

油莎豆油的高温煎炸稳定性

段 蕾¹, 于化鹏¹, 司美双¹, 吴修利¹, 赵 竞²

(1. 长春大学 食品科学与工程学院, 长春 130022; 2. 长春市十一高中, 长春 130062)

摘要:以油莎豆油为研究对象,以大豆油为对照,选择过氧化值、*p*-茴香胺值、共轭二烯含量、共轭三烯含量为评价指标,考察高温煎炸条件下油莎豆油的稳定性,同时通过傅里叶变换红外光谱表征高温煎炸后油莎豆油结构的变化。结果表明:通过比较煎炸次数与过氧化值的关系,油莎豆油的煎炸稳定性略优于大豆油;两种油脂的*p*-茴香胺值均随煎炸次数增加而增大,大豆油的*p*-茴香胺值高于油莎豆油,大豆油与油莎豆油的*p*-茴香胺值与煎炸次数呈明显的相关性,相关系数分别为0.982 8和0.988 2;随煎炸次数增加,大豆油中共轭二烯、共轭三烯含量均高于油莎豆油,因此油莎豆油的煎炸稳定性高于大豆油。红外光谱结果表明高温煎炸破坏了两种油脂的不饱和脂肪酸结构。

关键词:油莎豆油;高温煎炸;稳定性

中图分类号:TS225.1;TQ646 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2021)10-0047-04

High temperature frying stability of *Cyperus esculentus* oil

DUAN Lei¹, YU Huapeng¹, SI Meishuang¹, WU Xiuli¹, ZHAO Jing²

(1. College of Food Science and Engineering, Changchun University, Changchun 130022, China;

2. Changchun No. 11 High School, Changchun 130062, China)

Abstract: The stability of *Cyperus esculentus* oil under high temperature frying was investigated by using soybean oil as the control, peroxide value, *p*-anisidine value, conjugated diene content and conjugated triene content as the evaluation indexes. The structure change of oil was also characterized by FTIR. The results showed that by comparing the relationship between the frying times and peroxide value, the frying stability of *Cyperus esculentus* oil was slightly better than that of soybean oil. The *p*-anisidine value of two kinds of oil increased with the increase of frying times, and the *p*-anisidine value of soybean oil was higher than that of *Cyperus esculentus* oil. The *p*-anisidine values of soybean oil and *Cyperus esculentus* oil were significantly correlated with the frying times, and the correlation coefficients were 0.982 8 and 0.988 2, respectively. With the increase of frying times, the contents of conjugated diene and conjugated triene in soybean oil were higher than that in *Cyperus esculentus* oil, so the frying stability of *Cyperus esculentus* oil was higher than that of soybean oil. FTIR showed that high temperature destroyed the structure of unsaturated fatty acids in two kinds of oils.

Key words: *Cyperus esculentus* oil; high temperature frying; stability

煎炸不仅可将食物脱水、熟制,还可赋予食物良

好风味及口感^[1]。作为主要的食用油,植物油在食物煎炸中发挥巨大作用。但在高温煎炸过程中,反复使用的油脂会发生水解、氧化和聚合等一系列复杂的化学变化,甚至生成大量的氢过氧化物,并进一步分解为次级氧化产物,如醛、酮等有害物质,导致食物的风味和营养价值的劣化,渗入到食物中还会危害人体健康^[2]。

随着生活水平的不断提高,人们对食品营养及饮食健康越来越重视,选择稳定性好、品质高的煎炸

收稿日期:2020-06-20;修回日期:2020-12-05

基金项目:吉林省科技发展计划项目(20200502003NC);
长春大学科研启动项目(2019JBD26L28);长春大学科研培
育项目(2019JBC26L37)

作者简介:段 蕾(1995),女,在读硕士,研究方向为农产品
加工及贮藏工程(E-mail)815383159@qq.com。

通信作者:吴修利,副教授,硕士生导师(E-mail)395113875
@qq.com。

油已成为大众关注的热点^[3]。李杨等^[4]研究了调和大豆油煎炸过程的品质,结果表明,添加芝麻油和油茶籽油的调和大豆油氧化稳定性优于大豆油。慕鸿雁等^[5]以大豆油、葵花籽油和棕榈油为研究对象进行煎炸试验,发现棕榈油在薯条煎炸过程中具有较好的稳定性。

油莎豆油作为一种营养丰富的食用油,不饱和脂肪酸含量约为 86.2%,其中油酸和亚油酸含量分别高达 75.90% 和 10.04%,具有橄榄油、菜籽油的功能特性和应用价值^[6]。但目前关于油莎豆油在煎炸过程中稳定性的研究鲜有报道。本文选用油莎豆油与生活中常用的大豆油作对比,以过氧化值、*p*-茴香胺值、共轭二烯含量、共轭三烯含量为评价指标,研究两种油脂在煎炸过程中的氧化稳定性,旨在为煎炸用油的选择及研究开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

油莎豆、大豆,分别购于网店和超市;薯条(水分含量 69.70%),德惠市桐大肉食品加工有限公司;正己烷、三氯甲烷、冰乙酸等,均为分析纯;对甲氧基苯胺,上海麦克林生化科技有限公司。

1.1.2 仪器与设备

XO-100A 型微波化学反应器,南京先欧仪器制造有限公司;UV-2700 型紫外可见分光光度计,日本岛津仪器责任有限公司;Nicolet iS5 型傅里叶变换红外光谱仪,美国赛默飞世尔科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 油莎豆油与大豆油的提取

分别将干燥的油莎豆和大豆粉碎,过 0.425 mm 标准筛,按料液比 1:10 加入正己烷,装入带有冷凝管的反应釜中,启动磁力搅拌,设置转速 100 r/min,在微波功率 609 W 条件下提取 15 min,然后真空抽滤、回收正己烷,得到油莎豆油和大豆油,备用。

1.2.2 煎炸油的制备

设置电磁炉温度 180℃,取 100 g 油脂倒入炸锅中,预热。当油温达 180℃,取 5 根薯条(4.0 cm × 0.7 cm × 0.7 cm,称重约 10 g)置于锅中 1 min 为煎炸第 1 次,立即取出薯条,油温冷却至室温(25℃),接着加热油温至 180℃换另 5 根未煎炸的薯条继续煎炸,1 min 后取出为煎炸第 2 次,累计煎炸 12 次。每煎炸 3 次,冷却过滤油样,低温冷藏,待测。

1.2.3 煎炸油过氧化值、*p*-茴香胺值的测定

过氧化值测定参照 GB 5009.227—2016;*p*-茴香胺值测定参照 GB/T 24304—2009。

1.2.4 煎炸油中共轭二烯和共轭三烯含量的测定

参考潘娜等^[7]的方法测定煎炸油中共轭二烯、共轭三烯的含量。

1.2.5 煎炸油红外光谱表征

采用溴化钾压片液体涂膜法,在分辨率 4 cm⁻¹,4 000 ~ 500 cm⁻¹波数下扫描 32 次,检测新鲜油脂和煎炸 12 次油脂的红外光谱。

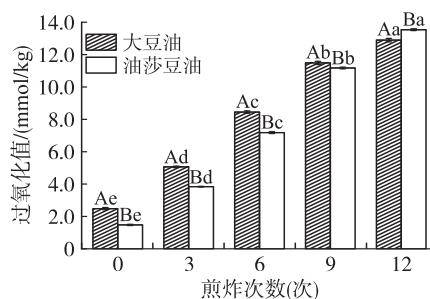
1.2.6 数据分析

每组试验均做 3 次平行,并以“平均值 ± 标准差”表示,采用 SPSS17.0 软件进行差异显著性检验($p < 0.05$),采用 LSD 法进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 过氧化值变化

过氧化值是常用于衡量油脂氧化的指标,过氧化物作为油脂氧化的初始反应产物,通常反映了油脂氧化的初级阶段。不同煎炸次数下,油莎豆油与大豆油过氧化值变化情况如图 1 所示。



注:不同小写字母表示相同油脂存在显著性差异($p < 0.05$);不同大写字母表示不同油脂间存在显著性差异($p < 0.05$)。下同

图 1 两种油脂经高温煎炸过氧化值变化

从图 1 可以看出,随着煎炸次数(x)增加,油莎豆油和大豆油的过氧化值(y)呈现上升趋势,且符合方程: $y_{\text{油莎豆油}} = 1.0477x + 1.162, R^2 = 0.9933$; $y_{\text{大豆油}} = 0.9103x + 2.602, R^2 = 0.9832$ 。

在高温煎炸条件下,随着煎炸次数增加,油莎豆油过氧化值呈现增加趋势,大豆油也呈现同样的规律。可能的原因是在高温煎炸过程中,由于食物中的水分进入到油脂中,使得油脂中的甘三酯水解加快而产生甘二酯,进一步产生氢过氧化物^[8]。根据煎炸次数与过氧化值的关系方程,两种油脂均在煎炸 8 次后,达到 GB 2716—2018 中食用植物油过氧化值的限量标准(9.85 mmol/kg),而且大豆油先于油莎豆油达到国标规定的过氧化值限量标准,因此油莎豆油的煎炸稳定性优于大豆油。当煎炸 9 次以后,两种油脂的过氧化值增长趋势均趋于平缓,其原因可能是氢过氧化物不稳定,部分氧化断裂产生小

分子物质,造成过氧化值增加速率下降。

2.2 *p*-茴香胺值变化

p-茴香胺值反映的是氢过氧化物产生的二级氧化产物的含量,主要是2,4-二烯醛和2-烯醛。*p*-茴香胺值越大,脂肪中的醛类物质含量越高,脂肪的氧化劣变程度越严重^[9],因此也常将*p*-茴香胺值作为考察高温条件下油脂品质劣变程度的一个重要指标。不同煎炸次数下,油莎豆油与大豆油*p*-茴香胺值变化情况见表1。

表1 两种油脂经高温煎炸*p*-茴香胺值变化

| 煎炸次数(次) | 大豆油 | 油莎豆油 |
|---------|------------------|------------------|
| 0 | 0.370 ± 0.020Ad | 0.683 ± 0.025Be |
| 3 | 31.503 ± 0.166Ac | 23.983 ± 0.135Bd |
| 6 | 72.490 ± 0.060Ab | 48.393 ± 0.085Bc |
| 9 | 82.860 ± 0.160Aa | 58.527 ± 0.095Bb |
| 12 | 82.940 ± 0.151Aa | 83.940 ± 0.079Ba |

由表1可知,煎炸前油莎豆油和大豆油的*p*-

表2 两种油脂经高温煎炸共轭二烯、共轭三烯含量变化

| 煎炸次数(次) | 共轭二烯/(10 ⁻¹ mmol/kg) | | 共轭三烯/(10 ⁻² mmol/kg) | |
|---------|---------------------------------|----------------|---------------------------------|----------------|
| | 大豆油 | 油莎豆油 | 大豆油 | 油莎豆油 |
| 0 | 0.653 ± 0.025e | 0.317 ± 0.031d | 0.103 ± 0.015e | 0.110 ± 0.010d |
| 3 | 1.033 ± 0.015d | 0.423 ± 0.015c | 0.423 ± 0.023d | 0.230 ± 0.020c |
| 6 | 1.517 ± 0.021c | 1.200 ± 0.040b | 0.633 ± 0.042c | 0.397 ± 0.021b |
| 9 | 1.790 ± 0.020b | 1.177 ± 0.055b | 0.767 ± 0.031b | 0.413 ± 0.015b |
| 12 | 3.237 ± 0.025a | 1.710 ± 0.027a | 1.250 ± 0.020a | 0.573 ± 0.047a |

由表2可知,随煎炸次数的增加,油莎豆油和大豆油中共轭二烯、共轭三烯含量显著增加。在煎炸9次前,两种油脂中共轭二烯、共轭三烯含量增加缓慢,在煎炸9次以后,共轭二烯、共轭三烯增加速率提高。这种现象可能与油脂中原有的抗氧化活性物质(生育酚、甾醇、β-胡萝卜素)的抑制作用有关^[12],当油脂中抗氧化物质消耗尽后,致使共轭二烯、共轭三烯含量迅速增加。其中,煎炸过程中大豆油中共轭二烯、共轭三烯含量均高于油莎豆油,其主要原因可能为油莎豆油中主要的多不饱和脂肪酸——亚油酸、亚麻酸含量低于大豆油^[6],因而产生的共轭烯烃含量少,这也说明与大豆油相比,油莎豆油更适合作为煎炸油。

2.4 红外光谱表征

煎炸前后两种油脂的红外光谱图见图2。

从图2可以看出,两种油脂的峰形无显著差异。在3010~2800 cm⁻¹区间的吸收峰分别归属于不饱和双键=C—H的伸缩振动,甲基和亚甲基的—C—H反伸缩、伸缩振动;1748 cm⁻¹处的吸收峰显示出典型的酯羰基伸缩振动;甲基、亚甲基弯曲振

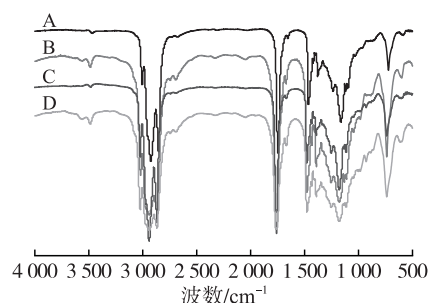
茴香胺值很低。煎炸后,两种油脂的*p*-茴香胺值均随煎炸次数的增加而增大。*p*-茴香胺值(*y*)与煎炸次数(*x*)呈现明显的相关性: $y_{\text{大豆油}} = -0.735 2x^2 + 16.042x - 2.504 3, R^2 = 0.982 8$; $y_{\text{油莎豆油}} = -0.079 8x^2 + 7.657 5x + 1.454 3, R^2 = 0.988 2$ 。

在相同煎炸次数下,大豆油的*p*-茴香胺值高于油莎豆油,这说明高温煎炸过程中大豆油产生的醛类物质较多,氧化程度较高,煎炸稳定性较差。

2.3 共轭二烯、共轭三烯含量变化

多不饱和脂肪酸在形成氢过氧化物的过程中双键会发生重排,形成共轭烯烃^[10]。随着氧化进程不断加深,共轭烯烃的生成量越来越多,因此油脂中共轭二烯、共轭三烯含量的变化可反映油脂中多不饱和脂肪酸氧化的程度^[11],共轭二烯、共轭三烯含量越高,油脂的氧化稳定性越弱^[4]。不同煎炸次数下,油莎豆油与大豆油共轭二烯、共轭三烯含量变化情况见表2。

动出现在1465 cm⁻¹和1376 cm⁻¹处;1165 cm⁻¹吸收峰归属于酯基中C—O的伸缩振动;烯烃顺式C=C的面外弯曲振动和亚甲基的平面摇摆叠加得到725 cm⁻¹处吸收峰^[13]。煎炸12次后两种油脂在3500 cm⁻¹左右出现新的吸收峰,该吸收峰可能与油氧化过程中产生的氢过氧化物有关^[12]。



注:A为新鲜油莎豆油;B为煎炸12次的油莎豆油;C为新鲜大豆油;D为煎炸12次的大豆油。下同

图2 煎炸前后两种油脂的红外光谱图

将上述油莎豆油和大豆油的红外光谱图转换成二阶导数光谱,分别见图3和图4。

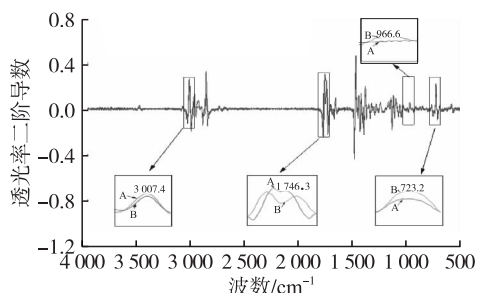


图3 煎炸前后油莎豆油二阶导数光谱图

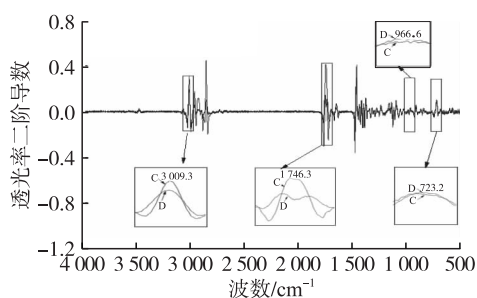


图4 煎炸前后大豆油二阶导数光谱图

从图3、图4可以看出,油莎豆油和大豆油在 $3\ 007$ 、 $1\ 746$ 、 966 、 $723\ \text{cm}^{-1}$ 处呈现规律性变化。这说明煎炸后油莎豆油和大豆油中 $=\text{CH}$ 、 $\text{C}=\text{O}$ 双键经过不断加热变得不稳定,双键打开变成饱和键,由于煎炸高温条件导致油样中烯烃的顺式结构变成反式结构,表现为在 $966\ \text{cm}^{-1}$ 处出现反式面外伸缩振动峰^[14]。

3 结论

以油莎豆油为研究对象,以大豆油作对照,通过高温煎炸试验,检测油脂的过氧化值、 p -茴香胺值、共轭二烯含量、共轭三烯含量,比较两种油脂的煎炸稳定性。以国标规定的过氧化值限定值为参考,油莎豆油的煎炸稳定性略高于大豆油;两种油脂的 p -茴香胺值均随煎炸次数增加而增大,大豆油的 p -茴香胺值较高;随煎炸次数增加,两种油脂中共轭二烯、共轭三烯含量增大,由于大豆油中多不饱和脂肪酸含量略高,因而高温煎炸后,共轭二烯、共轭三烯含量优于油莎豆油,表明油莎豆油的煎炸稳定性优于大豆油。利用傅里叶变换红外光谱法结合二阶导数光谱对煎炸前后的油脂进行分析,表明高温

煎炸过程使得油脂中不饱和脂肪酸的烯烃结构和碳氧双键被破坏,不饱和脂肪酸含量明显减少。

参考文献:

- [1] DURÁN M, PEDRESCHI F, MOYANO P, et al. Oil partition in pre-treated potato slices during frying and cooling[J]. J Food Eng, 2007, 81(1):257-265.
- [2] 解久莹,张翔宇,吴永强,等.煎炸油使用安全及有害成分控制研究进展[J].食品工业科技,2019,40(15):333-338,344.
- [3] 邓乾春,黄庆德,黄凤洪,等.亚麻籽油调和油的热稳定性研究[J].食品科学,2012,33(5):88-92.
- [4] 李杨,马文君,齐宝坤,等.调和大豆油煎炸过程品质变化的研究[J].食品工业,2015,36(6):21-24.
- [5] 慕鸿雁,郑琦.3种食用油在薯条煎炸过程中的品质变化[J].食品科学,2012,33(19):168-171.
- [6] 侯朝雷,相海,曾祥菊,等.油莎豆油的脂肪酸组成及其提取工艺研究进展[J].粮油食品科技,2018,26(3):32-35.
- [7] 潘娜,屈文娇,君睿红,等.不同品种葵花籽油氧化稳定性研究[J].中国油脂,2014,39(12):42-45.
- [8] 刘元法,穆昭,单良,等.煎炸油加热过程极性物质分析[C]//中国粮油学会第五届学术年会暨产品展示会论文集.北京:中国粮油学会,2008.
- [9] 王罡.油脂反复使用对其氧化特性及油炸鱼豆腐的影响[D].山西晋中:山西农业大学,2014.
- [10] YETTELLA R R, HENBEST B, PROCTOR A. Effect of antioxidants on soy oil conjugated linoleic acid production and its oxidative stability[J]. J Agric Food Chem, 2011, 59(13):7377-7384.
- [11] 万俊,艾民珉,周佳,等.皮蛋加工过程中油脂氧化及抗氧化特性研究[J].食品工业,2018,39(9):126-131.
- [12] 黄雨洋,齐宝坤,赵城彬,等.加速氧化过程中不同植物油的稳定性研究[J].中国食品学报,2019,19(1):243-248.
- [13] 段蕾,韩墨,智娜,等.改良索氏提取法提取油莎豆油及红外光谱研究[J].吉林农业,2019(16):61.
- [14] 张培强,张进,樊智楠,等.二阶导数傅里叶变换红外光谱鉴别植物油和地沟油[J].中国油脂,2017,42(8):86-88,97.