

营养型调和油配方及甘草、诃子提取物复合抗氧化剂对其抗氧化作用的研究

刘艳凤, 刘雅丽, Chogsom Munkh-Amgalan, 陈贵林*

(内蒙古大学生命科学学院, 内蒙古自治区中蒙药材规范化生产工程技术研究中心, 呼和浩特 010021)

摘要: **目的** 研究甘草提取物(*Glycyrrhiza uralensis* extract, GUE)、诃子提取物(*Terminalia chebula* extract, TCE)复合抗氧化剂对营养型调和油氧化程度的影响。**方法** 采用气质联用(gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS)方法测定原料油中各类脂肪酸的含量, 根据数学模型制备营养型调和油; 然后采用 Schaal 烘箱法, 评价复合抗氧化剂对营养型调和油的抗氧化作用, 筛选出抗氧化作用较强的复合抗氧化剂。**结果** 调和油的最佳配比花生油 68.68%、葵花籽油 19.23%、亚麻籽油 12.08%。复合抗氧化剂对调和油的抗氧化作用顺序为: 0.003%GUE+ 0.017%Vc > 0.005%TCE+0.015%Vc > 0.017%TCE+0.003%Ve > 0.017%GUE+ 0.003%Ve, 0.003%GUE+0.017%Vc 对调和油的抗氧化作用最强, 它优于丁基羟基茴香醚(Butyl hydroxyl anisole, BHA), 与 2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚(2,6-Di-tert-butyl-p- cresol, BHT)相当。**结论** 对于含有多不饱和脂肪酸多的贮存的油脂, 甘草与诃子提取物复合抗氧化剂具有代替人工合成抗氧化剂的潜能。

关键词: 甘草提取物; 诃子提取物; 营养型调和油; 过氧化值

Study on the formulation of nutrition-based blend oil and the antioxidant activity of compound antioxidants from *Glycyrrhiza uralensis* extract and *Terminalia chebula* extract on it

LIU Yan-Feng, LIU Ya-Li, CHOGSOM Munkh-Amgalan, CHEN Gui-Lin*

(The Good Agriculture Practice Engineering Technology Research Center of Chinese and Mongolian Medicine in Inner Mongolia, College of Life Sciences, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China)

ABSTRACT: Objective To ensure the formulation of nutrition-based blend oil and research the effect of antioxidants on the compound antioxidants of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. extract (GUE) and *Terminalia chebula* Retz. extract (TCE) on the nutrition-based blend oil. **Methods** According to the mathematical model for the preparation of nutrition-based blend oil, the oil content of all kinds of fatty acids in raw materials was determined by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Due to Schaal experiment the antioxidant capacity of compound antioxidants was evaluated. **Results** The optimal ratio to match the comparison of peanut oil, sunflower oil and flaxseed oil was 68.68:19.23:12.08. Synergistic effects were observed in the order: 0.003%GUE+0.017%Vc>0.005%TCE+0.015%Vc>0.017%TCE+0.003%Ve>0.017%GUE+0.003%Ve by Schaal

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2011BAI07B02-03)、国家级大学生创新创业训练计划项目(201310126029)

Fund: Supported by the National Science & Technology Pillar Program (2011BAI07B02-03) and the National Ministry of Education of China for Undergraduate Innovative Research (201310126029)

*通讯作者: 陈贵林, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为药用植物化学。E-mail: chengl@life.imu.edu.cn

*Corresponding author: CHEN Gui-Lin, Professor, College of Life Science, Inner Mongolia University, No.235 West University Street, Hohhot 010021, China. E-mail: chengl@life.imu.edu.cn

oven method, and especially for combinations of 0.003%GUE and 0.017%Vc, which showed a greater synergistic effect than that of the each individual antioxidant and some synthetic antioxidants, such as Butyl hydroxyl anisole (BHA). There was no significant difference between it and 2,6-Di-tert-butyl-p-cresol (BHT).

Conclusion Compound antioxidants of GUE and TCE can offer effective alternative to synthetic antioxidants during storage of vegetable oils.

KEY WORDS: *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. extract; *Terminalia chebula* Retz. extract; nutrition-based blend oil; peroxide value

1 引言

植物油提供人体每天所需脂肪酸总量的 50%左右,如果摄入油脂单一,会导致体内脂肪酸比例不均衡,从而使体内代谢紊乱,进而引发各种疾病^[1]。脂肪酸应当摄入量适当、比例适宜^[2],是保证人体健康的重要方面。1977 年世界卫生组织与联合国粮农组织建议,发展中国家国民摄入饱和脂肪酸(saturated fatty acids, SFA)、单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids, MUFA)、多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids, PUFA)的比例为 1:1:1,多不饱和脂肪酸中 *n*-6 系列与 *n*-3 系列的比值是 4~6:1,2000 年中国营养学会也提出了一致的推荐比例^[3,4]。因此,通过合理搭配各种食用植物油,制备适合人体代谢需求的调和油,对于人体健康具有重要意义。

植物油在油炸或贮存过程中产生的自由基和脂质降解产物使油脂变质,其中一些降解产物具有毒性,如丙烯醛和 4-羟基壬烯醛等^[5]。油脂氧化过程中,也会形成反式脂肪酸,从而使血液胆固醇水平和低密度脂类升高、高密度脂类降低、冠心病和乳腺癌等疾病的发病率升高^[6]。添加抗氧化剂是防止油脂氧化的有效方法,但是使用人工合成抗氧化剂危害人体健康^[7],甚至会引起人体组织癌变^[8],因而日本、加拿大和欧洲等地区已禁止在食品中添加 2-叔丁基对苯二酚(*tert*-butylhydroquinone, TBHQ)^[9]。

天然抗氧化剂来源广泛,如水果、蔬菜、香辛料、中药材,甚至是农业和食品工业残渣等^[10-11]。据报道,绿茶提取物^[12]、花楸、山荆子提取物^[5]、迷迭香以及中草药提取物^[13]都可以抑制油脂氧化。甘草作为一种药食同源的中草药,其主要活性成分甘草黄酮具有抗氧化、抗病毒、抗肿瘤^[14]、抗菌^[15]等功效,是理想的天然抗氧化剂。诃子是卫生部颁布的可作为功能性食品的中草药,在我国民间一直被广泛应用,尤其在

蒙药和藏药中最为常用,被视为“药中之王”^[16]。传统中药中主要应用诃子果实,它具有抗氧化^[17]、抗菌^[18]、抗病毒^[19]、抗过敏^[20]等多种药理活性。诃子果实中含有丰富的活性成分,其中鞣质类化合物含量约为 30%~37.36%^[21]。因此,本文根据中国营养学会推荐比例调配营养型调和油,并探究甘草、诃子提取物及其各自的复合抗氧化剂对营养型调和油的抗氧化作用,以期营养型调和油配方和油脂天然抗氧化剂来源提供理论依据。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

市售压榨葵花仁油、亚麻籽油、花生油、黄金比例食用调和油、葵花籽食用调和油、坚果食用调和油。

诃子果实于 2013 年 3 月购自内蒙古呼和浩特市伟康药店,产地贵州,经日本冈山大学药学部波多野力教授鉴定为绒毛诃子(*Terminalia chebula* Retz.),诃子果实经粉碎、过 20 目筛,干燥冷藏备用。

甘草于 2012 年 4 月购于内蒙古自治区赤峰市喀喇沁旗牛营子镇杨营子村,三年生,经内蒙古大学生命科学学院陈贵林教授鉴定为乌拉尔甘草(*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.),经粉碎、过 30 目筛,干燥冷藏备用。

BHA、BHT、TBHQ(纯度 > 98.0%,东京化成株式会社); 37 种脂肪酸甲酯标品、福林酚、Ve(美国 Sigma Aldrich 公司); Vc(天津永大药物试剂有限公司); 三氯化硼甲醇溶液、无水乙醇、乙酸乙酯、丙酮、冰乙酸、异辛烷、可溶性淀粉、水杨酸、氨水、甲醇等均为分析纯(天津市永晟精细化工有限公司); 异辛烷为色谱纯(天津市永晟精细化工有限公司); 碘化钾为分析纯(国药集团化学试剂有限公司); 硫代硫酸钠、氢氧化钠、氯化钠、无水硫酸钠、碳酸钠等为分析纯(天津永大化学试剂有限公司); 吐温 80 为化学纯(天津光复精细化工研究所); 水(Millipore 自制

超纯水)。

2.2 仪器与设备

Trace DSQ II 气相色谱/质谱联用仪(美国 THERMO Fisher 公司); Heidolph Hei-VAP 系列旋转蒸发仪(德国 Heidolph 公司); 电子恒温不锈钢水浴锅(上海宜昌仪器纱筛厂); Kudos SK721 OLHC 超声波发生器(上海科导超声仪器有限公司); 远红外恒温干燥箱 YHW-1103(天津市华北实验仪器有限公司); GSP-9160MBE 隔水式恒温培养箱(上海博迅实业有限公司医疗设备厂)。

2.3 实验方法

2.3.1 甘草黄酮提取物的制备

参考黄明进等^[22]的提取方法。取 50 g 甘草粉末加入 1000 mL 80%(V:V)乙醇, 添加氨水 3 mL, 在超声功率 200 W, 温度 40 °C 条件下提取 25 min, 重复提取 3 次, 抽滤, 合并滤液于 40 °C 减压浓缩得甘草提取物, 得率为(14.94±0.23)%。

2.3.2 诃子乙酸乙酯提取物的制备

参考 CHOGSOM Munkh-Amgalan 等^[23]的提取方法。取 50 g 诃子粉末, 加入 200 mL 70%(V:V)丙酮, 在超声频率 59 kHz, 温度 27 °C 条件下提取 60 min, 重复提取 3 次, 抽滤, 合并提取液浓缩至 100 mL。用乙酸乙酯萃取 3 次, 合并萃取液, 抽滤, 于 40 °C 减压浓缩得诃子提取物, 得率为(6.00±0.54)%。

2.3.3 总酚含量的测定

参考 Singleton 等^[24]的方法。取 20 µg/mL 提取物溶液 2.0 mL, 加入 2.0 mL 稀释 10 倍的 Folin-Ciocalteu 溶液和 1.0 mL 10%碳酸钠溶液, 室温避光显色 90 min, 在 760 nm 处读取吸光度值。多酚含量以没食子酸的标准曲线 $Y=0.0074X + 0.0528(r^2=0.9970)$ 计算, 结果用没食子酸当量表示(GAEmg/g)。实验重复 3 次。

2.3.4 油脂的甲酯化

按照 GB/T 17376-2008 的方法。取 400 mg 油脂置于 150 mL 烧瓶中, 加入 12 mL 0.5 mol/L 氢氧化钠甲醇溶液, 接上冷凝器。在水浴上回流, 每 30~60 s 慢慢摇动烧瓶, 直至油滴消失, 回流过程通常需要 5~10 min。从冷凝器顶部加入 16 mL 三氟化硼甲醇溶液于沸腾的混合溶液里。继续煮沸 3 min 后, 从冷凝器顶部加入 8 mL 异辛烷于沸腾的混合溶液里。取下冷凝器, 拿出烧瓶。立即加入 40 mL 饱和 NaCl 溶液, 塞住

烧瓶, 猛烈震摇至少 15 s。加入饱和 NaCl 溶液至烧瓶颈部, 静置分层。吸取 3~4 mL 上层异辛烷溶液于试管中, 加入适量无水硫酸钠, 去除溶液中痕量的水。

2.3.5 油脂中脂肪酸测定

采用气相色谱-质谱联用法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)测定。气相色谱条件: VF-WAXms 型弹性石英毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 µm); 载气为高纯氦气(He); 进样口温度: 230 °C; 分流比为 100:1, 流速 1.0 mL/min; 进样量为 1.0 µL; 升温程序为: 初温 100 °C, 保持 5 min, 以 2 °C/min 升温至 240 °C, 保持 20 min; 质谱: EI 电子源; 扫描范围: 1~800; 检索谱库为 NIST 谱库。用脂肪酸甲酯标品进行定性, 用面积归一法进行定量。

2.3.6 数学模型建立

根据中国营养学会推荐的脂肪酸比例, 取 MUFA:PUFA=1:1, PUFA 中的 n-6:n-3=(4~6):1, max {SFA:MUFA:PUFA} 建立一般数学方程求解。

2.3.7 含抗氧化剂油样的配制

抗氧化剂溶于无水乙醇溶液中, 浓度为 0.08%(m:V), 添加抗氧化剂溶液于油样中, 使油样中抗氧化剂含量为 0.02%, 漩涡混合约 2 min。

2.3.8 样品过氧化值测定

采用 Schaal 烘箱法^[25]。将装有含抗氧化剂油样的三角瓶封口置于(60±1) °C 的恒温培养箱内, 每隔 43 h, 取适量油样测定过氧化值(peroxide value, POV)。按照 GB/T 5538-2005 的方法, 测定油样的 POV。

2.4 数据分析

实验数据用 SPSS 19.0 软件做统计学数据处理, 实验结果用 $\bar{X} \pm SD$ 表示($n=3$), 多组数据采用 one-way ANOVA 分析, 组间的比较用 Duncan's 检验, $P<0.05$ 时认为差异有统计学意义。

3 结果与讨论

3.1 脂肪酸定性分析

将脂肪酸甲酯标品按照 2.3.5 中所述条件进行分离, 根据各脂肪酸甲酯标品的出峰规律确定保留时间进行定性, 结果见表 1。

3.2 植物油中脂肪酸定量分析

将原料油甲酯化之后, 各试样按照 2.3.5 的色谱条件进行检测, 原料油中各类脂肪酸含量见表 2。

表 1 脂肪酸甲酯标品保留时间
Table 1 The retention time of fatty acid methyl ester

脂肪酸甲酯	结构	保留时间/min	脂肪酸甲酯	结构	保留时间/min
己酸甲酯	C6:0	2.56	亚油酸甲酯	C18:2	50.40
辛酸甲酯	C8:0	5.00	γ -亚麻酸甲酯	C18:3	51.34
癸酸甲酯	C10:0	10.88	亚麻酸甲酯	C18:3	52.76
十一酸甲酯	C11:0	15.03	花生酸甲酯	C20:0	55.82
月桂酸甲酯	C12:0	19.64	顺-11-二十碳烯酸甲酯	C20:1	56.45
十三酸甲酯	C13:0	24.44	顺式-11,14-二十碳二烯酸甲酯	C20:2	58.27
肉豆蔻酸甲酯	C14:0	29.29	顺式-8,11,14-二十烷三烯酸甲酯	C20:3	59.72
肉豆蔻脑酸甲酯	C14:1	30.93	二十一碳烷酸甲酯	C21:0	59.26
十五碳酸甲酯	C15:0	34.05	花生四烯酸甲酯	C20:4	60.08
顺-10-十五碳烯酸甲酯	C15:1	35.67	11,14,17-顺-二十碳三烯酸甲酯	C20:3	60.78
棕榈酸甲酯	C16:0	38.72	二十碳五烯酸甲酯	C20:5	62.58
棕榈油酸甲酯	C16:1	39.73	二十二烷酸甲酯	C22:0	63.51
十七烷酸甲酯	C17:0	43.20	芥酸甲酯	C22:1	64.16
顺-10-十七烯酸甲酯	C17:1	44.20	顺-13,16-二十二碳二烯酸甲酯	C22:2	65.92
硬脂酸甲酯	C18:0	47.57	二十三酸甲酯	C23:0	67.16
反油酸甲酯	C18:1	48.24	二十四烷酸甲酯	C24:0	70.71
油酸甲酯	C18:1	50.12	顺式-4,7,10,13,16,19-二十二碳六烯酸甲酯	C22:6	71.09
反亚油酸甲酯	C18:2	50.12	cis-15-十四酸甲酯	C24:1	71.39

表 2 原料油脂肪酸含量
Table 2 Fatty acids content in vegetable oil

植物油品种	SFA 含量/%	MUFA 含量/%	PUFA 含量/%	n-6 含量/%	n-3 含量/%
花生油	21.96	46.82	31.29	29.26	0.28
葵花籽油	14.35	22.01	58.87	51.81	0.27
亚麻籽油	10.21	30.12	59.72	15.84	42.09

3.3 应用数学模型配制营养型调和油

调和油清澈透明, 气味口感良好。由表 3 可知, 配方 1 中 SFA:MUFA:PUFA=0.47:1:1, n-6:n-3=4:1; 配方 2 中 SFA:MUFA:PUFA=0.47:1:1, n-6:n-3=5:1; 配方 3 中 SFA:MUFA:PUFA= 0.48:1:1, n-6:n-3=6:1。而市售调和油中黄金比例食用调和油的 MUFA:PUFA 的比例接近 1:1 的, 但是 n-6 和 n-3 的比例不满足营养学会提供的脂肪酸推荐比例、人体吸收的最佳比例。根据数学模型中的条件选择配方 3, 即调和油的最佳配比花生油 68.68%、葵花籽油 19.23%、亚麻籽油 12.08%, 进行后续的抗氧化特性探究。

3.4 甘草提取物复合抗氧化剂对调和油的抗氧化作用

3.4.1 甘草提取物与 Ve 复配的复合抗氧化剂对调和油的抗氧化作用

由图 1 可知, 加速氧化 d 2 和 d 4, 0.017% GUE+0.003% Ve、0.015% GUE+0.005% Ve 对调和油的抗氧化作用均是最强。加速氧化 d 6 和 d 8, 0.017% GUE+0.003% Ve 对调和油抗氧化作用最强。以油样 d 8 的 POV 为观测指标, 可以筛选出抗氧化剂 0.017% GUE+0.003% Ve 对调和油的抗氧化作用最强。陆洋等^[26]利用正交实验得出迷迭香提取物、甘草提取物、

茶多酚、Ve 的最佳配比, 对大豆油的抗氧化作用优于 BHA、BHT; Ve、 β -胡萝卜素、番茄红素复配对菜籽油体系存在协同抗氧化作用^[27]。本文也发现 Ve 在植物油体系中对天然抗氧化剂甘草提取物的协同增效作用, 与已有研究结果一致。

3.4.2 甘草提取物与 Vc 复配的复合抗氧化剂对调和油的抗氧化作用

由图 2 可知, 加速氧化 d 2 和 d 4, 0.01% GUE+0.01% V_C、0.005% GUE+0.015% V_C 和 0.003% GUE+0.017% V_C 对调和油抗氧化作用最强, 无显著性差异。加速氧化 d 6, 0.005% GUE+0.015% V_C 和 0.003% GUE+0.017% V_C 对调和油抗氧化作用最强, 无显著性差异。加速氧化 d 8, 0.003% GUE+0.017% V_C 对调和油抗氧化作用最强。以油样 d 8 的 POV 为观测指标, 可以筛选出抗氧化剂 0.003% GUE+0.017% V_C 对调和油的抗氧化作用最强。在菜籽油、大豆油、花

生油体系中, V_C 对甘草黄酮的抗氧化作用有协同增效作用^[28]。本文也发现 V_C 在植物油体系中对甘草提取物的协同增效作用, 与已有研究结果一致。

3.5 诃子提取物复合抗氧化剂对调和油的抗氧化作用

3.5.1 诃子提取物与 Ve 复配的复合抗氧化剂对调和油的抗氧化作用

由图 3 可知, 加速氧化 d 2, 0.01% TCE+0.01% Ve 对调和油的抗氧化作用最强。加速氧化 d 4, 0.003% TCE+0.017% Ve、0.017% TCE+0.003% Ve 和 0.015% TCE+0.005% Ve 对调和油的抗氧化作用均较强, 没有显著性差异。加速氧化 d 6 和 d 8, 0.017% TCE+0.003% Ve 对调和油的抗氧化作用均为最强。以油样 d 8 的 POV 为观测指标, 可以筛选出 0.017% TCE+0.003% Ve 对调和油的抗氧化作用最强。在葵花籽油体系中, Ve 对杨梅酮表现出协同增效作用^[29];

表 3 调和油脂肪酸含量
Table 3 Fatty acid content of blend oil

配方	SFA 含量/%	MUFA 含量/%	PUFA 含量/%	n-6 含量/%	n-3 含量/%
1	18.80	40.28	40.28	30.23	7.56
2	18.96	40.13	40.13	31.25	6.25
3	19.08	39.81	40.03	31.98	5.33
黄金比例食用调和油	25.43	36.25	38.31	33.65	0.29
坚果食用调和油	14.84	25.69	59.47	59.01	0.42
葵花籽食用调和油	15.49	23.58	60.93	60.71	0.21

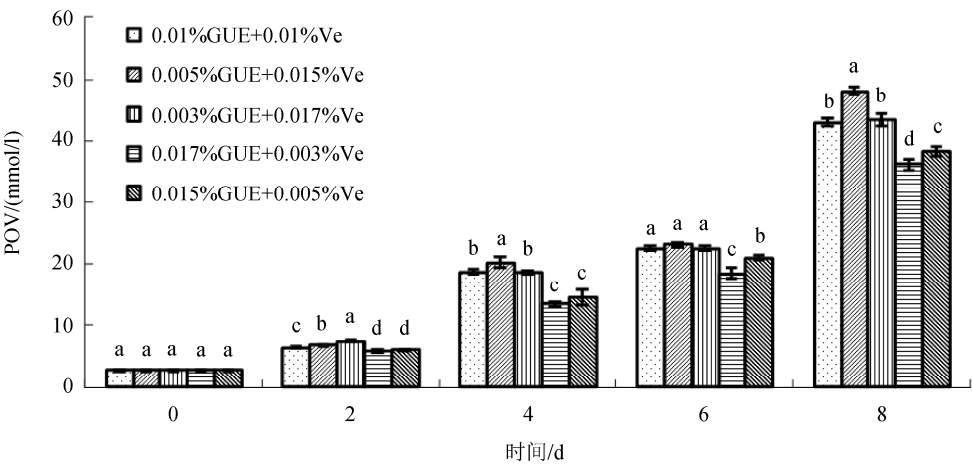


图 1 甘草提取物与 Ve 复配的复合抗氧化剂对调和油 POV 的影响

Fig. 1 Effect of combination of *G. uralensis* extract (GUE) and Ve on peroxide value of blend oil
注: 表中数据为 $\bar{X} \pm SD$, 各组不同字母表示组内数据在 0.05 水平有显著差异($P < 0.05$, $n = 3$)。调和油按配方 3 配制。加速氧化条件: 60 °C。下同。

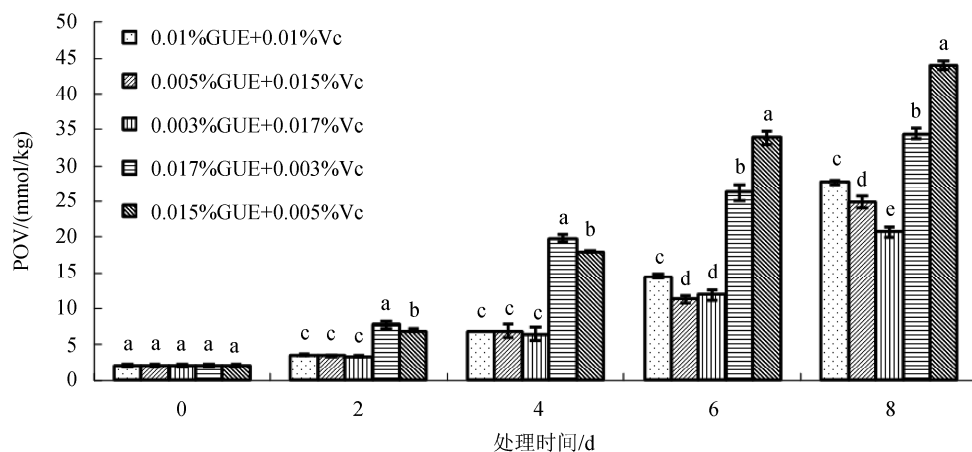


图 2 甘草提取物与 Vc 复配的复合抗氧化剂对调和油 POV 的影响

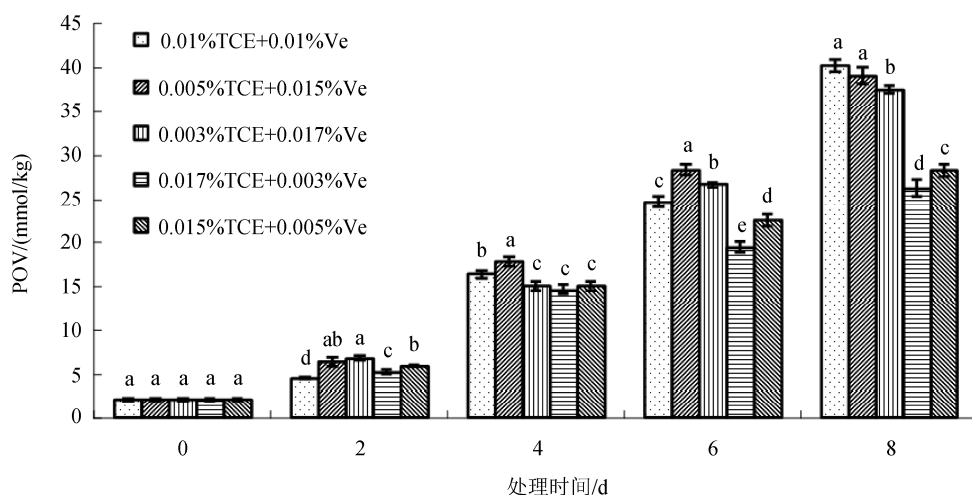
Fig. 2 Effect of combination of *G. uralensis* extract(GUE) and Vc on peroxide value of blend oil

图 3 诃子提取物与 Ve 复配的复合抗氧化剂对调和油 POV 的影响

Fig. 3 Effect of combination of *T. chebula* Retz. Extract (TCE) and Ve on peroxide value of blend oil注: 表中数据为 $\bar{X} \pm SD$, 各组不同字母表示组内数据在 0.05 水平有显著差异 ($P < 0.05$, $n=3$)。TCE:诃子提取物。下同。

诃子多酚提取物与柠檬酸的复配抗氧化剂, 可以明显降低菜籽油的 POV, 存在显著地协同抗氧化作用^[30]; 绿茶提取物与 Ve 对葵花籽油有协同抗氧化作用^[31]。本文也发现 Ve 在植物油体系中对天然抗氧化剂诃子提取物的协同增效作用。

3.5.2 诃子提取物与 Vc 复配的复合抗氧化剂对调和油的抗氧化作用

由图 4 可知, 加速氧化 d 2 各抗氧化剂对调和油的抗氧化作用没有显著性差异。加速氧化 d 4, 0.005% TCE+0.015% V_C和 0.003% TCE+0.017% V_C对调和油的抗氧化作用最显著。加速氧化 d 6, 0.01% TCE+0.01% V_C、0.005% TCE+0.015% V_C和 0.003%

TCE+0.017% V_C对调和油具有较强的抗氧化作用。加速氧化 d 8, 0.005% TCE+0.015% V_C对调和油的抗氧化作用最显著。以油样 d 8 的 POV 为观测指标, 可以筛选出抗氧化剂 0.005% TCE+0.015% V_C对调和油的抗氧化作用最强。高浓度 V_C与诃子提取物复配时, 对葵花籽油表现出很强的协同抗氧化作用^[32]。本文也发现高浓度 V_C在植物油体系中对天然抗氧化剂诃子提取物的协同增效作用。

3.6 不同抗氧化剂抗氧化作用比较

由表 4 可知, 调和油 d 8 的氧化程度略弱于坚果食用调和油、葵花籽食用调和油, 但是明显弱于黄金

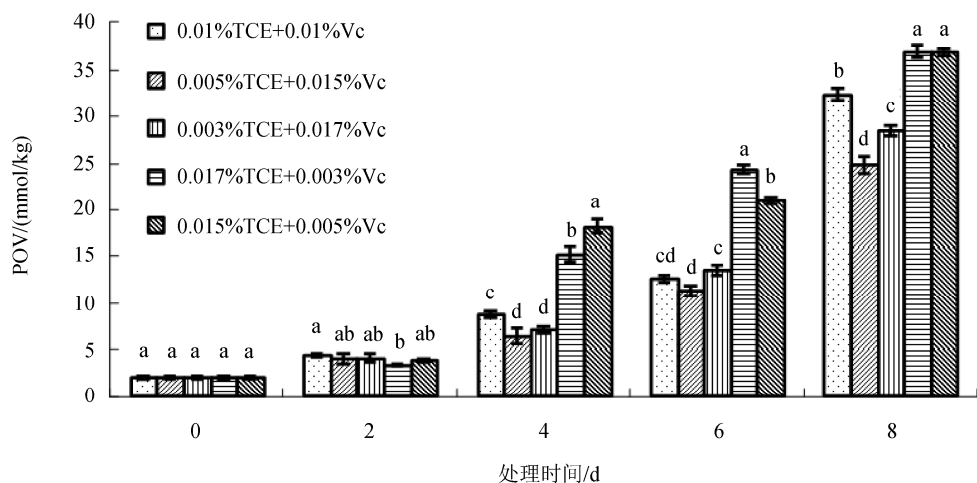


图 4 诃子提取物与 V_C 复配的综合抗氧化剂对调和油 POV 的影响
Fig. 4 Effect of combination of *T. chebula* extract (TCE) and V_C on peroxide value of blend oil

表 4 不同抗氧化剂对调和油 POV 的影响
Table 4 Effect of different antioxidants on peroxide value of blend oil

抗氧化剂种类	POV/(mmol/kg)	
	d 0	d 8
BHA	2.10±0.16c	33.91±0.83e
BHT	2.10±0.17c	20.03±0.00h
TBHQ	2.10±0.18c	3.96±0.14i
V _C	2.10±0.19c	37.55±0.48b
Ve	2.10±0.20c	37.29±0.63b
TCE	2.10±0.21c	35.23±0.51d
GUE	2.10±0.21c	37.25±0.66b
黄金比例食用调和油	1.54±0.12d	3.67±0.19i
坚果食用调和油	4.10±0.16a	37.75±0.25b
葵花籽食用调和油	2.76±0.16b	36.21±0.51c
营养型调和油/空白	2.10±0.21c	38.79±0.47a
0.017%TCE+0.003%Ve	2.10±0.22c	26.28±0.94f
0.005%TCE+0.015%V _C	2.10±0.25c	24.79±0.88g
0.017%GUE+0.003%Ve	2.74±0.08a	36.17±0.83c
0.003%GUE+0.017%V _C	2.74±0.08a	20.71±0.72h

注：表中数据为 $\bar{X} \pm SD$ ，同列不同字母表示各组之间在 0.05 水平有显著差异($P < 0.05$, $n = 3$)。

比例食用调和油，这可能是因为黄金比例食用调和油中添加人工合成抗氧化剂 TBHQ 以及饱和脂肪酸含量较高。天然抗氧化剂对调和油均具有显著的抗氧化作用，诃子提取物对调和油的抗氧化作用优于甘草提取物，可能是由于诃子提取物多酚含量是甘草提取物的 2.18 倍。复合抗氧化剂是以 POV 为指标，组

内筛选出抗氧化作用最强的组合。复合抗氧化剂在调和油体系中表现出显著的协同抗氧化作用，均优于其相同添加量时单一抗氧化剂以及 BHA。复合抗氧化剂中 0.003% GUE+0.017% V_C，即添加量为 0.02%，诃子提取物和 V_C 复配比例为 1:5 时，对调和油的抗氧化作用最显著，其抗氧化作用与 BHT 相当，氧化

至 d 8 空白油样的 POV 是该油样 POV 的 1.87 倍。

4 结 论

本文探究发现,天然抗氧化剂对调和油有显著的抗氧化作用,且复配抗氧化剂多数表现出协同抗氧化作用。根据各组油样的 POV,筛选出复合抗氧化剂对调和油抗氧化作用的顺序为 $0.003\% \text{ GUE} + 0.017\% \text{ V}_C > 0.005\% \text{ TCE} + 0.015\% \text{ V}_C > 0.017\% \text{ TCE} + 0.003\% \text{ V}_E > 0.017\% \text{ GUE} + 0.003\% \text{ V}_E$ 。可得出的结论是,对于不饱和脂肪酸含量多的植物油加速氧化处理,诃子和甘草提取物及其与 V_E 、 V_C 复配后的复合抗氧化剂均具有发展为天然抗氧化剂的潜能。

参考文献

- [1] Santos JCO, Gsantos LM. Effects of heating and cooling on rheological parameters of edible vegetable oils [J]. J Food Eng, 2005, 67:401–405.
- [2] Siegfried H. Polyunsaturated and monounsaturated fatty acids in the diet to prevent coronary heart disease via cholesterol reduction [J]. Ann Nutr Metab, 1994, 38: 117.
- [3] Simopoulos AP. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acid [J]. Biomed Pharma Cother, 2002, 56: 365–379.
- [4] 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2000.
The Chinese Nutrition Society. Chinese dietary reference intakes [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2000.
- [5] Felix A, Bertrand M. Phenolic extracts from *Sorbus aucuparia* (L.) and *Malus baccata* (L.) berries: Antioxidant activity and performance in rapeseed oil during frying and storage [J]. Food Chem, 2014, 159: 273–281.
- [6] Escuderos M. Olive oil aroina evaluation by gas chromatographic method: a critical review [J]. Crit Rev Anal Chem, 2011, 41(1):70–80.
- [7] Gertz C. Optimising the baking and frying process using oil-improving agents [J]. Eu J Lipid Sci Technol, 2004, 106, 736–745.
- [8] Hou DX. Potential mechanisms of cancer chemoprevention by anthocyanins [J]. Curr Mol Med, 2003, 3(2):149–159.
- [9] Iqbal S, Bhanger MI. Stabilization of sunflower oil by garlic extract during accelerated storage [J]. Food Chem, 2007, 100(1): 246–254.
- [10] Karpinska M, Borowski J, Danowska-Oziewicz M. The use of natural antioxidants in ready-to-serve food [J]. Food Chem, 2001, 72: 5–9.
- [11] Habeebullah SFK, Nielsen NS, Jacobsen C. Antioxidant activity of potato peel extracts in a fish-rapeseed oil mixture and in oil-in-water emulsions [J]. Am Oil Chem Soc, 2010, 87, 1319–2.
- [12] Jie Y, Eleonora MB, Mogens L. Green tea extract as food antioxidant synergism and antagonism with α -tocopherol in vegetable oils and their colloidal systems [J]. Food Chem, 2012, 135: 2195–2202.
- [13] 杨洋, 韦小英, 阮征. 国内外天然食品抗氧化剂的研究进展 [J]. 食品科学, 2002, 23(10): 137–140.
Yang Y, Wei XY, Ruan Z. Development of natural food antioxidant at home and abroad [J]. Food Sci, 2002, 23(10): 137–140.
- [14] Li W, Yoshihisa A, Takafumi Y. Flavonoid constituents from glycyrrhiza glabra hairy root cultures [J]. Phyto chem, 2000, 55, (5):447–456.
- [15] Toshio F, Ai M, Kiyoshi K, et al. Antimicrobial activity of licorice flavonoids against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* [J]. Fitoterapia, 2002, 73: 536–539.
- [16] Juang LJ, Sheu SJ, Lin TC. Determination of hydrolyzable tannins in the fruit of *Terminalia chebula* Retz by high-performance liquid chromatography and capillary electrophoresis [J]. Determ Hyd Tan Cheb, 2004, 27: 718–724.
- [17] Jagetia GC, Baliga MS, Malagi KJ, et al. The evaluation of the radioprotective effect of Triphala (an ayurvedicreju-venating drug) in the mice exposed to C-radiation [J]. J Phytomedicine, 2002, 9(2): 99–108.
- [18] Malekzadeh F, Ehsanifar H, Shahamat M, et al. Antibacterial activity of black myrobalan (*Terminalia chebula* Retz.) against *Helicobacter pylori* [J]. Int J Antimicrob Agent, 2001, 18(1): 85–88.
- [19] Ahn MJ, Kim CY, Lee JS, et al. Inhibition of HIV-1 integrase by galloyl glucoses from *Terminalia chebula* and flavonolglycoside gallates from *Euphorbia pekinensis* [J]. Planta Med, 2002, 68(5): 457–459.
- [20] Shin TY, Jeong HJ, Kim DK, et al. Inhibitory action of water soluble fraction of *Terminalia chebula* on systemic and local anaphylaxis [J]. J Ethnopharmacol, 2001, 74(2): 133–140.
- [21] 张杰. 鞣质的药理作用(III)抗氧化, 降脂, 降压等多种作用[J]. 国外医药: 植物药分册, 1995, 10(3): 99–103.
Zhang J. Pharmacological tannin effects(III) of antioxidant action, lipid-lowering, blood pressure [J]. Foreign Med: Bot Branch, 1995, 10(3): 99–103.

- [22] 黄明进, 王文全, 沈寿茂. 甘草总黄酮和总皂苷成分的提取工艺及其含量分析[J]. 中国现代中药, 2010, 12(4): 24–27.
Huang MJ, Wang WQ, Shen SM. Study on the extraction and contents for total flavones and saponins from *Radixet Rhizoma Glycyrrhizae* [J]. Mod Chin Med, 2010, 12(4): 24–27.
- [23] Chogsom MA, 胡亚玲, 文先, 等. 诃子果实活性成分提取及抗氧化活性研究 [J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(3): 942–946.
Chogsom MA, Hu YL, Wen X, *et al.* Study on extraction and antioxidant activities of bioactive substances from *Terminalia chebula* Retz. Fruit [J]. J Food Saf Qual, 2014, 5(3): 942–946.
- [24] Re R, Pellegrini N, Proteggente A, *et al.* Antioxidant activity applying an improved ABTS⁺ radical cation decolorization assay [J]. Free Radical Biology Med, 1999, 26(9): 1231–1237.
- [25] 张琨, 何锦凤, 蒲彪, 等. 汉麻籽油自氧化及抗氧化性能的研究 [J]. 中国油脂, 2008, 33(2): 22–25.
Zhang K, He JF, Pu B, *et al.* Autooxidation and antioxidation ability of hemp seed oil [J]. China Oils Fats, 2008, 33(2): 22–25.
- [26] 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 Y, Yang BT, Chen FX. Study on antioxidation of natural antioxidant compound on edible oil [J]. Food Sci, 2009, 30(11): 55–57.
- [27] 梁云. 几种天然抗氧化剂抗氧化性能比较研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2008.
Liang Y. A Comparative study on the antioxidant activities of some natural antioxidants [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.
- [28] 崔永明, 余龙江, 敖明章, 等. 甘草总黄酮对油脂抗氧化作用研究 [J]. 食品科学, 2007, 28(11): 119–121.
Cui YM, Yu LJ, Ao MZ, *et al.* Study on antioxidative effects of total flavonoids of *Glycyrrhiza* on edible oils [J]. Food Sci, 2007, 28(11): 119–121.
- [29] Marinova E, Toneva A, Yanishlieva N. Synergistic antioxidant effect of α -tocopherol and myricetin on the autoxidation of triacylglycerols of sunflower oil [J]. Food Chem, 2008, 106: 628–633.
- [30] 高云涛, 李晓芬, 戴建辉, 等. 诃子多酚的纯化及其油脂抗氧化作用 [J]. 食品科学, 2012, 33(03): 58–62.
Gao YT, li XF, Dai JH, *et al.* Purification of polyphenols from *Terminalia chebula* fruits and their antioxidant effect on lard oil [J]. Food Sci, 2012, 33(03): 58–62.
- [31] Jie Y, Eleonora MB, Mogens L. Green tea extract as food antioxidant synergism and antagonism with α -tocopherol in vegetable oils and their colloidal systems [J]. Food Chem, 2012, 135: 2195–2202.
- [32] 刘艳凤, 刘雅丽, 王新雨, 等. 甘草、诃子提取物复合抗氧化剂对葵花籽油抗氧化作用的研究 [J]. 食品安全质量检测学报, 2014, (5)6: 1621–1628.
Liu YF, Liu YL, Wang XY, *et al.* Study on antioxidant activity of sunflower oil by compound antioxidants of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch extract and *Terminalia chebula* Retz. extract [J]. J Food Saf Qual, 2014, (5)6: 1621–1628.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



刘艳凤, 本科生, 主要研究方向为药用植物化学。
E-mail: F_0603@163.com



陈贵林, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为药用植物化学。
E-mail: chengl@life.imu.edu.cn