

橄榄叶多酚提取工艺优化及对山茶籽油氧化稳定性的影响

Optimization of extraction process of polyphenols from olive leaves and its effect on oxidative stability of camellia seed oil

尚方园 潘丽 谷克仁 李雪琴

SHANG Fang-yuan PAN Li GU Ke-ren LI Xue-qin

(河南工业大学, 河南 郑州 450001)

(College of Food Science and Engineering, Zhengzhou, Henan 450001, China)

摘要:目的:研究橄榄油生产过程的副产品橄榄叶在食品工业中的应用。方法:以橄榄叶多酚得率为评价指标,在单因素试验的基础上,利用 Box-Behnken 响应面法分析提取温度、提取时间、料液比对多酚得率的影响,并以过氧化值与酸价作为指标,探究橄榄叶多酚对山茶籽油氧化稳定性的影响。结果:水浴法辅助提取橄榄叶中多酚物质的最优提取工艺条件为:乙醇体积分数 50%,浸提时间 1.0 h,料液比 1:40 (g/mL),水浴温度 72 ℃,该条件下橄榄叶多酚得率为 5.86%。橄榄叶多酚对山茶籽油具有良好的抗氧化效果,较丁基羟基茴香醚(BHA)对山茶籽油抗氧化效果好,且与特丁基对苯二酚(TBHQ)及 BHA 具有协同增效作用。结论:优化工艺条件下提取的橄榄叶多酚对山茶籽油具有良好的抗氧化效果。

关键词:橄榄叶;多酚;山茶籽油;抗氧化

Abstract: Objective: The application of olive leaf, a by-product of olive oil production, in food industry was studied. **Methods:** Taking the yield of olive leaf polyphenols as the evaluation index, on the basis of single factor experiment, the effects of water bath temperature, extraction time and solid-liquid ratio on the yield of polyphenols were analyzed by Box-Behnken response surface method, the effects of olive leaf polyphenols on the oxidative stability of camellia seed oil were studied with peroxide value and acid value as indexes. **Results:** The optimum extraction conditions

of polyphenols from olive leaves by water bath were as follows: ethanol volume fraction 50%, extraction time 1.0 h, solid-liquid ratio 1:40 (g/mL), water bath temperature 72 ℃, and the yield of polyphenols from olive leaves was 5.86%. Olive leaf polyphenols had a good antioxidant effect on camellia seed oil, which was better than butyl hydroxyanisole (BHA), and had a synergistic effect with tert butyl hydroquinone (TBHQ) and BHA. **Conclusion:** The polyphenols extracted from olive leaves under the optimized conditions have a good antioxidant effect on camellia seed oil.

Keywords: olive leaf; polyphenols; camellia seed oil; antioxidant

据国际橄榄油理事会统计,2020—2021 年度全球橄榄油产量及消费量分别为 292 万,320 万 t^[1]。在橄榄油生产过程中会产生大量的副产品,如:橄榄叶、橄榄渣、橄榄加工废水等,其中橄榄叶可占橄榄油行业加工总量的 5%^[2-3]。为对抗病原体和昆虫的攻击橄榄树会合成大量的多酚,这些多酚主要储存在其厚实的叶子中^[4]。橄榄叶的酚类成分包括裂环烯醚萜类(主要是橄榄苦苷)、类黄酮类化合物(木犀草素、芹菜素、芦丁)和其他酚类物质(羟基酚醇、木质素、生育酚等)^[5]。

提取橄榄叶中多酚物质的方法有索氏抽提法^[6]、水浴回流法^[6]、微波^[7]和超声波辅助萃取^[8-9]等方法。课题组在试验前期初步对比了索氏抽提、水浴回流、超声波辅助法 3 种方法,其中采用水浴回流法所得橄榄叶多酚得率最高。而且水浴回流法具有溶剂可循环使用的优点,符合绿色环保,循环利用的理念,因此试验采用水浴回流法提取橄榄叶中的多酚物质。

研究拟采用响应面法优化橄榄叶多酚的水浴回流提取工艺条件,并使用 Schaal 烘箱法对比添加橄榄叶多酚物质与化学合成抗氧化剂对山茶籽油氧化稳定性的影响,以期对橄榄叶多酚物质在食品工业中的应用提供参考。

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(编号:32001738);郑州市科技局自然科学项目(编号:21ZZTCX18);河南省教育厅自然科学项目(编号:21A550006)

作者简介:尚方园,女,河南工业大学在读硕士研究生。

通信作者:李雪琴(1975—),女,河南工业大学教授,博士。

E-mail: xueqin1216@sina.cn

潘丽(1982—),女,河南工业大学讲师,博士。

E-mail: panli215@163.com

收稿日期:2021-10-14 **改回日期:**2022-05-27

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

橄榄叶:阿尔波莎拉,甘肃陇南市祥宇油橄榄开发有限责任公司;

山茶籽油:河南省鲲鹏华生物技术有限公司;

没食子酸、福林酚:分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;

特丁基对苯二酚(TBHQ)、丁基羟基茴香醚(BHA):纯度 $\geq 98\%$,上海麦克林生化科技有限公司;

碘化钾:分析纯,天津市福晨化学试剂厂;

硫代硫酸钠:分析纯,洛阳市化学试剂厂;

乙醇、三氯甲烷、乙醚、异丙醇、冰乙酸、无水碳酸钠、酚酞、可溶性淀粉:分析纯,天津市凯通化学试剂有限公司。

1.1.2 仪器与设备

紫外可见分光光度计:TU-1810型,北京普析通用仪器有限公司;

电子分析天平:BSA2245型,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;

真空干燥箱:DZF-6050型,上海精宏实验设备有限公司;

水浴恒温振荡器:DF-101Z型,山东菏泽正虹科技仪器有限公司;

离心机:TGL-16G型,上海安亭科学仪器厂;

旋转蒸发仪:RE-52A型,上海亚荣生化仪器厂。

1.2 试验方法

1.2.1 提取方法 准确称取橄榄叶粉末 2.0 g 于 250 mL 圆底烧瓶中,在一定的乙醇体积分数、料液比、浸提时间、水浴温度下进行水浴回流提取橄榄叶多酚。

1.2.2 单因素试验 以橄榄叶多酚得率为指标,固定料液比($m_{\text{橄榄叶}}:V_{\text{乙醇溶液}}$)为 1:25 (g/mL)、水浴温度为 70 °C、浸提时间为 2.4 h,考察乙醇体积分数(30%,40%,50%,60%,70%,80%)对橄榄叶多酚得率的影响;固定乙醇体积分数为 50%、水浴温度为 70 °C、浸提时间为 2.4 h,考察料液比[$m_{\text{橄榄叶}}:V_{\text{乙醇溶液}}$ 分别为 1:25,1:30,1:35,1:40,1:45,1:50 (g/mL)]对橄榄叶多酚得率的影响;固定乙醇体积分数为 50%、水浴温度为 70 °C、料液比为 1:40 (g/mL),考察浸提时间(0.5,1.0,1.5,2.0,2.5,3.0 h)对橄榄叶多酚得率的影响;固定乙醇体积分数为 50%、浸提时间为 1.5 h、料液比为 1:40 (g/mL),考察水浴温度(40,50,60,70,80,90 °C)对橄榄叶多酚得率的影响。

1.2.3 响应面试验设计 在单因素试验的基础上,选取水浴温度、浸提时间、料液比作为所需优化参数条件,以多酚得率为响应值,通过 Box-Behnken 试验优化水浴回

流提取工艺条件。

1.2.4 橄榄叶多酚对山茶籽油氧化稳定性的影响

(1) 橄榄叶多酚添加量对山茶籽油氧化稳定性的影响:按照质量分数 0.02%,0.04%,0.06%,0.08%将橄榄叶多酚分别溶解在装有 200 g 山茶籽油的锥形瓶中,超声 5 min 充分溶解。放入烘箱(60±2) °C 中,每隔 4 d 取样测定过氧化值与酸价,观察山茶籽油在 24 d 内的氧化变质情况,每次测定重复 3 次。

(2) 橄榄叶多酚与合成抗氧化剂的抗氧化活性比较:将质量分数为 0.02%的橄榄叶多酚、TBHQ 及 BHA,质量分数为 0.01%的橄榄叶多酚与 0.01% BHA、0.01% TBHQ 2 种复配剂,分别溶解在装有 200 g 山茶籽油的锥形瓶中,超声 5 min 充分溶解。放入烘箱(60±2) °C 中,每隔 4 d 取样测定过氧化值与酸价,观察山茶籽油在 24 d 内的氧化变质情况,每次测定重复 3 次。

1.2.5 测定项目及方法

(1) 多酚含量测定:采用福林酚法^[10]。以没食子酸为基准物质绘制标准曲线,分别按式(1)计算多酚得率。

$$R_1 = \frac{C_0 \times V \times N}{M_0} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

R_1 ——多酚得率,%;

C_0 ——橄榄叶提取液中多酚质量浓度, $\mu\text{g/mL}$;

V ——粗提液的体积,mL;

N ——稀释倍数;

M_0 ——橄榄叶粉末质量,g。

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

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

2 结果及分析

2.1 没食子酸标准曲线的绘制

没食子酸浓度标准曲线图如图 1 所示。以没食子酸质量浓度为横坐标,吸光度值为纵坐标,所得没食子酸标准曲线的标准方程为:

$$A = 0.0043C + 0.005 (R^2 = 0.9999), \quad (2)$$

式中:

A ——吸光度;

C ——没食子酸质量浓度, $\mu\text{g/mL}$ 。

2.2 单因素试验

2.2.1 乙醇体积分数对多酚得率的影响 由图 2 可知,当乙醇体积分数低于 50%时,多酚得率随乙醇体积分数的增加而增加;当乙醇体积分数为 50%时,多酚得率增加到最大,为 4.63%;当乙醇体积分数高于 50%时,多酚得率随之增加而减小,当乙醇体积分数增至 80%时,多酚得率最低。可能的原因是:当乙醇体积分数较低时,水易于

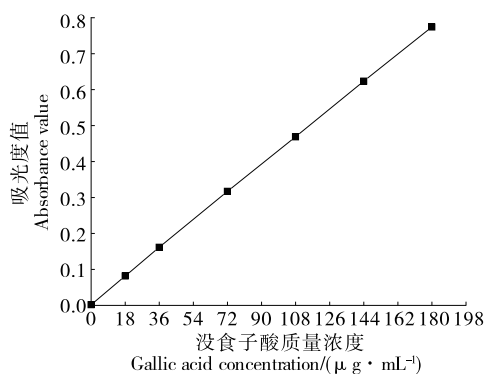


图 1 没食子酸标准曲线

Figure 1 Standard curve of gallic acid

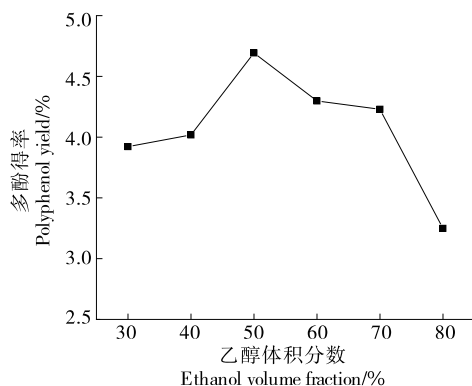


图 2 乙醇体积分数对多酚得率的影响

Figure 2 The effects of ethanol volume fraction on the yield of polyphenols

渗透植物细胞内部,使部分亲水性大分子物质与乙醇溶液接触,进而影响多酚物质的得率^[11];当乙醇体积分数较高时会造成蛋白质的变性,可能对乙醇溶液断裂多酚物质与大分子之间结合的氢键有一定的影响,阻碍多酚化合物的溶解,从而降低多酚的得率^[12-13]。因此,最优的乙醇体积分数为 50%。

2.2.2 料液比对多酚得率的影响 由图 3 可知,当 $m_{\text{橄榄叶}} : V_{\text{乙醇溶液}}$ 从 1 : 25 (g/mL) 增加到 1 : 50 (g/mL) 时,多酚得率呈先上升后下降的趋势,并且 $m_{\text{橄榄叶}} : V_{\text{乙醇溶液}}$ 为 1 : 40 (g/mL) 时得率值最大,为 4.90%,可能的原因是:当 $m_{\text{橄榄叶}} : V_{\text{乙醇溶液}}$ 低于 1 : 40 (g/mL) 时,能增大样品与提取溶剂的接触面积,从而使多酚物质充分地从物料中溶出;当 $m_{\text{橄榄叶}} : V_{\text{乙醇溶液}}$ 高于 1 : 40 (g/mL) 时,多酚得率不增反降,是由于增大料液比的同时,也增大了其他杂质从物料中溶出的机率,从而抑制了多酚的溶出,最终导致多酚得率降低^[14]。从降低成本、多酚得率等方面综合考虑得出:选取 $m_{\text{橄榄叶}} : V_{\text{乙醇溶液}} = 1 : 40$ (g/mL) 为优化中心点。

2.2.3 浸提时间对多酚得率的影响 由图 4 可得,随着浸提时间的增加,多酚得率先增加后减小,当浸提时间为 1.5 h 时,得率最大,为 5.55%,可能是由于随着浸提时间

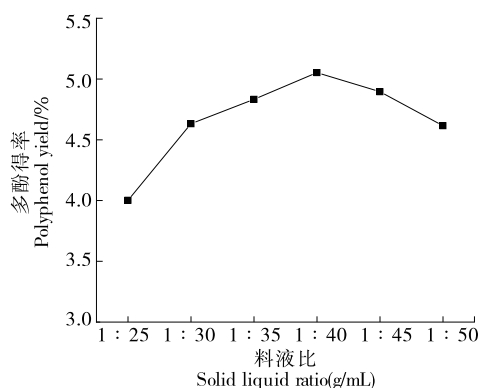


图 3 料液比对多酚得率的影响

Figure 3 The effects of material-liquid ratio on the yield of polyphenols

的增加,多酚能从物料中较快地溶出;达到 1.5 h 后,继续增大浸提时间,伴随着其他杂质的不断溶出,导致多酚物质得率降低^[15]。因此,选取浸提时间 1.5 h 为优化中心点。

2.2.4 水浴温度对多酚得率的影响 由图 5 可知,随着水浴温度的升高,多酚得率呈逐渐上升的趋势,可能的

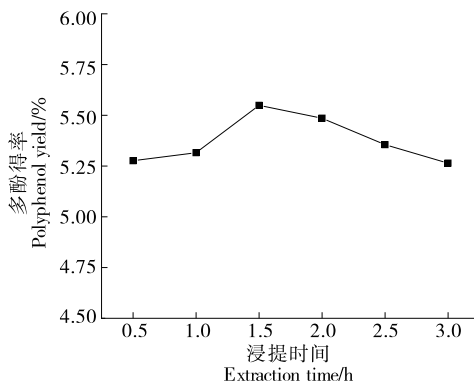


图 4 浸提时间对多酚得率的影响

Figure 4 The effects of extraction time on the yield of polyphenols

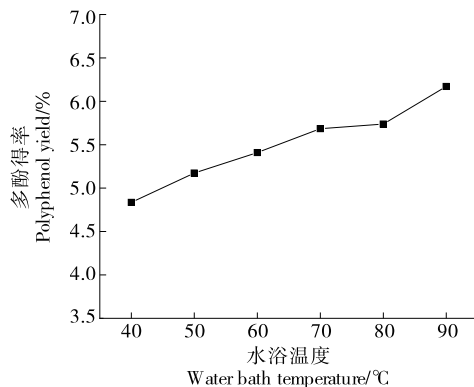


图 5 水浴温度对多酚得率的影响

Figure 5 The effects of water bath temperature on the yield of polyphenols

原因是分子运动速率会随着水浴温度的升高而加快,物料的传质扩散速度也就会加快,从而使多酚物质更充分的溶出^[16],但是考虑到乙醇的沸点原因,最终选取水浴温度 60,70,80 ℃进行响应面试验。

2.3 响应面试验

2.3.1 响应面优化试验方案及结果 在单因素试验基础上,以橄榄叶多酚得率为响应值(Y),选取水浴温度、浸提时间、料液比作为所需优化参数条件,进行响应面优化试验,因素及水平见表 1,试验方案及结果见表 2。

2.3.2 回归方程拟合效果分析及响应因子显著性分析

对表 3 中的响应因子进行多元回归拟合,得到二次回归方程:

$$R = 5.740\ 0 + 0.188\ 8A - 0.132\ 5B - 0.078\ 8C - 0.045\ 0AB - 0.102\ 5AC + 0.110\ 0BC - 0.483\ 8A^2 - 0.116\ 3B^2 - 0.473\ 7C^2。$$
 (3)

由表 3 可知,此回归模型 $P<0.000\ 1$,说明二次多元回归模型差异具有极显著性;失拟项 $P>0.05$,表示差异

不显著,说明该模型能较准确地预测水浴温度、浸提时间、料液比对多酚得率的影响;且该模型的相关系数 $R^2=0.988\ 8$ 和 $R^2_{\text{adj}}=0.974\ 3$,表明该模型能较好地分析和预测各因素对多酚得率的影响^[17]。由各项的 P 值可知,一次项 A、B,二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 对多酚得率有极显著的影响;一次项 C,交互项 AC、BC 对多酚得率有显著的影响^[15]。由 F 值可知,影响因素的主次顺序为水浴温度>浸提时间>料液比。

2.3.3 交互作用 由图 6(a)和图 6(b)可知,当料液比不变时,多酚得率随水浴温度及浸提时间的增加先升高后降低,响应曲面图坡度平坦,等高线图偏圆形,说明水浴温度与浸提时间之间的交互作用较小;由图 6(c)和图 6(d)可知,当浸提时间不变时,多酚得率随水浴温度及料液比的增加先升高后降低,响应曲面图坡度较陡,等高线呈椭圆形,说明水浴温度与料液比之间的交互作用显著;由图 6(e)和图 6(f)可知,当水浴温度不变时,多酚得率随浸提时间及料液比的增加先升高后降低,响应曲面图坡度偏陡,等高线呈椭圆形,说明浸提时间与料液比之间的交互作用显著。

2.3.4 最优方法验证 通过响应面试验获得橄榄叶多酚提取的最佳工艺条件为水浴温度 72.48 ℃、浸提时间 1.145 h、液料比 1:40 (g/mL),多酚得率为 5.82%。为了便于工艺条件在实际应用中操作,将水浴温度、浸提时间分别调整为 72 ℃、1.0 h,在此基础上,通过 3 次平行重复验证实验,得出多酚得率高达 5.86%,预测偏差为 0.77%,表明该模型能较好地预测多酚得率。

表 1 响应面优化试验因素水平表

Table 1 Level of response surface optimization test factors

水平	A 水浴温度/℃	B 浸提时间/h	C 料液比(g/mL)
—1	60	1.0	1:35
0	70	1.5	1:40
1	80	2.0	1:45

表 2 响应面试验方案及结果

Table 2 Response surface test plan and results

试验号	A	B	C	多酚得率/%
1	—1	0	1	4.53
2	—1	0	—1	4.60
3	1	1	0	5.13
4	—1	1	0	4.90
5	0	—1	—1	5.09
6	1	—1	0	5.47
7	0	1	—1	5.03
8	0	0	0	5.85
9	0	0	0	5.78
10	0	0	0	5.69
11	1	0	1	5.17
12	0	1	1	4.99
13	0	0	0	5.72
14	—1	—1	0	5.06
15	0	—1	1	5.49
16	1	0	—1	4.83
17	0	0	0	5.66

表 3 方差分析[†]

Table 3 Analysis of variance of regression equation

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	2.732 7	9	0.303 6	68.398 1	<0.000 1	* *
A	0.285 0	1	0.285 0	64.202 3	<0.000 1	* *
B	0.140 5	1	0.140 5	31.638 0	0.000 8	* *
C	0.049 6	1	0.049 6	11.175 8	0.012 4	*
AB	0.008 1	1	0.008 1	1.824 6	0.218 8	
AC	0.042 0	1	0.042 0	9.466 6	0.017 9	*
BC	0.048 4	1	0.048 4	10.902 7	0.013 1	*
A ²	0.985 3	1	0.985 3	221.955 2	<0.000 1	* *
B ²	0.056 9	1	0.056 9	12.817 7	0.009 0	* *
C ²	0.945 0	1	0.945 0	212.873 6	<0.000 1	* *
残差	0.031 1	7	0.004 4			
失拟项	0.008 1	3	0.002 7	0.468 1	0.720 5	
纯误差	0.023 0	4	0.005 8			
总离差	2.763 8	16				

[†] * * 为差异极显著($P<0.001$); * 为差异显著($P<0.05$); $R^2=0.988\ 8$; $R^2_{\text{adj}}=0.974\ 3$ 。

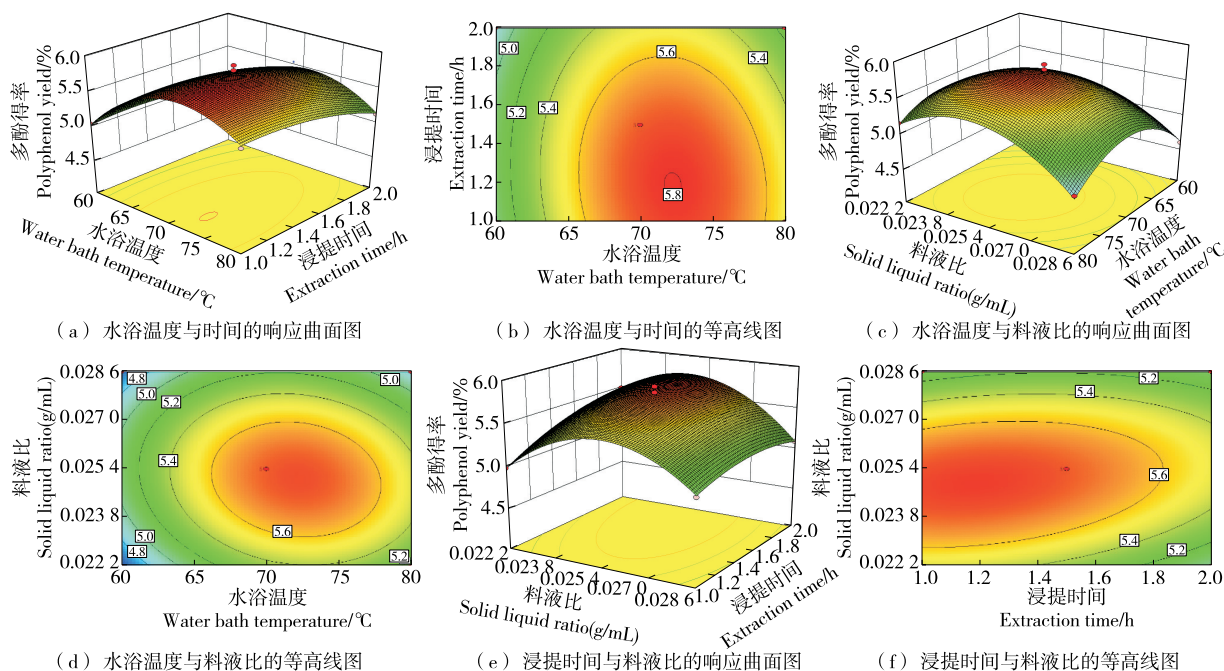


图 6 因素交互作用对多酚得率影响的响应面和等高线图

Figure 6 Response surface and contour map of the effects of factor interaction on polyphenol yield

2.4 橄榄叶多酚对山茶籽油氧化稳定性的影响

2.4.1 橄榄叶多酚添加量对山茶籽油氧化稳定性的影响

前期试验发现,当橄榄叶多酚质量分数低于 0.02% 时,橄榄叶多酚物质对山茶籽油的抗氧化效果不明显,因此试验中添加橄榄叶多酚物质从 0.02% 开始添加。由图 7 可知,与空白山茶籽油相比,随着时间的增加,添加 0.02%, 0.04% 橄榄叶多酚均能明显降低山茶籽油的过氧化值与酸值,说明添加 0.02%, 0.04% 橄榄叶多酚均能明显降低山茶籽油的氧化酸败速度,相反添加 0.06%, 0.08% 橄榄叶多酚加速了山茶籽油的氧化酸败速度,可能是过量的橄榄叶多酚具有助氧化的作用^[18-19]。放置相同时间时,山茶籽油的过氧化值与酸值的大小顺序为:

0.08% 橄榄叶多酚油样 > 0.06% 橄榄叶多酚油样 > 空白油样 > 0.04% 橄榄叶多酚油样 > 0.02% 橄榄叶多酚油样,说明添加 0.02% 橄榄叶多酚具有较好的抗氧化效果。

2.4.2 橄榄叶多酚与 TBHQ 及 BHA 的协同作用对山茶籽油氧化稳定性的影响 由图 8 可知,与空白山茶籽油相比,添加质量分数为 0.02% 的橄榄叶多酚、TBHQ、BHA 均能明显降低山茶籽油的过氧化值与酸值,其中添加 0.02% 橄榄叶多酚的过氧化值与酸值低于同等浓度的 BHA,高于 TBHQ,说明橄榄叶多酚的抗氧化效果优于 BHA,次于 TBHQ;与添加质量分数均为 0.02% 的橄榄叶多酚、TBHQ、BHA 相比,随着时间的增加,添加 0.01% 橄榄叶多酚 + 0.01% TBHQ 的山茶籽油的过氧化值与酸值

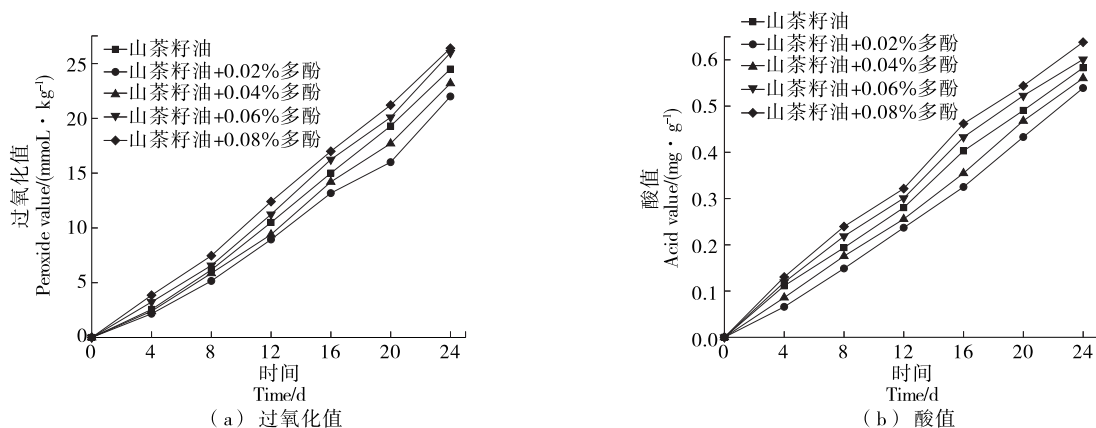


图 7 橄榄叶多酚对山茶籽油氧化稳定性的影响

Figure 7 Effects of olive leaf polyphenols on oxidative stability of camellia seed oil

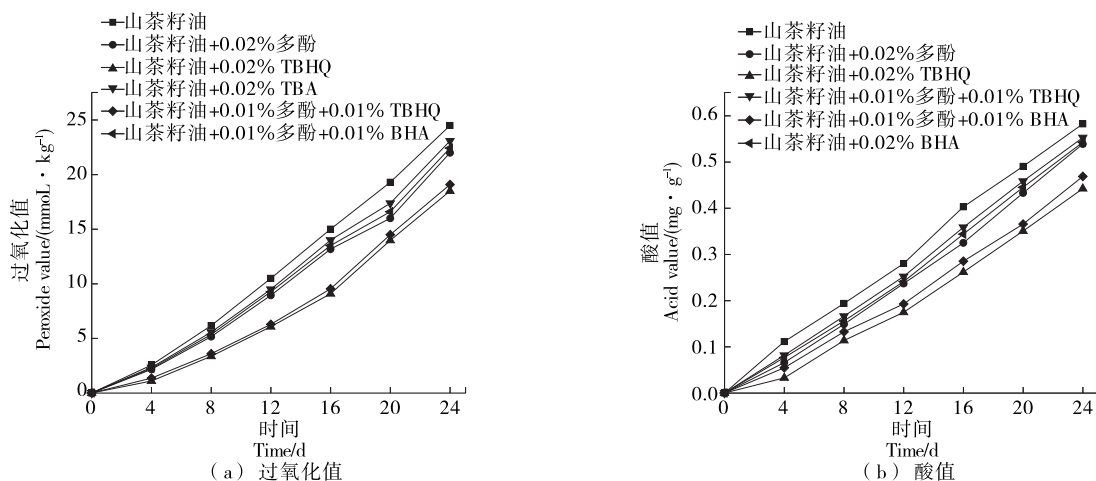


图8 橄榄叶多酚与TBHQ及BHA的协同作用对山茶籽油的氧化稳定性的影响

Figure 8 Effects of synergistic effect of olive leaf polyphenols, TBHQ and BHA on oxidation stability of camellia seed oil

低于添加 0.02% 橄榄叶多酚的油样, 高于添加 0.02% TBHQ 的油样; 添加 0.01% 橄榄叶多酚 + 0.01% BHA 的山茶籽油的过氧化值与酸值高于添加 0.02% 橄榄叶多酚的油样, 低于添加 0.02% BHA 的油样, 说明添加 0.01% 橄榄叶多酚与 0.01% TBHQ、0.01% 橄榄叶多酚与 0.01% BHA 均具有协同增效的作用, 并且具有增强山茶籽油抗氧化效果的能力。

3 结论

采用乙醇溶液水浴回流提取橄榄叶中的多酚, 运用响应面法优化橄榄叶多酚的提取工艺条件为: 乙醇体积分数 50%、浸提时间 1.0 h、料液比 1 : 40 (g/mL)、水浴温度 72 °C, 此条件下橄榄叶多酚得率为 5.86%。橄榄叶多酚对山茶籽油的氧化稳定性影响研究表明: 当多酚质量分数为 0.02% 时, 橄榄叶多酚对山茶籽油具有较好的抗氧化效果; 橄榄叶多酚对山茶籽油的抗氧化效果优于丁基羟基茴香醚, 次于特丁基对苯二酚; 橄榄叶多酚与特丁基对苯二酚及丁基羟基茴香醚具有协同增效作用。但是橄榄叶多酚中主要起抗氧化作用的活性成分及影响山茶籽油氧化稳定性的机制仍需要进一步研究。

参考文献

- [1] 张国成. 关于公布 2022 年全球橄榄油市场供需现状分析橄榄油消费量呈上升趋势[EB/OL]. (2022-02-15)[2022-03-05]. <https://www.qianzhan.com/analyst/detail/220/220215-96612802.html>.
ZHANG G C. Analysis of the current situation of supply and demand in the global olive oil market in 2022[EB/OL]. (2022-02-15)[2022-03-05]. <https://www.qianzhan.com/analyst/detail/220/220215-96612802.html>.
- [2] LAMA-MUÑOZ A, CONTRERAS M D M, ESPÍNOLA F, et al. Content of phenolic compounds and mannitol in olive leaves extracts from six Spanish cultivars: Extraction with the soxhlet method and pressurized liquids [J]. Food Chemistry, 2020, 320: 126626.
- [3] GULLÓN P, GULLÓN B, ASTRAY B, et al. Valorization of by-products from olive oil industry and added-value applications for innovative functional foods[J]. Food Research International, 2020, 137: 109683.
- [4] DIFONZO G, RUSSO A, TRANI A, et al. Green extracts from Coratina olive cultivar leaves: Antioxidant characterization and biological activity[J]. Journal of Functional Foods, 2017, 31: 63-70.
- [5] PAZ O, GARCIA-OLIVEIRA P, CARPENA M, et al. Applications of by-products from the olive oil processing: Re-valorization strategies based on target molecules and green extraction technologies[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 116: 1 084-1 104.
- [6] RAHMANIAN N, JAFARI S M, WANI T A. Bioactive profile, dehydration, extraction and application of the bioactive components of olive leaves[J]. Trends in Food Science & Technology, 2015, 42(2): 150-172.
- [7] CHANIOTI S, SIAMANDOURA P, TZIA C. Evaluation of extracts prepared from olive oil by-products using microwave-assisted enzymatic extraction: Effect of encapsulation on the stability of final products[J]. Waste & Biomass Valorization, 2016, 7(4): 831-842.
- [8] CHANIOTI S, TZIA C. Extraction of phenolic compounds from olive pomace by using natural deep eutectic solvents and innovative extraction techniques[J]. Innovative Food Sci Emerg Technol, 2018, 48: 228-239.
- [9] ALBAHARI P, JUG M, RADI K, et al. Characterization of olive pomace extract obtained by cyclodextrin-enhanced pulsed ultrasound assisted extraction [J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 92: 22-31.
- [10] 郑贤明. 橄榄叶多酚提取纯化及抗氧化活性的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2012: 10.
ZHENG X M. Studies on the extraction, purification and antioxidant activity of Chinese olive leaves polyphenols[D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2012: 10.

- jian Agriculture and Forestry University, 2012: 10.
- [11] 胡会刚, 赵巧丽. 菠萝皮渣多酚的提取分离及其抗氧化活性评价[J]. 食品科技, 2020, 45(1): 286-293.
- HU H G, ZHAO Q L. Extraction, separation and antioxidant activities of polyphenols from pineapple pomace[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(1): 286-293.
- [12] 何福林, 黄丽佳, 游周敏, 等. 蓬蒿籽多酚提取工艺的响应面优化及其对食用油脂抗氧化活性研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(9): 67-71, 76.
- HE F L, HUANG L J, YOU Z M, et al. Optimization of extraction process of polyphenols from *Chrysanthemum coronarium* seeds with response surface methodology and its antioxidant activity on edible oils[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(9): 67-71, 76.
- [13] 王若兰, 郭亚鹏. 响应面法优化超声波辅助提取藜麦多酚的工艺条件[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(9): 1-7.
- WANG R L, GUO Y P. Optimization of technology for ultrasonic assisted extraction of quinoa polyphenol using response surface methodology[J]. Cereals & Oils, 2020, 33(9): 1-7.
- [14] 任世达, 方晓敏, 罗雁非, 等. 超声波辅助提取玉米花丝多酚工艺优化及其抑菌活性研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(17): 201-208.
- REN S D, FANG X M, LUO Y F, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of corn silk polyphenols and its antibacterial activity[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(17): 201-208.
- [15] 商云帅, 孙宇, 闫涛涛, 等. 响应面优化薏米多酚提取工艺[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(5): 83-86, 95.
- SHANG Y S, SUN Y, YAN Q T, et al. Response surface optimization of extraction technology of polyphenols from adlay[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(5): 83-86, 95.
- [16] 陈峰, 尹鹏, 郭桂义, 等. 响应面法优化提取绿茶茶多酚工艺研究[J]. 茶叶通讯, 2020, 47(4): 659-664.
- CHEN F, YIN P, GUO G Y, et al. Optimization of extraction process of tea polyphenols from green tea by response surface methodology[J]. Journal of Tea Communication, 2020, 47(4): 659-664.
- [17] 孙少忆, 马露, 刘军, 等. 葡萄酒渣多酚类物质超声波辅助提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 河南农业大学学报, 2021, 55(2): 328-337.
- SUN S Y, MA L, LIU J, et al. Optimization of ultrasonic assisted extraction of polyphenols from grape wine residue and its antioxidant activity[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2021, 55(2): 328-337.
- [18] 蔡奕文, 赵谋明, 彭志英. 天然抗氧化剂发展近况[J]. 中国油脂, 1999, 24(4): 45-47.
- CAI Y W, ZHAO M M, PENG Z Y. Recent development of natural antioxidants[J]. China Oils and Fats, 1999, 24(4): 45-47.
- [19] 张情, 王贻若, 宋立华. 水溶性和油溶性植物甾醇酯体外抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2014, 39(12): 84-90.
- ZHANG Q, WANG Y R, SONG L H. Study on antioxidant activity of water-soluble and fat-soluble phytosterol ester in vitro[J]. Food Science and Technology, 2014, 39(12): 84-90.

(上接第 138 页)

- [15] DONG Y R, QI G H, YANG Z P, et al. Preparation, separation and antioxidant properties of hydrolysates derived from *Grifola frondosa* protein[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2015, 33(6): 500-506.
- [16] SAMARANAYAKA A G P, CHAN E C Y L. Food-derived peptidic antioxidants: A review of their production, assessment, and potential applications[J]. Journal of Functional Foods, 2011, 3(4): 229-254.
- [17] HE R, GIRGIH A T, MALOMO S A, et al. Antioxidant activities of enzymatic rapeseed protein hydrolysates and the membrane ultrafiltration fractions[J]. Journal of Functional Foods, 2013, 5(1): 219-227.
- [18] SARMADI B H, ISMAIL A. Antioxidative peptides from food proteins: A review[J]. Peptides, 2010, 31(10): 1 949-1 956.
- [19] AGRAWAL H, JOSHI R, GUPTA M. Isolation, purification and characterization of antioxidative peptide of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) protein hydrolysate[J]. Food Chemistry, 2016, 204: 365-372.
- [20] GHRIBI A M, SILA A, PRZYBYLSKI R, et al. Purification and identification of novel antioxidant peptides from enzymatic hydrolysate of chickpea (*Cicer arietinum* L.) protein concentrate[J]. Journal of Functional Foods, 2015, 12: 516-525.
- [21] SAIGA A, TANABE S, NISHIMURA T. Antioxidant activity of peptides obtained from porcine myofibrillar proteins by protease treatment[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(12): 3 661-3 667.
- [22] NAJAFIAN L, BABJI A S. Production of bioactive peptides using enzymatic hydrolysis and identification antioxidative peptides from patin (*Pangasius sutchi*) sarcoplasmic protein hydrolysate[J]. Journal of Functional Foods, 2014, 9: 280-289.
- [23] JOSHI R, SOOD S, DOGRA P, et al. In vitro cytotoxicity, antimicrobial, and metal-chelating activity of triterpene saponins from tea seed grown in Kangra valley, India[J]. Medicinal Chemistry Research, 2013, 22(8): 4 030-4 038.
- [24] ZHANG W G, XIAO S, SAMARAWEEERA H, et al. Improving functional value of meat products[J]. Meat Science, 2010, 86(1): 15-31.
- [25] MOHAMED T K, ISSOUFOU A, ZHOU H. Antioxidant activity of fractionated foxtail millet protein hydrolysate[J]. International Food Research Journal, 2012, 19(1): 207-213.
- [26] BORAWSKA J, DAREWICZ M, VEGARUD G E, et al. Antioxidant properties of carp (*Cyprinus carpio* L.) protein ex vivo and in vitro hydrolysates[J]. Food Chemistry, 2016, 194: 770-779.
- [27] FERREIRA I C F R, BAPTISTA P, VILAS-BOAS M, et al. Free-radical scavenging capacity and reducing power of wild edible mushrooms from northeast Portugal: Individual cap and stipe activity[J]. Food Chemistry, 2007, 100(4): 1 511-1 516.