

# 一种家庭用营养均衡型配方食用油的 加热及烹饪稳定性

刘瑜彬<sup>1</sup>, 王新天<sup>2</sup>, 罗 珍<sup>1</sup>, 徐国波<sup>1</sup>, 陈洪建<sup>2</sup>, 邓乾春<sup>2</sup>

(1. 无限极(中国)有限公司, 广州 510665; 2. 中国农业科学院油料作物研究所, 武汉 430062)

**摘要:**通过模拟加热(180℃加热 15、30 min)及家庭烹饪(炒青菜)过程, 研究了一种富含不饱和脂肪酸、 $n-6/n-3$  脂肪酸比例适宜且有益脂质伴随物含量丰富的配方食用油的加热及烹饪稳定性。结果表明: 配方食用油在加热或烹饪青菜时其酸值、过氧化值略有上升, 但均远低于 GB 2716—2018 的规定; 加热和炒菜过程中不会造成反式脂肪酸含量的增加, 且苯并(a)芘含量远低于国标限量, 说明在加热和炒菜过程中该配方食用油能够保持安全稳定; 此外, 配方食用油脂肪酸组成在加热或烹饪前后变化不大,  $n-6/n-3$  脂肪酸比例稳定, 生育酚和总酚含量在加热和烹饪后下降幅度在 35% 以内, 植物甾醇含量下降约 12%。由此可知, 配方食用油能够在常规家庭烹饪过程中保持稳定, 是一种日常补充  $n-3$  多不饱和脂肪酸和有益脂质伴随物的有效途径。

**关键词:**配方食用油; 烹饪稳定性;  $n-3$  多不饱和脂肪酸; 脂质伴随物

中图分类号: TS221; TS225.16 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2022)04-0138-05

## Heating and cooking stability of a kind of nutrition – balanced formula oil for home use

LIU Yubin<sup>1</sup>, WANG Xintian<sup>2</sup>, LUO Zhen<sup>1</sup>, XU Guobo<sup>1</sup>,  
CHEN Hongjian<sup>2</sup>, DENG Qianchun<sup>2</sup>

(1. Infinitus (China) Company Ltd., Guangzhou 510665, China; 2. Oil Crops Research Institute,  
Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430062, China)

**Abstract:** The heating and cooking stability of a formula oil enriched in unsaturated fatty acid, appropriate ratio of  $n-6$  to  $n-3$  fatty acids and beneficial lipid concomitant was investigated by simulating the heating (15, 30 min at 180℃) process and home cooking (stir-frying vegetables) process. The results showed that the peroxide value and acid value of the formula oil increased slightly after heating and cooking, and both of them were below the limit of GB 2716-2016. Besides, the content of *trans* fatty acids did not increase during heating and cooking, and the content of benzo(a) pyrene was far below the national limit, indicating that the formula oil was stable during heating and cooking process. The fatty acid composition and the ratio of  $n-6$  to  $n-3$  fatty acid of the formula oil almost kept constant after heating and cooking. The contents of tocopherol and polyphenol decreased within 35% after heating and cooking, while that of phytosterol decreased by about 12%. Overall, the formula oil was stable in family cooking process, and it was a good way to supply  $n-3$  polyunsaturated fatty acid and beneficial lipid concomitant.

**Key words:** formula oil; cooking stability;  $n-3$  polyunsaturated fatty acid; lipid concomitant

收稿日期: 2021-04-09; 修回日期: 2021-11-09

基金项目: 湖北省重点研发计划(2020BCA086); 湖北省自然科学基金面上项目(ZRMS2020002499)

作者简介: 刘瑜彬(1987), 男, 主管药师(中级), 硕士, 研究方向为健康食品开发(E-mail) 474001908@qq.com。

通信作者: 陈洪建, 助理研究员(E-mail) chjoil1990@163.com。

在中国饮食文化中, 高温烹饪是常见的家庭烹饪方式。然而在长时间高温状态下, 由于不隔绝氧

气和食物组分的多样性,食用油会发生复杂的化学反应,包括水解、热氧化等,导致脂质氢过氧化物、游离脂肪酸、反式脂肪酸等物质的生成<sup>[1-2]</sup>,严重影响食物的口感、风味<sup>[3-4]</sup>,而生成的反式脂肪酸、苯并(a)芘等物质是人体慢性炎症、心脑血管疾病和各种癌症的潜在致病因素<sup>[5]</sup>。

食用油中的脂肪酸组成和有益脂质伴随物是食用油品质的两个重要特征,两者对食用油的营养特性和氧化稳定性产生重要影响。现代饮食中,过量的 $n-6$ 多不饱和脂肪酸的摄入,以及 $n-3$ 多不饱和脂肪酸来源的匮乏,导致了异常高的 $n-6/n-3$ 脂肪酸摄入比例,已被证实会引起人体炎症、自身免疫性疾病和心血管疾病等的发生<sup>[6-7]</sup>。联合国粮食及农业组织推荐油脂中 $n-6/n-3$ 脂肪酸比例为2.5:1~8:1<sup>[8]</sup>。然而, $n-3$ 多不饱和脂肪酸由于含有3个以上双键的分子结构导致其在加工、储藏及食用过程中,特别是在家庭高温烹饪环节,双键烯丙基位置的氢原子极易被夺去,发生氧化裂解等反应,造成 $n-6/n-3$ 脂肪酸比例的升高及危害因子的生成<sup>[9-10]</sup>。此外,油脂加工中的“五脱精炼”步骤导致油脂中生育酚、多酚、植物甾醇等具有天然抗氧化活性的有益脂质伴随物的损失以及高温中危害因子的形成,进一步降低油脂的氧化稳定性和营养价值<sup>[11]</sup>。因此,食用油如何在富含 $n-3$ 多不饱和脂肪酸的同时保持烹饪稳定性已经越来越受到重视。

基于此,研究了一种具有适宜 $n-6/n-3$ 脂肪酸比例和丰富脂质伴随物的营养均衡的家庭配方食用油,并选取青菜(肉会带入新的脂质)作为实验素材,研究了配方食用油在加热和传统家庭烹饪青菜过程中理化指标、安全性指标和营养性指标的变化情况,为配方食用油的开发提供指导意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

配方食用油:7D功能型菜籽油、菜籽油(一级)、玉米油、甘油二酯(大豆基甘油二酯,甘油二酯含量40%,调和完成后甘油二酯含量2%)、稻米油与亚麻籽油按一定比例复配制成,配方食用油中不饱和脂肪酸含量大于或等于88%, $n-6/n-3$ 脂肪酸比例为2.5:1~4:1。

7D功能型菜籽油由中国农业科学院油料作物研究所提供,菜籽油(一级)、玉米油、甘油二酯、稻米油、亚麻籽油、青菜均购自市场;37种脂肪酸甲酯混标,5 $\alpha$ -胆甾醇标准品, $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$ -生育酚标准品(纯度 $\geq 96\%$ ),美国Sigma公司;正己烷、无水乙醇、甲醇、无水乙醚、硫酸亚铁等均为分析纯。

CLT-1A磁力搅拌电热套,天津工兴实验室仪器有限公司;Agilent 6980气相色谱仪,安捷伦(中国)有限公司;LC-6AD液相色谱仪,日本岛津公司;DU 800紫外分光光度计,美国贝克曼库尔特公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 配方食用油加热

取配方食用油100 mL置于烧杯中,在 $(180 \pm 5)$ °C油浴中加热,于15 min和30 min分别取样10 mL,充氮冷却后,密封保存于-20°C,备用。

#### 1.2.2 配方食用油烹饪

在炒锅中按照日常烹饪炒菜习惯加入5 g配方食用油进行加热,待油温达到170°C后加入400 g青菜,翻炒至熟,时间3 min,将炒好的青菜倒入盘中静置冷却,取盘底油,于5 000 g离心5 min,收集上层油样,充氮密封保存于-20°C,备用。

#### 1.2.3 配方食用油理化指标测定

过氧化值测定依据GB 5009.227—2016;酸值测定依据GB 5009.229—2016;反式脂肪酸测定依据GB 5009.257—2016;苯并(a)芘测定依据GB 5009.27—2016;脂肪酸组成测定依据GB 5009.168—2016。

#### 1.2.4 配方食用油植物甾醇含量测定

精确称取0.200 0 g油样(精确到0.000 1 g)于50 mL离心管中,加入0.5 mL 5 $\alpha$ -胆甾醇内标溶液(0.5 mg/mL),超声水浴处理5 min,加入10 mL 2 mol/L KOH-95%乙醇溶液,密封离心管,于60°C水浴摇床(转速100 r/min)中皂化60 min,皂化后冷却,加入4 mL蒸馏水、10 mL正己烷,于恒温振荡器上旋涡2 min后,于离心机中离心(转速5 000 r/min,3 min),将上层有机液转移至另一个50 mL离心管中,重复2次。合并上层有机液,加入1.5 g无水硫酸钠,静置澄清。将15 mL澄清液转移至比色管中,在80~85°C烘干。加入10  $\mu$ L BSTFA+TMCS,105°C加热反应15 min,冷却至室温,加入1 mL正己烷,振荡30 s,进气相色谱仪进行分析。

气相色谱分析条件:Agilent DB-5HT毛细管色谱柱(30.0 m  $\times$  320 mm  $\times$  0.10  $\mu$ m);进样口温度320°C;柱升温程序为60°C保持1 min,然后以40°C/min的速率升温到310°C,保持10 min;载气为氦气,流速2 mL/min;分流比25:1,分流流量50 mL/min。

#### 1.2.5 配方食用油总酚含量测定

标准曲线的绘制:称取0.005 g没食子酸,去离子水定容至50 mL,分别取0、0.1、0.2、0.3、0.4、

0.5、0.6、0.7 mL 于 10 mL 比色管中,加入 5 mL 水、0.5 mL 福林酚试剂,反应 3 min 后,加 1 mL 饱和碳酸钠溶液,去离子水定容至 10 mL,混匀,放置 1 h,在 765 nm 处测定吸光值。将标准物质的质量浓度( $X$ )与吸光值( $Y$ )进行线性回归,得到标准曲线方程  $Y=0.0028X+0.0897$ 。

样品测定:称取 1.25 g 油样于 10 mL 塑料离心管中,加入 1.5 mL 正己烷和 1.5 mL 80% 甲醇溶液,旋涡混合 5 min。于 5 000 r/min 离心 10 min,保留下层溶液,将上层溶液吸出转至另一个离心管,重复提取两次。将 3 次的提取液混合均匀,离心 5 min,于 4℃ 储藏备用。吸取 0.5 mL 提取液(0.5 mL 甲醇作为空白样)于 10 mL 比色管中,按标准曲线制作方法测定 765 nm 处的吸光值,带入标准曲线方程中计算总酚含量。

### 1.2.6 配方食用油生育酚含量测定

标准曲线的绘制:用正己烷配制质量浓度分别为 0.20、0.50、1.00、2.00、4.00、6.00  $\mu\text{g}/\text{mL}$   $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -生育酚标准溶液,进高效液相色谱仪测定相应的峰面积,以峰面积( $Y$ )为纵坐标,标准溶液质量浓度( $X$ )为横坐标绘制标准曲线,得到  $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -生育酚标准曲线方程,分别为: $Y=9862.2X-15127$ ;  $Y=9967.2X-6676.9$ ;  $Y=9110.7X-9703.6$ 。

液相色谱条件:硅胶色谱柱(250 mm  $\times$  4 mm, 5  $\mu\text{m}$ );流动相为正己烷-异丙醇(体积比 99.5:0.5);流速 1 mL/min;进样量 20  $\mu\text{L}$ 。

样品测定:称取 2 g 样品,用色谱级正己烷定容于 25 mL 容量瓶中,涡旋混匀,过 0.22  $\mu\text{m}$  滤膜,滤液进高效液相色谱仪测定峰面积,代入标准曲线方程中计算生育酚含量。

### 1.2.7 数据统计分析

所有实验重复 3 次,结果均以“平均值  $\pm$  标准差”表示,使用 Excel 分析作图,并使用 SPSS 17.0 统计软件进行数据分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 配方油加热、烹饪后酸值和过氧化值变化

油脂在加热过程中会发生水解反应生成游离脂肪酸,加速油脂氧化并且影响油脂风味。配方食用油加热及烹饪后酸值的变化如图 1 所示。

由图 1 可知,配方食用油在加热和烹饪青菜后酸值均略有升高,但升高程度较低,且均远小于 GB 2716—2018 酸值(KOH)的规定( $\leq 3$  mg/g)。说明配方食用油在加热及烹饪过程中,水解反应程度较小,不影响食用。

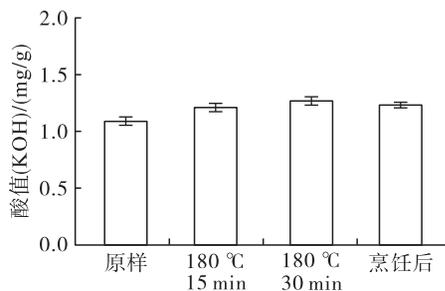


图 1 不同处理条件下配方食用油酸值变化

氢过氧化物是油脂氧化的初级产物,能够反映油脂的氧化程度。配方食用油加热及烹饪后过氧化值的变化如图 2 所示。

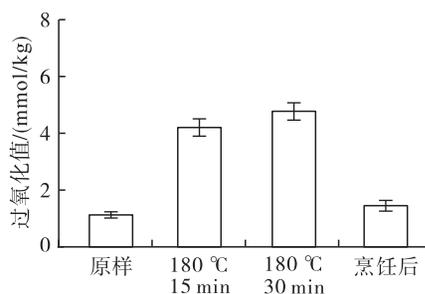


图 2 不同处理条件下配方食用油过氧化值变化

由图 2 可知,配方食用油在经 180℃ 加热 15 min 和 30 min 后过氧化值显著上升,而烹饪青菜后配方食用油过氧化值仅略微升高。这是由于在烹饪青菜过程中,加热过程仅持续 3~5 min,远低于本实验加热 15 min 和 30 min,且烹饪时青菜中心温度远低于 180℃。加热和烹饪后配方食用油的过氧化值均远低于 GB 2716—2018 过氧化值的规定( $\leq 9.85$  mmol/kg),不影响食用。

### 2.2 配方食用油加热、烹饪后反式脂肪酸和苯并(a)芘含量变化

在加热过程中,油脂中含有的不饱和脂肪酸通过异构化反应会生成反式脂肪酸<sup>[12]</sup>,反式脂肪酸对人体具有多重危害,因此要减少反式脂肪酸的摄入。此外,高温加热等过程也会导致苯并(a)芘等强致癌性和致突变性的物质生成<sup>[13]</sup>。表 1 为配方食用油在加热和烹饪后反式脂肪酸、苯并(a)芘含量的变化情况。

由表 1 可知,配方食用油经 180℃ 加热和烹饪青菜后反式脂肪酸基本没有变化,含量为 0.87%~0.89%,说明配方食用油在加热或烹饪过程中能够保证脂肪酸结构稳定,不会发生异构化反应,加热及烹饪前后反式脂肪酸含量均低于 1%。加热前在配方食用油中未检测到苯并(a)芘,经加热或烹饪后均有少量的苯并(a)芘生成,但生成量均远低于 GB 2762—2017 限量要求( $\leq 10$   $\mu\text{g}/\text{kg}$ )。此外,配

方食用油烟点大于 180 ℃,在烹饪过程中不会轻易发烟,安全性高。综上,配方食用油在常规家庭加热

或烹饪过程中,不会有过量的危害产物生成。

表 1 不同处理条件下配方食用油反式脂肪酸和苯并(a)芘含量变化

| 项目               | 原样           | 180 ℃ 15 min | 180 ℃ 30 min | 烹饪后          |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 反式脂肪酸含量/%        | 0.87 ± 0.05a | 0.88 ± 0.06a | 0.89 ± 0.04a | 0.87 ± 0.05a |
| 苯并(a)芘含量/(μg/kg) | ND           | 0.7 ± 0.1b   | 0.6 ± 0.0b   | 0.6 ± 0.1b   |

注:同行不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下同

### 2.3 配方食用油加热、烹饪后脂肪酸组成变化

在加热过程中由于高温、氧气、过渡金属离子等促氧化因子的存在,油脂中的不饱和脂肪酸,尤其是多不饱和脂肪酸会发生热氧化、热聚合、裂解、异构

化等复杂的化学反应,造成油脂脂肪酸组成的改变。

表 2 为配方食用油在加热、烹饪后脂肪酸组成的变化情况。

表 2 不同处理条件下配方食用油脂脂肪酸组成变化

| 脂肪酸   | 含量/%          |               |               |               |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|       | 原样            | 180 ℃ 15 min  | 180 ℃ 30 min  | 烹饪后           |
| 棕榈酸   | 8.42 ± 0.13b  | 7.98 ± 0.02a  | 7.97 ± 0.04a  | 7.94 ± 0.01a  |
| 硬脂酸   | 1.92 ± 0.01b  | 1.56 ± 0.06a  | 1.57 ± 0.14a  | 1.68 ± 0.01a  |
| 油酸    | 49.59 ± 0.33a | 50.23 ± 0.08b | 50.17 ± 0.21b | 50.20 ± 0.01b |
| 亚油酸   | 28.74 ± 0.16a | 30.14 ± 0.19b | 30.22 ± 0.48b | 29.92 ± 0.01b |
| α-亚麻酸 | 10.34 ± 0.38a | 10.09 ± 0.03a | 10.06 ± 0.08a | 10.26 ± 0.02a |

由表 2 可知,配方食用油中含量最高的脂肪酸为油酸,其次为亚油酸和 α-亚麻酸,三者之和占总脂肪酸含量的 88% 以上。配方食用油在经过 180 ℃ 加热和烹饪青菜后,各种脂肪酸含量变化幅度均小于 2 百分点,说明配方食用油在加热和烹饪过程中,不饱和脂肪酸保持相对稳定,较少发生氧化、裂解等反应,与上述研究的过氧化值变化相对应。值得注意的是,该配方食用油  $n-6/n-3$  脂肪酸比例为 2.78:1,在经过 180 ℃ 加热 30 min 和烹饪青菜后, $n-6/n-3$  脂肪酸比例分别为 3.00:1 和 2.92:1,略有上升。这是由于 α-亚麻酸相对于亚油酸更容易

发生氧化反应,导致在加热或烹饪后  $n-6/n-3$  脂肪酸比例略有上升,但加热或烹饪后的  $n-6/n-3$  脂肪酸比例仍较低,满足 FAO 推荐日常  $n-6/n-3$  脂肪酸摄入比例(2.5:1 ~ 8:1)。

### 2.4 配方食用油加热、烹饪后脂质伴随物含量变化

油脂中除甘油三酯外,还含有丰富的脂质伴随物,如植物甾醇、生育酚等,这些脂质伴随物对人体有益,因此油脂中脂质伴随物的含量是评价油脂营养健康功能的一个重要指标。配方食用油在加热、烹饪后植物甾醇、生育酚和总酚等脂质伴随物的含量变化如表 3 所示。

表 3 不同处理条件下配方食用油植物甾醇、生育酚和总酚含量变化

| 脂质伴随物   | 含量/(mg/100 g)  |                 |                 |                 |
|---------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|         | 原样             | 180 ℃ 15 min    | 180 ℃ 30 min    | 烹饪后             |
| 菜油甾醇    | 230.61 ± 9.83a | 229.98 ± 9.83a  | 207.58 ± 12.79a | 231.48 ± 10.19a |
| 豆甾醇     | 43.51 ± 0.73b  | 42.52 ± 2.95ab  | 33.66 ± 4.20a   | 42.32 ± 3.80ab  |
| 谷甾醇     | 404.31 ± 1.56a | 396.59 ± 14.64a | 357.37 ± 24.64a | 396.38 ± 21.07a |
| Δ5-燕麦甾醇 | ND             | ND              | ND              | ND              |
| 环阿屯醇    | ND             | ND              | ND              | ND              |
| α-生育酚   | 47.10 ± 0.79b  | 42.27 ± 0.89b   | 39.99 ± 0.95ab  | 27.60 ± 0.76a   |
| γ-生育酚   | 32.79 ± 0.33c  | 21.87 ± 0.18a   | 23.47 ± 0.13b   | 36.00 ± 0.35d   |
| 总酚      | 31.56 ± 2.78c  | 25.08 ± 0.54b   | 21.46 ± 1.50a   | 20.76 ± 0.56a   |

由表 3 可知,配方食用油中植物甾醇、生育酚和总酚的含量分别接近 700、80 mg/100 g 和 30 mg/100 g。配方食用油中植物甾醇主要为谷甾醇、菜油甾醇和豆甾醇,未检测到 Δ5-燕麦甾醇和环阿

屯醇。经 180 ℃ 加热 30 min 后植物甾醇的含量略有下降,其中豆甾醇含量下降最大,下降了 22.6%。而烹饪青菜后 3 种植物甾醇含量几乎没有变化。烹饪青菜后 α-生育酚的含量从 47.10 mg/100 g 下降

到 27.60 mg/100 g,总酚含量从 31.56 mg/100 g 下降到 20.76 mg/100 g,两者含量均显著下降。综上,经加热或烹饪后配方食用油生育酚和总酚含量下降较多,最大下降 20.57% 和 34.22%,植物甾醇含量最大下降 11.77%。

### 3 结 论

配方食用油在经过 180 °C 加热 30 min 和家庭烹饪青菜后过氧化值、酸值均较原油样略有上升,但均远低于 GB 2716—2018 的相关限量标准,说明配方食用油在烹饪过程中具有较强的氧化稳定性,不会发生大量的氧化和水解反应。此外,180 °C 加热 30 min 和烹饪青菜后反式脂肪酸含量几乎无变化,且苯并(a)芘含量远低于国标限量,能够保证食用油的安全性。180 °C 加热 30 min 或烹饪后配方食用油的脂肪酸组成变化较小,加热或烹饪后仍能够保证多不饱和脂肪酸的摄入和 FAO 推荐的  $n-6/n-3$  脂肪酸比例 2.5:1 ~ 8:1。加热或烹饪青菜后,配方食用油中植物甾醇含量下降约 12%,生育酚及总酚含量下降幅度在 35% 以内。

目前部分学者认为亚麻籽油等富含多不饱和脂肪酸的植物油在加热等过程中易氧化,导致风味不佳,限制了该类油脂的市场化应用。因此,应进一步加大对富含多不饱和脂肪酸类油脂加热及烹饪稳定性等方面的研究,为该类食用油的市場应用提供理论依据。

### 参考文献:

[1] CHUNG J, CHOE E. Effects of sesame oil on thermooxidative stability of soybean oil [J]. Food Sci Biotechnol, 2001, 10 (4):446 - 450.

[2] DOBARGANES C, MÁRQUEZ - RUIZ G, VELASCO J. Interactions between fat and food during deep - frying[J]. Eur J Lipid Sci Tech, 2015, 102(8/9): 521 - 528.

[3] PERKINS E G. Volatile odor and flavor components formed in deep frying [M]//Deep Frying. Urbana, IL: AOCS

Press, 2007.

- [4] SILVAGNI A, FRANCO L, BAGNO A, et al. Thermoinduced lipid oxidation of a culinary oil: a kinetic study of the oxidation products by magnetic resonance spectroscopies[J]. J Phys Chem A, 2010, 114 (37): 10059 - 10065.
- [5] GUILLEN M D, GOICOECHEA E. Toxic oxygenated  $\alpha, \beta$  - unsaturated aldehydes and their study in foods: a review[J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2008, 48 (2): 119 - 136.
- [6] SIMOPOULOS A P. The importance of the  $\omega - 6/\omega - 3$  fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases[J]. Exp Biol Med, 2008, 233(6): 674 - 688.
- [7] BLASBALG T L, HIBBELN J R, RAMSDEN C E, et al. Changes in consumption of  $\omega - 3$  and  $\omega - 6$  fatty acids in the United States during the 20th century[J]. Am J Clin Nutr, 2011, 93(5): 950 - 962.
- [8] LORGERIL M, SALEN P. New insights into the health effects of dietary saturated and  $\omega - 6$  and  $\omega - 3$  polyunsaturated fatty acids[J/OL]. BMC Med, 2012, 10: 50[2021 - 04 - 09]. <https://doi.org/10.1186/1741-7015-10-50>.
- [9] 谢明勇, 谢建华, 杨美艳, 等. 反式脂肪酸研究进展[J]. 中国食品学报, 2010, 10(4): 14 - 26.
- [10] 李艳茹, 吴亚, 冯月梅, 等. 反式脂肪酸与慢性非传染性疾病关系研究进展[J]. 中华疾病控制杂志, 2020, 24(11): 98 - 103.
- [11] 方冰, 魏翠平, 王瑛瑶, 等. 精炼工艺对大豆油中微量物质变化的影响研究[J]. 中国油脂, 2014, 39(11): 8 - 11.
- [12] 李安. 大豆油不饱和脂肪酸热致异构化机理及产物安全性分析[D]. 北京:中国农业科学院, 2013.
- [13] 吴丹. 食品中苯并芘污染的危害性及其预防措施[J]. 食品工业科技, 2008(5): 309 - 311.