

文章编号:2095-7386(2020)06-0023-06

DOI:10.3969/j.issn.2095-7386.2020.06.004

油茶籽粕抗氧化物质的超声辅助浸提与应用

徐亚伟,贺芷菲,魏凌峰,易 阳

(武汉轻工大学 食品科学与工程学院,湖北 武汉 430023)

摘 要:优化油茶籽粕中抗氧化物质的超声辅助浸提工艺,并考察提取物的抗油脂氧化效果。以 FRAP 抗氧化能力和 DPPH 自由基清除率为指标,在单因素试验的基础上,选择乙醇浓度、浸提温度和时间建立三因素三水平的响应面试验,优化油茶籽粕抗氧化物质的超声辅助浸提工艺参数为:料液比 1:15(g/mL)、乙醇浓度 80%、浸提温度 70 ℃、浸提时间 60 min。在此条件下,提取液的 FRAP 抗氧化能力和 DPPH 自由基清除率的实际值分别达 0.421 mmol/L 和 88.72%,而理论预测值分别为 0.488 mmol/L 和 87.65%。提取液浓缩干燥后,以 0.008%、0.020% 和 0.050% 的质量浓度加入食用油中,在加速氧化过程中油菜籽粕提取物表现出一定的抗氧化效果,且提取物和 BHT 在 0.020% 浓度下对油脂酸价增加的抑制作用相当。因此,油茶籽粕是食用油天然抗氧化剂开发的优质资源。

关键词:油茶籽粕;抗氧化;超声辅助提取;响应面法

中图分类号:TS201.4

文献标识码:A

Ultrasonic assisted extraction and application of antioxidants in camellia oilseed meal

XU Ya-wei, HE Zhi-fei, WEI Ling-feng, YI Yang

(School of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

Abstract: The ultrasonic assisted extraction technology of antioxidants in *Camellia oleifera* seed meal was optimized, while the antioxidative effect of the extract in edible oil was investigated. According to the results of single-factor test, ethanol concentration, extraction temperature and extraction time were selected to establish the three-factor three-level response surface models, using the FRAP antioxidant ability and DPPH free radical scavenging rate of extract as dependent variable. The optimized parameters of ultrasonic assisted extraction were as follows: material-liquid ratio 1:15(g/mL), ethanol concentration 80%, extraction temperature 70 ℃, and extraction time 60 min. Under these conditions, the actual values of FRAP antioxidant ability and DPPH free radical scavenging rate of the extract reached 0.421 mmol/L and 88.72%, and the theoretically predicted values were 0.488 and 87.65%, respectively. The extract was further prepared by vacuum concentration and drying, and was added into edible oil at the concentration of 0.008%, 0.020% and 0.050%. The extract supplementation showed antioxidant effects during the accelerated oxidation process of the oil, especially the inhibition effects of extract and BHT on the increase

收稿日期:2020-09-16.

作者简介:徐亚伟(1998-),男,本科生,E-mail:2295920712@qq.com.

通信作者:易阳(1986-),男,副教授,主要研究方向为食品营养,E-mail:yy86@whpu.edu.cn.

基金项目:武汉轻工大学大学生创新训练项目(202010496001).

of acid value at 0.020% concentration were comparable. *Camellia oleifera* seed meal is a high-quality resource for the development of natural antioxidants in edible oil.

Key words: camellia seed meal; antioxidation; ultrasonic assisted extraction; response surface method

1 引言

油茶(*Camellia oleifera* Abel.)为山茶科山茶属小乔木,是世界四大木本食用油料植物之一,在我国主要分布于浙江、江西、湖南和河南等省^[1]。油茶籽粕是油茶籽榨油后的副产物,据统计,我国油茶籽年产量约为263万t^[2],提油后的油茶籽粕年均产量可达100万t左右。油茶籽粕的资源极其丰富,目前的加工利用主要集中在生产有机肥料、动物饲料、活性炭等^[3,4],存在加工水平较低、综合利用不足、市场竞争力薄弱等问题。研究表明,油茶籽粕富含原花青素、茶皂素、多糖、多酚、糖萜素、黄酮、蛋白等活性成分,具有抗氧化、抗癌、抗菌、抗病毒、免疫调节等生理功能^[5-7],但对于其活性成分的开发利用较为有限。

研究发现,油茶籽粕中具有抗氧化作用的成分主要为茶皂素、多糖、多酚、黄酮和蛋白^[8-13]。有学者针对不同的油茶籽粕抗氧化成分采用超声波辅助酶法^[14]、超声波辅助乙醇提取法^[15]和乙酸乙酯萃取法^[16]进行提取,因为方法和萃取剂的选择不同,抗氧化能力也有一定的差别。油茶籽粕中抗氧化物质种类多样,具有良好的开发利用前景。但目前油茶籽粕抗氧化成分的提取仅局限于其中的一种或两种,针对复合抗氧化成分的提取制备尚鲜见报道。

本文采用单因素试验和Box-Behnken中心组合试验,以浸提液的FRAP抗氧化能力及DPPH自由基清除率为指标,优化油茶籽粕抗氧化物质的超声辅助提取工艺,并考察提取物的抗油脂氧化效果,旨为油茶籽粕的综合利用提供参考。

2 材料与方法

2.1 材料、试剂及仪器

油茶籽粕,由湖北人人爱油脂有限公司提供;葵花籽油,购于武汉市常青花园武商量贩超市。

DPPH(1,1-二苯基-2-三硝基苯肼):美国Sigma公司;BHT:美国Sigma公司;三吡啶三吡嗪(TPTZ)、无水乙醇、冰乙酸、醋酸钠、三氯化铁、盐酸等均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

TGL-16A医用离心机:长沙平凡仪器仪表有限公司;SB-5200型超声清洗器:宁波新芝生物科

技股份有限公司;GZX-9140MBE型数显鼓风干燥箱:上海博讯实业有限公司医疗设备厂;UV-1800型紫外-可见分光光度计:日本岛津有限公司;精密电子天平:美国Ohaus公司;RE-200A型旋转蒸发器:上海亚荣生化仪器厂。

2.2 油茶籽粕抗氧化物质的超声辅助浸提工艺

称取2.0g油茶籽粕于50mL离心管中,加入一定量的提取溶剂,在恒定超声条件下水浴浸提,浸提结束后,补加提取液至总体积45mL,以8000r/min的转速,离心10min,分离上清液,并测定其抗氧化活性。

2.2.1 单因素试验

(1)料液比:以60%乙醇为浸提溶剂,在50℃水浴中浸提60min,考察不同料液比1:09、1:12、1:15、1:18、1:21(g/mL)对提取液抗氧化活性的影响。

(2)浸提溶剂:以料液比1:15(g/mL),在50℃水浴中浸提60min,考察不同乙醇体积浓度20%、40%、60%、80%、100%对提取液抗氧化活性的影响。

(3)浸提时间:以乙醇体积浓度60%和料液比1:15(g/mL),在50℃水浴中浸提40、60、80、100、120min,考察不同浸提时间对提取液抗氧化活性的影响。

(4)浸提温度:以乙醇体积浓度60%和料液比1:15(g/mL),在40、50、60、70、80℃水浴中浸提60min,考察不同浸提温度对提取液抗氧化活性的影响。

2.2.2 响应面试验

在单因素试验的基础之上,设计三因素三水平的响应面试验,因素及水平如表1所示。

表1 响应面试验因素与水平

因素	代码	水平		
		-1	0	1
乙醇浓度(%)	A	40	60	80
温度(℃)	B	70	80	90
时间(min)	C	20	40	60

2.3 烘箱加速氧化实验

采用料液比1:15(g/mL)、乙醇体积浓度80%、浸提温度70℃和浸提时间60min,提取油茶籽粕抗

氧化物质,在 60 ℃ 下真空浓缩和干燥,并经研磨成粉状后使用。称取样粉溶解于 5 mL 无水乙醇中,并以终浓度为 0.008%、0.020% 和 0.050% 加入 100g 葵花籽油中,充分混匀。每组设计 3 个平行样,并以无水乙醇和 0.020% BHT 分别作为空白对照和阳性对照。将配制好的油样置于 60 ℃ 烘箱中避光保存 7 d,间隔 24 h 测定食用油的酸价和过氧化值。

2.4 检测方法

(1) FRAP 抗氧化能力测定:参考文献^[17]略作修改。取油茶籽粕提取液 1 mL,用超纯水稀释 10 倍,取 100 μ L 稀释液加入到 3 mL FRAP 反应液中,在 37 ℃ 恒温 10 min 后用分光光度计在 593 nm 波长下测定吸光度,空白调零液为 100 μ L 超纯水与 3 mL FRAP 反应液(37 ℃ 恒温 10 min),并以 0、0.3、0.6、0.9、1.2 和 1.5 mmol/L 的 FeSO_4 溶液建立标准曲线方程。FRAP 抗氧化能力以 FeSO_4 当量 (mmol/L) 表示。

(2) DPPH 自由基清除能力测定:参考文献^[18]略作修改。取油茶籽粕提取液 1 mL,用无水乙醇稀释 50 倍。取 2 mL 稀释液与 2 mL 的 0.2 mmol/L 的 DPPH 溶液充分混匀,在室温避光条件下保存 20 min,于波长 517 nm 处测定吸光度,以无水乙醇作为参比液。

$$\text{DPPH 自由基清除率}(\%) = [(1 - (A_i - A_j)) / A_c] \times 100\% \quad (1)$$

式中 A_i 为 DPPH + 样品液的吸光度, A_c 为 DPPH + 无水乙醇的吸光度, A_j 为样品液 + 无水乙醇的吸光度。

(3) 过氧化值和酸价的测定:过氧化值参照 GB 5009.227-2016 中电位滴定法测定^[19],酸价参照 GB 5009.229-2016 热乙醇指示剂滴定法测定^[20]。

2.5 数据处理

实验结果以平均值 $\pm$ 标准偏差表示。组间数据比较采用 SPSS 17.0 软件进行 SNK 检验,显著性水平为 $p < 0.05$,并以不同大写或小写英文字母表示组间差异。响应面试验设计和回归分析由 Desin - Expert 7.0 软件完成。

3 结果与分析

3.1 单因素试验结果

3.1.1 料液比对提取液抗氧化能力的影响

由图 1 可知,在料液比 (g/mL) 1:12 ~ 1:21 范围内,油茶籽粕提取液的 FRAP 抗氧化能力无显著变

化 ($p > 0.05$),但均较料液比 1:9 时略高。而 DPPH 自由基清除率在料液比 1:12 ~ 1:18 范围内无显著变化 ($p > 0.05$),但都显著高于料液比 1:21 时的清除率 ($p < 0.05$)。分析原因可能是液料比比值增大,扩大了样品与溶剂的接触面积,加快了整个溶媒的传质过程,使油茶籽粕抗氧化成分的提取增加。但当料液比大到一定程度时,溶剂对油茶籽粕抗氧化成分的提取达到平衡,继续增加料液比,杂质成分会竞争溶出而不利于抗氧化成分的提取^[21],所以料液比超过 1:15 后抗氧化效果减弱。综上,油茶籽粕提取液在料液比 1:12 ~ 1:18 范围的抗氧化能力无显著差异,但在料液比 1:15 时相对较强,故确定适宜的料液比为 1:15。

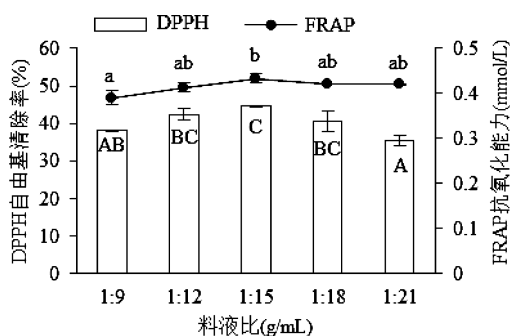


图 1 料液比对油茶籽粕提取液抗氧化能力的影响

3.1.2 乙醇浓度对提取液抗氧化能力的影响

由图 2 可知,随着乙醇浓度的增加,油茶籽粕提取液的 DPPH 自由基清除率和 FRAP 抗氧化能力均先增后减,且变化规律一致:在 60% 乙醇浓度时获得最强的抗氧化能力 ($p < 0.05$),而无水乙醇浸提时的抗氧化能力最低 ($p < 0.05$)。根据相似相溶原理,极性相似的两物质互溶度大。不同的乙醇浓度极性不同,而油茶籽粕的抗氧化成分极性中等^[22],在乙醇浓度过高过低时,对油茶籽粕抗氧化成分的提取较少,抗氧化能力较低。因此,将乙醇浓度优化范围定为 40% ~ 80%。

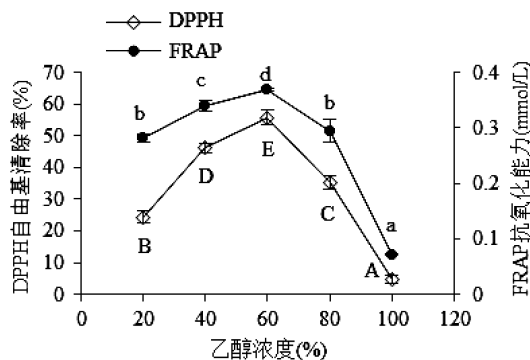


图 2 乙醇浓度对油茶籽粕提取液抗氧化能力的影响

3.1.3 浸提时间对提取液抗氧化能力的影响

由图 3 可知,浸提时间对茶籽粕提取液的 FRAP 抗氧化能力无显著影响($p > 0.05$)。而 DPPH 自由基清除率在 60 ~ 120 min 内也无显著差异($p > 0.05$),但与 40 min 相比略低。由此表明,油茶籽粕抗氧化物质在 40 min 后已基本溶出。为了降低浸提能耗并尽量缩短浸提时间,浸提时间优化范围定为 20 ~ 60 min。

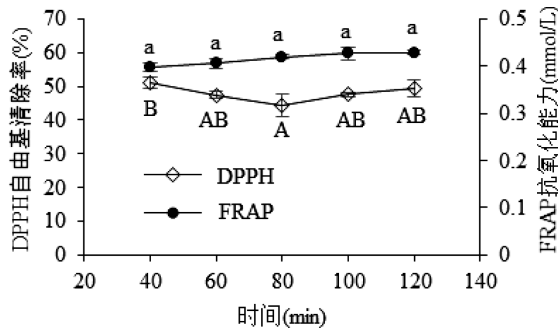


图 3 浸提时间对油茶籽粕提取液抗氧化能力的影响

3.1.4 浸提温度对提取液抗氧化能力的影响

由图 4 可知,随着温度的增加,油茶籽粕提取液的抗氧化能力呈上升趋势。在浸提温度由 50 ℃ 增至 60 ℃,以及由 70 ℃ 增至 80 ℃ 时,提取液的 FRAP 抗氧化能力增加显著($p < 0.05$)。在 40 ~ 70 ℃ 范围内,提取液的 DPPH 自由基清除率无显著变化($p > 0.05$),但均显著低于 80 ℃ 时的提取液($p < 0.05$)。表明随着温度的升高,油茶籽粕的抗氧化能力逐渐加强,可能与抗氧化成分的溶出效率提升有关。此外,温度增加亦可能加速油茶籽粕提取液的美拉德反应,生成具有抗氧化作用的类黑精产物^[23]。为了最大程度获得抗氧化物质,将浸提温度优化范围定为 70 ~ 90 ℃。

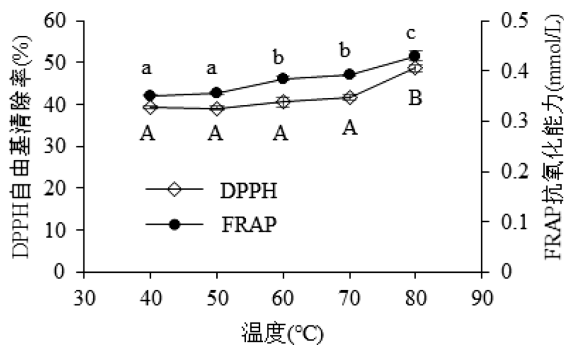


图 4 浸提温度对油茶籽粕提取液抗氧化能力的影响

3.2 响应面试验结果与验证

响应面试验设计与结果如表 2 所示。以油茶籽

粕提取液的 FRAP 抗氧化能力 Y_1 和 DPPH 自由基清除率 Y_2 为响应值,分别建立 3 因素的二次多项回归模型为:

表 2 响应面试验设计与结果

试验号	A	B	C	FRAP	DPPH
				抗氧化能力 Y_1 (mmol/L)	自由基清除率 Y_2 (%)
1	0	0	0	0.457	74.253
2	0	0	0	0.461	74.160
3	-1	-1	0	0.439	80.603
4	-1	0	1	0.467	80.470
5	0	1	-1	0.450	83.125
6	-1	0	-1	0.463	81.617
7	0	-1	1	0.477	83.220
8	1	-1	0	0.384	80.503
9	0	0	0	0.489	74.160
10	0	1	1	0.438	82.530
11	-1	1	0	0.408	82.580
12	0	0	0	0.473	77.037
13	1	1	0	0.355	81.157
14	0	-1	-1	0.411	84.103
15	1	0	1	0.375	85.513
16	1	0	-1	0.355	83.187
17	0	0	0	0.442	75.630

$$Y_1 = 0.464 - 0.039A - 7.417 \times 10^{-3}B + 9.667 \times 10^{-3}C + 5.000 \times 10^{-4}AB + 3.833 \times 10^{-3}AC - 0.020BC - 0.048A^2 - 0.019B^2 - 8.000 \times 10^{-4}C^2 \quad (2)$$

$$Y_2 = 75.048 + 0.636A + 0.120B - 0.037C - 0.331AB + 0.868AC + 0.072BC + 2.807A^2 + 3.355B^2 + 4.841C^2 \quad (3)$$

方差分析结果由表 3 可知,两个回归模型都达到极显著水平($p < 0.01$),失拟项均不显著($p > 0.05$),模型 Y_1 和 Y_2 的 R^2 值分别为 90.39% 和 91.96%,拟合程度较好。逐项显著性检验结果显示:一次项 A、二次项 A^2 对 Y_1 有极显著影响($p < 0.01$),二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 对 Y_2 有极显著影响($p < 0.01$)。各因素对油茶籽粕提取液 FRAP 抗氧化能力的影响程度为乙醇浓度 > 浸提时间 > 浸提温度,而对 DPPH 自由基清除率的影响程度为乙醇浓度 > 浸提温度 > 浸提时间。

表 3 二次回归方程模型方差分析

方差来源	自由度	平方和/ $\times 10^{-4}$		F 值		P 值	
		Y_1	Y_2	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2
模型	9	266.60	205.64	7.32	8.900	0.007 8	0.004 4
A	1	119.09	3.239	29.41	1.261	0.001 0	0.298 4
B	1	4.40	0.116	1.09	0.045	0.331 8	0.838 0
C	1	7.48	0.011	1.85	0.004	0.216 4	0.949 4
AB	1	0.01	0.438	0.002	0.171	0.961 8	0.692 0
AC	1	0.59	3.016	0.15	1.175	0.741 5	0.314 3
BC	1	15.47	0.021	3.82	0.008	0.091 5	0.930 8
A^2	1	98.23	33.187	24.26	12.927	0.001 7	0.008 8
B^2	1	15.96	47.404	3.94	18.465	0.087 5	0.003 6
C^2	1	0.03	98.683	0.007	38.440	0.937 3	0.000 4
残差	7	28.34	17.971				
失拟项	3	15.90	11.468	1.70	2.352	0.303 0	0.213 5
误差项	4	12.44	6.502				
总和	16	294.94	223.61				

通过 Design - Expert 7.0 软件分析油茶籽粕抗氧化物质的最佳浸提工艺条件:基于模型 Y_1 ,在料液比 1: 15 (g/mL)、乙醇浓度 36%、浸提时间 60 min和浸提温度 70 ℃时,提取液 FRAP 抗氧化能力的预测值为 0.488 mmol/L,实际 FRAP 抗氧化能力和DPPH 自由基清除率分别为 0.425 mmol/L 和 88.22%;基于模型 Y_2 ,在料液比 1: 15 (g/mL)、乙醇浓度 80%、浸提时间 60 min 和浸提温度 70 ℃,提取液 DPPH 自由基清除率的预测值为 87.65%,实际 FRAP 抗氧化能力和 DPPH 自由基清除率分别为 0.421 mmol/L 和 88.72%。两套优化工艺条件相近,且提取液抗氧化能力相当,考虑提取液浓缩的便利,选择以 80% 乙醇浓度浸提。

3.3 油茶籽粕抗氧化提取物对油脂氧化的影响

由图 6 可知,随着时间的延长,食用油的酸价和过氧化值均呈明显上升趋势。在加入一定浓度提取物后,加速氧化后期(5 ~ 7 d)的油脂酸败得到一定程度抑制,尤其 0.02% 提取物添加食用油在第 6 d 和 7 d 时的酸值显著低于其他实验组($p < 0.05$),其作用效果与 0.02% 的 BHT 相当($p > 0.05$)。在加速氧化第 5 d,食用油的过氧化值增加在不同浓度提取物的作用下得到一定程度抑制。随后,提取物添加组与空白对照组之间的过氧化值并未呈现显著差异($p > 0.05$),均显著高于 BHT 对照组($p < 0.05$)。由此可见,油茶籽粕提取液中的抗氧化成分对油脂具有一定的抗氧化效果。油茶籽粕中的抗氧化成分主

要为茶皂素、多糖、多酚、黄酮^[24-26]。通过与文献比较发现^[27],油茶籽粕抗氧化提取物的抗油脂氧化效果不及迷迭香提取物,但与茶多酚和没食子酸相当。

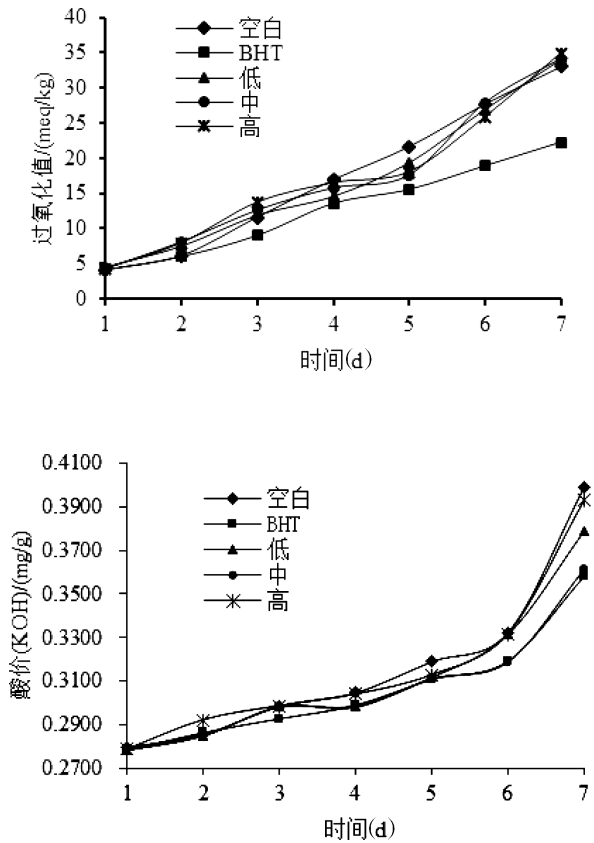


图 6 油茶籽粕抗氧化提取物对食用油酸价和过氧化值的影响

4 结论

通过单因素试验和响应面试验,结合 FRAP 抗氧化能力和 DPPH 自由基清除率为考察指标,优化油茶籽粕抗氧化物质的浸提工艺参数为:料液比 1:15(g/mL)、乙醇浓度 80%、浸提时间 60 min、浸提温度 70 ℃。在该条件下,提取液的 FRAP 抗氧化能力和 DPPH 自由基清除率分别达 0.421 mmol/L 和 88.72%。基于该工艺制备的提取物,以 0.02% 的浓度添加于食用油中,可在一定程度上抑制加速氧化后期的油脂氧化和酸败,尤其是酸败抑制效果与 BHT 相当。综合同源性和作用效果考虑,油茶籽粕是食用油天然抗氧化剂提取开发的优质资源。

参考文献:

- [1] 郑道君,潘孝忠,张冬明,等. 海南油茶资源调查与分析[J]. 西北林学院学报,2016,31(1):130-135.
- [2] 国家统计局. 中国统计摘要-2018[M]. 北京:中国统计出版社,2018.
- [3] 李志钢,马力,陈永忠,等. 我国油茶籽的综合利用现状概述[J]. 绿色科技,2018(6):191-194.
- [4] 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.
- [5] 王宗成,秦源,刘艳芳,等. 油茶籽粕中化学成分与提取工艺研究进展[J]. 食品工业,2019,40(5):260-265.
- [6] 刘金,张立钊,陈力力,等. 油茶籽壳的活性成分及提取方法研究进展[J]. 食品工业,2018,39(9):273-276.
- [7] 澄永鉴,李旭,杨莉琳,等. 油茶籽壳提取物抗氧化及抗癌活性研究[J]. 食品工业科技,2015,36(8):171-174,182.
- [8] Xiao Xiao-mei, He Liang-mei, Chen Ya-yun, et al. Anti-inflammation and antioxidative effects of *Camellia oleifera* Abel components[J]. Future medicinal chemistry,2017,9(17):2069-2079.
- [9] 刘洪,胡蝶. 茶皂素的结构和生物活性研究进展[J]. 湖南农业科学,2017,(5):119-122.
- [10] 覃佐东,全沁果,敖艳,等. 油茶不同部位黄酮的提取及活性研究进展[J]. 科技通报,2016,32(7):67-71.
- [11] 刘静,李旭,向春蓉,等. 油茶籽粕蛋白功能特性及其酶解产物抗氧化活性研究[J]. 中国粮油学报,2017,32(1):40-46.
- [12] 罗凡,黄美群,胡立松,等. 油茶籽热处理对油茶饼中多糖含量及其抗氧化性影响的研究[J]. 中国油脂,2019,44(8):41-45.
- [13] Deng Junlin, Ding Chunbang, Shen Shian, et al. Antioxidant activities and functional properties of tea seed protein hydrolysates (*Camellia oleifera* Abel.) influenced by the degree of enzymatic hydrolysis[J]. Food science and biotechnology,2014,23(6):2075-2082.
- [14] 曹海燕,桂花,李维峰,等. 超声波辅助酶法优化油茶粕蛋白的提取条件[J]. 环球市场信息导报,2016,(34):125-126.
- [15] 鲍妮娜,丁富成,胡巧缘. 油茶籽粕中茶皂素的优化提取及抑菌活性的研究[J]. 天然产物研究与开发,2018,30(1):127-133.
- [16] 高石花,叶高杰,覃江克,等. 油茶多糖和多酚的体外抗氧化活性研究[J]. 食品工业,2013,34(11):163-166.
- [17] 魏东伟,周亚萍,朱世杰,等. 10 种中草药抗氧化活性的比较研究[J]. 广东农业科学,2018,45(9):109-115.
- [18] 贺鹏,雷进斌,罗旭璐,等. 白花木瓜籽粕多酚的提取及其抗氧化活性[J]. 西部林业科学,2014,43(4):106-111.
- [19] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.227-2016 食品安全国家标准食品中过氧化值的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.229-2016 食品安全国家标准食品中酸价的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [21] 李起弘,郑铁松,王华清. 响应面分析法优化普通茶籽中抗氧化物质的水提工艺[J]. 食品科学,2010,31(18):170-174.
- [22] 曾丽珠,李轩,张昊. 提取油茶籽抗氧化活性物质的研究[J]. 现代食品,2016,(20):111-113.
- [23] 杨楠,罗凡,费学谦,等. 油茶籽美拉德反应及其产物抗氧化性[J]. 中国粮油学报,2019,34(2):67-72.

(下转第 34 页)

- 培养及植株再生[J]. 植物生理学通讯, 2010, 46(2):153-154.
- [6] 祖庆学,赵德刚. 火焰卫矛组织培养及植株再生研究[J]. 福建林业科技, 2008, 35(3):80-83.
- [7] 崔帅,赵兰勇,李承水,等. 卫矛属 3 种常绿阔叶树木抗寒性研究[J]. 中国农学通报 2012, 28(07):17-20.
- [8] 王慧. 卫矛属几种植物的扦插繁育技术和抗逆性研究[D]. 杭州:浙江农林大学, 2009.
- [9] 武涛. 园林地被植物抗旱性及应用研究[D]. 南京:南京林业大学, 2002.
- [10] 孙静,曾俊,王银杰,等. 20 个切花菊品种抗旱性评价与筛选[J]. 南京农业大学学报, 2013, 36(1):24-28.
- [11] 黄颜梅,张健,罗承德. 树木抗旱性研究(综述)[J]. 四川农业大学学报, 1997(1):49-54.
- [12] 杨婷. 膜脂过氧化对植物细胞的伤害[J]. 科技与创新, 2018(8):61-62.
- [13] 蒲光兰,周兰英,胡学华,等. 干旱胁迫对金太阳杏叶绿素荧光动力学参数的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(3):44-48.
- [14] 王三根. 植物生理生化[M]. 北京:中国林业出版社, 2013.
- [15] 陈平,黄久常,王辉,等. 不同植物在水分胁迫条件下脯氨酸的累积与抗旱性的关系[J]. 植物生理学报, 1989, 15(1):46-51.
- [16] 何建社,张利,刘千里,等. 岷江干旱河谷区典型灌木对干旱胁迫的生理生化响应[J]. 生态学报, 2018, 38(7):2362-2371.
- [17] 刘文兰,师尚礼,马晖玲,等. 兰州市 4 种常见园林观花地被植物抗旱性比较研究[J]. 草地学报, 2015, 23(4):780-784.
- [18] 栗燕,黎明,袁晓晶,等. 干旱胁迫下菊花叶片的生理响应及抗旱性评价[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2011, 29(1):30-34.
- [19] 阮晓,王强,许宁一,等. 白梭梭同化枝对干旱胁迫的生理生态响应[J]. 林业科学, 2005, 41(5):28-32.
- [20] Ashraf M, Harris P J C. Photosynthesis under stressful environments: An overview[J]. Photosynthetica, 2013, 51(2):163-190.
- [21] 赵瑾,李文根,魏国仁,等. 宝鸡市 5 种乡土树种抗旱性综合评价和研究[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(6):74-81.

(上接第 28 页)

- [24] 梁俊玉,周纲,刘志杰,等. 茶多酚对植物油抗氧化的研究与应用[J]. 现代农业科技, 2009, (15):348-349.
- [25] 沈佳奇. 油茶籽油提取及微胶囊化研究[D]. 贵州:贵州大学, 2015.
- [26] 稂玉明. 油茶籽多糖液体对油脂过氧化值的影响[J]. 农业科技与信息, 2016, (25):43-45.
- [27] 翟柱成,吴克刚,柴向华,等. 天然抗氧化剂对葵花籽油抗氧化作用的研究[J]. 食品工业科技, 2010, (3):148-150.