

8 种不同植物油的脂肪酸组成 及抗氧化性比较

张文超,李会珍,张志军,李 河,崔丽霞,陈 铁

(中北大学 化学工程与技术学院,太原 030051)

摘要:以紫苏籽油、芝麻油、胡麻油、青花菜籽油、大豆油、花生油、玉米油、葵花籽油 8 种植物油为研究对象,比较不同种类植物油的脂肪酸组成、多酚含量和抗氧化性。结果表明:8 种植物油脂肪酸组成比例各不相同,其中花生油中油酸含量最高,为 43.98%,葵花籽油中亚油酸含量最高,为 65.00%,紫苏籽油中亚麻酸含量最高,为 63.89%;8 种植物油的 DPPH 自由基清除能力强弱顺序为芝麻油>大豆油>玉米油>青花菜籽油>胡麻油>花生油>紫苏籽油>葵花籽油,与其多酚含量一致;8 种植物油的铁离子还原能力从大到小依次为芝麻油>大豆油>青花菜籽油>花生油>胡麻油>玉米油>紫苏籽油>葵花籽油。

关键词:植物油;脂肪酸组成;抗氧化性;多酚

中图分类号:TS225.1;TS227 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2021)04-0068-05

Fatty acid composition and antioxidant properties of eight different vegetable oils

ZHANG Wenchao, LI Huizhen, ZHANG Zhijun, LI He,
CUI Lixia, CHEN Tie

(School of Chemical Engineering and Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: The fatty acid compositions, polyphenol contents and antioxidant properties of eight kinds of vegetable oils, including perilla oil, sesame oil, flaxseed oil, broccoli oil, soybean oil, peanut oil, maize oil, and sunflower seed oil, were compared and discussed. The results indicated that the eight vegetable oils had different fatty acid composition ratios. Among them, peanut oil had the highest oleic acid content of 43.98%, sunflower seed oil had the highest linoleic acid content of 65.00%, and perilla oil had the highest linolenic acid content of 63.89%. The DPPH free radical scavenging ability of eight vegetable oils decreased in the following order: sesame oil > soybean oil > maize oil > broccoli oil > flaxseed oil > peanut oil > perilla oil > sunflower seed oil, which was consistent with the polyphenol contents. While the Fe^{3+} reducing ability decreased in the following order: sesame oil > soybean oil > broccoli oil > peanut oil > flaxseed oil > maize oil > perilla oil > sunflower seed oil.

Key words: vegetable oil; fatty acid composition; antioxidant property; polyphenol

常用植物油包括大豆油、菜籽油、葵花籽油、花

生油等^[1]。我国是油料生产大国,同时也是食用油消费大国,人均食用油年消费量不仅超过世界人均水平,而且仍将保持增长态势^[2-3]。因此,如何选择营养安全的食用油是我们每个人都必须关注的问题之一。

植物油中不仅含植物甾醇、维生素 E、多酚和角鲨烯等活性成分,还含亚油酸、亚麻酸等多不饱和脂

收稿日期:2020-07-07;修回日期:2020-12-27

基金项目:山西省重点研发计划项目(201803D31060);山西省重点研发计划重点项目(201703D211005)

作者简介:张文超(1993),女,硕士研究生,研究方向为植物资源开发利用(E-mail)892079551@qq.com。

通信作者:李会珍,副教授,博士(E-mail)hzli@nuc.edu.cn。

肪酸(PUFA)。据报道,活性成分的含量可能与油脂的抗氧化能力有关^[4-5]。PUFA具有调节人体脂质代谢、预防和治疗心脑血管疾病、抗炎、抗癌、抗肥胖、预防和改善老年痴呆等功能^[6]。此外,植物油中还含有软脂酸、硬脂酸等饱和脂肪酸,适量食用有利于脂肪的代谢,但过量食用会引起肥胖,甚至导致高血脂和血管硬化等疾病^[7]。由于其成分的重要性,食用植物油的消费量和品质要求,已作为评价一个国家居民生活水平的重要标志^[8]。

目前,国内外关于一种植物油的脂肪酸组成和抗氧化活性的研究较多。彭金砖^[9]测定了芝麻油中5种脂肪酸组成,且发现采用水代法制取的芝麻油对DPPH自由基清除效果最好。成文虎等^[10]研究表明,葵花籽油具有较强的自由基清除能力,清除DPPH自由基 IC_{50} 为 (4.16 ± 0.10) mg/mL。Szydłowska等^[11]利用铁离子还原法(FRAP法)测定了菜籽油的抗氧化能力,发现菜籽油的抗氧化性与其中多酚类物质含量呈正相关。然而,对不同植物油中脂肪酸组成及抗氧化性的对比研究鲜有报道。本文测定了8种植物油的脂肪酸组成、多酚含量及抗氧化性,并进行了对比讨论,旨在为国内商品食用植物油的品质鉴定、安全发展和营养评价提供理论依据,同时也为消费者的植物油膳食选择搭配及种质资源开发和现有资源改良提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

紫苏籽油、芝麻油、胡麻油、青花菜籽油、大豆油、花生油、玉米油、葵花籽油,均购于太原当地市场,为一级压榨油;氢氧化钾、氯化钠、三氯化铁、无水醋酸钠、碳酸钠,分析纯,天津市恒兴化学试剂制造有限公司;浓硫酸、盐酸、无水乙醇、正己烷、冰乙酸、甲醇、福林酚,分析纯,国药集团化学试剂有限公司;没食子酸标准品($>99\%$),HPLC级,上海阿拉丁生化科技有限公司;DPPH,分析纯,南京奥多福尼生物科技有限公司;TPTZ,分析纯,上海伊卡生物技术有限公司。

分析天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;恒温水浴锅,巩义市予华仪器有限公司;气相色谱仪,上海天美科学仪器有限公司;紫外-可见分光光度计,上海菁华科技仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 脂肪酸组成及含量测定

样品甲酯化:精确称取0.5 g油样,加入10 mL 0.5 mol/L 氢氧化钾-甲醇溶液,65℃水浴皂化1 h,至油滴完全溶解,用50%的 H_2SO_4 溶液调节pH

至7.0,加10 mL 硫酸-甲醇溶液(体积比1:10)进行酯化反应30 min,加10 mL 正己烷,振摇0.5 min,加4 mL 饱和NaCl溶液盐析,静置,取上层清液置于10 mL 比色管,待气相色谱分析^[12]。

气相色谱条件:TM-FFAP色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 mm);进样口温度230℃,检测器温度240℃;柱温程序为以10℃/min从140℃升到180℃并保持3 min,以5℃/min继续升温到200℃并保持4 min;进样量1 μL。

1.2.2 多酚含量测定

采用Folin-Ciocalteu法测定多酚含量^[13]。

标准曲线的绘制:精确称量0.500 g没食子酸标准品,用蒸馏水在100 mL容量瓶中定容,得到质量浓度为5 mg/mL没食子酸母液。分别吸取1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 mL没食子酸母液于10 mL容量瓶中,再用蒸馏水定容,摇匀静置,得到不同质量浓度的没食子酸标准溶液。分别吸取1 mL没食子酸标准溶液置于50 mL容量瓶中,加入10 mL蒸馏水,再加入1.5 mL福林酚试剂,充分振荡摇匀,在1~8 min内加入6 mL 10% Na_2CO_3 溶液,蒸馏水定容,充分混匀。将混合液于30℃下避光放置反应2 h,以空白试剂为参比,在765 nm下测定吸光度,以吸光度(y)为纵坐标、没食子酸质量浓度(x)为横坐标绘制标准曲线,得到回归方程为 $y = 0.0758x + 0.0047$, $R^2 = 0.9991$ 。

样品多酚含量的测定:准确称取10.00 g待测植物油于250 mL三角瓶中,加入140 mL甲醇,混合后65℃冷凝回流提取,90 min后将三角瓶取出冷却至室温,用正己烷萃取,直至液体变为浅黄色或无色,再用甲醇定容至50 mL。按上述多酚测定方法测定样品溶液的吸光度,代入标准曲线回归方程计算植物油中多酚含量。

1.2.3 抗氧化性的测定

1.2.3.1 DPPH自由基清除能力

植物油DPPH自由基清除能力的测定参照许晓静等^[14]的方法,并略有改动。具体操作过程为:10 mL比色管中依次加入4.0 mL 51.3 mg/L DPPH溶液、1.0 mL 95%乙醇,混合均匀后,避光放置30 min。以95%乙醇溶液为对照,在518 nm处测其吸光度,记为 A_0 ;同法依次加入4.0 mL 95%乙醇、1.0 mL不同质量浓度样品溶液,测定其吸光度,记为 A_r ;再依次加入4.0 mL DPPH溶液和1.0 mL不同质量浓度样品溶液,测定其吸光度,记为 A_s 。根据公式计算DPPH自由基清除率(Y), $Y = [1 - (A_s - A_r)/A_0] \times 100\%$ 。

1.2.3.2 铁离子还原能力(FRAP)

硫酸亚铁标准曲线绘制:精确称量 0.027 8 g 硫酸亚铁,用蒸馏水在 100 mL 容量瓶中定容,得到浓度为 1.0 mmol/L 的 Fe^{2+} 母液。分别吸取 2.0、4.0、6.0、8.0、10.0 mL Fe^{2+} 母液于 10 mL 容量瓶中,再用蒸馏水定容,摇匀静置,得到不同浓度的 Fe^{2+} 标准溶液。分别取 0.2 mL 浓度为 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mmol/L 的 Fe^{2+} 溶液于 10 mL 比色管中,依次加入 3.0 mL FRAP 工作液(以 pH 3.6 的 0.3 mol/L 醋酸缓冲液、10 mmol/L TPTZ 溶液、20 mmol/L FeCl_3 以 10:1:1 比例混合)和 0.3 mL 蒸馏水,摇匀,在 37℃ 水浴中反应 10 min,以 0.2 mL 蒸馏水的相同体系为空白对照,在 593 nm 下测定其吸光度,以吸光度(y)为纵坐标,所加入 Fe^{2+} 的浓度(x)为横坐

标,绘制标准曲线,求得回归方程为 $y = 5.9259x - 0.0347$, $R^2 = 0.9995$ 。

FRAP 计算:用乙醇分别溶解 8 种不同的油样,按上述方法测定油样的吸光度,代入标准曲线回归方程,计算 Fe^{2+} 浓度,FRAP 值以每 100 g 样品的 Fe^{2+} 当量表示。

1.2.4 统计分析

采用 Excel 2019、Origin 2020 和 SPSS 22.0 分别对数据进行处理、绘图和显著性分析($P < 0.05$),均进行 3 次平行实验,结果以“平均值 \pm 标准偏差”表示。

2 结果与讨论

2.1 8 种植物油的脂肪酸组成及含量

通过气相色谱法测定了 8 种不同植物油的脂肪酸组成及含量,结果见表 1。

表 1 8 种不同植物油脂肪酸组成比较

| 脂肪酸 | 紫苏籽油 | 芝麻油 | 胡麻油 | 青花菜籽油 | 大豆油 | 花生油 | 玉米油 | 葵花籽油 | % |
|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---|
| 棕榈酸 | 6.01 \pm 0.01g | 8.63 \pm 0.07e | 7.24 \pm 0.10f | 3.25 \pm 0.10h | 18.59 \pm 0.03a | 11.19 \pm 0.04c | 13.98 \pm 0.07b | 9.28 \pm 0.03d | |
| 硬脂酸 | 0.57 \pm 0.03g | 4.82 \pm 0.04b | 2.20 \pm 0.04d | 1.40 \pm 0.15f | 8.82 \pm 0.06a | 4.02 \pm 0.01c | 1.73 \pm 0.02e | 4.03 \pm 0.01c | |
| 油酸 | 21.13 \pm 0.12g | 37.23 \pm 0.10c | 20.34 \pm 0.14h | 41.84 \pm 0.07b | 23.59 \pm 0.10f | 43.98 \pm 0.08a | 28.13 \pm 0.06d | 23.71 \pm 0.02e | |
| 亚油酸 | 8.38 \pm 0.13h | 47.47 \pm 0.13c | 16.09 \pm 0.11f | 15.04 \pm 0.10g | 40.81 \pm 0.04d | 34.06 \pm 0.05e | 52.89 \pm 0.16b | 65.00 \pm 0.05a | |
| 亚麻酸 | 63.89 \pm 0.15a | 0.50 \pm 0.11g | 53.66 \pm 0.16b | 5.92 \pm 0.03c | 4.93 \pm 0.01d | 1.00 \pm 0.02e | 0.79 \pm 0.01f | - | |
| 花生酸 | - | 0.49 \pm 0.18 | - | 4.08 \pm 0.00 | - | 2.16 \pm 0.01 | - | - | |
| 芥酸 | - | - | - | 22.92 \pm 0.16 | - | - | - | - | |
| 不饱和脂肪酸 | 93.40 | 85.20 | 90.09 | 85.72 | 69.33 | 79.04 | 81.81 | 88.71 | |

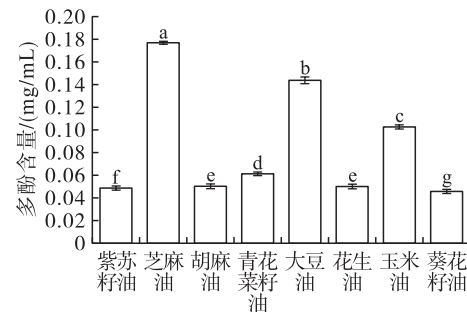
注:同行不同字母表示各样品间存在显著性差异($P < 0.05$, $n = 3$);“-”表示未检出。

由表 1 可知,紫苏籽油不饱和脂肪酸含量最高,为 93.40%,大豆油的不饱和脂肪酸含量最低,为 69.33%。油酸属于单不饱和脂肪酸,在花生油中含量最高,可达 43.98%,很容易被人体吸收,能减少高脂血症的发生,抑制低密度脂蛋白胆固醇的增加^[15]。葵花籽油中亚油酸含量最高,为 65.00%,紫苏籽油中亚麻酸含量最高,为 63.89%。亚油酸和亚麻酸都属于必需多不饱和脂肪酸,不能由人体合成,必须通过饮食提供,可以减少血液中过多的胆固醇,增强细胞膜的通透性,预防动脉粥样硬化^[16],促进头发生长^[17]。芥酸(C22:1)是青花菜籽油的特征不饱和脂肪酸,是自然界中存在的长碳链脂肪酸,具有更稳定的特性,主要用作精细化学品的中间体,用来制取各种表面活性剂、润滑剂、增塑剂、乳化剂、软化剂、防水剂、去污剂等^[18]。

2.2 8 种植物油的多酚含量

8 种不同植物油的多酚含量如图 1 所示。

由图 1 可以看出,芝麻油中多酚含量最高,葵花籽油中多酚含量最低。8 种植物油的多酚含量从高到低依次为:芝麻油 > 大豆油 > 玉米油 > 青花菜籽油 > 胡麻油 > 花生油 > 紫苏籽油 > 葵花籽油。



注:不同字母表示各样品间存在显著性差异($P < 0.05$, $n = 3$)。

图 1 8 种不同植物油中多酚含量

2.3 8 种植物油的抗氧化性

2.3.1 DPPH 自由基清除能力

8 种不同植物油在不同质量浓度下对 DPPH 自由基的清除率如图 2 所示。

由图 2 可以看出,不同植物油对 DPPH 自由基的清除能力随其质量浓度的增高而增强。以抗氧化剂的质量浓度为横坐标,DPPH 自由基清除率为纵坐标,得到线性回归方程,求得各植物油清除 DPPH 自由基 IC_{50} 值如表 2 所示。由表 2 可知,8 种植物油的 DPPH 自由基清除能力大小依次为:芝麻油 > 大豆油 > 玉米油 > 青花菜籽油 > 胡麻油 > 花生油 > 紫

苏籽油 > 葵花籽油。其中葵花籽油的 IC_{50} 值最大, 为 0.89 mg/mL, 说明葵花籽油对 DPPH 自由基清除能力相对较弱; 芝麻油的 IC_{50} 值最小, 为 0.36 mg/mL, 说明芝麻油对 DPPH 自由基清除能力相对较强。这可能是因为芝麻油的加工方式不同于其他油脂, 以及芝麻油中含有较多的多酚类物质, 在氧化过程中, 这些多酚类物质能够作为氢供体, 使自由基还原, 形成稳定的产物, 从而阻断自由基链反应, 延缓油脂的氧化。结合不同植物油中多酚含量的结果 (图 1) 可以发现, 8 种植物油的 DPPH 自由基清除能力大小与其多酚含量结果一致, 进一步说明了多酚在植物油的抗氧化中起着重要作用。

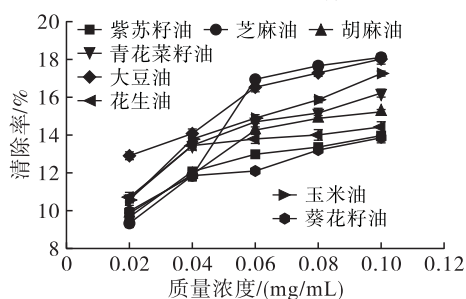


图 2 不同质量浓度油样的 DPPH 自由基清除率

表 2 8 种不同植物油清除 DPPH 自由基的 IC_{50} 值 mg/mL

| 植物油 | IC_{50} 值 | 植物油 | IC_{50} 值 |
|-------|-------------|------|-------------|
| 紫苏籽油 | 0.82 ± 0.02 | 大豆油 | 0.57 ± 0.02 |
| 芝麻油 | 0.36 ± 0.05 | 花生油 | 0.81 ± 0.03 |
| 胡麻油 | 0.74 ± 0.09 | 玉米油 | 0.59 ± 0.06 |
| 青花菜籽油 | 0.62 ± 0.01 | 葵花籽油 | 0.89 ± 0.12 |

2.3.2 铁离子还原能力

表 3 是 8 种植物油的 FRAP 值。

表 3 8 种不同植物油的 FRAP 值 mmol/100 g

| 植物油 | FRAP | 植物油 | FRAP |
|------|---------------|-------|---------------|
| 紫苏籽油 | 20.94 ± 0.23g | 芝麻油 | 23.27 ± 0.19a |
| 胡麻油 | 21.01 ± 0.35e | 青花菜籽油 | 21.92 ± 0.20c |
| 大豆油 | 21.94 ± 0.14b | 花生油 | 21.14 ± 0.18d |
| 玉米油 | 20.96 ± 0.26f | 葵花籽油 | 19.47 ± 0.13h |

注: 同列不同字母表示各样品间存在显著性差异 ($P < 0.05, n = 3$)。

FRAP 值的大小可以反映样品对铁离子还原能力的强弱。FRAP 值越大, 说明该样品对铁离子的还原能力越强, 即抗氧化活性越强; 反之越弱。由表 3 可知: 芝麻油的 FRAP 值最大, 为 23.27 mmol/100 g, 说明其铁离子还原能力最强; 葵花籽油的 FRAP 值最小, 为 19.47 mmol/100 g, 说明其铁离子还原能力最弱。8 种不同植物油的铁离子还原能力从大到小依次为: 芝麻油 > 大豆油 > 青花菜籽油 > 花生油 >

胡麻油 > 玉米油 > 紫苏籽油 > 葵花籽油。这种抗氧化评价方法与 DPPH 自由基清除率及不同植物油多酚含量结果存在差异, 主要体现在玉米油、青花菜籽油、胡麻油、花生油上, 可能的原因是 FRAP 法反映的不是样品针对某一种自由基的清除活性, 而是样品的总还原能力^[19]。

3 结论

比较 8 种不同植物油脂脂肪酸组成及含量, 结果表明: 8 种不同植物油脂脂肪酸组成比例各不相同, 花生油中油酸含量最高, 为 43.98%, 葵花籽油中亚油酸最高, 为 65.00%, 紫苏籽油中亚麻酸含量高达 63.89%, 青花菜籽油中特征不饱和脂肪酸芥酸含量为 22.92%。对比不同植物油抗氧化研究发现, 芝麻油的 DPPH 自由基的清除能力、铁离子还原能力最强, 这可能与芝麻油的加工方式不同及其多酚含量最高有关。

由于植物油组成成分的复杂性和各种成分之间的相互作用, 以及这些作用所引起的植物油功能性质的差异, 后续将对 8 种不同植物油中的多种微量成分种类和比例及其与抗氧化性的相关性进行分析, 同时测定不同植物油的抑菌性, 从而为食用植物油的品质鉴定、安全发展和营养评价提供理论基础和数据支撑。

参考文献:

- [1] 王永刚. 世界主要油料及植物油生产和贸易格局分析[J]. 中国油脂, 2010, 35(8): 1-6.
- [2] 王瑞元. 中国食用植物油加工业的现状与发展趋势[J]. 粮油食品科技, 2017, 25(3): 4-9.
- [3] 张雯丽. “十三五”以来中国油料及食用植物油供需形势分析与展望[J]. 农业展望, 2018(11): 4-8.
- [4] 黄艳, 傅新征, 吴琳珊, 等. 锥栗壳色素抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2019, 44(2): 274-280.
- [5] 李志晓, 金青哲, 叶小飞, 等. 精炼过程中油茶籽油活性成分和抗氧化性的变化[J]. 中国油脂, 2015, 40(8): 1-5.
- [6] YANAI H. Effects of *n*-3 polyunsaturated fatty acids on dementia[J]. J Clin Med Res, 2017, 9(1): 1-9.
- [7] 车娟, 刘姣, 朱玉芳, 等. 饱和脂肪酸与心血管疾病关系的研究进展[J]. 天津医药, 2019, 47(6): 663-666.
- [8] 王瑞元. 国内外食用油市场的现状与发展趋势[J]. 农业机械, 2011, 36(6): 1-6.
- [9] 彭金砖. 不同工艺芝麻油中木酚素抗氧化性的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2014.
- [10] 成文虎, 马玉花, 曹艳红, 等. 新疆葵花籽油化学成分分析及抗氧化活性测定[J]. 新疆大学学报(自然科学版), 2013, 30(2): 138-143.

(下转第 75 页)

E、谷维素、植物甾醇等天然抗氧化物质,在一定程度上提升其氧化稳定性。

3 结论

煎炸过程中油脂劣变是一个非常复杂的系统,是煎炸时间、煎炸方式、煎炸温度、煎炸食材及煎炸油种类等多种因素共同作用的综合体现。煎炸油的极性组分含量、酸值随煎炸时间的延长而升高,且连续性煎炸优于间歇性煎炸。煎炸温度越高,油脂劣变速度越快,油脂的极性组分含量、酸值升高越快。为保证油炸食品的卫生质量,延长煎炸油的使用寿命,控制煎炸温度低于 200℃。不同煎炸食材对煎炸油品质劣变速度的影响大小依次为鱼饼 > 鸡腿排 > 薯条。不同煎炸油在煎炸过程中极性组分含量、酸值的变化均不同,多不饱和脂肪酸含量更高的大豆油比稻米油、棕榈油更容易发生水解和氧化,稻米油煎炸周期接近棕榈油。

影响煎炸油劣变速度的因素很多,十分必要建立煎炸过程中规范操作,有效控制煎炸过程中油脂劣变的速度;同时基于极性组分含量对煎炸油品质进行快速实时监测,以实现餐饮业煎炸过程的科学有效管理,确保煎炸食品的风味、口感、营养及食用安全性。

参考文献:

- [1] ZHANG Q, SALEH A S M, CHEN J, et al. Chemical alterations taken place during deep-fat frying based on certain reaction products: a review [J]. *Chem Phys Lipids*, 2012, 165(6): 662-681.
- [2] 王进英, 钟海雁, 周波. 油脂在深度煎炸过程中发生的化学反应及其主要产物[J]. *中国油脂*, 2015, 40(11): 37-43.
- [3] 王斌, 杨冠军, 叶志能. 油炸过程中油的质量变化及其检测方法[J]. *食品工业科技*, 2007, 28(10): 232-234.
- [4] 吴时敏. 煎炸过程中油脂质量评定[J]. *粮食与油脂*, 2000(5): 33-35.
- [5] 周雅琳, 周令国, 李智, 等. 影响煎炸油中极性化合物生成因素的研究[J]. *中国粮油学报*, 2010, 25(3): 50-53.
- [6] FARHOOSH R, PAZHOUHANMEHR S. Relative contribution of compositional parameters to the primary and secondary oxidation of canola oil[J]. *Food Chem*, 2009, 114(3): 1002-1006.
- [7] ABDULKARIM S, LONG K, LAI O, et al. Frying quality and stability of high-oleic *Moringa oleifera* seed oil in comparison with other vegetable oils [J]. *Food Chem*, 2007, 105(4): 1382-1389.
- [8] FARHOOSH R, TAVASSOLI - KAFRANI M H. Simultaneous monitoring of the conventional qualitative indicators during frying of sunflower oil [J]. *Food Chem*, 2011, 125(1): 209-213.
- [9] JORGEI N, GUARALDO GONGALVES L A, DOBARGANES M C. Influence of fatty acid composition on the formation of polar glycerides and polar fatty acids in sunflower oils heated at frying temperatures [J]. *Grasas Aceites*, 1997, 48(1): 17-24.
- [10] COSGROVE J P, CHURCH F, PRYOR W A. The kinetics of the autoxidation of polyunsaturated fatty acids [J]. *Lipids*, 1987, 22(5): 299-304.
- [11] SZYDLOWSKA C A, KARLOVITS G, DIANOCZKI C, et al. Comparison of two analytical methods for assessing antioxidant capacity of rapeseed and olive oils [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2008, 85(2): 141-149.
- [12] 王同珍, 余林, 邱思聪, 等. 煎炸时间对植物油脂中脂肪酸含量的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2014, 5(2): 577-585.
- [13] HU J N, ZHANG B, ZHU X. Antioxidant and antiproliferative activities of methanolic extracts of *Perilla frutescens* [J]. *J Med Plant Res*, 2010, 4(6): 477-483.
- [14] 许晓静, 陶志华. 黄色和紫色百香果籽油抗氧化作用的对比研究[J]. *食品工业科技*, 2016(11): 49-52.
- [15] OU T T, HSU M J, CHAN K C, et al. Mulberry extract inhibits oleic acid-induced lipid accumulation via reduct of lipogenesis and promotion of hepatic lipid clearance [J]. *J Sci Food Agric*, 2011, 91(15): 2740-2748.
- [16] JACOMETO C B, SCHMITT E, PFEIFER L F M, et al. Linoleic and α -linolenic fatty acid consumption over three generations exert cumulative regulation of hepatic expression of genes related to lipid metabolism [J]. *Gen Nutr*, 2014, 9(4): 405-416.
- [17] OLIVEIRA M, PORTO B, FARIA I, et al. 20 Years of fatty acid analysis by capillary electrophoresis [J]. *Molecules*, 2014, 19(9): 14094-14113.
- [18] MOREIRA J F M, ALVES T S, BARBOSA R, et al. Effect of *cis*-13-docosenamide in the properties of compatibilized polypropylene/clay nanocomposites [J]. *Macromol Symp*, 2016, 367(1): 68-75.
- [19] 陈玉霞, 刘建华, 林峰, 等. DPPH 和 FRAP 法测定 41 种中草药抗氧化活性[J]. *实验室研究与探索*, 2011, 30(6): 11-14.

(上接第 71 页)