

光皮木瓜原花青素提取物对不同饱和度油脂氧化稳定性的影响

吕亭亭¹, 秦 召¹, 刘华敏¹, 马宇翔¹, 王守涛¹, 郑永战², 汪学德¹

(1. 河南工业大学 粮油食品学院, 郑州 450001; 2. 河南省农业科学院 芝麻研究中心, 郑州 450001)

摘要:以光皮木瓜为原料, 采用水、50% 乙醇、60% 丙酮提取光皮木瓜原花青素。利用超高效液相色谱-质谱联用仪对3种原花青素提取物进行成分分析, 同时采用 Schaal 加速氧化的方法考察其对3种不同饱和度油脂(花生油、葵花籽油、亚麻籽油)氧化稳定性的影响。结果表明:3种原花青素提取物中的原花青素主要由原花青素高聚体和低聚体组成, 其中高聚体含量均在90%以上, 低聚体以原花青素二聚体为主。在加速氧化过程中, 3种原花青素提取物均能有效延缓油脂的氧化。在花生油中, 与空白样品相比, 水提取物能够使油脂过氧化值下降33.00%, 显著高于乙醇提取物(18.66%)和丙酮提取物(9.15%)。在葵花籽油和亚麻籽油中, 乙醇提取物和丙酮提取物对油脂氧化的抑制能力相似且强于水提取物。光皮木瓜原花青素可以作为一种天然抗氧化剂, 用于提高油脂的氧化稳定性。

关键词:光皮木瓜; 原花青素; 天然抗氧化剂; 花生油; 葵花籽油; 亚麻籽油; 氧化稳定性

中图分类号:TS222+.1; TQ646.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2021)11-0050-07

Effect of proanthocyanidins – rich extracts from Chinese quince (*Chaenomeles sinensis*) fruit on the oxidative stability of oils with different saturation degrees

LÜ Tingting¹, QIN Zhao¹, LIU Huamin¹, MA Yuxiang¹,
WANG Shoutao¹, ZHENG Yongzhan², WANG Xuede¹

(1. School of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;
2. Sesame Research Center, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The Chinese quince proanthocyanidins were extracted by water, 50% ethanol, and 60% acetone, respectively. The chemical compositions of the three extracts were analyzed by UPLC-MS/MS. The oxidative stability of three extracts in three vegetable oils with different saturation degrees (peanut oil, sunflower seed oil, and flaxseed oil) was studied by Schaal oven accelerated oxidation method. The results exhibited that the proanthocyanidins in the three extracts were mainly composed of polymers and oligomers, and the contents of polymers in the three extracts were all higher than 90%, and the content of dimeric proanthocyanidins was the highest among oligomers. In the process of accelerated oxidation, the addition of three proanthocyanidin extracts could effectively improve the oxidative stability of three

vegetable oils. In peanut oil, comparing with blank sample, the water extract could reduce the peroxide value by 33.0%, which was significantly higher than that of ethanol extract (18.66%), and acetone extract (9.15%). In sunflower seed oil and flaxseed oil, ethanol extract and acetone extract had similar capacity to inhibit the formation of oxidation products, and

收稿日期: 2021-01-22; 修回日期: 2021-07-26

基金项目: 现代农业产业技术体系专项资金(CARS14-1);

国家自然科学基金项目(U1804111)

作者简介: 吕亭亭(1995), 女, 硕士研究生, 研究方向为油脂制取理论与技术(E-mail)lvtingting1209@163.com。

通信作者: 汪学德, 教授, 博士生导师(E-mail) wangxuede1962@126.com; 郑永战, 研究员, 硕士生导师(E-mail) sesame168@163.com。

were stronger than water extract. Chinese quince proanthocyanidins could be used as a natural antioxidant to improve the oxidation stability of vegetable oils.

Key words: Chinese quince; proanthocyanidins; natural antioxidant; peanut oil; sunflower seed oil; flaxseed oil; oxidative stability

植物油中一般含有大量不饱和脂肪酸,在储存、加工过程中因光、热等因素易发生氧化,造成品质的劣变和有毒有害物质的产生,严重影响产品的感官品质和营养价值,并且危害人体健康^[1]。因此,在油脂中添加一定量的抗氧化剂是非常必要的。目前,人工合成的脂溶性抗氧化剂在市场上被广泛应用,如没食子酸丙酯(PG)、丁基羟基茴香醚(BHA)、二丁基羟基甲苯(BHT)和特丁基对苯二酚(TBHQ),这些人工合成抗氧化剂在油脂及食品中抗氧化效果较为显著。然而有研究表明,人工合成抗氧化剂具有一定的致癌、致畸及致突变作用^[2]。因此,开发抗氧化效果良好、安全无毒、成本较低天然抗氧化剂具有深远意义。

近年来,天然抗氧化剂特别是酚类物质的研究较多,如茶多酚、葡萄多酚、苹果多酚、迷迭香提取物等^[3-6]。光皮木瓜(*Chaenomeles sinensis*)是多年生落叶灌木或小乔木,为蔷薇科木瓜属植物,在中国和日本被广泛种植^[7]。光皮木瓜中含有大量生物活性成分,包括多糖、黄酮类、酚类、三萜类物质等,其中酚类物质含量最多,抗氧化活性最强。Hamauzu等^[8]研究表明,光皮木瓜中酚类物质含量是椴栎的4倍,苹果的20倍,其DPPH自由基清除能力是苹果酚类提取物的4倍左右。光皮木瓜酚类物质主要由原花青素以及少量的酚酸组成^[9]。原花青素又称缩合单宁,是广泛存在于植物中的多酚类化合物,主要由黄烷-3-醇基本单元(儿茶素、表儿茶素)通过C4-C8或C4-C6键连接形成B型结构,少部分通过C2-O-C7进行连接形成A型结构。根据连接单元和连接方式不同,原花青素表现出结构多样性^[10]。有研究证明,光皮木瓜原花青素具有抗氧化、抑菌、抗病毒、抗炎等多种生物活性^[11]。据报道,光皮木瓜原花青素的含量是椴栎的5倍,苹果的50倍,而且光皮木瓜原花青素提取物的DPPH自由基清除能力强于抗坏血酸、绿原酸以及 α -生育酚^[12]。因此,光皮木瓜原花青素是具有应用价值的天然抗氧化剂。

目前,国内外关于光皮木瓜原花青素的研究主要集中在成分鉴定^[13]、体外抗氧化活性^[14]以及生物活性^[15]方面,但是作为天然抗氧化剂应用尤其是在油脂中的应用研究鲜有报道。原花青素结构的多样

性决定了其在不同极性溶剂中的溶解度不同,因此提取溶剂的类型可能对原花青素的得率和类型产生重要影响^[16]。因此,本研究选用水、50%乙醇、60%丙酮3种常用的不同极性的溶剂提取光皮木瓜原花青素,并将其加入3种不同饱和度的植物油中,通过Schaal加速氧化的方法,对不同溶剂提取的原花青素在油脂中的抗氧化能力进行综合评估,为光皮木瓜原花青素在食用油中的应用提供一定的实验依据和理论基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

光皮木瓜成熟果实,采自河南省南阳市桐柏山;花生油(压榨,未加抗氧化剂),山东鲁花集团有限公司;亚麻籽油(压榨一级,未添加抗氧化剂),锡林郭勒盟红井源油脂有限责任公司;葵花籽油(压榨一级,未添加抗氧化剂),中粮集团有限公司。丙酮、无水乙醇、冰乙酸、三氯甲烷,天津市天力化学试剂有限公司;淀粉指示剂、碘化钾、异辛烷,天津市科密欧化学试剂有限公司;AB-8大孔树脂,天津市光复精细化工研究所;丁基羟基茴香醚(BHA)、表儿茶素(纯度98%),上海麦克林试剂有限公司;原花青素B₁(纯度 $\geq 95\%$),上海源叶生物科技有限公司。

1.1.2 仪器与设备

电热鼓风干燥箱,上海精宏仪器有限公司;UV-6000 PC紫外可见分光光度计,上海元析仪器有限公司;玻璃层析柱(4.6 cm \times 60 cm),定制于上海市沪西分析仪器厂;恒温磁力搅拌水浴锅,常州朗越仪器制造有限公司;tripleTOF5600+LC-30超高效液相色谱-质谱仪(AB 6000,SCIEXTM),日本岛津。

1.2 实验方法

1.2.1 光皮木瓜的脱脂处理

将光皮木瓜洗净、去籽、切片后,真空冷冻干燥48 h。粉碎、过0.20 mm(80目)筛后,以石油醚为溶剂,用索氏抽提法对光皮木瓜粉进行脱脂处理。室温下自然干燥后,于干燥器中避光储存,备用。

1.2.2 光皮木瓜原花青素的提取与纯化

水提取法:参考刘丽丽等^[17]的方法,取一定量的脱脂光皮木瓜粉,按照料液比1:23.5加入蒸馏

水,在 86.5℃下磁力搅拌 1.5 h 后,于 4 500 r/min 离心 10 min,收集上清液,即为水提取原花青素粗提液。

50% 乙醇提取法:参考 Teng 等^[18]的方法并进行适当修改。将 50% 乙醇以 1:10 的料液比与脱脂光皮木瓜粉混合,在 63.9℃下磁力搅拌 1 h,离心,收集上清液,即为乙醇提取原花青素粗提液。

60% 丙酮提取法:参考 Hamauzu 等^[19]的方法采用 60% 丙酮作为溶剂,并进行适当改进。将 60% 丙酮以 1:10 的料液比与脱脂光皮木瓜粉混合,在 60℃下磁力搅拌提取 1 h,离心,收集上清液,即为丙酮提取原花青素粗提液。

上述得到的 3 种原花青素粗提液用 AB-8 大孔树脂柱进行动态吸附,用蒸馏水洗涤除去杂质,再用 80% 乙醇洗脱原花青素,收集洗脱液,浓缩后进行冷冻干燥,即可得到 3 种浅黄色的原花青素提取物,分别命名为水提取物、乙醇提取物、丙酮提取物。

1.2.3 原花青素提取物中总酚和原花青素含量的测定

总酚含量参照文献[8]采用 Folin-Ciocalteu 法测定,以表儿茶素(EC)作为标准品建立标准曲线,结果以 100 g 脱脂光皮木瓜粉中 EC 的毫克数表示;原花青素含量参照文献[20]采用对-二甲氨基肉桂醛(DMAC)法测定,以原花青素 B₁(PB₁)作为标准品建立标准曲线,结果以 100 g 脱脂光皮木瓜粉中 PB₁的毫克数表示。

1.2.4 原花青素提取物的成分测定

取 5.7 mg 原花青素提取物,加入 200 μL 丙酮并超声 10 min,再加入 200 μL 甲醇至样品完全溶解,以 12 000 r/min 离心 10 min,取上清液过滤后,使用 UPLC-MS/MS 进行检测。检测条件参考 Hong 等^[21]的方法并进行适当改进。

色谱条件:Waters HILIC BEH 色谱柱(100 mm × 3 mm, 1.7 μm);柱温 35℃;流速 0.3 mL/min;流动相 A 为乙腈,流动相 B 为 0.1% 甲酸溶液;洗脱条件为 0 min 5% A、95% B,10 min 50% A、50% B,13 min 95% A、5% B,14 min 5% A、95% B,15 min 5% A、95% B。

质谱条件:ESI 分别采用正离子和负离子模式进行检测,毛细管电压 5 500 V(正离子)、4 400 V(负离子);离子源气体 1(Gas 1)流速 50 L/h,离子源气体 2(Gas 2)流速 50 L/h,气帘气体(CUR)流速 25 L/h;离子源温度 500℃(正离子)和 450℃(负离子);TOF-MS 扫描范围 100~1 200 Da,子离子扫描范围 50~1 000 Da,TOF-MS 扫描累加时间 0.2

s,子离子累加时间 0.01 s。

二级质谱条件:采用 information dependent acquisition (IDA) 获得,并采用高灵敏模式,去簇能量(DP) ± 60 V,碎裂能量(35 ± 15) eV。

1.2.5 原花青素提取物在油脂中的抗氧化效果

本实验选用了花生油(主要脂肪酸 C18:1)、葵花籽油(主要脂肪酸 C18:2)、亚麻籽油(主要脂肪酸 C18:3) 3 种不同饱和度的油脂作为实验用油,综合评价原花青素对油脂氧化稳定性的影响。

将 3 种原花青素提取物分别溶于少量无水乙醇中,以油脂质量的 0.02% 分别加入花生油、葵花籽油、亚麻籽油中,同时用 0.02% 的 BHA 作为对照,并设置空白对照。将上述油样超声 30 min 使其混合均匀,然后将含有 3 种原花青素的油样在 35℃的真空箱中蒸发溶剂。最后将油样放置于(60 ± 1)℃的烘箱中,每隔 1 d 搅拌 1 次,并交换各个油样在烘箱中的位置。每隔 3 d 取样测定初级氧化指标过氧化值、共轭二烯值和次级氧化指标 *p*-茴香胺值、共轭三烯值,全面评估 3 种原花青素提取物对油脂氧化稳定性的影响。

1.2.6 油脂氧化指标测定

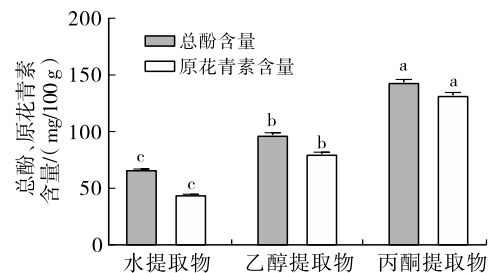
过氧化值的测定参照 GB 5009.227—2016;共轭二烯值(K_{232})、共轭三烯值(K_{268})的测定参照 GB/T 22500—2008;茴香胺值(*p*-AnV)的测定参照 AOCS. Cd18-90。

1.2.7 数据处理与分析

所有实验均重复 3 次,采用 SPSS18.0、GraphPad Prism 8 软件处理和分析实验数据,结果以“平均值 ± 标准差”表示。显著性采用 Duncan 检验, $p < 0.05$ 表示在统计学上具有显著差异。

2 结果与分析

2.1 原花青素提取物中总酚和原花青素含量(见图 1)



注:同一物质不同小写字母表示不同样品间差异显著($p < 0.05$)。

图 1 光皮木瓜 3 种原花青素提取物中总酚和原花青素含量

由图 1 可知,光皮木瓜 3 种原花青素提取物之

间总酚含量具有显著性差异($p < 0.05$),总酚含量从高到低为丙酮提取物(143.50 mg/100 g) > 乙醇提取物(97.00 mg/100 g) > 水提取物(66.50 mg/100 g)。3种原花青素提取物中,原花青素含量分别为44.36 mg/100 g(水提取物)、80.22 mg/100 g(乙醇提取物)和132.07 mg/100 g(丙酮提取物),分别占总酚含量的66.71%、82.70%、92.03%,说明原花青素是光皮木瓜酚类物质中的主要成分。

2.2 原花青素提取物的主要成分(见表1)

由表1可看出,光皮木瓜3种原花青素提取物主要由原花青素高聚体和低聚体组成,其中原花青素高聚体在3种原花青素提取物中含量较高,在水提取物、乙醇提取物和丙酮提取物的相对含量分别为97.93%、94.02%、96.68%。光皮木瓜原花青素提取物中共检测到9种原花青素低聚体,包括5种黄烷-3-醇基本单元(主要为3种常见的基本单元(儿茶素、表儿茶素、(-)-表儿茶素)和2种含有没食子酰基结构的基本单元(表儿茶素没食子酸酯、表没食子儿茶素-3-没食子酸酯)、3种原花青素二聚体(原花青素B₁、原花青素B₂、原花青素C₁)和原花青素四聚体,其中原花青素

二聚体含量最高。该结果与 Hamauzu 等^[12]的研究结果一致。

表1 3种原花青素提取物主要成分及含量 $\mu\text{g}/100\text{g}$

成分	水提取物	乙醇提取物	丙酮提取物
原花青素低聚体	918.68	4 793.94	4 386.05
儿茶素	1.77	4.81	2.64
表儿茶素	2.22	22.46	138.67
(-)-表儿茶素	10.20	0.80	13.21
表儿茶素没食子酸酯	1.77	3.21	31.70
表没食子儿茶素-3-没食子酸酯	2.22	6.42	7.92
原花青素B ₁	247.97	4 187.48	2 523.86
原花青素B ₂	176.11	234.24	113.58
原花青素C ₁	373.95	221.41	1 393.34
原花青素四聚体	102.47	113.11	161.13
原花青素高聚体	43 441.32	75 426.06	127 683.95

2.3 原花青素提取物对不同饱和度油脂氧化稳定性的影响

2.3.1 对过氧化值的影响(见图2)

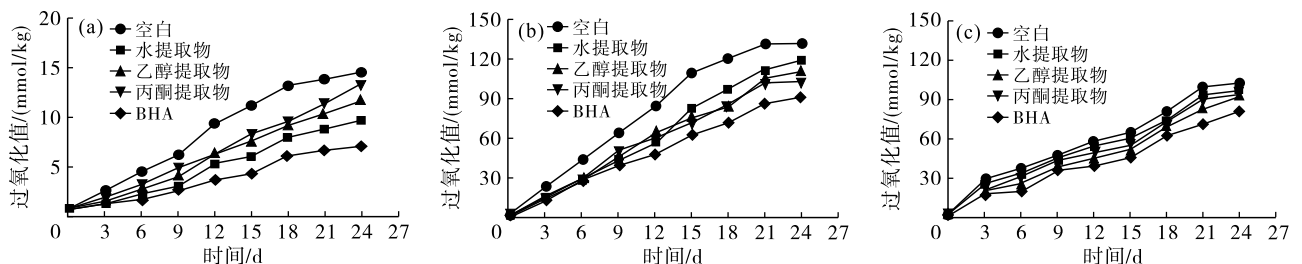


图2 3种原花青素提取物对花生油(a)、葵花籽油(b)、亚麻籽油(c)过氧化值的影响

从图2a可以看出,随着储存时间的延长,所有花生油样品的过氧化值都呈现出逐渐升高的趋势,表明在此阶段油脂发生氧化,氢过氧化物(油脂氧化过程中主要的初级氧化产物)大量生成与积累。空白样品在储存9 d时,过氧化值从(0.678 ± 0.02) mmol/kg 增加至(6.28 ± 0.12) mmol/kg,超过 GB/T 1534—2017 中规定的压榨一级花生油过氧化值的限值(≤ 6.0 mmol/kg)。添加水提取物的样品在15 d时过氧化值为(6.10 ± 0.12) mmol/kg,超过国标规定标准,比空白样品延长了6 d;添加乙醇提取物的样品在12 d时过氧化值为(6.45 ± 0.15) mmol/kg,添加丙酮提取物的样品在第12天时过氧化值为(6.11 ± 0.05) mmol/kg,均比空白样品延长了3 d。研究表明,在60℃储存1 d相当于在室温下储存16 d^[22],即水提取物能够使花生油在室温下储存期延

长96 d,乙醇提取物和丙酮提取物则能够延长48 d。表明3种原花青素提取物能够有效抑制氢过氧化物的生成,延长花生油的储存期。这可能是由于3种原花青素提取物中含有大量的酚羟基,具有较强的自由基清除能力,在油脂氧化过程中充当类似还原剂的方式,提供氢质子与自由基反应,将其转化为稳定的产物,从而阻断油脂氧化过程中自由基链式反应的进一步发生,表现为氢过氧化物的含量较低^[23]。此外,3种原花青素提取物中,水提取物表现出最强的抑制效果,在0~9 d储存期内与BHA表现出相似的抗氧化能力。储存24 d,添加水提取物、乙醇提取物、丙酮提取物的花生油过氧化值分别比空白样品降低了33.00%、18.66%、9.15% ($p < 0.05$)。

从图2b可以看出,3种原花青素提取物也能够

有效抑制葵花籽油中氢过氧化物的生成, 储存 24 d, 添加 3 种原花青素提取物样品的过氧化值从低到高排序为丙酮提取物 ((101.45 ± 1.00) mmol/kg) < 乙醇提取物 ((110.06 ± 0.31) mmol/kg) < 水提取物 ((118.61 ± 0.37) mmol/kg), 都低于空白样品

((130.98 ± 3.18) mmol/kg)。从图 2c 可以看出, 虽然添加 3 种原花青素提取物的亚麻籽油在整个储存期间过氧化值始终低于空白样品, 但并未表现出较强的抑制能力。

2.3.2 对茴香胺值(p -AnV)的影响(见图 3)

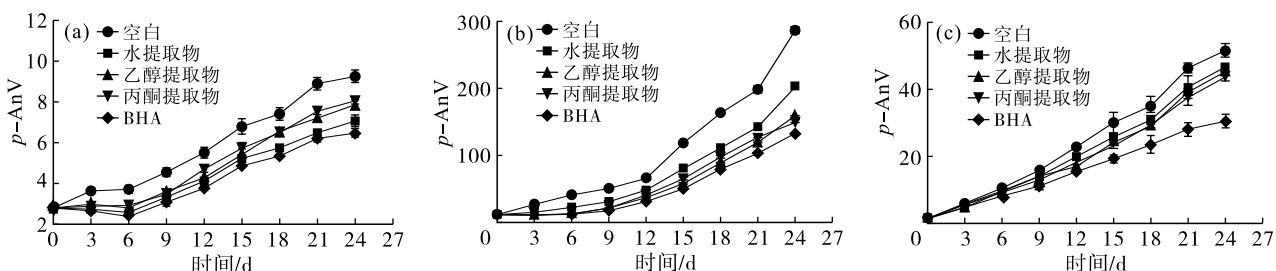


图 3 3 种原花青素提取物对花生油 (a)、葵花籽油 (b)、亚麻籽油 (c) p -AnV 的影响

随着氧化程度的加深, 初级氧化产物会逐渐分解成短碳链的醛、酮、酸等小分子次级氧化产物, 这些次级氧化产物具有刺激性, 使油脂表现出哈喇味^[24]。茴香胺值反映了油脂中醛类化合物的含量。由图 3a 可以看出, 在花生油储存 24 d 时, 空白样品的茴香胺值达到 9.30 ± 0.30 , 3 种原花青素提取物和 BHA 能够显著抑制茴香胺值的增加。3 种原花青素提取物对茴香胺值的抑制能力强弱顺序为水提取物 > 乙醇提取物 > 丙酮提取物, 其中水提取物的抑制效果与 BHA 相似。因此, 可以推断水提取物对花生油次级氧化产物的生成具有较强的抑制作用。由图 3b 可以看出, 葵花籽油空白样品在储存

12 d 后, 茴香胺值急剧增加, 在 24 d 时达到 289.35 ± 4.93 。3 种原花青素提取物能够显著降低葵花籽油的茴香胺值, 在 24 d 时茴香胺值分别为 204.32 ± 3.84 (水提取物)、 161.01 ± 1.04 (乙醇提取物)、 150.77 ± 0.45 (丙酮提取物)。由图 3c 可以看出, 3 种原花青素提取物也能有效抑制亚麻籽油茴香胺值的增加, 3 种原花青素提取物的抑制效果强弱顺序为丙酮提取物 > 乙醇提取物 > 水提取物, 与 3 种原花青素提取物在葵花籽油中表现一致, 但是 3 种提取物之间并未出现显著差异。

2.3.3 对 K_{232} 和 K_{268} 的影响(见图 4、图 5)

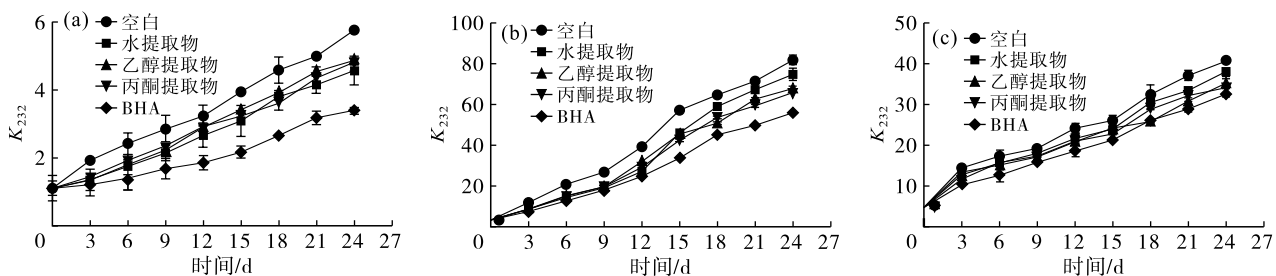


图 4 3 种原花青素提取物对花生油 (a)、葵花籽油 (b)、亚麻籽油 (c) K_{232} 的影响

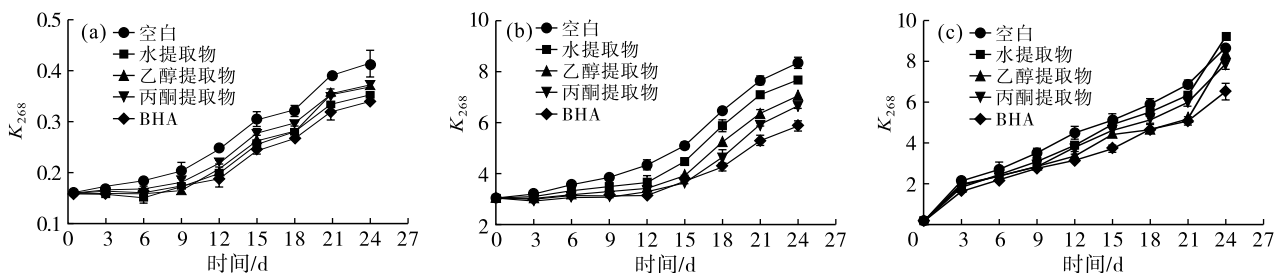


图 5 3 种原花青素提取物对花生油 (a)、葵花籽油 (b)、亚麻籽油 (c) K_{268} 的影响

氢过氧化物形成后, 天然不饱和脂质中的非共轭双键发生重排, 生成共轭二烯, 在 232 nm 处有特征吸收。当含有 3 个或 3 个以上双键的多不饱和脂

肪酸 (如亚麻酸) 发生氧化时, 共轭能扩展到包含另一个双键, 从而形成共轭三烯, 在 268 nm 处有特征吸收^[25]。因此, 可以根据样品在 232 nm 和 268 nm

处吸光度的变化监测油脂在储存阶段的氧化程度。从图4可以看出,所有样品在24 d加速氧化期间, K_{232} 都发生了不同程度的增加。其中花生油增加幅度最小,亚麻籽油次之,葵花籽油增加幅度最大。与空白样品相比,3种原花青素提取物均能够有效抑制花生油、葵花籽油和亚麻籽油中共轭二烯的生成和积累。但是与BHA相比,在花生油中,3种原花青素提取物抑制油脂氧化的能力明显弱于BHA;在葵花籽油中,前期3种原花青素提取物抑制油脂氧化的能与BHA相似,但在后期其抑制油脂氧化的能力弱于BHA;在亚麻籽油中,3种原花青素提取物对油脂氧化的抑制能力稍弱于BHA。由此可见,3种原花青素提取物能够与多不饱和脂肪酸氧化后产生的过氧化物自由基相互作用,抑制共轭二烯的生成。

从图5可以看出,与空白样品相比,3种原花青素提取物都能够有效抑制 K_{268} 的增加。然而,在亚麻籽油体系中,3种原花青素提取物抑制 K_{268} 增加的能力并不明显,甚至在24 d时,添加水提取物的样品 K_{268} 高于空白样品。

在大多数酚类抗氧化剂中,酚类物质的浓度与抑制油脂氧化的能力呈正相关关系,然而,在很多情况下都会表现出矛盾的现象^[26-28]。在本文研究的3种原花青素提取物中,丙酮提取物中总酚含量和原花青素含量最高,而水提取物含量最低,但丙酮提取物在花生油中表现出最弱的抗氧化能力,水提取物表现出最强的抗氧化能力,这种酚类化合物的浓度与抑制油脂氧化的能力之间矛盾的原因可能有:①3种原花青素提取物极性差异。根据“极性悖论”可知,极性强的抗氧化剂在油脂体系中能够优先分布于油脂发生氧化的油-空气界面,从而能够更好地发挥抗氧化作用^[29-30],由于提取溶剂极性的影响,3种原花青素提取物的极性强弱顺序为水提取物>乙醇提取物>丙酮提取物,这可能造成了水提取物在花生油中表现出更强的抗氧化活性。②3种原花青素提取物组成成分之间的差异,造成了酚类成分之间在油脂中的协同作用表现出较大的差异^[28]。③主要抗氧化成分不同。3种原花青素提取物主要成分及含量不同,与乙醇提取物相比,丙酮提取物中含有较多表儿茶素、表儿茶素没食子酸酯和原花青素 C_1 ,这些酚类成分结构上的差异会造成取代基供电子效应的不同^[31]。因此,接下来需要将3种原花青素提取物中的主要抗氧化成分进行分离,比较分离组分对油脂抗氧化活性的贡献能力,也

有助于评价不同提取物之间的协同作用对抗氧化活性的影响。

3 结论

以光皮木瓜为原料,分别采用水、50%乙醇和60%丙酮提取原花青素,得到3种原花青素提取物即水提取物、乙醇提取物、丙酮提取物。通过测定原花青素提取物组成发现,3种原花青素提取物主要由原花青素高聚体和低聚体组成,其中高聚体的含量均超过90%,低聚体以原花青素二聚体(原花青素 B_1 、原花青素 B_2 、原花青素 C_1)含量最高。将3种原花青素提取物添加于不同饱和度的食用油中,通过Schaal加速氧化实验考察其对油脂氧化稳定性的影响,结果显示,在0.02%的添加量下,3种原花青素提取物对花生油、葵花籽油和亚麻籽油均具有良好的抗氧化效果,可以有效延缓油脂的过氧化值、茴香胺值、 K_{232} 和 K_{268} 的升高。水提取物对花生油的抗氧化效果最强,在葵花籽油和亚麻籽油中,乙醇提取物和丙酮提取物对油脂氧化的抑制能力相似且均强于水提取物。光皮木瓜原花青素是一种值得开发的天然抗氧化剂。

参考文献:

- [1] 邓金良,刘玉兰,王小磊,等.不同储存条件对浓香花生油风味及综合品质的影响[J].食品科学,2020,41(17):231-237.
- [2] 常馨月,陈程丽,龚娣,等.天然抗氧化剂抑制油脂氧化的研究进展[J].中国油脂,2020,45(4):46-50.
- [3] 刘玉兰,麻梦涵,徐彦辉,等.天然抗氧化剂对芝麻酱储存稳定性的影响[J].中国油脂,2019,44(12):139-142.
- [4] 刘普,张丽娜,张江磊,等.几种天然抗氧化剂对牡丹籽油氧化稳定性的影响[J].中国粮油学报,2019,34(7):54-60.
- [5] LU Y Z, DU Y, QIN X Y, et al. Comprehensive evaluation of effective polyphenols in apple leaves and their combinatory antioxidant and neuroprotective activities[J]. Ind Crops Prod, 2019, 129: 242-252.
- [6] YANG Y, SONH X X, SUI X N, et al. Rosemary extract can be used as a synthetic antioxidant to improve vegetable oil oxidative stability[J]. Ind Crops Prod, 2016, 80: 141-147.
- [7] CHENG X C, GUO X R, QIN Z, et al. Structural features and antioxidant activities of Chinese quince (*Chaenomeles sinensis*) fruits lignin during auto-catalyzed ethanol organosolv pretreatment[J]. Int J Biol Macromol, 2020, 164: 4348-4358.
- [8] HAMAUZU Y, IRIE M, KONDO M, et al. Antiulcerative properties of crude polyphenols and juice of apple, and

- Chinese quince extracts [J]. Food Chem, 2008, 108: 488 – 495.
- [9] DU H, WU J, LI H, et al. Polyphenols and triterpenes from *chaenomeles* fruits: chemical analysis and antioxidant activities assessment [J]. Food Chem, 2013, 141 (4): 4260 – 4268.
- [10] CHEN X X, FENG H L, DING Y M, et al. Structure characterization of proanthocyanidins from *Caryota ochlandra* Hance and their bioactivities [J]. Food Chem, 2014, 155: 1 – 8.
- [11] SAWAI – KURODA R, KIKUCHI S, SHIMIZU Y K, et al. A polyphenol – rich extract from *Chaenomeles sinensis* (Chinese quince) inhibits influenza A virus infection by preventing primary transcription in vitro [J]. J Ethnopharmacol, 2013, 146: 866 – 872.
- [12] HAMAUZU Y, YASUI H, INNO T, et al. Phenolic profile, antioxidant property, and anti – influenza viral activity of Chinese quince (*Pseudocdonia sinensis* Schneid.), quince (*Cydonia oblonga* Mill.), and apple (*Malus domestica* Mill.) fruits [J]. J Agric Food Chem, 2005, 53: 928 – 934.
- [13] 李孟, 张志广, 石静亚, 等. 光皮木瓜化学成分分离与鉴定 [J]. 中国药物化学杂志, 2020, 30 (8): 481 – 486.
- [14] 张丹, 李丹, 朱小峰, 等. 木瓜抗氧化活性研究 [J]. 食品工业科技, 2014, 35 (15): 130 – 133.
- [15] MIAO J, LI X, ZHAO C, et al. Active compounds, antioxidant activity and α – glucosidase inhibitory activity of different varieties of *Chaenomeles* fruits [J]. Food Chem, 2018, 248: 330 – 339.
- [16] 庄英斌, 刘军海, 郭景雪. 天然活性多酚提取、纯化及功能性研究进展 [J]. 粮食与油脂, 2012 (8): 44 – 48.
- [17] 刘丽丽, 张建新, 郑海燕. 响应面分析法优化光皮木瓜总酚水提工艺的研究 [J]. 食品研究与开发, 2009, 30 (4): 96 – 100.
- [18] TENG H, JO I H, CHOI Y H. Optimization of ultrasonic – assisted extraction of phenolic compounds from Chinese quince (*Chaenomeles sinensis*) by response surface methodology [J]. J Korean Soc Appl Biol Chem, 2010, 53 (5): 618 – 625.
- [19] HAMAUZU Y, INNO T, KUME C, et al. Antioxidant and antiulcerative properties of phenolics from Chinese quince, quince, and apple fruits [J]. J Agric Food Chem, 2006, 54: 765 – 772.
- [20] CHEN M H, MCCLUNG A M, BERGMAN C J. Concentrations of oligomers and polymers of proanthocyanidins in red and purple rice bran and their relationships to total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity and whole grain color [J]. Food Chem, 2016, 208: 279 – 287.
- [21] HONG C C, CHANG C, ZHANG H, et al. Identification and characterization of polyphenols in different varieties of *Camellia oleifera* seed cakes by UPLC – QTOF – MS [J/OL]. Food Res Int, 2019, 126: 108614 [2021 – 01 – 20]. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108614>.
- [22] 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.
- [23] ASNAASHARI M, TAJIK R, KHODAPARAST M H H. Antioxidant activity of raspberry (*Rubus fruticosus*) leaves extract and its effect on oxidative stability of sunflower oil [J]. J Food Sci Technol, 2015, 52 (8): 5180 – 5187.
- [24] 李信, 上官慧娟, 杨博, 等. 基于微波预处理压榨文冠果油储藏期间的品质研究 [J]. 中国油脂, 2020, 45 (4): 41 – 45.
- [25] POIANA M A. Enhancing oxidative stability of sunflower oil during convective and microwave heating using grape seed extract [J]. Int J Mol Sci, 2012, 13 (7): 9240 – 9259.
- [26] ABDELAZIM A A A, SARHAMED M A, MAHMOUD A, et al. Antioxidant efficacy of potato peels and sugar beet pulp extracts in vegetable oils protection [J]. Food Chem, 2010, 123: 1019 – 1026.
- [27] YU H, YANG G Q, SATO M, et al. Antioxidant activities of aqueous extract from *Stevia rebaudiana* stem waste to inhibit fish oil oxidation and identification of its phenolic compounds [J]. Food Chem, 2017, 232: 379 – 386.
- [28] VANZANI P, ROSSETTO M, RIGO A, et al. Major phytochemicals in apple cultivars: contribution to peroxy radical trapping efficiency [J]. J Agric Food Chem, 2005, 53: 3377 – 3382.
- [29] POTER W L. Paradoxical behavior of antioxidants in food and biological systems [J]. Toxicol Ind Health, 1993, 9: 93 – 122.
- [30] SEKHON – LOODU S, WARNAKULASURIYA S N, RUPASINGHE H P V, et al. Antioxidant ability of fractionated apple peel phenolics to inhibit fish oil oxidation [J]. Food Chem, 2013, 140: 189 – 196.
- [31] MARTÍNEZ M, CECILIA PENCI M, IXTAINA V, et al. Effect of natural and synthetic antioxidants on the oxidative stability of walnut oil under different storage conditions [J]. LWT – Food Sci Technol, 2016, 51: 44 – 50.