

11种植物油的脂肪酸组成与抗氧化活性比较

刘颖^{1,2}, 刘晓谦², 梁曜华², 冯伟红², 杨立新², 李春², 王智民²

(1. 天津中医药大学 中药学院, 天津 300193; 2. 中国中医科学院中药研究所
中药质量控制技术国家工程实验室, 北京 100700)

摘要:对4种新资源食品油、2种高端食用油和5种普通植物油的脂肪酸组成和抗氧化活性进行比较研究,以评价不同类型植物油的质量。采用气-质联用色谱法测定了11种植物油的脂肪酸组成,应用DPPH、ABTS、FRAP法对不同植物油的全油以及极性部位的抗氧化活性进行测定。结果显示:新资源食品油(茶叶籽油除外)的多不饱和脂肪酸含量均大于65%,其中 α -亚麻酸高达38%以上,而普通植物油以及牛油果油和橄榄油中 α -亚麻酸含量仅有0.11%~8.67%;11种植物油对DPPH·清除能力从大到小依次为杜仲籽油>美藤果油>玉米油>大豆油>葵花籽油>牡丹籽油>菜籽油>橄榄油>牛油果油>花生油>茶叶籽油;对ABTS⁺·的清除能力从大到小依次为橄榄油>菜籽油>杜仲籽油>大豆油>玉米油>美藤果油>花生油>牛油果油>茶叶籽油>牡丹籽油>葵花籽油;对FRAP Fe³⁺-TPTZ还原能力从大到小依次为杜仲籽油>美藤果油>菜籽油>橄榄油>玉米油>花生油>大豆油>牡丹籽油>葵花籽油>牛油果油>茶叶籽油。在脂肪酸组成方面,新资源食品油有较大优势,DPPH、ABTS、FRAP 3种方法所得的每种植物油的抗氧化活性不同,但杜仲籽油、美藤果油、菜籽油和玉米油在3种方法中均表现出较好的抗氧化活性。

关键词:食用植物油;新资源食品油;脂肪酸组成;抗氧化活性

中图分类号:TS225.1;TS201.2 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2020)10-0052-06

Comparison of fatty acid compositions and antioxidant activities of eleven vegetable oils

LIU Ying^{1,2}, LIU Xiaoqian², LIANG Yaohua², FENG Weihong²,
YANG Lixin², LI Chun², WANG Zhimin²

(1. School of Chinese Materia Medica, Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 300193, China;
2. National Engineering Laboratory for Quality Control Technology of Chinese Herbal Medicines, Institute of
Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China)

Abstract: The fatty acid compositions and antioxidant activities of four new resource food oils, two high-grade edible oils and five common vegetable oils were compared to evaluate the qualities of different vegetable oils. The fatty acid compositions of eleven vegetable oils were analyzed by GC-MS, and the antioxidant capacities of the whole oil and polar parts of different vegetable oils were determined by

收稿日期:2019-12-22;修回日期:2020-01-14

基金项目:“中医药现代化研究”重点专项2017年度项目(SQ2017YFC170519);国家中药标准化项目(ZYBZH-C-JL-26);北京市科技计划课题(Z171100001717028);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助(ZXKT15016,2014ZX09304306-006)

作者简介:刘颖(1995),女,在读硕士,研究方向为中药化学和标准(E-mail)1956192514@qq.com。

通信作者:李春,研究员(E-mail)cli@icmm.ac.cn;王智民,研究员(E-mail)zmwang@icmm.ac.cn。

DPPH, ABTS and FRAP experiments. The results showed that the content of polyunsaturated fatty acids in new resource food oils was more than 65% except tea seed oil, among which α -linolenic acid accounted for more than 38%, while the content of α -linolenic acid in common vegetable oils, avocado oil and olive oil was only 0.11%~8.67%. The order of DPPH free radical scavenging ability of eleven vegetable oils from high to low was *Eucommia* seed oil, *sacha inchi*

oil, maize oil, soybean oil, sunflower seed oil, peony seed oil, rapeseed oil, olive oil, avocado oil, peanut oil, tea seed oil. The scavenging ability of ABTS free radical in order from large to small was olive oil, rapeseed oil, *Eucommia* seed oil, soybean oil, maize oil, sacha inchi oil, peanut oil, avocado oil, tea seed oil, peony seed oil, sunflower seed oil. The order of FRAP Fe^{3+} - TPTZ reduction ability from high to low was *Eucommia* seed oil, sacha inchi oil, rapeseed oil, olive oil, maize oil, peanut oil, soybean oil, peony seed oil, sunflower seed oil, avocado oil, tea seed oil. In terms of fatty acid composition, the new resource food oil had a great advantage, and each vegetable oil had different antioxidant ability with DPPH, ABTS and FRAP experiments, but *Eucommia* seed oil, sacha inchi oil, rapeseed oil and maize oil all showed good effects in the three experiments.

Key words: edible vegetable oil; new resource food oil; fatty acid composition; antioxidant activity

随着经济的发展,人民生活水平不断提高,居民在选择生活必需品如食用油时已不仅仅停留在安全卫生的水平,而是更加注重其健康与营养性^[1]。为响应这种需求,市场上研发了多种新资源食品油。新资源食品是指在中国新研制、新发现、新引进的无食用习惯的,符合食品基本要求,对人体无毒无害的物品^[2]。截至2017年卫生部已批准的新资源食品中,可归属于植物油的有14种,现在市场上备受大家推崇的是美藤果油、牡丹籽油、杜仲籽油和茶叶籽油4种^[3-6]。除此之外,2种在西方国家食用历史悠久的牛油果油和橄榄油^[7-8]在市场上也大受欢迎。而在我国居民消费中,消费比例最大的5种植物油分别是花生油、大豆油、玉米油、葵花籽油和菜籽油^[5]。这些油之间的品质差异至今未见相关的系统研究。

植物油的品质主要通过化学成分组成和理化性质两方面来评价。化学成分以脂肪酸组成和其他微量成分含量来评价^[9],理化性质方面则依据植物油的酸价、碘值、过氧化值、抗氧化能力来判断,其中抗氧化活性是评判植物油品质的一个重要指标^[10]。因此,本文拟以上述11种植物油为研究对象,通过脂肪酸组成和抗氧化活性两方面评价其质量,以期为国人选择食用植物油提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

杜仲籽油胶囊(河南省许昌市鄢陵县杜仲森林基地);印奇美藤果油;北京同仁堂牡丹籽油;千岛源茶叶籽油;西班牙佰多力橄榄油;墨西哥 CHOSEN FOODS 牛油果油;中粮原香花生油;多力葵花籽油;金龙鱼玉米油、大豆油和菜籽油。

1,1-二苯基-2,2-三硝基苯肼(DPPH, LOT: W27F10E81251)、2,2'-联氮-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二胺盐(ABTS, LOT: K18N8M48402)、

2,4,6-三吡啶基三嗪(TPTZ, LOT: M19M7E14190)、6-羟基-2,5,7,8-四甲基苯并二氢吡喃-2-羧酸(Trolox, LOT: S08J10N79226)和14%三氟化硼-甲醇溶液($BF_3 - CH_3OH$, LOT: H06J10X90055),上海源叶生物有限公司; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$; 甲醇和乙腈为HPLC级,美国Fisher公司;三水合乙酸钠、无水乙酸钠、氢氧化钠、乙酸乙酯、甲醇、冰乙酸、盐酸等均均为分析纯。

Agilent 7890A/5975C型气相色谱-质谱联用仪;HH-2数显恒温水浴锅;可调微量移液器,德国Eppendorf公司;Multiskan Go1510型酶标仪,美国Thermo Fisher公司;96孔板,美国Thermo Fisher公司;XS105DU型天平(精度0.01 mg)、XSE104型天平(精度0.1 mg),瑞士梅特勒-托利多公司。

1.2 试验方法

1.2.1 11种植物油脂肪酸组成分析

1.2.1.1 脂肪酸甲酯的制备

参照GB 5009.168—2016方法并略加改动。称取植物油样品0.1 g,加入2% NaOH 甲醇溶液8 mL,水浴回流至油滴消失,然后加入7 mL 14%三氟化硼-甲醇溶液,再回流2 min后取下烧瓶迅速冷却至室温。向烧瓶中准确加入10 mL 正庚烷振荡2 min,再加饱和NaCl水溶液适量,静置分层。取上层溶液于试管中,加入5.0 g无水 Na_2SO_4 固体,振摇后静置,取上清液进行分析。

1.2.1.2 气相色谱-质谱条件

气相色谱条件:Agilent DB-WAX 122-7032毛细管色谱柱(30 m × 250 μm × 0.25 mm);柱流量1.0 mL/min;柱升温程序为初温50 $^{\circ}C$,保持1 min,以25 $^{\circ}C/min$ 的速率升温到200 $^{\circ}C$,然后以3 $^{\circ}C/min$ 至230 $^{\circ}C$,保持12 min;载气为高纯氮气;进样口温度250 $^{\circ}C$;分流进样,分流比25:1。质谱条件:电离方式EI,电子能量70 eV,离子源温度230 $^{\circ}C$,四级

杆温度 150 ℃,质量扫描范围 (m/z) 50 ~ 550,溶剂延迟时间 4 min。

1.2.2 样品溶液及工作液的制备

1.2.2.1 供试品溶液的制备

全油样品的制备:称取 4.0 g 植物油样品,用乙酸乙酯配制成质量浓度为 0.4 g/mL 溶液作为母液,取母液加乙酸乙酯稀释成质量浓度分别为 0.3、0.2、0.15、0.1、0.05 g/mL 的工作液,备用。

极性萃取液的制备:称取 5.0 g 植物油样品,精密加入 5 mL 甲醇,振荡混匀,3 000 r/min 离心 15 min,取上层清液,沉淀按照上述方法连续萃取 4 次,合并萃取液,甲醇定容至 25 mL,备用。

1.2.2.2 DPPH 工作液的制备^[11]

精密称取 DPPH 10.04 mg,用乙酸乙酯溶解并定容至 25 mL 容量瓶,配制成质量浓度为 0.4 mg/mL 的 DPPH 溶液,避光保存备用,现用现配。

1.2.2.3 ABTS 工作液的制备^[12]

0.02 mol/L 醋酸盐缓冲液的配制:精密称取 295 mg 无水乙酸钠,加 0.37 mL 冰乙酸溶解,再加蒸馏水定容至 500 mL,配成浓度为 0.02 mol/L 的醋酸盐缓冲液。

ABTS 溶液的制备:精密称取 38.41 mg ABTS,用 0.02 mol/L 醋酸盐缓冲液溶解并定容至 10 mL 容量瓶中,配成浓度为 7 mmol/L 的 ABTS 溶液。

过硫酸钾溶液的制备:准确称取过硫酸钾 66.24 mg,加 0.02 mol/L 醋酸盐缓冲液溶解并定容至 100 mL,配成浓度为 2.45 mmol/L 的过硫酸钾溶液。

ABTS 工作液的制备:将 5 mL 7 mmol/L 的 ABTS 溶液和 5 mL 2.45 mmol/L 的过硫酸钾溶液混合,黑暗中常温静置反应 12 ~ 16 h 备用。使用前,用 0.02 mol/L 醋酸盐缓冲液稀释至在 734 nm 波长下的吸光度为 0.700 ± 0.002 ,现用现配。

1.2.2.4 FRAP 工作液的制备^[13-14]

0.3 mol/L 醋酸盐缓冲液的配制:精密称取 1.36 g 三水合乙酸钠,加 8 mL 冰乙酸溶解,再加蒸馏水定容至 500 mL,配成浓度为 0.3 mol/L 的醋酸盐缓冲液。

TPTZ 溶液的配制:精密称取 TPTZ 31.20 mg,用 40 mmol/L 的 HCl 溶解并定容到 10 mL 容量瓶中,配成浓度为 10 mmol/L 的 TPTZ 工作液。

FeCl₃ 溶液的配制:精密称取 FeCl₃ · 6H₂O 54.10 mg,加蒸馏水溶解并定容到 10 mL 容量瓶中,配成浓度为 20 mmol/L 的 FeCl₃ 溶液。

FRAP 工作液的制备:分别量取 50 mL 0.3 mol/L

醋酸盐缓冲液、5 mL 10 mmol/L TPTZ 工作液、5 mL 20 mmol/L FeCl₃ 溶液,混合摇匀,避光保存备用,现用现配。

1.2.3 11 种植物油抗氧化活性测定

1.2.3.1 DPPH 法

参照 Mukazayire 等^[11]的方法并略加改动。于 96 孔板中依次加入 100 μL DPPH 工作液和 100 μL 不同质量浓度的全油样品溶液,平行操作两组,混匀,室温下避光静置 30 min,空白组用甲醇代替 DPPH 工作液,对照组用甲醇代替样品溶液,于 517 nm 处测定吸光度,分别记为 $A_{\text{样}}$ 、 $A_{\text{空}}$ 、 $A_{\text{对}}$ 。计算 DPPH · 清除率: $\text{DPPH} \cdot \text{清除率} = [1 - (A_{\text{样}} - A_{\text{对}})/A_{\text{空}}] \times 100\%$ 。应用 SPSS17.0 软件进行数据处理,结果以 IC_{50} 值表示。以质量浓度为 0.01 ~ 0.1 mg/mL 的 Trolox 乙酸乙酯溶液为阳性对照。

1.2.3.2 ABTS 法

参考 Ozgen 等^[15]的测定方法进行。于 96 孔板中依次加入 200 μL ABTS 工作液和 10 μL 不同植物油的极性萃取液,对照组用甲醇代替样品溶液,于 30 ℃ 反应 20 min,室温下测定 734 nm 波长处的吸光度,分别记为 A_0 和 A_1 。计算 ABTS⁺ · 清除率: $\text{ABTS}^+ \cdot \text{清除率} = (A_1 - A_0)/A_1 \times 100\%$ 。同时配制质量浓度为 0.20 mg/mL (799 μmol/L) 的 Trolox 甲醇溶液,并稀释成质量浓度分别为 0.15 mg/mL (599 μmol/L)、0.075 mg/mL (300 μmol/L)、0.05 (200 μmol/L)、0.037 5 mg/mL (150 μmol/L) 的系列溶液,按上述方法测定不同浓度 Trolox 溶液 (X) 对 ABTS⁺ · 的清除率 (Y),绘制量效曲线,得到的线性回归方程为 $Y = 0.111 3X + 0.216 3, R^2 = 0.999 1$ 。将 11 种植物油极性萃取液对 ABTS⁺ · 的清除率代入方程,得到该清除率所相当的 Trolox 的浓度,结果以 ABTS⁺ · 清除率对应的 Trolox 当量值表示(单位: μmol/100 g)。

1.2.3.3 FRAP 法

参考 Zhang 等^[16]的测定方法并略加改动。于 96 孔板中精密加入 20 μL 甲醇与 180 μL FRAP 工作液混合作为空白对照组,以 20 μL 各植物油极性萃取液与 180 μL FRAP 工作液混合为样品组,于 37 ℃ 孵育反应 10 min 后 593 nm 测定吸光度。同时配制成质量浓度为 0.375 mg/mL (1 498 μmol/L) 的 Trolox 甲醇溶液,并稀释成质量浓度分别为 0.300 mg/mL (1 199 μmol/L)、0.225 mg/mL (899 μmol/L)、0.150 mg/mL (599 μmol/L)、0.075 mg/mL (300 μmol/L)、0.037 5 mg/mL (150 μmol/L) 的系列溶

液,按上述方法测定不同浓度 Trolox 溶液(X)与 FRAP 工作液反应后的吸光度(A),绘制量效曲线,得到的线性回归方程为 $A = 0.0009X + 0.0144$, $R^2 = 0.9993$ 。根据 11 种植物油与 FRAP 工作液反应后的吸光度,在量效曲线上求出其对应的 Trolox 浓度,结果以还原能力对应的 Trolox 当量值表示(单位: $\mu\text{mol}/100\text{g}$)。

2 结果与讨论

2.1 11 种植物油的脂肪酸组成(见表 1)

由表 1 可以看出,在脂肪酸种类上,菜籽油、牡丹籽油中脂肪酸种类最多,前者仅未检测到十七碳

烯酸,后者未检测到木蜡酸,茶叶籽油的脂肪酸类型最少,为 11 种。花生油、大豆油、葵花籽油和玉米油中所含的脂肪酸类型完全相同。

从脂肪酸含量上看,新资源食品油(除茶叶籽油外)中多不饱和脂肪酸含量更高,且饱和脂肪酸含量明显低于除菜籽油外其他 7 种植物油。美藤果油、杜仲籽油、牡丹籽油、葵花籽油、大豆油、玉米油中以多不饱和脂肪酸为主,而茶叶籽油、橄榄油、牛油果油和菜籽油的单不饱和脂肪酸含量占很大比例。所有样品中,杜仲籽油亚麻酸的含量最高,其次是美藤果油、牡丹籽油。

表 1 11 种植物油中主要脂肪酸组成及含量

脂肪酸	花生油	大豆油	菜籽油	葵花籽油	玉米油	美藤果油	橄榄油	牛油果油	茶叶籽油	牡丹籽油	杜仲籽油
十四烷酸 C14:0	0.05	0.09	0.06	0.08	0.04	0.02	0.01	0.04	-	0.08	0.03
十五烷酸 C15:0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	-	-	0.01	0.01	0.03	-
棕榈酸 C16:0	12.60	12.45	4.82	7.97	13.76	5.09	13.50	15.23	11.92	7.03	8.03
十七烷酸 C17:0	0.11	0.10	0.07	0.05	0.11	0.11	0.06	0.04	0.09	0.14	0.11
硬脂酸 C18:0	5.14	4.91	2.10	4.87	2.21	4.00	4.46	1.61	2.95	2.59	3.08
二十烷酸 C20:0	2.07	0.44	0.70	0.34	0.51	0.11	0.49	0.20	0.07	0.16	0.47
山萘酸 C22:0	3.54	0.61	0.43	1.03	0.19	-	0.14	0.23	-	0.02	0.52
木蜡酸 C24:0	1.57	0.21	0.20	0.28	0.18	-	-	0.13	-	-	0.30
棕榈油酸 C16:1	0.12	0.09	0.29	0.14	0.18	0.08	1.33	5.92	0.24	0.36	0.19
十七碳烯酸 C17:1	-	-	-	-	-	-	0.18	0.14	0.14	0.12	-
油酸 C18:1	42.24	26.38	48.68	22.54	29.67	10.98	72.71	62.21	83.19	23.41	19.69
花生烯酸 C20:1	1.06	0.35	4.85	0.29	0.43	0.48	0.32	0.30	0.86	0.40	0.27
芥酸 C22:1	-	-	11.00	-	-	0.29	-	-	-	0.08	0.12
亚油酸 C18:2	31.37	47.40	17.92	62.18	51.70	37.54	6.07	13.18	0.08	27.01	13.41
二十碳二烯酸 C20:2	-	-	0.19	-	-	0.07	-	-	-	0.04	-
亚麻酸 C18:3	0.11	6.95	8.67	0.20	1.02	41.22	0.72	0.75	0.45	38.53	53.78
饱和脂肪酸	25.09	18.82	8.40	14.64	17.01	9.33	18.66	17.49	15.04	10.05	12.54
不饱和脂肪酸	74.90	81.17	91.60	85.35	83.00	90.66	81.33	82.50	84.96	89.95	87.46
多不饱和脂肪酸	31.48	54.35	26.78	62.38	52.72	78.83	6.79	13.93	0.53	65.58	67.19
单不饱和脂肪酸	43.42	26.82	64.82	22.97	30.28	11.83	74.54	68.57	84.43	24.37	20.27

2.2 11 种植物油的抗氧化活性

2.2.1 DPPH 试验(见表 2)

表 2 11 种植物油全油对 DPPH· 的清除能力 (g/mL)

样品	IC_{50}	样品	IC_{50}
杜仲籽油	0.023	菜籽油	0.143
美藤果油	0.055	橄榄油	0.240
玉米油	0.071	牛油果油	0.278
大豆油	0.086	花生油	0.284
葵花籽油	0.118	茶叶籽油	0.398
牡丹籽油	0.130	Trolox	1.73×10^{-5}

IC_{50} 值越小,表明对 DPPH· 的清除能力越好。由表 2 可看出,11 种植物油对 DPPH· 的清除能力从大到小排序为杜仲籽油 > 美藤果油 > 玉米油 > 大豆油 > 葵花籽油 > 牡丹籽油 > 菜籽油 > 橄榄油 > 牛

油果油 > 花生油 > 茶叶籽油。

2.2.2 ABTS 试验(见图 1)

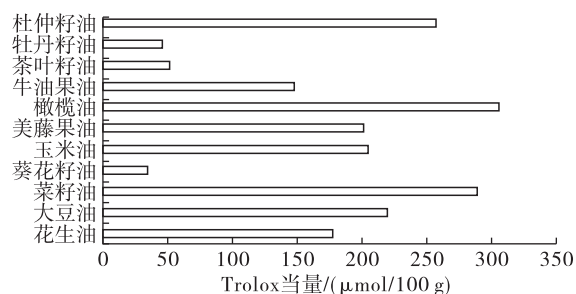


图 1 植物油极性部位对 ABTS⁺· 清除能力

Trolox 当量值越大,样品对 ABTS⁺· 清除能力越好。由图 1 可以看出,11 种植物油对 ABTS⁺· 的清除能力从大到小依次为橄榄油 > 菜籽油 > 杜仲籽

油 > 大豆油 > 玉米油 > 美藤果油 > 花生油 > 牛油果油 > 茶叶籽油 > 牡丹籽油 > 葵花籽油。其中橄榄油和菜籽油的 $ABTS^+$ · 清除能力较高,可能与橄榄油和菜籽油中含有较多的多酚类物质有关^[17]。

2.2.3 FRAP 试验(见图 2)

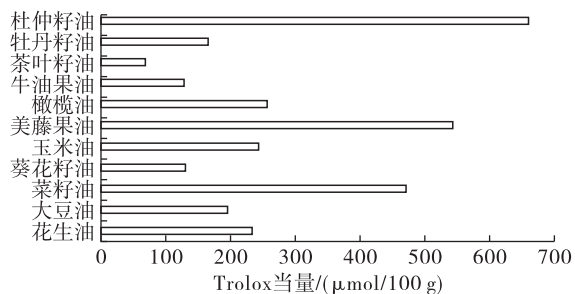


图 2 植物油极性部位对 Fe^{3+} - TPTZ 还原能力

Trolox 当量值越大,样品对 Fe^{3+} - TPTZ 的还原能力越强。由图 2 可看出,11 种植物油对 Fe^{3+} - TPTZ 还原能力的 Trolox 当量从高到低依次为杜仲籽油 > 美藤果油 > 菜籽油 > 橄榄油 > 玉米油 > 花生油 > 大豆油 > 牡丹籽油 > 葵花籽油 > 牛油果油 > 茶叶籽油。

2.3 讨论

采用 3 种经典的抗氧化试验进行 11 种植物油抗氧化能力比较时,试验初期全部采用全油进行,结果发现其用于 ABTS 法和 FRAP 法试验时的测定值极不稳定,无法重复,分析原因可能与油水不互溶有关^[18-19]。鉴于植物油的许多微量活性成分存在于其极性部位中^[18],故选择甲醇萃取全油的极性成分用于 ABTS 和 FRAP 试验,结果发现效果良好。因此,本研究最终选择不同浓度的全油乙酸乙酯溶液用于 DPPH 试验,而各植物油的甲醇萃取物用于 ABTS 和 FRAP 试验,以达到相同自由基清除率或吸光度相当的 Trolox 的量表示其自由基清除能力。在抗氧化试验中,许多文献所使用的样品和工作液比例不一,导致最后的结果不同。本研究考察了抗氧化试验中不同比例的样品和工作液,选择能够反应完全,吸光度在合适范围内,量效曲线的相关系数好的比例作为本试验中工作液和样品的比例,最后所有样品在相同条件下进行试验。

3 种抗氧化试验评价出的各植物油的抗氧化能力的排序有所不同,一是因为 DPPH 试验的样品为全油,而 ABTS 和 FRAP 试验的样品为植物油甲醇萃取物;二是不同植物油中微量成分的含量不一,植物油中的微量成分主要有植物甾醇、多酚、维生素 E 等,这些成分具有较好的抗氧化性,如黄健花等^[17]研究发现, $ABTS^+$ · 清除能力与植物油多酚含量在

$P < 0.01$ 水平上显著相关, DPPH · 清除能力和 FRAP 法 Fe^{3+} - TPTZ 还原能力与植物油多酚含量、生育酚含量均在 $P < 0.05$ 水平上显著相关。由试验结果可知,植物油的抗氧化活性强弱与不饱和脂肪酸含量有一定的关系,但并不完全正相关,提示我们在今后的研究中,要同样重视植物油中的不饱和脂肪酸和微量成分的组成和含量,使评价更加客观全面。

3 结论

大部分新资源食品油在脂肪酸组成和抗氧化能力方面,都有其独特的优势,人体必需不饱和脂肪酸超过其他食用油,极具食用和保健价值。建议有条件的家庭和一些身体有特殊需要的人群可增加新资源食品油的摄入,如杜仲籽油等。大部分普通居民在选择常见的食用油时,可以考虑菜籽油、葵花籽油、玉米油等普通食用油。

参考文献:

- [1] 刘晓萍,孙雨霞. 浅析北京地区高端食用油产品推广潜力及策略[J]. 食品工业科技, 2010, 31(9): 422-425.
- [2] 胡叶梅,韩军花,杨月欣. 脂类新资源食品应用研究[J]. 中国卫生监督杂志, 2011, 18(1): 45-50
- [3] 李小平. 印奇美藤果注入高原大健康产业新活力[J]. 中国科技产业, 2016(1): 71.
- [4] SU J H, WANG H X, MA C Y, et al. Anti-diabetic activity of peony seed oil, a new resource food in STZ-induced diabetic mice[J]. Food Funct, 2015, 6(9): 2930-2938.
- [5] 梁杏秋,王晓琴,黄兵兵. 茶叶籽油组成分析及其抗氧化机理研究进展[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(11): 123-128.
- [6] 焦惠丽. 杜仲籽制油工艺及产品品质研究[D]. 郑州:河南工业大学, 2016.
- [7] CARVAJAL-ZARRABAL O, NOLASCO-HIPOLITO C, AGUILAR-USCANGA M G, et al. Avocado oil supplementation modifies cardiovascular risk profile markers in a rat model of sucrose-induced metabolic changes[J]. Dis Markers, 2014(11): 386425.
- [8] CARVAJAL-ZARRABAL O, NOLASCO-HIPOLITO C, AGUILAR-USCANGA M G, et al. Effect of dietary intake of avocado oil and olive oil on biochemical markers of liver function in sucrose-fed rats[J]. Biomed Res Int, 2014, 2014: 1-8.
- [9] 王晓玲. 食用油的品质评价及其快速检测方法的研究[D]. 辽宁大连:辽宁师范大学, 2015.
- [10] 尹奇峰. 面向食用油品质鉴别的低场核磁共振检测平台的研制[D]. 南京:东南大学, 2017.
- [11] MUKAZAYIRE M J, TOMANI J C, CAROLINE S, et al. Essential oils of four Rwandese hepatoprotective herbs: gas chromatography-mass spectrometry analysis and antioxidant activities [J]. Food Chem, 2011, 129(3): 753-760.

(下转第 61 页)

相胶束后,油脂的氧化稳定性还取决于其加快氧化速率及增大抗氧化剂活性两种反应的平衡,同时也取决于抗氧化剂在反相胶束部位的分布。本研究对于油脂氧化研究以及寻找安全的抗氧化方法提供了新的思路。

参考文献:

- [1] FRANKEL E. Lipid oxidation [J]. Prog Lipid Res, 1980, 19(1/2): 1-22.
- [2] EBONG P, OWU D, ISONG E. Influence of palm oil (*Elaeis guineensis*) on health [J]. Plant Food Human Nutr, 1999, 53(3): 209-222.
- [3] ZIDKOVA J, SAJDOK J, KONTROVA K, et al. Effects of oxidised dietary cod liver oil on the reproductive functions of Wistar rat [J]. Czech J Food Sci, 2004, 22(3): 108-120.
- [4] 高伟, 丁阳平, 杨坚. 内源性痕量物质及其联合胶体对脂肪氧化的影响 [J]. 食品与机械, 2015(3): 242-245.
- [5] 穆同娜, 张惠, 景全荣. 油脂的氧化机理及天然抗氧化物的简介 [J]. 食品科学, 2004(21): 241-244.
- [6] CHAIYASIT W, ELIAS R J, MCCLEMENTS D J, et al. Role of physical structures in bulk oils on lipid oxidation [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2007, 47(3): 299-317.
- [7] CHEN B, HAN A, MCCLEMENTS D J, et al. Physical structures in soybean oil and their impact on lipid oxidation [J]. J Agric Food Chem, 2010, 58(22): 11993-11999.
- [8] CHEN B, HAN A, LAGUERRE M, et al. Role of reverse micelles on lipid oxidation in bulk oils: impact of phospholipids on antioxidant activity of α -tocopherol and Trolox [J]. Food Funct, 2011, 2(6): 302-309.
- [9] XU N, SHANBHAG A G, LI B, et al. Impact of phospholipid-tocopherol combinations and enzyme-modified lecithin on the oxidative stability of bulk oil [J]. J Agric Food Chem, 2019, 67(28): 7954-7960.
- [10] CHEN B, MCCLEMENTS D J, DECKER E A. Minor components in food oils: a critical review of their roles on lipid oxidation chemistry in bulk oils and emulsions [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2011, 51(10): 901-916.
- [11] MISTRY B S, MIN D B. Prooxidant effects of monoglycerides and diglycerides in soybean oil [J]. J Food Sci, 2010, 53(6): 1896-1897.
- [12] NAKATSUGAWA K, OHASHI K, SHIMADA A. Comparison of oxidative stability of diacylglycerol and triacylglycerol [J]. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, 2001, 48(6): 429-436.
- [13] CHEN B, MCCLEMENTS D J, DECKER E A. Impact of diacylglycerol and monoacylglycerol on the physical and chemical properties of stripped soybean oil [J]. Food Chem, 2014, 142(3): 365-372.
- [14] BOON C S, ZHIMIN X, XIAOHUA Y, et al. Factors affecting lycopene oxidation in oil-in-water emulsions [J]. J Agric Food Chem, 2008, 56(4): 1408-1414.
- [15] 李吉. 精炼工艺对米糠油中功能因子的影响 [D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2014.
- [16] GHOSH K K, TIWARY L K. Microemulsions as reaction media for a hydrolysis reaction [J]. J Disp Sci Technol, 2001, 22(4): 343-348.
- [12] ROBERTA R E, NICOLETTA P, ANNA P, et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay [J]. Free Rad Biol Med, 1999(9): 1231-1237.
- [13] KIM D O, LEE K W, LEE H J, et al. Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals [J]. J Agric Food Chem, 2002, 50(13): 3713-3717.
- [14] 黄上峰, 陆飞燕, 黄元河, 等. 三七多糖抗氧化活性研究 [J]. 微量元素与健康研究, 2018, 35(1): 30-32.
- [15] OZGEN M, REESE R N, TULIO A Z, et al. Modified 2, 2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) method to measure antioxidant capacity of selected small fruits and comparison to ferric reducing antioxidant power (FRAP) and 2, 2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) methods [J]. J Agric Food Chem, 2006, 54(4): 1151-1157.
- [16] ZHANG S T, CUI Y, LI L X, et al. Preparative HSCCC isolation of phloroglucinolysis products from grape seed polymeric proanthocyanidins as new powerful antioxidants [J]. Food Chem, 2015, 188: 422-429.
- [17] 黄健花, 宋志华, 刘慧敏, 等. 植物油甲醇萃取物的自由基清除能力及其与多酚、生育酚含量的相关性 [J]. 中国油脂, 2017, 42(4): 28-31.
- [18] 刘慧敏. 不同植物油微量成分与抗氧化能力的相关性研究 [D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2015.
- [19] PÉREZ-JIMÉNEZ J, ARRANZ S, TABERNERO M, et al. Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods, oils and beverages: extraction, measurement and expression of results [J]. Food Res Int, 2008, 41(3): 274-285.

(上接第56页)