

大黄鱼鱼卵磷脂抗油茶籽油氧化作用的研究

钟榕斌^{1,2}, 曾巧玲^{1,2}, 杨伟³, 孙音¹, 火玉明^{1,2}, 梁鹏^{1,2,4*}, 陈丽娇^{1,2,4}, 程文健^{1,2,4}

(1. 福建农林大学食品科学学院, 福州 350002; 2. 闽台特色海洋食品加工及营养健康教育工程研究中心, 福州 350002; 3. 日照市农产品质量安全检验检测中心, 日照 276800; 4. 福建省海洋生物技术重点实验室, 福州 350002)

摘要: 目的 研究大黄鱼鱼卵磷脂(phospholipids from large yellow croaker roe, LYCRPs)对油茶籽油的抗氧化作用。**方法** 利用 Schaal 烘箱法, 将含有不同质量分数鱼卵磷脂(0.05%、0.10%、0.20%、0.40%)的油茶籽油放置在(60±0.5) °C烘箱中加速氧化 21 d, 同时做空白对照组, 以及大豆卵磷脂、特丁基对苯二酚(tert-butyl hydroquinone, TBHQ)为阳性对照组, 测定加速氧化期间油脂的过氧化值(peroxide value, POV)与酸价(acid value, AV), 分析鱼卵磷脂对油茶籽油氧化酸败的抑制效果, 结合范特霍夫(Van'T Hoff)定律进行货架期预测, 探究鱼卵磷脂对油茶籽油的抗氧化作用。**结果** 与空白对照组相比, 不同质量分数鱼卵磷脂(0.05%、0.10%、0.20%、0.40%)均能够有效抑制油茶籽油过氧化值和酸价的升高($P < 0.05$), 且呈现一定的剂量效应关系, 各组鱼卵磷脂的抑制效果优于 0.10%大豆卵磷脂, 但劣于 0.02% TBHQ; 货架期预测结果显示, 鱼卵磷脂可将油茶籽油在 20 °C下的保质期最多延长 96 d。**结论** 大黄鱼鱼卵磷脂能够有效抑制油茶籽油的氧化酸败, 提升油茶籽油的抗氧化稳定性, 具有较好的油脂天然抗氧化剂开发前景。

关键词: 大黄鱼鱼卵; 磷脂; 油茶籽油; 抗氧化剂

Study on antioxidant effect of phospholipids from large yellow croaker roe on *Camellia* oil

ZHONG Rong-Bin^{1,2}, ZENG Qiao-Ling^{1,2}, YANG Wei³, SUN Yin¹, HUO Yu-Ming^{1,2},
LIANG Peng^{1,2,4*}, CHEN Li-Jiao^{1,2,4}, CHENG Wen-Jian^{1,2,4}

(1. College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Engineering Research Centre of Fujian-Taiwan Special Marine Food Processing and Nutrition Ministry of Education, Fuzhou 350002, China; 3. Rizhao Agricultural Products Quality and Safety Inspection and Testing Center, Rizhao 276800, China; 4. Key Laboratory of Marine Biotechnology of Fujian Province, Fuzhou 350002, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the antioxidant effect of phospholipids from large yellow croaker roe (LYCRPs) on *Camellia* oil. **Methods** The oils containing different concentrations of LYCRPs (0.05%, 0.10%, 0.20%, 0.40%) were stored in the Schaal oven at (60±0.5) °C for 21 days, meanwhile, the blank control group and two positive control group of soy lecithin and tert-butyl hydroquinone (TBHQ) were added as reference, the peroxide

基金项目: 国家自然科学基金(31801465)、福建省自然科学基金(2021J01109)、福建省财政专项补助项目(KJG19009A)、福建农林大学杰出青年科研资助项目(XJQ201808)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31801465), the Natural Science Foundation of Fujian Province (2021J01109), the Financial Special Subsidy Project of Fujian Province (KJG19009A), the Research Grant Project for Distinguished Young Scholar of Fujian Agriculture and Forestry University (XJQ201808), and the Spark Project of Fujian Science and Technology Committee (2020S0060)

*通信作者: 梁鹏, 副教授, 主要研究方向为水产油脂化学与营养。E-mail: liangpeng137@sina.com

*Corresponding author: LIANG Peng, Associate Professor, College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, No.15, Shangxiadian Road, Cangshan District, Fuzhou 350002, China. E-mail: liangpeng137@sina.com

value (POV) and acid value (AV) of the oils were measured during accelerated oxidation to analyze the inhibitory effect of LYCRPs on oxidation rancidity of *Camellia* oil, and combining with Van't Hoff's law for shelf time prediction, the antioxidation of LYCRPs on *Camellia* oil was investigated. **Results** LYCRPs in different mass fractions (0.05%, 0.10%, 0.20%, 0.40%) were all effective in inhibiting the increase of POV and AV of *Camellia* oil compared with the blank control group ($P < 0.05$), which presented a dose-effect relationship, the inhibition effect of LYCRPs on oxidation was better than 0.10% soy lecithin but inferior to 0.02% TBHQ. The shelf life prediction results showed that LYCRPs could prolong the shelf life of *Camellia* oil by 96 days at 20 °C. **Conclusion** LYCRPs not only can effectively inhibit oxidation and enhance the antioxidant stability of *Camellia* oil, but also has a good prospect for the development of natural oil antioxidants.

KEY WORDS: large yellow croaker roe; phospholipids; *Camellia* oil; antioxidant

0 引言

油茶籽油(*Camellia* oil), 又名茶油, 是从油茶的成熟种子中提取的植物油, 富含对人体有益的油酸、亚油酸、茶多酚和茶皂甙^[1-2], 油酸和茶多酚可帮助人体降低肠道中的胆固醇含量^[3], 而茶皂甙具有抗氧化能力以及抗真菌、抗病毒和抗炎活性^[4]。近期有研究证明, 茶油对接触性皮炎^[5]和功能性便秘^[6]等也具有一定治疗和改善作用。因此, 油茶籽油不仅可供人们日常食用, 亦可用于医药行业。但油脂在储存过程中易受温度、光照、氧气等环境因素影响, 氧化产生低分子的醛、酮、酸等有哈喇味产物^[7], 使得油脂营养物质含量降低、口感变差。

为维持油脂的品质, 延长其保质期, 人们会在油脂中加入适量抗氧化剂来延缓氧化进程^[8]。传统的人工合成抗氧化剂, 如特丁基对苯二酚(*tert*-butyl hydroquinone, TBHQ)、2,6-二叔丁基对甲酚(*butylated hydroxytoluene*, BHT)和丁基羟基茴香醚(*butyl hydroxyanisole*, BHA)等, 虽具有很强的抗氧化能力, 但对人体内脏器官会产生一定副作用, 使得合成抗氧化剂在食品领域中的应用逐渐受到限制^[9-10]。由此, 天然抗氧化剂在食品领域中得到广泛关注^[11-12], 除了常见的茶多酚、维生素 E、L-抗坏血酸等天然抗氧化剂外, 近年来愈多具有抗氧化作用的天然活性物质被发现^[13], 梁恒宇等^[14]发现粗壮女贞苦丁茶提取物能够抑制油脂氧化酸败, 而钱金旖等^[15]发现从马兰头中提取的黄酮粗提物具有良好的自由基清除能力。由此可见, 天然抗氧化剂开发不仅是一种发展趋势, 而且对油脂加工贮藏行业具有重要经济价值。有研究表明, 天然磷脂在适当条件下能够产生一定的抗氧化作用^[16], 特别是传统大豆卵磷脂作为抗氧化剂的研究报道诸多, 如 JUDDE 等^[17]发现大豆卵磷脂对菜籽油能够产生良好的抗氧化作用。潘开林等^[18]和袁博等^[19]也发现大豆卵磷脂能够显著延长超级棕榈油和二十二碳六烯酸(*docosahexaenoic acid*, DHA)藻油的货架期。有报道显示, 源于海洋生物资源的磷脂亦具有良好的抗氧化作用^[20], CHO 等^[21]观察到鲑鱼内脏所含有磷脂能够抑制本身脂质氧化, LI 等^[22]比较了虾头磷脂、大豆磷脂、蛋黄磷脂三者

的抗氧化性能, 发现虾头磷脂效果更优。海洋磷脂可从各类海产品加工副产物中获得^[23], 来源广泛且易得, 但目前针对海洋磷脂作为抗氧化剂加入到油脂中的研究相对较少。

大黄鱼(*Larimichthys crocea*), 石首鱼科, 盛产于我国东南沿海地区, 因其肉质鲜美、口感细腻而备受青睐^[24], 2020 年产量居海水鱼养殖鱼类之首。本课题组前期研究表明, 大黄鱼加工副产物鱼卵中含有丰富的 *n*-3 多不饱和脂肪酸型磷脂, 具有良好的自由基清除能力^[25], 但作为植物油食品抗氧化的研究尚未开展。为拓宽鱼卵磷脂利用途径, 本研究采用 Schaal 烘箱法, 通过考查添加鱼卵磷脂的油茶籽油在贮藏期间的过氧化值和酸价的变化, 运用范特霍夫定律对油茶籽油货架期进行预测, 探讨大黄鱼鱼卵磷脂对油茶籽油的抗氧化效果, 以期海洋来源磷脂作为油脂抗氧化剂使用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大黄鱼鱼卵(福建岳海水产食品有限公司); 油茶籽油(压榨一级, 江西飞得高实业有限公司)。

95%乙醇、正己烷、丙酮、三氯甲烷、冰乙酸、碘化钾、可溶性淀粉、硫代硫酸钠、氢氧化钠、乙醚、异丙醇(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 大豆卵磷脂(纯度 14%~23%, 北京索莱宝科技有限公司)、特丁基对苯二酚(*tert*-butyl hydroquinone, TBHQ)(分析纯, 天津希恩思生化科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

LGJ-12S 冷冻干燥机(北京松源华兴科技发展有限公司); R-1001VN 旋转蒸发器(郑州长城科工贸有限公司); HN-30K 手持式均质机(上海汗诺仪器有限公司); DHG-9070A 电热鼓风干燥箱(上海精宏实验设备有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 大黄鱼鱼卵磷脂的提取

将大黄鱼鱼卵进行冷冻干燥处理(温度设定为-60 °C, 时间为 24 h), 干燥后的鱼卵经 20 目筛过筛后得到鱼卵粉。鱼卵磷脂提取前, 丙酮需提前放置在冰箱(0~4 °C)中 6 h 预冷处

理。称取 50 g 鱼卵粉置于 500 mL 烧杯中, 并加入 250 mL 的 95%乙醇溶液, 室温下搅拌 2 h 后经抽滤得到滤液, 重复此操作 3 次, 并利用旋转蒸发仪除去滤液中的乙醇得到鱼卵油, 加入正己烷、冷丙酮进行反复萃取磷脂, 最终除去正己烷和冷丙酮得到大黄鱼鱼卵磷脂, 置于-5 °C下保存。

1.3.2 Schaal 烘箱加速氧化实验

称取 50 g 压榨一级油茶籽油置于 100 mL 烧杯中, 按油茶籽油质量的 0.05%、0.10%、0.20%、0.40% (*m:m*) 分别添加大黄鱼鱼卵磷脂, 而后利用手持式均质机以 26000 r/min 处理 3 min, 使鱼卵磷脂在油茶籽油中完全溶解, 无可见不溶物。同时设置两组阳性对照组: 添加 0.02% TBHQ 对照组(添加量参照 GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》中植物油允许的最大添加量); 添加 0.10% 大豆卵磷脂对照组。另外设置空白对照组(压榨一级油茶籽油, 不添加任何抗氧化剂)。

采用 Schaal 烘箱法, 将所有油茶籽油放入(60±0.5) °C 恒温烘箱中做 21 d 加速氧化实验, 烧杯保持敞开, 每隔 24 h 搅拌一次, 每隔 3 天测定过氧化值(peroxide value, POV)与酸价(acid value, AV)。

1.3.3 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》中的滴定法测定油样的过氧化值。

1.3.4 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》中的冷溶剂指示剂滴定法测定油样的酸价。

1.3.5 油脂货架期预测

当过氧化值作为评价油脂氧化程度的指标时, 在动力学上, 油脂氧化反应属于一级反应, 依据范特霍夫(Van't Hoff)定律, 当反应温度每提高 10 °C, 油脂氧化反应速率将提高到原来的 2~4 倍, 详见公式(1):

$$\frac{k_{(T+10)}}{k_T} = 2 \sim 4 \quad (1)$$

其中: k 表示反应速率常数; T 表示反应温度, °C; 且 k 与

t (油脂货架期)成反比, 即反应速率常数 k 越大, 油脂货架期 t 越短, 由此可得公式(2):

$$\frac{t_T}{t_{(T+10)}} = 2 \quad (2)$$

其中: t 表示油脂货架期; T 表示反应温度, °C; 并得到反应温度与油脂货架期系数的关系表^[26], 详见表 1。

表 1 反应温度与油脂货架期系数关系

Table 1 Relationship between reaction temperatures and shelf life coefficients of oil

反应温度(T)/°C	60	50	40	30	20	10
油脂货架期系数	1	2	4	8	16	32

由表 1 可知, 在烘箱加速氧化实验中, 油茶籽油在 60 °C 环境下放置 1 d 相当于室温 20 °C 下储存了 16 d, 以此作为油茶籽油货架期预测的依据。

1.4 数据处理

各测定操作过程均重复 3 次, 数据均以“平均值±标准偏差”的形式表示。所得实验数据采用 IBM SPSS Statistics 25.0 的单因素方差分析(analysis of variance, ANOVA)法进行统计学分析, 并采用 Origin 2018 进行作图。

2 结果与分析

2.1 油茶籽油过氧化值的变化

POV 是衡量油脂氧化程度的一项重要指标^[27], 在一定程度上能够表征油脂氧化过程中初级氧化产物的含量; 因此, 在油脂储藏过程中, 过氧化值常被作为判断油脂氧化及酸败程度的重要依据。由表 2 可知, 在 60 °C 的烘箱环境下, 各实验组油茶籽油的过氧化值随着储藏时间的延长, 均呈增大趋势, 说明油脂中脂肪酸氧化产生的初级氧化产物在不断积累, 但过氧化值增大趋势程度因抗氧化剂浓度和种类的不同而有所差异。

表 2 不同条件下油茶籽油储藏期间过氧化值变化($n=3$)

Table 2 POV changes of *Camellia* oil during storage under different conditions ($n=3$)

时间/d	过氧化值/(mmol/kg)						
	空白	0.05%鱼卵磷脂	0.10%鱼卵磷脂	0.20%鱼卵磷脂	0.40%鱼卵磷脂	0.10%大豆卵磷脂	0.02% TBHQ
0	3.25±0.11 ^a	3.27±0.06 ^a	3.18±0.09 ^a	3.04±0.08 ^a	3.16±0.21 ^a	3.26±0.16 ^a	3.04±0.11 ^a
3	14.50±0.31 ^a	11.64±0.76 ^b	10.09±0.38 ^{cd}	9.15±0.41 ^d	6.81±0.35 ^e	10.71±1.12 ^{bc}	2.93±0.30 ^f
6	21.46±0.60 ^a	16.47±0.29 ^c	14.48±0.50 ^d	12.36±0.82 ^e	9.88±0.63 ^f	18.61±1.29 ^b	2.46±0.19 ^g
9	33.60±2.32 ^a	23.31±1.51 ^b	23.01±0.61 ^{bc}	20.33±1.20 ^c	12.28±0.25 ^d	24.45±2.69 ^b	3.09±0.12 ^c
12	34.59±0.57 ^a	27.28±1.53 ^{bc}	25.49±2.53 ^{cd}	23.55±1.54 ^d	16.84±0.16 ^e	29.25±1.95 ^b	3.41±0.26 ^f
15	48.00±3.04 ^a	36.84±2.58 ^b	33.17±3.00 ^{bc}	32.19±2.21 ^c	22.98±0.93 ^d	36.53±1.54 ^b	3.45±0.24 ^e
18	69.49±2.15 ^a	42.55±2.96 ^b	39.98±4.99 ^{bc}	35.41±2.12 ^c	27.27±2.11 ^d	41.83±3.79 ^b	3.39±0.78 ^c
21	81.55±3.30 ^a	50.14±3.64 ^b	45.66±2.54 ^{bc}	42.39±0.61 ^c	30.83±1.26 ^d	50.00±2.87 ^b	4.78±1.41 ^c

注: a-g: 同行字母不同表示差异显著, $P < 0.05$, 下同。

由表 2 可知, 随着大黄鱼鱼卵磷脂含量的增加, 油茶籽油过氧化值随时间的增大趋势逐渐放缓, 由统计学结果可知, 鱼卵磷脂抗油茶籽油氧化的作用呈现一定的剂量效应关系; 国际法典委员会规定油茶籽油的过氧化值不得超过 10 mmol/kg^[28], 随着加速氧化时间的延长, 添加 0.20%、0.40% 鱼卵磷脂的油茶籽油分别在第 6 d 和 9 d 超过 10 mmol/kg, 相较于空白对照组第 3 d 就超过 10 mmol/kg, 有效延缓了油茶籽油的 POV 增加趋势。这可能与鱼卵磷脂含有丰富的多不饱和脂肪酸有关, 磷脂的抗氧化性能主要取决于脂肪酸不饱和程度^[29-30], 本课题组前期研究发现大黄鱼鱼卵磷脂中不饱和脂肪酸相对含量达 61.43%^[31], 因而鱼卵磷脂具有良好的抗氧化性能, 可有效延缓油茶籽油的氧化酸败进程。

在相同的 0.10% 添加量下, 鱼卵磷脂的抗氧化作用较优于大豆卵磷脂, 其原因在于鱼卵磷脂比大豆卵磷脂含有更高含量的磷脂酰胆碱(phosphatidylcholine, PC), 鱼卵磷脂中 PC 含量高达 60%^[25], 而大豆卵磷脂所含 PC 量在 45% 左右^[32], PC 极性头部侧链的胆碱具有活性氨基, 能够将氢过氧化物还原成相应的醇, 延缓氢过氧化物进一步分解^[33]。0.02% TBHQ 添加量可使油茶籽油的过氧化值在储藏期间处于较低值, 说明人工合成抗氧化剂具有更好的抗氧化效果, 但某些不法商家为了使油脂超长期不变质而加入超过国家规定的最大添加量, 人们若在不知情情况下长期摄入此类油脂, 会对健康造成极大危害, 如过量食用 TBHQ 可致癌、致畸形的危害^[34]。

2.2 油茶籽油酸价的变化

由于受到光线、温度等环境因素的影响, 油脂氧化反应产物氢过氧化物会进一步分解产生游离脂肪酸, 通过测定油样 AV 判断油脂酸败所产生的游离脂肪酸含量, 一定程度上也可以评价油脂的酸败程度^[35]。由表 2 可知, 随着

加速氧化时间的延长, 各实验组油茶籽油酸价均呈现上升趋势, 且上升趋势与过氧化值增大趋势相似。第 0 d 时, 初始酸价均在 0.1~0.15 mg/g 之间, 符合压榨一级油茶籽油的标准; 除空白对照组外, 其他各实验组在第 0~9 d 时, 酸价均保持在较低值, 尤其是 0.40% 鱼卵磷脂实验组与 0.02% TBHQ 阳性对照组的油茶籽油酸价直至第 15 d 才开始逐步增大; 但超过第 15 d 时, 油脂出现大幅度酸败, 酸价上升趋势愈加明显。

与空白对照组相比, 鱼卵磷脂能够有效延缓酸价的上升趋势, 尤其在 0~9 d 中, 相较于对过氧化值的抑制效果, 酸价受到的抑制更为明显, 这是由于鱼卵磷脂参与了氢过氧化物的还原反应, 游离脂肪酸的产生得到了有效抑制。在添加鱼卵磷脂的实验组中, 抑制效果随着浓度的增加而增大, 这是由于鱼卵磷脂含量较高的油样中, 有更多磷脂分子参与还原氢过氧化物, 由此, 0.40% 鱼卵磷脂的抗氧化效果更为明显。在相同添加量的条件下, 鱼卵磷脂与大豆卵磷脂均能够抑制油脂氧化产生游离脂肪酸, 但鱼卵磷脂的抑制效果要略优于大豆卵磷脂。由表 3 可以看出, 大黄鱼鱼卵磷脂在加速氧化前期, 其抑制游离脂肪酸生成的效果与 TBHQ 是相似的, 说明鱼卵磷脂在油脂氧化的某一阶段上能够替代 TBHQ。

2.3 货架期预测结果

由表 1 可知, 60 °C 下加速氧化 1 d 相当于在 20 °C 下储藏了 16 d, 根据国际法典委员会规定的油茶籽油过氧化值不得超过 10 mmol/kg, 由表 2 可知油茶籽油在 60 °C 下的储藏时间为: 3 d (空白对照组)、3 d (0.10% 鱼卵磷脂组)、6 d (0.20% 鱼卵磷脂组)、9 d (0.40% 鱼卵磷脂组), 从而可以预测出油茶籽油在 20 °C 下的储藏时间分别为: 48、48、96 和 144 d, 最终 0.40% 大黄鱼鱼卵磷脂的添加量可使油茶籽油由 48 d 延长至 144 d, 油脂货架期增加了 96 d。

表 3 不同条件下油茶籽油储藏期间酸价变化的差异显著性分析(n=3)
Table 3 AV changes of *Camellia* oil during storage under different conditions (n=3)

时间/d	酸价/(mg/g)						
	空白	0.05%鱼卵磷脂	0.10%鱼卵磷脂	0.20%鱼卵磷脂	0.40%鱼卵磷脂	0.10%大豆卵磷脂	0.02% TBHQ
0	0.14±0.03 ^a	0.13±0.02 ^a	0.12±0.02 ^a	0.13±0.02 ^a	0.12±0.05 ^a	0.13±0.03 ^a	0.12±0.02 ^a
3	0.20±0.02 ^a	0.15±0.02 ^b	0.13±0.02 ^b	0.14±0.02 ^b	0.13±0.02 ^b	0.14±0.02 ^b	0.13±0.01 ^b
6	0.22±0.03 ^a	0.16±0.03 ^b	0.14±0.01 ^b	0.14±0.02 ^b	0.14±0.01 ^b	0.14±0.04 ^b	0.13±0.02 ^b
9	0.24±0.04 ^a	0.17±0.03 ^b	0.14±0.02 ^b	0.14±0.02 ^b	0.14±0.01 ^b	0.15±0.02 ^b	0.14±0.04 ^b
12	0.28±0.03 ^a	0.22±0.03 ^b	0.20±0.02 ^{bc}	0.17±0.02 ^{cd}	0.14±0.01 ^d	0.21±0.04 ^{bc}	0.14±0.01 ^d
15	0.40±0.04 ^a	0.34±0.05 ^{ab}	0.25±0.04 ^c	0.18±0.02 ^d	0.15±0.01 ^d	0.29±0.03 ^{bc}	0.15±0.04 ^d
18	0.45±0.03 ^a	0.42±0.04 ^{ab}	0.35±0.06 ^c	0.31±0.03 ^c	0.21±0.02 ^d	0.37±0.03 ^{bc}	0.16±0.01 ^d
21	0.75±0.01 ^a	0.62±0.03 ^b	0.46±0.03 ^c	0.40±0.02 ^d	0.28±0.03 ^c	0.49±0.04 ^c	0.18±0.01 ^f

3 结论与讨论

研究表明,鱼卵磷脂能够有效抑制油茶籽油过氧化值和酸价的升高,说明鱼卵磷脂可以有效提高油茶籽油的抗氧化性;但不同的是,鱼卵磷脂对酸价升高的抑制效果更为明显,这是本研究未曾设想到的,其原因有待进一步研究。与此同时,鱼卵磷脂对油茶籽油的抗氧化效果呈现出剂量效应关系,其中以0.40%鱼卵磷脂添加量的抗氧化效果最为显著($P < 0.05$);而在相同0.10%添加量的情况下,鱼卵磷脂的抗氧化作用比大豆卵磷脂更强;TBHQ作为食品生产中常用的合成类抗氧化剂,对提升油茶籽油的抗氧化稳定性起到了良好的作用,鱼卵磷脂在一定储藏期亦可达到与TBHQ相类似的抗氧化效果;在油茶籽油货架期预测结果中,0.40%鱼卵磷脂可将油茶籽油在20℃下的货架期延长96 d。

磷脂作为一种天然抗氧化剂,可根据食品生产需要适量添加使用,本研究创新性提出从大黄鱼鱼卵中提取磷脂,并将鱼卵磷脂添加到油茶籽油中,通过Schaal烘箱加速氧化实验对大黄鱼鱼卵磷脂的抗油脂氧化效果进行研究,发现鱼卵磷脂可起到良好的抗氧化作用,这为海洋来源磷脂作为油脂天然抗氧化剂提供一定的理论依据和数据参考。

参考文献

- 张立伟,王辽卫.我国油茶产业的发展现状与展望[J].中国油脂,2021,46(6):6-9,27.
- ZHANG LW, WANG LW. Prospect and development status of oil-tea *Camellia* industry in China [J]. China Oils Fats, 2021, 46(6): 6-9, 27.
- 胡孝贵,高学鹏.富硒茶油的研究综述[J].农业与技术,2021,41(4):24-28.
- HU XG, GAO XP. A review of research on selenium-rich *Camellia* oil [J]. Agric Technol, 2021, 41(4): 24-28.
- CHENG YT, WU SL, HO CY, et al. Beneficial effects of *Camellia* oil (*Camellia oleifera* Abel.) on ketoprofen-induced gastrointestinal mucosal damage through upregulation of HO-1 and VEGF [J]. J Agric Food Chem, 2014, 62(3): 642-650.
- WANG B, TU Y, ZHAO SP, et al. Effect of tea saponins on milk performance, milk fatty acids, and immune function in dairy cow [J]. J Dairy Sci, 2017, 100(10): 8043-8052.
- 冯秋瑜,黎敏航,胡宇婷,等.瑶族复方山茶油对变应性接触性皮炎小鼠的作用及机制研究[J].广西中医药,2021,44(1):59-61.
- FENG QY, LI MH, HU YT, et al. Study on the effect and mechanism of compound *Camellia* oil of Yao nationality on mice with allergic contact dermatitis [J]. Guangxi J Tradit Chin Med, 2021, 44(1): 59-61.
- 刘婷婷,吴相欢,田民义,等.不同方法提取茶油对便秘小鼠的通便作用研究[J].粮食与油脂,2020,33(12):41-44.
- LIU TT, WU XH, TIAN MY, et al. Study on defecating function in constipated mice of tea-seed oil by various extraction methods [J]. Cere Oils, 2020, 33(12): 41-44.
- 陈芳,陈伟娜,胡小松.基于油脂氧化的食品加工伴生危害物形成研究进展[J].中国食品学报,2015,15(12):9-15.
- CHEN F, CHEN WN, HU XS. Research progress on the formation of toxic compounds in food processing based on lipid oxidation [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2015, 15(12): 9-15.
- JANSSEN HG, GAH C, STEENBERGEN H, et al. A fast GC-MS-based method for efficacy assessment of natural anti-oxidants for inhibiting lipid oxidation [J]. J AOAC Int, 2021, 104(2): 260-266.
- 李永强,陈福新,陈琦.食品级抗氧化剂BHT国内市场应用情况[J].现代食品,2020,(9):68-69.
- LI YQ, CHEN FX, CHEN Q. Application of food grade antioxidant BHT in domestic market [J]. Mod Food, 2020, (9): 68-69.
- 刘杨,申孟,杨宏苗,等.食品中抗氧化剂检测技术的研究进展[J].粮食与油脂,2020,33(3):25-27.
- LIU Y, SHEN M, YANG HM, et al. Research progress on detection technology of antioxidants in food [J]. Cere Oils, 2020, 33(3): 25-27.
- 张雅楠,梁鹏,谢静仪.天然食品抗氧化剂的研究进展[J].中国食物与营养,2019,25(1):67-71.
- ZHANG YN, LIANG P, XIE JY. Research advancements of natural food antioxidants [J]. Food Nutr Chin, 2019, 25(1): 67-71.
- KUMAR SA, SURESH G, HARIPRASAD V, et al. Enhancement of oxidative stability and cold flow properties of coconut oil using natural antioxidant additives for development of bio-lubricant [J]. J Eng Tribol, 2020, 235(4): 758-764.
- SADOVOY VV, VOBLIKOVA TV, MORGUNOVA AV, et al. Development of a food antioxidant additive technology out of grape pomace [J]. IOP Conf Ser: Earth Environ Sci, 2021, 640(2): 022800.
- 梁恒宇,高浩祥,何强,等.粗壮女贞苦丁茶提取物对油脂氧化的抑制作用[J].食品安全质量检测学报,2021,12(15):6139-6145.
- LIANG HY, GAO HY, HE Q, et al. Inhibition effect of *Ligustrum robustum* (Roxb.) Blume extract on the oxidation of oil [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(15): 6139-6145.
- 钱金旎,黄震洋,李静,等.马兰头黄酮粗提物对油脂的抗氧化活性研究[J].食品安全质量检测学报,2021,12(19):7761-7766.
- QIAN JY, HUANG ZY, LI J, et al. Study on antioxidant activity of crude extract of flavonoids from *Kalimerisindica* L. on oil [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(19): 7761-7766.
- CUI LQ, DECKER EA. Phospholipids in foods: Prooxidants or antioxidants? [J]. J Sci Food Agric, 2016, 96(1): 18-31.
- JUDDE A, VILLENEUVE P, ROSSIGNOL-CASTERA A, et al. Antioxidant effect of soy lecithins on vegetable oil stability and their synergism with tocopherols [J]. J Am Oil Chem Soc, 2003, 80(12): 1209-1215.
- 潘开林,朱丹丹,季敏,等.大豆卵磷脂对超级棕榈液油氧化稳定性的影响[J].食品工业科技,2016,37(23):77-80,85.
- PAN KL, ZHU DD, JI M, et al. Effects of soybean lecithin on the oxidation stability of super olein [J]. Sci Technol Food Ind, 2016, 37(23): 77-80, 85.
- 袁博,周张涛,郑竟成,等.大豆卵磷脂及其复配对DHA藻油氧化稳定性的影响[J].中国食品添加剂,2018,(8):152-156.
- YUAN B, ZHOU ZT, ZHENG JC, et al. Effect of soybean lecithin and multiple antioxidants on oxidation stability of DHA algal oil [J]. China Food Addit, 2018, (8): 152-156.
- 王琦.海产动物来源n-3 PUFA磷脂的提取及生物活性研究[D].青岛:

- 中国海洋大学, 2008.
- WANG Q. Study on extraction and bioactivity of *n*-3 PUFA phospholipids from marine animals [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008.
- [21] CHO SY, JOO DS, CHOI HG, *et al.* Oxidative stability of lipids from squid tissues [J]. *Fish Sci*, 2001, (67): 738–743.
- [22] LI XB, LI CY, ZHU YQ, *et al.* Lipid fingerprinting of different material sources by UPLC-Q-exactive Orbitrap/MS approach and their zebra fish-based activities comparison [J]. *J Agric Food Chem*, 2020, (68): 2007–2015.
- [23] 李昊楠, 朱永强, 张轩铭, 等. 海产品加工副产物中磷脂的研究进展 [J]. *中国油脂*, 2021, 46(9): 44–50.
- LI HN, ZHU YQ, ZHANG XM, *et al.* Progress on phospholipids in by-products of seafood processing [J]. *China Oils Fats*, 2021, 46(9): 44–50.
- [24] HUANG LY, LU XD, ZHANG LY, *et al.* Insight into the emulsifying properties of DHA-enriched phospholipids from large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) roe [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2021, 150: 111984.
- [25] 陈文娟, 陈丽娇, 曾稍稍. 大黄鱼鱼卵磷脂的自由基清除及抗氧化活性 [J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(1): 247–250.
- CHEN WJ, CHEN LJ, ZENG SQ. Free radical scavenging and antioxidant activity of phospholipids from large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) roe [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2014, 42(1): 247–250.
- [26] 曹维, 尹佳, 陈明镛, 等. DHA 藻油与植物食用油调配及其生理活性研究(I) DHA 藻油与植物食用油的研制 [J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(6): 107–112.
- CAO W, YIN J, CHEN MK, *et al.* Deployment and physiological activity of DHA algae oil and vegetable edible oil (I) DHA algae oil and development of vegetable edible oil [J]. *J Chin Cere Oils Ass*, 2017, 32(6): 107–112.
- [27] 罗珮妍. 食用油中不同因素对过氧化值影响的探究 [J]. *食品安全导刊*, 2021, (18): 76–78.
- LUO PY. Investigation of the effect of different factors on peroxide value in edible oil [J]. *China Food Saf Mag*, 2021, (18): 76–78.
- [28] 李亚茹, 钟海雁, 龙奇志. 高温条件下外源多酚对油茶籽油氧化稳定性的影响 [J]. *食品与机械*, 2020, 36(1): 61–64, 71.
- LI YR, ZHONG HY, LONG QZ. Effect of exogenous polyphenols on the oxidant stability of oil-tea *Camellia* oil during heating [J]. *Food Mach*, 2020, 36(1): 61–64, 71.
- [29] NWOSU CV, BOYD LC, SHELDON B. Effect of fatty acid composition of phospholipids on their antioxidant properties and activity index [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1997, 74(3): 293–297.
- [30] YIN MC, FAUSTMAN C. Influence of temperature, pH, and phospholipid composition upon the stability of myoglobin and phospholipid: A liposome model [J]. *J Agric Food Chem*, 1993, 41(6): 853–857.
- [31] LIANG P, LI RF, SUN H, *et al.* Phospholipids composition and molecular species of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) roe [J]. *Food Chem*, 2018, 245: 806–811.
- [32] 程新伟, 梁鹏, 孙鹤, 等. 大黄鱼鱼卵磷脂酰胆碱的分离纯化 [J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2017, 46(2): 228–233.
- CHEN XW, LIANG P, SUN H, *et al.* Isolation and purification of phosphatidylcholine from large yellow croaker roe [J]. *J Fujian Agric Forest Univ (Nat Sci Ed)*, 2017, 46(2): 228–233.
- [33] 王梓博, 万欣, 王文倩, 等. 鲢鱼头磷脂对菜籽油抗氧化作用分析 [J]. *武汉轻工大学学报*, 2017, 36(3): 27–32.
- WANG ZB, WAN X, WANG WQ, *et al.* Analysis of antioxidant effect of silver carp head phospholipids on rapeseed oil [J]. *J Wuhan Polytech Univ*, 2017, 36(3): 27–32.
- [34] GRANDOIS JL, MARCHIONI E, ZHAO M, *et al.* Oxidative stability at high temperatures of oleoyl and linoleoyl residues in the forms of phosphatidylcholines and triacylglycerols [J]. *J Agric Food Chem*, 2010, 58(5): 2973–2979.
- [35] ESKANDANI M, HAMISHEHKAR H, DOLATABADI J. Cytotoxicity and DNA damage properties of tert-butylhydroquinone (TBHQ) food additive [J]. *Food Chem*, 2014, 153(15): 315–320.
- [36] 黎良菊, 颜李秀. 食品中油脂酸价的测定研究现状分析 [J]. *现代食品*, 2020, (12): 39–40.
- LI LJ, YAN LX. The research status of acid value determination of oils and fats in food [J]. *Mod Food*, 2020, (12): 39–40.

(责任编辑: 郑丽 张晓寒)

作者简介



钟榕斌, 硕士研究生, 主要研究方向为农产品加工及贮藏工程。

E-mail: Zrb9926235800@163.com



梁鹏, 副教授, 主要研究方向为水产油脂化学与营养。

E-mail: liangpeng137@sina.com