10	3.54	5.91	0.050 9
误差项	2.39	4	0.60		
总和	757.56	28			

注: ** 表示极显著($P < 0.01$); * 表示显著($P < 0.05$)。

2.1.2.2 响应面的分析与优化

由表 3 可以看出,萃取压力(X_2)对茶皂素萃取率的影响最显著,夹带剂体积分数(X_4)、萃取温度(X_1)次之,萃取时间影响较小。通过响应面分析得到优化的茶皂素提取工艺条件为:萃取温度 45℃,萃取压力 30 MPa,萃取时间 3.5 h,夹带剂体积分数 75%。在优化工艺条件下茶皂素萃取率的预测值为 89.40%。

2.1.2.3 验证实验

在优化工艺条件下进行 3 次平行验证实验,得到茶皂素萃取率平均值为 89.21%,与模型预测值 89.40% 结果相近。

2.2 超临界萃取油茶籽油品质

2.2.1 油茶籽油的理化及营养指标(见表 4)

表4 超临界 CO₂ 萃取法与有机溶剂提取法的油茶籽油品质对比

项目	超临界 CO ₂ 萃取油	石油醚提取油
酸价(KOH)/(mg/g)	1.19 ± 0.07	3.18 ± 0.09
过氧化值/(g/100 g)	0.06 ± 0.06	0.09 ± 0.14
皂化值(KOH)/(mg/g)	202.66 ± 0.09	226.07 ± 0.17
α -生育酚含量/(mg/g)	0.19 ± 0.45	0.14 ± 0.31
角鲨烯含量/(mg/100 g)	26.43 ± 0.40	25.11 ± 0.62
β -谷甾醇含量/(mg/100 g)	22.34 ± 0.21	16.15 ± 0.37

由表 4 可知,超临界 CO₂ 萃取油的酸价和过氧

化值均达到 GB/T 11765—2018 规定的成品油茶籽油二级标准,而石油醚提取油的酸价超过规定范围。与有机溶剂提取法相比,超临界 CO₂ 萃取油酸价、过氧化值和皂化值都较低,α-生育酚、角鲨烯和β-谷甾醇的含量较高,色泽也更清亮。

2.2.2 油茶籽油的脂肪酸组成及含量(见表5)

表5 超临界 CO₂ 萃取法与有机溶剂提取法的

油茶籽油脂肪酸组成及含量 %		
脂肪酸	超临界 CO ₂ 萃取油	石油醚提取油
C16:0	8.44 ± 0.03	8.47 ± 0.04
C16:1	0.06 ± 0.01	0.06 ± 0.02
C18:0	1.23 ± 0.02	1.41 ± 0.02
C18:1	78.66 ± 0.08	80.15 ± 0.16
C18:2	10.82 ± 0.02	9.21 ± 0.02
C18:3	0.33 ± 0.01	0.25 ± 0.02
C20:0	0.44 ± 0.01	0.41 ± 0.13
C20:1	0.01 ± 0.01	0.03 ± 0.003

由表5可知,油茶籽油中主要脂肪酸为棕榈酸、硬脂酸、油酸和亚油酸,含量由大到小分别为油酸 > 亚油酸 > 棕榈酸 > 硬脂酸。不饱和脂肪酸中亚麻酸和亚油酸是人体自身无法合成的,必须从外界摄入^[23]。两种方法提取的油茶籽油中不饱和脂肪酸含量都非常高,分别为 89.88%、89.70%,其中超临界 CO₂ 萃取油的多不饱和脂肪酸含量(11.15%)高于有机溶剂提取油(9.46%)的。油茶籽油中油酸含量最高,其含量多少直接影响油茶籽油的品质^[24]。两种方法提取的油茶籽油的油酸含量都在 80% 左右,有机溶剂提取油的油酸含量(80.15%)较高,总体来看,两种方法提取油茶籽油的脂肪酸含量差别较小。

2.3 茶皂素性质

2.3.1 表面张力(见图5)

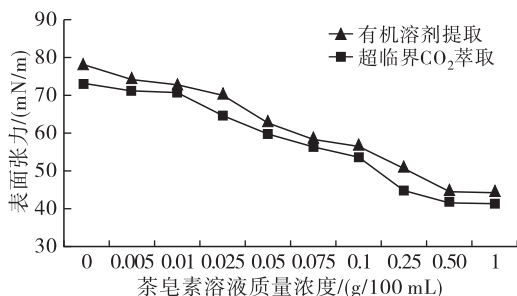


图5 不同质量浓度茶皂素溶液的表面张力

茶皂素是一种天然表面活性剂,表面张力是表面活性剂的重要参数。由图5可知,随着茶皂素溶液质量浓度的增加,其表面张力不断降低。整体来看,用超临界 CO₂ 萃取的茶皂素降低水溶液表面张力的能力比有机溶剂提取法的要好一些。有机溶剂

提取法得到的茶皂素质量浓度为 0.5 g/100 mL 时,其表面张力降到最低,此时的茶皂素溶液质量浓度即为临界胶束浓度。而超临界 CO₂ 萃取得到的茶皂素溶液的表面张力还在下降,其临界胶束浓度比有机溶剂提取法的低。

2.3.2 接触角(见图6)

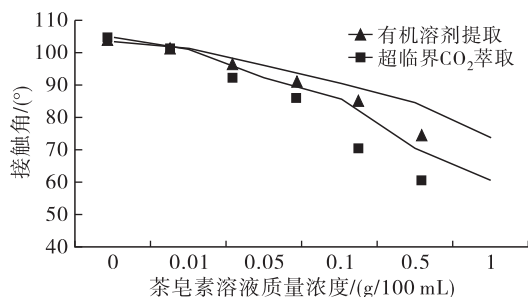


图6 不同质量浓度茶皂素溶液在石蜡板上的接触角

接触角用于表示液固界面湿润程度的指标,若接触角大于 180°,则表示完全不湿润,大于 90°则表示不湿润,小于 90°说明固体被液体湿润或部分湿润。由图6可知,水的接触角为 104°,不湿润,而茶皂素能显著降低液体的接触角,且接触角随茶皂素溶液质量浓度的增加而不断降低。不同方法所得茶皂素的湿润性不同,随着茶皂素溶液质量浓度增大,超临界 CO₂ 萃取的茶皂素溶液-石蜡界面的接触角下降较快,当茶皂素溶液质量浓度为 1 g/100 mL 时,超临界 CO₂ 萃取的茶皂素溶液-石蜡界面的接触角为 60.61°,而有机溶剂提取法的为 73.63°,表明超临界 CO₂ 萃取的茶皂素湿润性优于有机溶剂提取法的。

2.3.3 起泡性及乳化性(见表6)

起泡性是检验表面活性剂的一个重要指标,而泡沫稳定性是泡沫最重要的一个性质,泡沫稳定性越好,其在不同领域中的应用范围越广。

表6 不同提取方法的茶皂素的起泡性及乳化性

提取方法	起泡性		乳化性
	0 min 泡沫 体积/mL	5 min 泡沫 体积/mL	分水 体积/mL
超临界 CO ₂ 萃取法	51 ± 0.02	44 ± 0.01	12 ± 0.01
有机溶剂提取法	45 ± 0.01	39 ± 0.04	14 ± 0.02

注:茶皂素溶液的质量分数为 0.1%。

茶皂素的起泡力强,经振荡后能产生大量泡沫。实验以 0.1% 的茶皂素水溶液进行对比观察。由表6可知,超临界 CO₂ 萃取的茶皂素的泡沫体积为 51 mL,比有机溶剂提取法的多 6 mL,其起泡性明显较好。从静置 5 min 后的泡沫体积来看,两者泡沫都下降约 13%,差别不大,泡沫稳定性相当。

乳化性即对固体微粒的分散作用,常用石蜡检测其乳化能力。由表6可知,两种方法得到的茶皂素的乳化能力相近,与传统方法相比,超临界CO₂萃取的茶皂素乳化能力稍好一点。

3 结论

通过单因素实验和响应面实验对超临界CO₂萃取茶皂素的工艺进行优化,确定最佳工艺条件为:萃取温度45℃,萃取压力30 MPa,萃取时间3.5 h,夹带剂(乙醇)体积分数75%。在最佳条件下茶皂素萃取率为89.21%。

与有机溶剂提取法相比,超临界CO₂萃取得到的残油理化性质较好、营养成分更为充分,其酸价、过氧化值和皂化值相比有机溶剂提取油相对较低, α -生育酚、角鲨烯和 β -谷甾醇含量较高。

超临界CO₂萃取的茶皂素与有机溶剂提取法的相比,其表面张力和湿润性更好,起泡性和乳化性也较好,可产生大量泡沫,泡沫稳定性两者相当。

参考文献:

- [1] 李梦丹,杨伊磊,陈力力,等. 油茶籽粕的综合利用[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(1): 11-14.
- [2] 熊拯,陈敏娥,韦思庆. 油茶籽粕中茶皂素和蛋白质同时提取工艺研究[J]. 食品科技, 2012, 37(7): 182-185.
- [3] WU H, LI C Z, LI Z M, et al. Simultaneous extraction of oil and tea saponin from *Camellia oleifera* Abel. seeds under subcritical water conditions[J]. Fuel Process Technol, 2018, 174: 88-94.
- [4] 尤龙,李曰鹏,黄平,等. 国内茶皂素的提取工艺研究进展[J]. 山东化工, 2018, 47(7): 58-59.
- [5] 史高峰,汪虎. 茶皂素提取纯化工艺和含量测定研究进展[J]. 粮油加工, 2010(9): 37-41.
- [6] 李祥,王兰,曹万新,等. 超声波辅助乙醇提取茶皂素工艺优化[J]. 中国油脂, 2011, 36(11): 64-67.
- [7] HE J, WU Z Y, ZHANG S, et al. Optimization of microwave-assisted extraction of tea saponin and its application on cleaning of historic silks [J]. J Surfact Deterg, 2014, 17: 919-928.
- [8] 吕晓玲,李肇奖. CO₂超临界萃取油茶皂苷的研究[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(1): 23-26.
- [9] 聂明,杨水平,姚小华,等. 不同加工方式对油茶籽油理化性质及营养成分的影响[J]. 林业科学研究, 2010, 23(2): 165-169.
- [10] 许嘉仰,钟海雁,刘宁露,等. 焙烤条件对超临界CO₂萃取油茶籽油品质的影响[J]. 中国油脂, 2010, 35(6): 13-15.
- [11] 胡平平,李忠海,李加兴,等. 油茶压榨饼粕残油浸提工艺优化[J]. 食品与机械, 2011, 27(5): 182-184.
- [12] 王金元,费学谦. 油茶皂素的提取及纯化新方法[J]. 食品工业科技, 2012, 33(4): 274-277.
- [13] 陈莹,刘松柏,何良兴,等. 油茶籽粕和茶皂素中皂苷的定量检测方法研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(2): 105-111.
- [14] 张青龄. 橄榄油中角鲨烯含量的气相色谱/质谱法分析[J]. 福建分析测试, 2011, 20(3): 1-4.
- [15] 张贵才,张旋,马立华,等. 烷基季铵盐体系泡沫性能与表面性质研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2015, 39(1): 157-162.
- [16] 解庆范,李元明,陈仕芳. 粗茶皂素的制备、纯化及其表面活性研究[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(4): 206-208.
- [17] 陈莹. 油茶籽粕皂素的提取纯化及表面活性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [18] 戚晓阳,张颂培. 超声-水浸提茶皂素及茶皂素水溶液应用研究[J]. 食品科学技术学报, 2014, 32(1): 59-64.
- [19] 高洁,王勇,董文宾,等. 响应面法优化超临界CO₂提取大豆胚芽油工艺研究[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(2): 53-56.
- [20] 李振梅,黎继烈,肖志红,等. 响应面法优化亚临界水同步提取茶籽油及茶皂素的工艺[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(9): 81-87.
- [21] 王昌涛,张萍,董银卯. 超临界CO₂提取牡丹籽油的工艺以及成分分析[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(8): 104-107, 115.
- [22] 史高峰,汪虎,花蕊芬,等. 乙醇-氨水浸提法提取油茶饼粕中茶皂素的工艺研究[J]. 现代化工, 2011, 31(4): 37-40.
- [23] 陈福民. 山桐子脂肪酸提取与成分分析[D]. 西安: 陕西师范大学, 2009.
- [24] 罗凡,费学谦,郭少海,等. 油茶果采收及干燥方式对油茶籽油品质的影响[J]. 中国油脂, 2015, 40(11): 69-73.