

余甘子核仁油的氧化稳定性研究

葛双双^{1,2}, 张雯雯¹, 涂行浩³, 李坤¹, 杜丽清³, 郑华¹, 张弘¹

(1. 中国林业科学研究院 资源昆虫研究所, 国家林业局特色森林资源工程技术研究中心, 昆明 650224;

2. 临沂山松药业有限公司, 山东 临沂 273600; 3. 中国热带农业科学院 南亚热带作物研究所,

农业部热带果树生物学重点实验室, 广东 湛江 524091)

摘要:为得到余甘子核仁油的最优储藏条件,对其氧化稳定性进行研究。通过 Rancimat 法测定了人工合成抗氧化剂与天然抗氧化剂及增效剂与抗氧化剂的复配对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响,考察了金属离子(Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cu^{2+})、紫外光照时间、温度对添加复配抗氧化剂的余甘子核仁油氧化诱导时间的影响。结果表明:柠檬酸分别与抗坏血酸棕榈酸酯(AP)和TBHQ复配组合抗氧化效果最为明显; Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 以及 Cu^{2+} 、紫外光照时间和温度均对余甘子核仁油的氧化诱导时间有显著的影响;在25℃条件下,柠檬酸与TBHQ复配组合能将余甘子核仁油的货架期由0.35年延长至1.15年,显著提高了余甘子核仁油的储藏性能,为余甘子核仁油的加工利用提供理论依据。

关键词:余甘子核仁油;氧化稳定性;货架期

中图分类号:TS225.1;TQ646

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2018)02-0023-05

Oxidation stability of *Phyllanthus emblica* L. seed oil

GE Shuangshuang^{1,2}, ZHANG Wenwen¹, TU Xinghao³, LI Kun¹,

DU Liqing³, ZHENG Hua¹, ZHANG Hong¹

(1. Research Center of Engineering and Technology on Forest Resources with Characteristics,

State Forestry Administration, Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, China; 2. Linyi Shansong Pharmacy Co., Ltd., Linyi 273600, Shandong, China; 3. Key

Laboratory of Tropical Fruit Biology, Ministry of Agriculture, South Subtropical Crops Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang 524091, Guangdong, China)

Abstract: In order to obtain *Phyllanthus emblica* L. seed oil optimal storage conditions, the oxidation stability of *Phyllanthus emblica* L. seed oil was studied. The effects of synthetic antioxidants, natural antioxidants and synergists remixed with antioxidants on oxidation induction time of *Phyllanthus emblica* L. seed oil were evaluated by Rancimat method. The effects of environmental factors on oxidation induction time of *Phyllanthus emblica* L. seed oil added with remixed antioxidants were investigated which were Fe^{3+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , ultraviolet light time and temperature. The results indicated that mixture of citric acid with ascorbyl palmitate (AP) and tertiary butylhydroquinone (TBHQ) revealed the most obvious antioxidant effect. The Fe^{3+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} , ultraviolet light time and temperature could significantly affect the oxidation induction time of *Phyllanthus emblica* L. seed oil. Under the condition of 25℃, citric acid

remixed with TBHQ could prolong the shelf life of *Phyllanthus emblica* L. seed oil from 0.35 years to 1.15 years, which significantly improved the storage ability and provided theoretical basis for industrial application of *Phyllanthus emblica* L. seed oil.

Key words: *Phyllanthus emblica* L. seed oil; oxidation stability; shelf life

收稿日期:2017-05-05;修回日期:2017-09-13

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFD0600806);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(riricaf2015003M)

作者简介:葛双双(1990),女,硕士研究生,研究方向为天然产物开发与利用(E-mail)geshuangshuang0407@163.com。

通信作者:张弘,研究员,博士(E-mail)kmzhong@163.com。

余甘子(*Phyllanthus emblica* L.)核仁油的不饱和和度高达80%以上^[1],其中 α -亚麻酸与亚油酸等多不饱和脂肪酸含量更是超过70%^[2],研究发现:油酸、亚油酸、 α -亚麻酸相对氧化速度比为1:10.3:21.6^[3],即双键越多越容易被氧化。因此,余甘子核仁油氧化稳定性较差,在储藏、运输、加工等过程中受到光照、金属离子、热等因素的影响容易发生氧化^[4],进而导致其失去生理活性,影响其风味与口感。提高余甘子核仁油的氧化稳定性,尤其是提高多不饱和脂肪酸的稳定性是维持余甘子核仁油生理活性的关键。

为防止油脂氧化变质,最常用的方法就是添加抗氧化剂,抗氧化剂根据其来源不同可分为天然抗氧化剂与人工合成抗氧化剂。长期以来,人工合成的抗氧化剂,例如:丁基羟基茴香醚(BHA)、二丁基羟基甲苯(BHT)、叔丁基对苯二酚(TBHQ)具有较强的抗氧化性能,被广泛应用于油脂行业。但是,动物实验表明,大剂量的使用BHA、BHT时,会引起肝肿大甚至有致癌的可能^[5]。因此,天然抗氧化剂的应用越来越受到人们的青睐。常用的天然抗氧化剂有抗坏血酸棕榈酸酯(AP)、 α -生育酚、儿茶素等,由于天然抗氧化剂具有抗氧化效果好、安全、无毒副作用等优点而受到科研工作者的重视。本文以余甘子核仁油为研究对象,选取具有代表性的几种天然抗氧化剂与人工合成抗氧化剂,研究其对余甘子核仁油的抗氧化效果,并在此基础上,复配增效剂以增强抗氧化剂的抗氧化效果。针对上述筛选出的优势组合,以余甘子核仁油为空白对照组,考察了不同的金属离子、紫外光照时间和温度对余甘子核仁油氧化稳定性的影响,并对余甘子核仁油的货架期进行了推测,旨在为余甘子核仁油的加工与储藏等过程提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

余甘子核仁,中国林业科学研究院资源昆虫研究所景东亚热带试验站。

AP、儿茶素、BHA、羟基硬脂精、TBHQ,上海源叶生物科技有限公司; β -胡萝卜素、卵磷脂、 α -生育酚,阿拉丁试剂上海有限公司;BHT,昆明市明宇达食品化工经营部;柠檬酸,天津化学试剂厂。 FeSO_4 、 ZnSO_4 、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 CuSO_4 均为分析纯。

1.1.2 仪器与设备

892 Rancimat 专业型油脂氧化稳定性分析仪,瑞士万通中国有限公司;SW-CJ-ID 型单人净化

工作台,苏州苏杰净化设备有限公司;AB204-S 精密型电子天平,瑞士梅特勒-托利多(中国)有限公司;超声波清洗器,上海科导超声科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 余甘子核仁油的提取

取适量余甘子核仁,粉碎,参照 GB/T 14488.1—2008《植物油料 含油量测定》以正己烷为溶剂进行提取,提取液经旋蒸浓缩后得到余甘子核仁油。

1.2.2 不同抗氧化剂对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响

参照 GB 2760—2011《食品添加剂使用标准》确定抗氧化剂的添加量。添加0.02% AP、 β -胡萝卜素、儿茶素、 α -生育酚、BHA、BHT、羟基硬脂精、TBHQ于余甘子核仁油中,并超声15 min 使其混合均匀,以未添加抗氧化剂的余甘子核仁油为对照组,分别精确称取(3.00±0.01)g 上述9组油脂样品于反应池试管中,加入50 mL 超纯水(电导率<0.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$,下同)于接收槽中,加热温度120℃,空气流量20 L/h,通过油脂氧化稳定性分析仪测定其氧化诱导时间。

1.2.3 不同增效剂与抗氧化剂复配对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响

参照 GB 2760—2011《食品添加剂使用标准》确定增效剂的使用量。植酸、卵磷脂、柠檬酸3种增效剂按照0.02%的添加量分别与0.02% AP 和0.02% TBHQ 复配,加入余甘子核仁油中,超声15 min 使其混合均匀,以未添加增效剂的余甘子核仁油为对照组,参照1.2.2中的方法测定上述油脂样品的氧化诱导时间。

1.2.4 不同金属离子对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响

配制1 mol/L 的 FeSO_4 、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 ZnSO_4 、 CuSO_4 溶液,取1 mL 上述溶液分别加入(3.00±0.01)g 余甘子核仁油、余甘子核仁油+0.02% AP+0.02% 柠檬酸、余甘子核仁油+0.02% TBHQ+0.02% 柠檬酸中,按照1.2.2中的方法测定其氧化诱导时间。

1.2.5 紫外光照时间对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响

取一定量的余甘子核仁油、余甘子核仁油+0.02% AP+0.02% 柠檬酸、余甘子核仁油+0.02% TBHQ+0.02% 柠檬酸样品于净化操作台上,打开紫外光照灯,每隔1 d 取样并交换其位置,参照1.2.2中的方法测定其氧化诱导时间。

1.2.6 温度对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响及其货架期推测

精确称取(3.00 ± 0.01) g 余甘子核仁油、余甘子核仁油 + 0.02% AP + 0.02% 柠檬酸、余甘子核仁油 + 0.02% TBHQ + 0.02% 柠檬酸 3 组油脂样品并于反应池试管中,加入 50 mL 超纯水于接收槽中,加热温度为 100、110、120、130 °C,空气流量为 10 L/h,通过油脂氧化稳定性分析仪测定其不同温度下氧化诱导时间,利用油脂氧化稳定性分析仪软件推测其在 25 °C 条件下的货架期。

2 结果与分析

2.1 不同人工合成抗氧化剂对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响

人工合成抗氧化剂具有抗氧化效果好、价格低廉、耐高温等特点,被广泛应用于油脂中。本文选用 4 种我国食品中常用的人工合成抗氧化剂羟苯硬脂精、BHA、BHT、TBHQ^[6],考察其对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响,结果如图 1 所示。

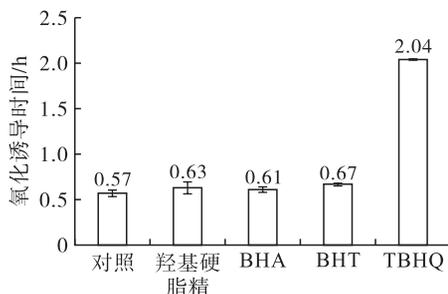


图 1 人工合成抗氧化剂对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响

由图 1 可知,余甘子核仁油的氧化诱导时间仅为 0.57 h,说明余甘子核仁油在高温条件下极易氧化酸败。以上 4 种抗氧化剂均能延迟余甘子核仁油的氧化诱导时间,4 种抗氧化剂的抗氧化能力依次为:TBHQ > BHT > 羟基硬脂精 > BHA,其中,羟基硬脂精、BHA、BHT 对余甘子核仁油的抗氧化能力相当,TBHQ 的抗氧化能力远优于上述 3 种抗氧化剂,究其原因,是由于 TBHQ 比较容易溶于余甘子核仁油中,并且分子之间极易形成氢键,即便在高温条件下其挥发性仍较低且能保持较高的抗氧化活性^[4]。在 TBHQ 添加量为余甘子核仁油的 0.02%,加热温度为 120 °C 时,余甘子核仁油的氧化诱导时间提高了近 3 倍。因此,本文选取 TBHQ 为人工抗氧化剂做下一步研究分析。

2.2 不同天然抗氧化剂对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响

大量实验研究发现,过量食用人工合成抗氧化剂对人体器官有一定的毒副作用。因此,多数国家对人工合成抗氧化剂的用量均有严格的控制。对于

无毒、无副作用、抗氧化活性高的天然抗氧化剂的开发与利用,越来越受到研究者的青睐。本文选用 4 种天然抗氧化剂 AP、儿茶素、β-胡萝卜素和 α-生育酚,考察其对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响,结果如图 2 所示。

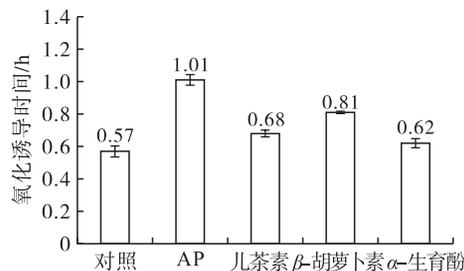


图 2 不同天然抗氧化剂对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响

由图 2 可知,添加天然抗氧化剂的余甘子核仁油氧化诱导时间比单纯的余甘子核仁油的氧化诱导时间长,说明以上 4 种天然抗氧化剂均有利于提高余甘子核仁油的氧化稳定性。4 种天然抗氧化剂的抗氧化效果依次为:AP > β-胡萝卜素 > 儿茶素 > α-生育酚。其中,AP 的抗氧化效果最为明显,其原因在于,AP 既保留了维生素 C 的全部生理活性,具有高效的氧清除作用,能够有效终止自由基的链式反应^[7],又增加了其油溶性,具有其他天然抗氧化剂无法替代的优势。因此,选取 AP 为天然抗氧化剂做进一步研究。

2.3 不同增效剂与抗氧化剂复配对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响

单一的抗氧化剂的抗氧化能力有限,因此,多数研究者将抗氧化剂与增效剂复合使用以增加抗氧化剂的抗氧化活性,降低使用成本^[4]。本文选取常用的柠檬酸、卵磷脂、植酸 3 种增效剂与 TBHQ 和 AP 复配,考察其对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响,结果如图 3 所示。

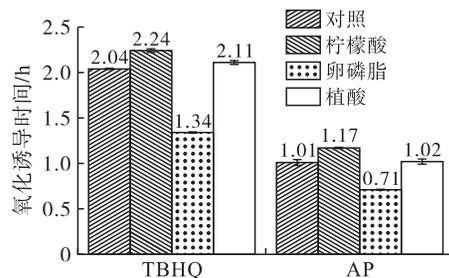


图 3 不同增效剂与抗氧化剂复配对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响

由图 3 可知,柠檬酸、植酸与 TBHQ 和 AP 复配均比单一的抗氧化剂的抗氧化能力强,然而卵磷脂对两种抗氧化剂不但没有增效作用,相反表现出消

效作用。实验过程中发现,卵磷脂比较难溶于余甘子核仁油中,实际分散在余甘子核仁油中的卵磷脂相对量要远远小于 0.02%。另外,研究发现,当卵磷脂在油脂中的添加量超过 2% 时,可显著提高油脂的抗氧化活性,当其添加量低于 2% 时可能会表现出一定的负协同作用^[8],即降低余甘子核仁油的氧化诱导时间。因此,卵磷脂不适合用作余甘子核仁油的增效剂。3 种增效剂的增效能力依次为:柠檬酸 > 植酸 > 卵磷脂,因此本文选取柠檬酸作为增效剂做下一步研究。

2.4 不同金属离子对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响

油脂中微量的金属离子,特别是具有二价或更高价态并且它们之间有适合的氧化还原电势的金属离子如 Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 能有效促进脂肪酸氧化,缩短氧化诱导时间^[9]。不同金属离子对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响,结果如图 4 所示。

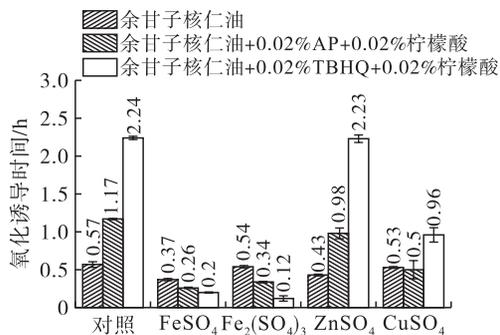


图 4 不同金属离子对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响

由图 4 可知,向不同的油脂样品中添加不同的金属离子,对油脂的氧化诱导时间均有不同程度的降低,即这些金属离子的存在均不利于油脂的稳定性。对于余甘子核仁油,金属离子对其影响效应依次为: $\text{Fe}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Fe}^{3+}$;对于余甘子核仁油 + 0.02% AP + 0.02% 柠檬酸,金属离子对其影响效应依次为: $\text{Fe}^{2+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$;对于余甘子核仁油 + 0.02% TBHQ + 0.02% 柠檬酸,金属离子对其影响效应依次为: $\text{Fe}^{3+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$ 。上述实验结果可以看出,金属铁离子(Fe^{3+} 、 Fe^{2+})与 Cu^{2+} 对余甘子核仁油的氧化稳定性影响比较大,这是因为金属离子能降低自动氧化反应的活化能,使油脂氧化反应更加容易进行,与此同时, Fe^{3+} 可以得到一个电子变为 Fe^{2+} ,促进脂肪酸自由基的产生,也可以直接活化氧分子,使三线态氧变为单线态氧,加速脂肪酸的氧化^[10]。因此,对于油脂的氧化稳定性而言,应尽量避免金属容器包装,尤其是铁制和铜制容器。

2.5 紫外光照时间对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响

油脂中的光敏色素会强烈地吸收邻近的可见光与紫外光,促进脂肪酸自由基的产生,加速脂肪酸氢过氧化物的分解,从而加快油脂氧化速度^[4]。紫外光照时间对不同的油脂样品的氧化诱导时间的影响如图 5 所示。

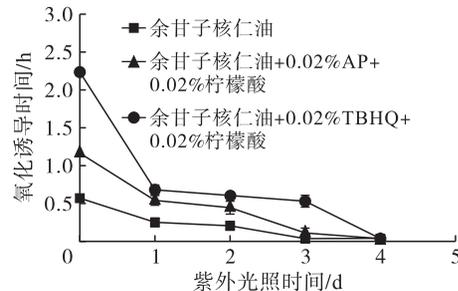


图 5 紫外光照时间对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响

由图 5 可知,随着紫外光照时间的延长余甘子核仁油的氧化诱导时间显著缩短,余甘子核仁油和余甘子核仁油 + 0.02% AP + 0.02% 柠檬酸在 3 d 时,氧化诱导时间趋于 0,说明这两种油脂样品已达到深度氧化的程度。对于余甘子核仁油 + 0.02% TBHQ + 0.02% 柠檬酸样品,紫外光照时间 4 d 时,油脂样品的氧化诱导时间趋于 0,说明油样也达到深度氧化。由上述结果可知,紫外光照能显著地缩短油脂氧化诱导时间,即便是已经添加抗氧化剂的样品。因此,余甘子核仁油样品在储藏过程中应避免光保存。

2.6 温度对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响及其货架期推测

本文利用 Rancimat 法测定油脂样品在不同温度下的氧化诱导时间,结果如表 1 所示。由表 1 可知,随着温度的升高,油脂的氧化诱导时间显著降低,说明升温不利于油脂样品的保存,因此油脂应当存储在低温环境中。

表 1 温度对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响

温度/°C	氧化诱导时间/h		
	余甘子核仁油	余甘子核仁油 + 0.02% AP + 0.02% 柠檬酸	余甘子核仁油 + 0.02% TBHQ + 0.02% 柠檬酸
100	2.78	4.20	8.00
110	1.17	2.08	4.53
120	0.43	0.81	1.30
130	0.18	0.33	0.55

油脂的货架期推测方法一般采用 Rancimat 或烘箱法,Rancimat 法通过测定油脂在不同温度下过氧化值达到 10 mmol/kg 的时间,并利用外推法计算

油脂在室温下过氧化值达到 10 mmol/kg 时所耗用的时间^[11]。根据表 1 的结果,通过油脂氧化稳定性分析仪软件推测余甘子核仁油在 25℃ 条件下的货架期,结果如表 2 所示。

表 2 余甘子核仁油的货架期推测(25℃)

油样	货架期/h
余甘子核仁油	3 070
余甘子核仁油 + 0.02% AP + 0.02% 柠檬酸	3 647
余甘子核仁油 + 0.02% TBHQ + 0.02% 柠檬酸	10 067

由表 2 可知,余甘子核仁油的货架期为 3 070 h,即 0.35 年。不饱和度与余甘子核仁油相当的米糠油,其货架期为 1.12 年^[12],究其原因,米糠油中不饱和脂肪酸主要为油酸(含量为 46.74%)和亚油酸(含量为 29.34%)^[12],而余甘子核仁油中不饱和脂肪酸则以 α -亚麻酸(含量为 59.57%)和亚油酸(含量为 16.43%)为主,因此余甘子核仁油的货架期远低于米糠油。通过加入柠檬酸与抗氧化剂 AP 和 TBHQ 复配,其货架期延长至 3 647 h 和 10 067 h,即 0.42 年和 1.15 年。牡丹籽油中 α -亚麻酸与亚油酸的总含量与余甘子核仁油相当^[13],相同实验条件下,牡丹籽油 + 0.02% TBHQ + 0.01% 柠檬酸的货架期(20℃)为 3 737 h(5.19 月)^[14];对于油茶籽油来讲,向其添加 0.02% TBHQ + 0.02% 柠檬酸,其货架期(20℃)由 66 d 延长达 2 年(730 d)以上^[15]。由此说明,对于饱和度不同以及饱和度相同脂肪酸组成不同的油脂来讲,TBHQ 对其货架期的影响不尽相同,对于其具体抗氧化机理有待进一步研究。

3 结论

对于不饱和度较高的余甘子核仁油而言,容易受到环境的影响发生氧化变质。本文通过研究不同的人工合成抗氧化剂与天然抗氧化剂对余甘子核仁油氧化诱导时间的影响,优选出人工合成抗氧化剂 TBHQ 和天然抗氧化剂 AP。通过不同增效剂与优选出的抗氧化剂复配,以增强单一抗氧化剂的抗氧化活性,选取柠檬酸作为优势增效剂。

以余甘子核仁油为空白对照,以柠檬酸分别与 TBHQ 和 AP 复配的余甘子核仁油为考察对象,分别研究了 4 种金属离子(Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cu^{2+})、紫外光照时间、温度对余甘子核仁油的氧化诱导时间的影响。实验结果表明, Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 以及 Cu^{2+} 对余甘子核仁油氧化稳定性影响较大;随着紫外光照时间的延长以及温度的升高,余甘子核仁油的氧化诱导时间急剧缩短,说明在油脂储藏运输过程中应尽

量减少对金属容器的接触,且样品应尽量放置避光低温之处。

余甘子核仁油的货架期(25℃)仅为 0.35 年,柠檬酸分别与 TBHQ 和 AP 复配的油脂体系,均有利于延长余甘子核仁油的货架期,效果最为明显的是柠檬酸与 TBHQ 的复配,余甘子核仁油的货架期由原来的 0.35 年延长至 1.15 年,这为余甘子核仁油的加工利用、储藏以及运输提供了良好的理论参考。

参考文献:

- [1] 张雯雯,张弘,郑华,等. 余甘子核仁油的微波辅助萃取工艺优化及脂肪酸组成分析[J]. 食品科学, 2013,34(20):13-18.
- [2] 赵谋明,刘晓丽,罗维,等. 超临界 CO_2 萃取余甘子籽油及其成分研究[J]. 林产化学与工业, 2007,27(5):107-112.
- [3] FATEMI S H, HAMMOND E G. Analysis of oleate, linoleate and linolenate hydroperoxides in oxidized ester mixtures[J]. Lipids, 1980,15(5):379-385.
- [4] 曹君,李红艳,邓泽元. 植物油氧化稳定性的研究进展[J]. 食品工业科技, 2013,34(7):378-382.
- [5] CONNING D M, PHILLIPS J C. Comparative metabolism of BHA, BHT and other phenolic antioxidants and its toxicological relevance[J]. Food Chem Toxicol, 1986,24(10/11):1145-1148.
- [6] 蔡新华,钱小君. 油脂抗氧化剂的研究进展[J]. 粮食与食品工业, 2013,20(4):33-36.
- [7] 高荫榆,雷占兰,谢何融,等. L-抗坏血酸棕榈酸酯的抗氧化效果研究[J]. 食品科学, 2007,28(11):60-62.
- [8] 刘威嘉. 天然油脂抗氧化剂及其产业化应用研究进展[J]. 中国调味品, 2016,41(8):155-160.
- [9] 黄池宝,罗宗铭. 食品抗氧化剂的种类及其作用机理[J]. 广东工业大学学报, 2001,18(3):77-80.
- [10] MIN D B, SMOUSE T H. Flavor chemistry of fats and oils[M]. AOCS Press: Am Oil Chem Soc, 1985.
- [11] 马攀,赵明焯,陈敏,等. 汉麻籽油的氧化稳定性及货架期预测[J]. 中国粮油学报, 2010,25(2):88-91.
- [12] 林丹,吴雪辉,杨公明,等. 米糠油氧化稳定性研究及货架期预测[J]. 现代食品科技, 2012,28(10):1323-1326.
- [13] 肖丰坤,施蕊,耿菲菲,等. 滇牡丹籽油的超临界 CO_2 萃取工艺优化及其脂肪酸成分分析[J]. 中国油脂, 2015,40(6):12-14.
- [14] 杨鹿,王洪新,苏建辉,等. 牡丹籽油优势抗氧化剂研究[J]. 中国油脂, 2015,40(2):46-49.
- [15] 吴雪辉,周薇,李昌宝,等. 茶油的氧化稳定性研究[J]. 中国粮油学报, 2008,23(3):96-99.