

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2021.12.020

紫苏提取物对裂壶藻油氧化稳定性的影响

Effect of perilla extract on the oxidative stability of *Schizochytrium* oil

林荣芳 高丽伟 徐梦豪 赵祥忠

LIN Rong-fang GAO Li-wei XU Meng-hao ZHAO Xiang-zhong

(齐鲁工业大学[山东省科学院]食品科学与工程学院, 山东 济南 250353)

(School of Food & Bioengineering, Qilu University of Technology [Shandong Academy of Sciences], Jinan, Shandong 250353, China)

摘要:目的:探究紫苏提取物对裂壶藻油氧化稳定性的影响。方法:采用强制氧化法,以过氧化值、丙二醛值、茴香胺值、共轭二烯值作为评价指标,探究不同浓度紫苏提取物、0.04%茶多酚与 0.02% TBHQ 对裂壶藻油氧化稳定性的影响,采用气相—质谱检测裂壶藻油中脂肪酸成分的变化。结果:强制氧化 15 d 后,0.10%紫苏提取物组不饱和脂肪酸含量相比空白组提高了 16.91%,紫苏提取物可以通过延缓不饱和脂肪酸的氧化分解,起到抗氧化效果,紫苏提取物对裂壶藻油的氧化抑制效果略低于 TBHQ,不饱和脂肪酸含量仅减少了 5.30%,紫苏提取物添加组相比茶多酚添加组不饱和脂肪酸含量增加了 12.93%,抗氧化效果明显高于茶多酚。结论:紫苏提取物能够有效提高裂壶藻油的氧化稳定性,且随着提取物剂量的增加,其延缓氧化效果也更加显著。

关键词:紫苏;提取物;裂壶藻油;天然抗氧化剂;氧化稳定性

Abstract; Objective: The effect of perilla extract on the stability of *Schizochytrium* oil was investigated. **Methods:** With peroxide value, malondialdehyde value, anisidine value, and conjugated diene value as evaluation indicators, the effects of different concentrations of perilla extract, 0.04% tea polyphenols and 0.02% TBHQ on the oxidation stability of *Schizochytrium* oil was explored by forced oxidation method, respectively. A gas-mass spectrometry was used to detect the changes of fatty acid composition in *Schizochytrium* oil. **Results:** After 15 d of forced oxidation, the content of unsaturated fatty acids in the 0.10% perilla extract group was increased by 16.91%, compared to the blank group. Perilla extract could delay the oxidative decomposition of unsaturated fatty acids showing an antioxidant ability. The oxida-

tion inhibitory effect of perilla extract on *Schizochytrium* oil was slightly lower than that of TBHQ, and the content of unsaturated fatty acids was only reduced by 5.30%. Compared with the tea polyphenols added group, the perilla extract added group increased the content of unsaturated fatty acids by 12.93%, and the antioxidant effect was significantly higher than that of the tea polyphenols. **Conclusion:** Perilla extract can effectively improve the oxidative stability of *Schizochytrium* oil showing dose-dependent.

Keywords: perilla; extract; *Schizochytrium* oil; natural antioxidants; oxidation stability

裂壶藻(*Schizochytrium*),属网黏菌纲破囊壶菌目破囊壶菌科,单细胞藻类海洋微生物^[1]。裂壶藻油是裂壶藻的主要合成产物,含丰富的二十二碳六烯酸(DHA)。DHA能够抑制炎症,降低心血管疾病、高血压等的患病风险^[2-4],促进大脑和视网膜的发育^[5]。裂壶藻油富含多不饱和脂肪酸(PUFAs),对贮藏条件敏感,极易发生氧化酸败,而降低功效^[6]。为了提高其氧化稳定性,需在藻油中添加 2,6-二叔丁基对甲基苯酚(BHT)、2-叔丁基对苯二酚(TBHQ)等合成抗氧化剂,但合成抗氧化剂对人体内脏器官有一定的毒副作用,长期食用会对人体产生一定的危害性^[7]。近年来,有关紫苏、迷迭香、辣椒等香辛料中的天然抗氧化成分的研究较多且成果显著^[8]。

紫苏(*Perilla frutescens*)别名赤苏、香苏、黑苏等,为唇形科紫苏属一年生草本植物^[9],含有丰富的迷迭香酸、阿魏酸等多酚以及黄酮类化合物,具有抗氧化、抗衰老、抑菌、消炎等功能活性^[10-13]。王亚平^[14]研究发现,紫苏提取物对花生油和猪油的氧化稳定起到非常好的效果,可有效抑制油脂的氧化酸败。胡晓丹等^[15]研究表明,0.09%的紫苏醇提取物对油脂具有较高的抗氧化活性。朱元龙^[16]研究显示,紫苏叶提取物对花生油的抗氧化效果优于大豆油,且紫苏叶提取物的抗氧化作用强于维生素 E

作者简介:林荣芳,女,齐鲁工业大学在读硕士研究生。

通信作者:赵祥忠(1969—),男,齐鲁工业大学副教授,硕士。

E-mail: 13506416163@163.com

收稿日期:2021-04-18

和 BHT。文章拟通过裂壶藻油强制氧化试验,以过氧化值、丙二醛值、茴香胺值、共轭二烯值作为评价指标,比较紫苏提取物在裂壶藻油中的抗氧化效果,为紫苏提取物用作藻油的天然抗氧化剂提供依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

紫苏提取物:多酚、黄酮含量分别为 40,27 mg/g,汇林生物制品有限公司;

裂壶藻油(未添加任何抗氧化剂):青岛琅研台集团股份有限公司;

TBHQ:纯度≥99.0%,上海蓝平实业有限公司;

茶多酚:纯度≥99.0%,郑州康源化工产品有限公司;

硫酸:分析纯,烟台远东精细化工有限公司;

异辛烷:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

对氨基苯甲醚:分析纯,山东旭晨化工科技有限公司;

甲醇:色谱级,上海星可高纯溶剂有限公司;

正己烷:色谱级,常州市傲华化工有限公司;

无水硫酸钠:分析纯,天津市致远化学试剂有限公司;

MDA 试剂盒:南京建成生物工程研究所。

1.2 仪器与设备

紫外可见分光光度计:UV-9000 型,上海元析仪器有限公司;

数显恒温水浴锅:HH 型,常州国宇仪器制造有限公司;

台式高速离心机:TG16-WS 型,湘仪离心机仪器有限公司;

旋涡混合器:XW-80A 型,上海驰唐电子有限公司;

超声波清洗器:KQ5200E 型,昆山市超声仪器有限公司;

万分之一天平:FA1004 型,上海上平仪器有限公司;

电热鼓风干燥箱:BPG-9056A 型,上海一恒科学仪器有限公司;

气相色谱—质谱联用仪:Aglient 7890B GC-5977B MSD 型,美国安捷伦公司;

旋转蒸发器:RE-2000A 型,上海亚荣生化仪器厂。

1.3 试验方法

1.3.1 紫苏提取物对裂壶藻油氧化稳定性的影响 紫苏提取物以多酚含量进行换算,最大添加量为 0.1%,将紫苏提取物添加量设置为 0.02%,0.04%,0.06%,0.08%,0.10%,以未添加紫苏提取物的裂壶藻油为空白组,于 60 °C 烘箱中进行周期为 15 d 的强制氧化,每 24 h 搅拌均匀,并且任意交换位置。每 3 d 进行取样,检测藻油的过氧化值、丙二醛值、共轭二烯值、茴香胺值,强制氧化结束

后对藻油进行脂肪酸检测。

1.3.2 抗氧化剂对裂壶藻油氧化稳定性的影响 根据 GB 2760—2014,茶多酚、TBHQ 最大添加量分别为 0.04%,0.02%,且为抗氧化效果最佳剂量^[17-19],与紫苏提取物最佳剂量进行比较。以未添加抗氧化剂的裂壶藻油为空白组。其中,由于茶多酚不溶于油脂,参照欧阳梦云等^[20]的方法并修改:准确称取一定量的茶多酚溶于 6 mL 乙醇,加入 60 g 裂壶藻油,混匀,利用旋转蒸发器减压蒸馏,制备高浓度的含茶多酚裂壶藻油。

1.3.3 理化指标检测

(1) 过氧化值:参照 GB 5009.227—2016。

(2) 丙二醛值:参照 MDA 测定试剂盒说明书。

(3) 共轭二烯值:参照丁俭等^[21]的方法。

(4) 茴香胺值:参照 GB/T 24304—2009。

1.3.4 脂肪酸组成分析

(1) 样品甲酯化处理:参照刘静^[22]的方法并修改。将 0.30 g 藻油置于具塞试管中,加入 5 mL 正己烷进行溶解,加入 5 mL 体积分数为 5% 的硫酸—甲醇溶液,50 °C 恒温水浴 2 h,冷却,加入 4 mL 正己烷,充分混匀,静止 10 min,取上清液,加入少量无水硫酸钠,过 0.22 μm 滤膜。

(2) 气相色谱—质谱分析:色谱柱为 TR-FAME (100 m×0.25 mm×0.20 μm),进样量 1 μL;载气为高纯氦气,流量 1.2 mL/min;进样口温度 250 °C;升温程序:60 °C 保持 1.5 min,以 30 °C/min 升温至 120 °C,以 1.5 °C/min 升温至 250 °C,保持 1.5 min。质谱条件:EI 离子源温度 230 °C,电子能量 70 eV,接口温度 250 °C。利用仪器配置的 NIST 14 标准质谱数据库对藻油样品进行定性分析,按照峰面积归一法计算藻油样品中各组分的相对含量。

1.4 数据处理

采用 IBM SPSS Statistics 21 软件进行数据统计分析,采用 Origin 2017 软件绘图,结果表示为平均值±SD。 $P < 0.05$ 表示差异显著,具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 紫苏提取物对裂壶藻油氧化稳定性的影响

2.1.1 过氧化值 由图 1 可知,强制氧化期间,各剂量组裂壶藻油中的过氧化值均因氧化时间的延长而增加,空白组的过氧化值变化最大。各剂量组的紫苏提取物均对裂壶藻油过氧化值的增加起到抑制作用,与低剂量的紫苏提取物相比,高剂量组的紫苏提取物在各时间点的抑制过氧化效果更佳,呈一定的剂量效应。与空白组相比,强制氧化第 15 天,添加 0.10% 紫苏提取物的裂壶藻油组的过氧化值显著降低 49.97% ($P < 0.01$)。由于紫苏提取物中酚类物质含量较高,且含有多种黄酮类化合物,如

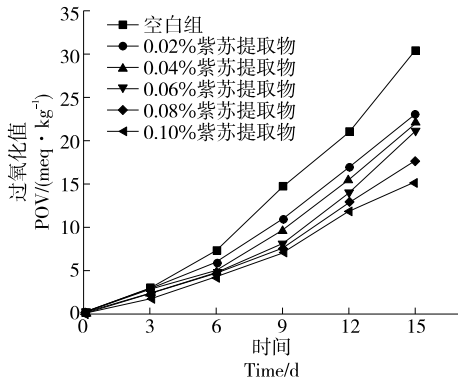


图1 紫苏提取物对裂壶藻油过氧化值的影响

Figure 1 The effect of different doses of perilla extract on the peroxide value of *Schizochytrium* oil

黄酮类、二氢黄酮类、黄酮醇类、二氢黄酮醇类物质^[23],能够有效清除自由基,抑制油脂过氧化反应,延缓裂壶藻油的初级氧化,减少初级氧化产物的产生。

2.1.2 丙二醛值 裂壶藻油的初级氧化产物(ROOH)不稳定,极易分解形成丙二醛等次级氧化产物,损害油脂的品质,通过丙二醛含量反映油脂氧化程度^[24]。由图2可知,各组裂壶藻油中丙二醛值随氧化时间的延长不断增加,强制氧化0~6 d,各剂量组间丙二醛值的差异不明显。强制氧化试验结束后,与空白组相比,各剂量组裂壶藻油中丙二醛含量均显著降低($P < 0.01$)。0.10%, 0.08%紫苏提取物剂量组相比其他剂量组对丙二醛的抑制作用更加明显,0.01%剂量组同比0.08%剂量组丙二醛值下降14.47%。综上,紫苏提取物可显著抑制裂壶藻油的氧化,减少裂壶藻油初级氧化产物的产生,试验所考察的紫苏提取物剂量范围均能有效地抑制裂壶藻油初级氧化产物分解生成丙二醛。

2.1.3 茴香胺值 油脂的氧化伴随着大量初级氧化产物的产生,氢过氧化物在氧化过程中会分解生成醛、酮、酸

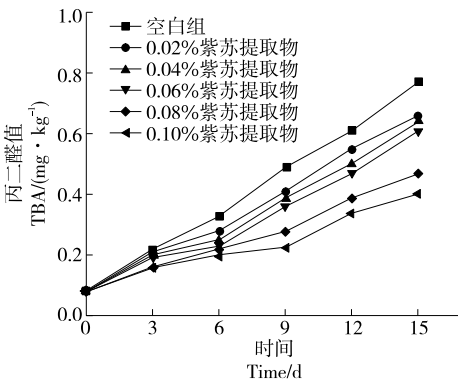


图2 紫苏提取物对裂壶藻油丙二醛值的影响

Figure 2 The effect of different doses of perilla extract on the malondialdehyde value of *Schizochytrium* oil

等次级氧化产物,这些产物通常会导致油脂产生令人不愉快的气味^[25]。由图3可知,随着氧化时间的延长,各组裂壶藻油中

-茴香胺值均增加;裂壶藻油中次级氧化产物开始增多,强制氧化第6天,空白组相比于其他剂量组

-茴香胺值开始显著性增加($P < 0.05$)。与空白组相比,各剂量组由于紫苏提取物的添加抑制了裂壶藻油的氧化,油脂中次级氧化产物减少,

-茴香胺值增加趋势明显降低。强制氧化第15天,0.10%紫苏提取物剂量组的

-茴香胺值为51.88,相比空白组降低了33.02%,是各剂量组中

-茴香胺值下降趋势最显著的一组。

2.1.4 共轭二烯值 裂壶藻油因氧化会产生大量的氢过氧化物,其中不饱和脂肪酸的双键进行重组,形成共轭二烯。由图4可知,各组裂壶藻油的共轭二烯值均随氧化时间的延长而增加,强制氧化6 d后,空白组的共轭二烯值增长趋势明显高于其他组。随着紫苏提取物添加剂量的增加,裂壶藻油中共轭二烯值的增加趋势明显减缓。强制氧化第15天,0.10%紫苏提取物剂量组的共轭二烯值为27.79,相比空白组降低了47.23%;同比其他剂量

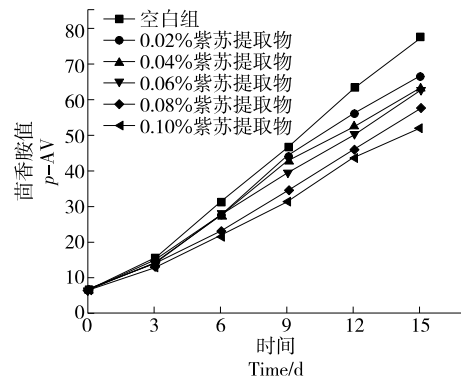


图3 紫苏提取物对裂壶藻油茴香胺值的影响

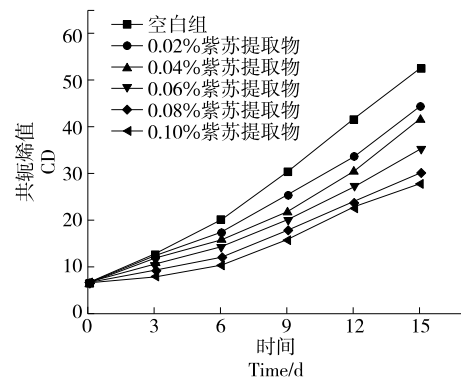
Figure 3 The effect of different doses of perilla extract on the anisidine value of *Schizochytrium* oil

图4 紫苏提取物对裂壶藻油共轭二烯值的影响

Figure 4 The effect of different doses of perilla powder on the conjugated diene value of *Schizochytrium* oil

组,裂壶藻油中添加 0.10% 的紫苏提取物对抑制共轭二烯生成的效果更佳。

2.2 抗氧化剂对裂壶藻油氧化稳定性的影响

2.2.1 过氧化值 由图 5 可知,添加 0.10% 紫苏提取物、0.04% 茶多酚、0.02% TBHQ 的裂壶藻油的过氧化值均显著低于空白组 ($P < 0.05$)。强制氧化 6 d 后,空白组的过氧化值增加趋势明显高于其他组。强制氧化 0~9 d,紫苏提取物添加组与 TBHQ 添加组的过氧化值无显著差异;强制氧化 9 d 后, TBHQ 添加组的效果优于紫苏提取物添加组。60 °C 下强制氧化 15 d 后,茶多酚添加组的过氧化值为 19.44 meq/kg,紫苏提取物添加组的裂壶藻油过氧化值相对茶多酚添加组的降低了 21.35%;紫苏提取物中含有丰富的黄酮类、酚类等天然抗氧化剂,相比单一茶多酚添加组对裂壶藻油的氧化抑制效果更明显;TBHQ 添加组的裂壶藻油过氧化值为 13.52 meq/kg,相比紫苏提取物添加组的降低了 11.58%,说明紫苏提取物的抗氧化效果略低于 TBHQ。综上,3 种抗氧化剂提高裂壶藻油氧化稳定性的效果为 0.02% TBHQ > 0.10% 紫苏提取物 > 0.04% 茶多酚。

2.2.2 丙二醛值 由图 6 可知,强制氧化第 3 天,空白组裂壶藻油的丙二醛值开始明显高于其他组。其中,茶多酚添加组丙二醛值于强制氧化第 6 天开始明显高于紫苏提取物添加组和 TBHQ 添加组。强制氧化第 15 天,与空白组相比,紫苏提取物添加组、茶多酚添加组和 TBHQ 添加组丙二醛值分别降低了 47.79%,33.77%,51.82%,紫苏提取物和 TBHQ 抑制丙二醛升高的效果显著高于茶多酚 ($P < 0.05$)。

2.2.3 茴香胺值 由图 7 可知,强制氧化第 6 天,空白组的茴香胺值增加趋势显著高于抗氧化剂添加组 ($P < 0.05$),强制氧化试验中,紫苏提取物和 TBHQ 降低茴香胺值的效果优于茶多酚;与空白组相比,紫苏提取物添加组、茶多酚添加组和 TBHQ 添加组的茴香胺值分别降低了 33.02%,24.96%,41.23%。

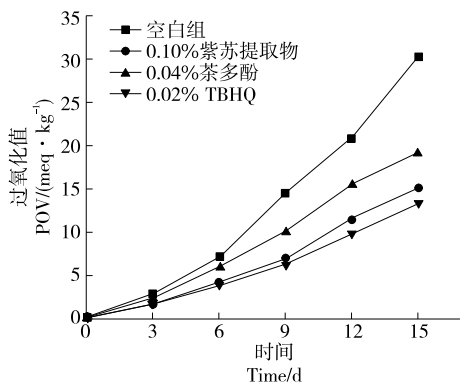


图 5 抗氧化剂对裂壶藻油过氧化值的影响

Figure 5 The effect of different antioxidants on the peroxide value of *Schizochytrium* oil

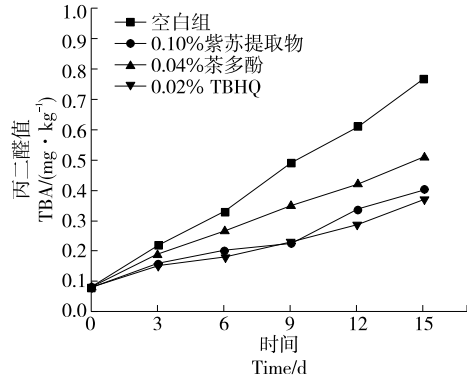


图 6 抗氧化剂对裂壶藻油丙二醛值的影响

Figure 6 The effect of different antioxidants on the malondialdehyde value of *Schizochytrium* oil

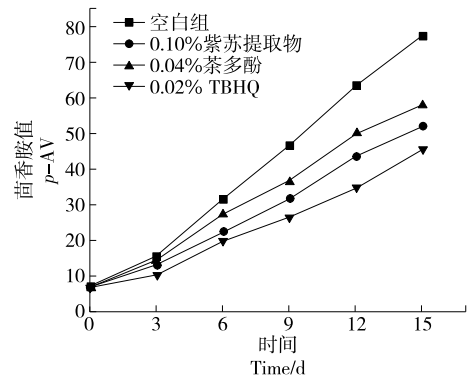


图 7 抗氧化剂对裂壶藻油茴香胺值的影响

Figure 7 The effect of different antioxidants on the anisidine value of *Schizochytrium* oil

2.2.4 共轭二烯值 由图 8 可知,强制氧化期间,各组共轭二烯值均上升。其中,强制氧化 0~9 d,0.10% 紫苏提取物组与 0.02% TBHQ 组的共轭二烯值无显著性差异 ($P > 0.05$)。强制氧化第 15 天,紫苏提取物添加组相比茶多酚添加组共轭二烯值降低了 12.45%,TBHQ 添加组相比紫苏提取物添加组降低了 14.47%,裂壶藻油中添加 0.02% TBHQ 对提高裂壶藻油氧化稳定性的效果最佳,

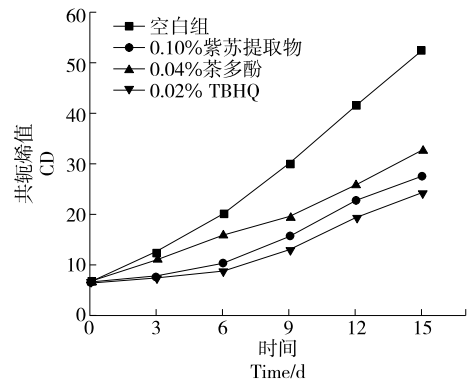


图 8 抗氧化剂对裂壶藻油共轭二烯值的影响

Figure 8 The effect of different antioxidants on the conjugated diene value of *Schizochytrium* oil

紫苏提取物对延缓油脂氧化的效果略低于 TBHQ。

2.3 抗氧化剂对裂壶藻油脂肪酸成分的影响

由图 9、图 10 和表 1 可知,新鲜的裂壶藻油中不饱和脂肪酸相对含量为 62.58%,其中以 DHA 为主,相对含量占 47.66%。饱和脂肪酸以棕榈酸为主,相对含量占 32.13%。经 15 d 的强制氧化试验,未添加抗氧化剂的空白组裂壶藻油的 DHA、DPA 等不饱和脂肪酸相对含量显著下降($P < 0.05$),棕榈酸相对含量显著增加($P < 0.05$)。紫苏提取物添加组的 DHA 含量为 41.50%,不饱和脂肪酸含量相比空白组提高了 16.91%,说明紫苏提取物可以

通过延缓不饱和脂肪酸的氧化分解起到抗氧化效果,这与紫苏提取物中酚类和黄酮类物质清除自由基的活性有关。与其他抗氧化剂组相比,0.02% TBHQ 组的不饱和脂肪酸含量最高,达 59.66%,与过氧化值、丙二醛值、茴香胺值以及共轭二烯值的检测结果一致。紫苏提取物对裂壶藻油的氧化抑制效果略低于 TBHQ,不饱和脂肪酸含量仅减少了 5.30%;紫苏提取物相比茶多酚不饱和脂肪酸含量显著增加了 12.93%,抗氧化效果明显高于茶多酚。综上,各抗氧化剂对裂壶藻油氧化稳定性的作用效果为 0.02% TBHQ > 0.01% 紫苏提取物 > 0.04% 茶多酚。

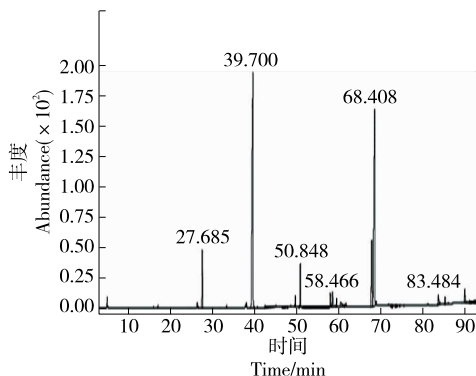


图 9 空白组裂壶藻油气相色谱图

Figure 9 Gas chromatogram of *Schizochytrium* sp. oil in the blank group

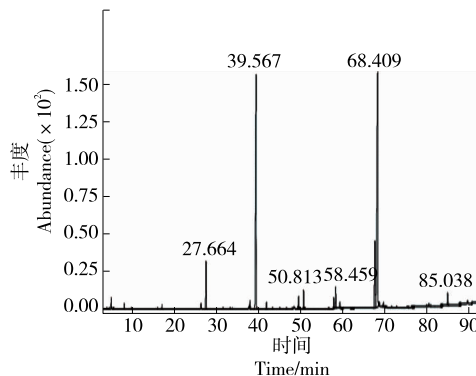


图 10 0.10%紫苏提取物添加组裂壶藻油气相色谱图

Figure 10 Gas chromatogram of *Schizochytrium* sp. oil with 0.10% perilla extract

表 1 抗氧化剂对裂壶藻油脂肪酸成分的影响

Table 1 The effect of antioxidants on the fatty acid composition of *Schizochytrium* oil

油脂成分	相对含量/%				
	新鲜藻油	空白组	0.10%紫苏提取物	0.04%茶多酚	0.02% TBHQ
肉豆蔻酸	2.94	3.58	3.22	3.66	3.15
棕榈酸	32.13	45.12	40.55	44.26	37.08
棕榈油酸	0.46	0.68	0.59	0.94	0.67
油酸	3.14	2.91	3.25	3.39	4.13
硬脂酸	1.51	2.88	1.35	1.27	1.29
花生四烯酸	1.52	1.08	1.45	1.30	1.22
EPA	0.98	0.83	0.86	0.81	0.85
DPA	8.82	6.12	6.99	6.65	7.80
DHA	47.66	36.27	41.50	36.49	43.70
USFA	62.58	47.89	55.99	49.58	59.66

3 结论

通过强制氧化法探究了不同剂量紫苏提取物、0.04% 茶多酚、0.02% TBHQ 对裂壶藻油氧化稳定性的影响。结果表明,紫苏提取物能有效延缓裂壶藻油的氧化,随着添加剂量的增加,裂壶藻油的氧化抑制效果也显著提高。与茶多酚和 TBHQ 的抗氧化能力相比,0.10% 紫苏提取物对裂壶藻油的保护作用略低于 0.02% TBHQ,但明显高于 0.04% 茶多酚。紫苏提取物作为一种天然产物,含

有丰富的具有抗氧化活性的酚类、黄酮类化合物,这些物质的结构中带有能够有效清除自由基和活性氧的酚羟基,同时,紫苏提取物中各种抗氧化成分协同作用,有效阻隔油脂的链式氧化反应,比单一天然抗氧化剂能更有效地防止裂壶藻油的氧化,相比合成抗氧化剂 TBHQ,紫苏提取物的使用也更加安全、可靠。后续可深入探究紫苏提取物对不同种类的油脂以及高油脂产品的氧化抑制作用,此外,探究紫苏提取物完整的抗氧化机制将是后续工作重点。

参考文献

[1] 史超. 裂殖壶菌 DHA 油脂的发酵生产及油脂组成分析[D]. 大连: 大连工业大学, 2018: 5.
SHI Chao. Fermentation production and component analysis of DHA-rich lipid by *Schizochytrium* sp [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2018: 5.

[2] SHAHIDI F, AMBIGAIPALAN P. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and their health benefits[J]. *Annu Rev Food Sci Technol*, 2018 (9): 345-381.

[3] SAINIR K, KEUM Y S. Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: Dietary sources, metabolism, and significance: A review[J]. *Life Sci*, 2018, 203: 255-267.

[4] INNES J K, CALDER P C. Marine omega-3 (n-3) fatty acids for cardiovascular health: An update for 2020[J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 21 (4): 1 362.

[5] GIL A, GIL F. Fish, a mediterranean source of n-3 PUFA: Benefits do not justify limiting consumption[J]. *Br J Nutr*, 2015, 113(2): S58-67.

[6] FRANKEL Edwin N, SATUÉ-GRACIA Teresa, MEYER Anne S, et al. Oxidative stability of fish and algae oils containing long-chain polyunsaturated fatty acids in bulk and in oil-in-water emulsions[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(7): 2 094-2 099.

[7] 陆洋, 杨波涛, 陈凤香. 复配天然抗氧化剂对食用油脂抗氧化效果研究[J]. *食品科学*, 2009, 30(11): 55-57.
LU Yang, YANG Bo-tao, CHEN Feng-xiang. Study on antioxidation of natural antioxidant compound on edible oil[J]. *Food Science*, 2009, 30(11): 55-57.

[8] 沈文娇, 何新益, 冯长禄, 等. 辣椒籽对猪油抗氧化作用研究[J]. *食品与机械*, 2016, 32(12): 170-174.
SHEN Wen-jiao, HE Xin-yi, FENG Chang-lu, et al. Study on the antioxidation of chilli seed in lard oil[J]. *Food & Machinery*, 2016, 32(12): 170-174.

[9] 徐鸿嘉, 潘宇, 刘翼微, 等. 从紫苏中提取迷迭香酸与抗氧化面膜的制备[J]. *广东化工*, 2020, 47(9): 15-16, 24.
XU Hong-jia, PAN Yu, LIU Yi-wei, et al. Extraction of rosmarinic acid from perilla and preparation of anti-oxidant mask [J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2020, 47(9): 15-16, 24.

[10] YUYA Deguchi, MICHIHO Ito. Rosmarinic acid in perilla frutescens and perilla herb analyzed by HPLC[J]. *Journal of Natural Medicines*, 2020, 74(2): 341-352.

[11] KAGAWA N, IGUCHI H, HENZAN M, et al. Drying the leaves of perilla frutescens increases their content of anticancer nutraceuticals[J]. *Food Sci Nutr*, 2019, 7(4): 1 494-1 501.

[12] ASIF M. Phytochemical study of polyphenols in Perilla Frutescens as an antioxidant[J]. *Avicenna J Phytomed*, 2012, 2(4): 169-178.

[13] 茹巧美, 任国平, 胡琼. 紫苏叶多酚超声辅助聚乙二醇提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. *食品与机械*, 2020, 36(10): 136-142.
RU Qiao-mei, REN Gu-ping, HU Wei-qiong. Optimization of ultrasonic-assisted extraction for polyphenols from perilla leaves by polyethylene glycol and its antioxidant activity[J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(10): 136-142.

[14] 王亚平. 紫苏活性成分在灌肠加工应用中的初步研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2018: 47.
WANG Ya-ping. Extraction of active constituents from perilla and preliminary study on the application of enema product[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2018: 47.

[15] 胡晓丹, 张德权, 杜为民, 等. 紫苏提取物对紫苏油抗氧化作用的研究[J]. *食品工业科技*, 2007(8): 118-120.
HU Xiao-dan, ZHANG De-quan, DU Wei-min, et al. Study on antioxidant effect of perilla extract on perilla oil[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2007(8): 118-120.

[16] 朱元龙. 紫苏叶抗氧化物的提取分离及其在油脂中抗氧化应用研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2010: 59-60.
ZHU Yuan-long. Studies on the extraction separation technology and the antioxidant activity in edible oils of antioxidant in perilla frutescens leaf[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2010: 59-60.

[17] 邓金良, 刘玉兰, 肖天真, 等. 不同抗氧化剂对花生油和大豆油氧化稳定性及预测货架期的影响[J]. *中国油脂*, 2019, 44(8): 35-40.
DENG Jin-liang, LIU Yu-lan, XIAO Tian-zhen, et al. Effects of different antioxidants on oxidative stability and predicted shelf life of peanut oil and soybean oil[J]. *China Oils and Fats*, 2019, 44(8): 35-40.

[18] 金清馨. 抗氧化剂对栀子果油氧化稳定性的影响[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2019: 41-42.
JIN Qing-xin. Effects of antioxidants on the oxidative stability of gardenia fruit oil[D]. Hangzhou: Zhejiang A & F University, 2019: 41-42.

[19] 朵静雯. 脂溶性茶多酚抗氧化剂的制备及其应用研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2019: 58-59.
DUO Jing-wen. Fabrication of lipid-soluble tea polyphenol antioxidant and its application[D]. Xi'an: Shaanxi University of Science & Technology, 2019: 58-59.

[20] 欧阳梦云, 王燕, 刘婷, 等. 白藜芦醇对食用油脂抗氧化稳定性的研究[J]. *食品科技*, 2016, 41(2): 205-210.
OUYANG Meng-yun, WANG Yan, LIU Ting, et al. Anti-oxidative stability in edible oil of resveratrol[J]. *Food Science and Technology*, 2016, 41(2): 205-210.

[21] 丁俭, 齐宝坤, 王立敏, 等. 5 种不同植物油氧化程度与脂肪酸比例变化的相关性研究[J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(8): 84-91.
DING Jian, QI Bao-kun, WANG Li-min, et al. Correlation of the degree of five kinds of different vegetable oil oxidation to proportions change of fatty acid[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2017, 32(8): 84-91.

(下转第 136 页)

- queous extraction[J]. *Food & Machinery*, 2016, 32(10): 140-144.
- [10] 吕秋冰, 罗霜, 杨恒, 等. 水酶法提取冬瓜籽油工艺优化及体外抗氧化活性研究[J]. *中国油脂*, 2020, 45(3): 16-21.
LU Qiu-bing, LUO Shuang, YANG Heng, et al. Optimization of aqueous enzymatic extraction process of wax gourd seed oil and its antioxidant activity in vitro[J]. *China Oils and Fats*, 2020, 45(3): 16-21.
- [11] 曾琳, 林秋美, 韩成云, 等. 香榧叶精油的化学成分、抗氧化及抑菌活性的研究[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(2): 98-102.
ZENG Lin, LIN Qiu-mei, HAN Cheng-yun, et al. Study on chemical constituents, antioxidant and antibacterial activities of essential oil from *Torreya grandis* leaves[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2020, 35(2): 98-102.
- [12] 刘文韬, 刘子畅, 周航, 等. 冬枣核油的营养成分和抗氧化能力分析[J]. *中国油脂*, 2020, 45(2): 141-144.
LIU Wen-tao, LIU Zi-chang, ZHOU Hang, et al. Nutrient composition and antioxidant ability of winter jujube kernel oil[J]. *China Oils and Fats*, 2020, 45(2): 141-144.
- [13] 严小平, 李成平, 金建昌. 超声波法提取西瓜籽油的最佳工艺研究[J]. *中国粮油学报*, 2012, 27(3): 53-56.
YAN Xiao-ping, LI Cheng-ping, JIN Jiang-chang, et al. Study on the optimum technology of ultrasonic extraction of watermelon seed oil[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2012, 27(3): 53-56.
- [14] BABOLI Z M, KORDI A A S. Characteristics and composition of watermelon seed oil and solvent extraction parameters effects[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society (JAACS)*, 2010, 87(6): 667-671.
- [15] 陈晖, 江苗, 刘雪锋, 等. 丝瓜籽油索氏提取工艺的优化及理化特性研究[J]. *粮食与油脂*, 2019, 32(1): 43-45.
CHEN Hui, JIANG Miao, LIU Xue-feng, et al. Optimization of Soxhlet extraction and analysis of physicochemical properties of *Luffa* seed oil[J]. *Cereals & Oils*, 2019, 32(1): 43-45.
- [16] 唐芳, 李小元, 吴卫国, 等. 山茶油脂脂肪酸甲酯化条件研究[J]. *粮食与油脂*, 2010(8): 36-39.
TANG Fang, LI Xiao-yuan, WU Wei-guo, et al. Study on methyl-esterification conditions of fatty acid in camellia oil[J]. *Cereals & Oils*, 2010(8): 36-39.
- [17] 李玉英, 王玉玲, 王转花. 藜麦营养成分分析及黄酮提取物的抗氧化和抗菌活性研究[J]. *山西农业科学*, 2018, 46(5): 729-733.
LI Yu-ying, WANG Yu-ling, WANG Zhuan-hua. Study on nutritional components of quinoa and the antioxidant and antibacterial activity of flavonoids extracts[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2018, 46(5): 729-733.
- [18] SUN T, HO C T. Antioxidant activities of buckwheat extracts[J]. *Food Chemistry*, 2005, 90(4): 743-749.
- [19] 杨虎, 张生堂, 高国强. 玫瑰黄酮的提取及其清除 DPPH 自由基活性研究[J]. *食品科学*, 2012, 33(24): 152-155.
YANG Hu, ZHANG Sheng-tang, GAO Guo-qiang. Extraction and DPPH radical scavenging activity of flavonoids from rose flower buds[J]. *Food Science*, 2012, 33(24): 152-155.
- [20] 胡滨, 陈一资, 王雪铭. 红花籽油的抗氧化功能研究[J]. *中国粮油学报*, 2016, 31(6): 86-92.
HU Bing, CHEN Yi-zi, WANG Xue-ming. Study on antioxidant function of safflower seed oil[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2016, 31(6): 86-92.
- [21] 韩子晗, 孙尧, 杨富雅, 等. 林蛙卵油的提取、成分分析及抗氧化活性研究[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(11): 60-65.
HAN Zi-han, SUN Rao, YANG Fu-ya, et al. Extraction, component analysis and antioxidant activity of *Rana chensinensis* egg oil[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(11): 60-65.
- [22] 林海. 欧李仁油抗氧化活性的研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(15): 105-111.
LIN Hai. Study on antioxidation activities of Chinese dwarf chetty seed oil[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(15): 105-111.
- [23] 李丽丽, 孙泽宇, 刘雄民, 等. 柠檬桉树脂总黄酮的提取纯化及抗氧化活性[J]. *精细化工*, 2019, 36(8): 1 571-1 576.
LI Li-li, SUN Ze-yu, LIU Xiong-min, et al. Extraction, purification and antioxidant activities of total flavonoids in *eucalyptus citriodora* resin[J]. *Fine Chemicals*, 2019, 36(8): 1 571-1 576.
- [24] 高瑾, MANONOSE Tariro-upenyu, 李志豪, 等. 丙二醛氧化对籽瓜种仁蛋白质结构及功能特性的影响[J]. *食品与机械*, 2019, 35(11): 17-21, 151.
GAO Jin, MANONOSE Tariro-upenyu, LI Zhi-hao, et al. Effects of malondialdehyde oxidation on structure and functional properties of watermelon seed protein[J]. *Food & Machinery*, 2019, 35(11): 17-21, 151.
- [25] 姚云平, 于淼航, 陈丽媛, 等. 利用二茂铁检测植物油过氧化值方法的建立[J]. *食品与机械*, 2021, 37(6): 76-80, 149.
YAO Yun-ping, YU Miao-hang, CHEN Li-yuan, et al. Establishment of method for estimation of peroxide value in vegetable oil with ferrocene[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(6): 76-80, 149.

(上接第 126 页)

- [22] 刘静. 裂殖壶 *Schizochytrium* sp. FJU-512 在温度胁迫下的差异蛋白质组学研究[D]. 福州: 福建师范大学, 2010: 19.
LIU Jin. Differential proteomics analysis of *Schizochytrium* sp. FJU-512 in response to temperature stress[D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2010: 19.
- [23] 王芸, 张玥莉. 不同产地紫苏梗中总黄酮含量比较及其提取工艺的考察[J]. *上海医药*, 2018, 39(13): 76-79.
WANG Yun, ZHANG Yue-li. Comparison of the content of total flavonoids in the stem of *perilla frutescens* from different region and the study on extracting process[J]. *Shanghai Medical & Pharmaceutical Journal*, 2018, 39(13): 76-79.

- [24] 高瑾, MANONOSE Tariro-upenyu, 李志豪, 等. 丙二醛氧化对籽瓜种仁蛋白质结构及功能特性的影响[J]. *食品与机械*, 2019, 35(11): 17-21, 151.
GAO Jin, MANONOSE Tariro-upenyu, LI Zhi-hao, et al. Effects of malondialdehyde oxidation on structure and functional properties of watermelon seed protein[J]. *Food & Machinery*, 2019, 35(11): 17-21, 151.
- [25] 姚云平, 于淼航, 陈丽媛, 等. 利用二茂铁检测植物油过氧化值方法的建立[J]. *食品与机械*, 2021, 37(6): 76-80, 149.
YAO Yun-ping, YU Miao-hang, CHEN Li-yuan, et al. Establishment of method for estimation of peroxide value in vegetable oil with ferrocene[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(6): 76-80, 149.