

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.05.019

食用油煎炸过程特征指标的相关性分析

许泽群¹, 张乐², 杨静媚², 王志强¹, 吴凌涛¹

(1. 中国广州分析测试中心, 广东省化学危害应急检测技术重点实验室, 广东 广州 510070;
2. 中储粮油脂工业东莞有限公司, 广东 东莞 523147)

摘要: 以大豆油和菜籽油为研究对象, 探讨在 170 °C 油温条件下循环煎炸达 15 h 过程中, 煎炸油脂的感官品质和特征指标的变化, 同时研究脂肪酸组成、极性组分、黏度值与油脂泡高值的相互关系。结果表明, 煎炸过程大豆油的感官要优于菜籽油, 两种油的酸值变化均符合卫生标准 (酸值 ≤ 5 mgKOH/g), 泡高值、黏度、极性组分与煎炸时间均存在极显著的正相关关系 ($P < 0.01$)。此外黏度、极性组分这两者与泡高值也存在极显著的正相关关系 ($P < 0.01$)。植物油总饱和脂肪酸相对含量会逐渐增加, 和泡高值存在极显著的正相关关系 ($P < 0.01$); 其总不饱和脂肪酸相对含量会逐渐减低, 和泡高值存在极显著的负相关关系 ($P < 0.01$), 总反式脂肪酸含量会逐渐减低, 和泡高值存在极显著的负相关关系 ($P < 0.01$)。

关键词: 食用油; 煎炸; 特征指标; 泡高值; 相关性

中图分类号: TS225.1 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2020)05-0131-07

Correlation Analysis of the Characteristic Indices of Edible Oil during Fry Process

XU Ze-qun¹, ZHANG Le², YANG Jing-mei², WANG Zhi-qiang¹, WU Ling-tao

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Emergency Test for Dangerous Chemicals,
China National Analytical Center, Guangzhou, Guangdong 510070, China;
2. Sinograin Oils & Fats Industrial Dongguan Co., Ltd., Dongguan, Guangdong 523147, China)

Abstract: Soybean oil and rapeseed oil were taken as the research objects, and the sensory quality and characteristic indexes changes during the frying process for 15 hours at 170 °C were discussed. Meanwhile, the relationship between fatty acid composition, polar component, viscosity value and high value of oil bubble was studied. The results showed that the sensory experience of soybean oil in the frying process was better than that of rapeseed oil. The changes of acid value of the two kinds of oils were within the hygienic standard (acid value ≤ 5 mgKOH/g), and there was a significant positive correlation between the bubble high value, viscosity, polar components and the frying time ($P < 0.01$). In addition, viscosity and polar components were also positively correlated with bubble height respectively ($P < 0.01$). The relative content of total saturated fatty acids in vegetable oil will increase gradually, which has a significant positive correlation with the bubble high value ($P < 0.01$); the relative content of total unsaturated fatty acids will decrease gradually, which has a significant negative correlation with the bubble high value ($P < 0.01$), and the content of total trans fatty acids will decrease gradually, which has a significant negative correlation with the bubble high value ($P < 0.01$).

Key words: edible oil; fried; characteristic index; bubble height value; correlation

收稿日期: 2020-02-18

基金项目: 广东省科学院发展专项资金项目 (2019GDASYL-0105015)

作者简介: 许泽群, 男, 1990 年出生, 食品检验工程师, 研究方向为食品分析测试。

食用油是人们的生活必需品, 是人体所需的重要营养物质来源之一。常见的食用油多为植物油脂, 包括大豆油、花生油、菜籽油、棕榈油、橄榄油和芝麻油等。不同种类的食用植物油的成分含量各异, 可满足不同人群的需求。随着我国经济的快速发展和人们生活水平的不断提高, 我国人均食用植物油消费量呈稳步上升的趋势^[1-3]。正因为如此, 其安全性与每个人都息息相关, 尤其频频曝光的油脂安全问题更是引起广大消费者的强烈愤怒和国家的高度重视!

食用油脂在煎炸过程中, 发生聚合、氧化、分解和水解反应, 色泽逐渐变深, 黏度增大并产生难闻的气味, 同时油脂经高温氧化产生聚合物、环氧化物等对人体有害物质, 大大降低了油脂的营养价值^[4-6]。不同的油脂具有不同的脂肪酸组成, 其中所含的微量组分也有差别, 因此其煎炸特性也会存在差异^[7-9]。其中当煎炸油中极性化合物或聚合物生成量超高临界值, 会产生持续性起泡, 泡高值即油加热过程中持续起泡时最高的起泡高度值^[10-11]。通过实验研究出食用油煎炸过程中泡高值和油脂其他特性指标之间的关系, 可用于日常观察泡高值而换算出食用油脂煎炸过程中油脂特征指标的数值变化, 进而判断煎炸油是否可以继续使用^[12-13]。本实验以大豆油和菜籽油为研究对象, 探讨其在煎炸过程中感官和理化指标变化过程, 分析食用油的特征指标在煎炸过程中与泡高值的关系变化进行研究。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料

市售一级大豆油, 市售一级菜籽油, 所有化学试剂均为分析纯。

DC-1015 低温恒温槽: 上海汗诺仪器有限公司; XC-200 智能石墨消解仪: 杭州陆恒生物科技有限公司; SNB-2 数字式粘度计: 上海精天电子仪器有限公司; WSL-2 罗维朋比较测色计: 上海精密科学仪器有限公司; L-102C 电炸炉: 佛山市德玛仕网络科技有限公司; 7820A 气相色谱仪: 安捷伦科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 煎炸实验

选用冻馒头、冻鸡扒模拟油脂日常使用煎炸过程, 油样 6 L, 油温 170 °C, 按馒头 160 g 煎炸 4 min、鸡扒 200 g 煎炸 4 min 循环煎炸(馒头、鸡扒每次换新), 上午时长 2.5 h 下午时长 2.5 h, 每 2.5 h 煎炸完成, 测定记录煎炸油的色泽, 并分取 300 mL 煎炸油用于测定煎炸油的酸值、黏度、泡高值、极性组分、脂肪酸组成。隔天重复煎炸, 期间不补充油样, 直至植物油废弃(极性组分 >27%), 通过测得结果探讨食物有煎炸过程中特征指标的相关性。

1.2.2 感官测定

罗维朋色泽检测按 GB/T 22460—2008 测定, 感官检测按 GB/T 5492—2008 测定。

1.2.3 酸值的测定

按 GB 5009.229—2016/第一法测定

1.2.4 极性组分的测定

按 GB 5009.202—2016/第二法测定

1.2.5 泡高值的测定

将市售新鲜马铃薯去皮后处理为 1 cm×1 cm 小块, 放入蒸馏水中浸泡 30 min, 用滤纸擦干表面水分。在直径 30 mm、长度 200 mm 的试管中加入 25 mL 油样, 用消解仪加热至 160 °C, 将处理好的马铃薯一小块投入试管中, 记录 5~20 s 时的最高泡高值。

1.2.6 黏度值的测定

采用 SNB-2 数字式粘度计, 在低温恒温槽控制 25 °C 恒温条件下, 采用 0 号转子测定。

1.2.7 脂肪酸组成的测定

按 GB 5009.168—2016/第三法测定。

1.3 数据统计方法

用 SPSS 22.0 软件进行数据处理和分析。

2 结果与amp;讨论

2.1 煎炸过程中感官的变化

各油样煎炸实验开始前检测原始样品感官。各煎炸时间点感官为煎炸后直接感官测试结果, 色泽结果为煎炸后放置室温后测试。结果如表 1 和表 2。

表 1 煎炸过程中色泽的变化

检测项目	煎炸时间/h	大豆油				菜籽油			
		133.4/mm		25.4/mm		133.4/mm		25.4/mm	
		黄色值	红色值	黄色值	红色值	黄色值	红色值	黄色值	红色值
色泽	0	7	0.5	0.7	0	10	1.2	2	0
	2.5	20	2.2	3	0.2	50	4.5	8	0.8
	5	40	4	8	0.7	70	7	10	1.6
	7.5	60	5.8	10	1.5	/	/	20	2
	10	70	8.6	20	1.8	/	/	30	2.7
	12.5	/	/	20	2.4	/	/	40	3.7
	15	/	/	30	2.7	/	/	40	4.4

注：“/”表示油脂色值超出仪器检测范围。色泽检测时，黄值与红值初调时，比例为 10:1，然后根据需要，一般只调整红值，黄值不动。如黄 10 红 1.2。

表 2 煎炸过程中感官变化

检测项目	煎炸时间/h	大豆油	菜籽油
感官变化	0	淡黄色至浅黄色；澄清、透明；流动性好；无异昧，口感好	黄绿色；澄清、透明；流动性好；无异昧，口感好
	2.5	颜色加深；澄清、透明；流动性较好；无异昧，口感尚好	颜色加深；澄清、透明；流动性较好；无异昧，口感尚好
	5	颜色加深；较澄清、较透明；流动性较好；有糊焦味	颜色加深；较澄清、较透明；流动性较好；有糊焦味
	7.5	颜色加深；较澄清、较透明；流动性较好；有糊焦味	颜色加深；较澄清、较透明；流动性较好；有糊焦味
	10	颜色加深；较澄清、较透明；流动性较好；有糊焦味	颜色加深；较澄清、较透明；流动性较好；有糊焦味
	12.5	颜色加深；较澄清、较透明；流动性较好；有糊焦味	颜色加深；较澄清、较透明；流动性较好；有浓郁糊焦味
	15	颜色加深；较澄清、较透明；流动性较好；有糊焦味	颜色加深；有残渣、透明性差；流动性差；有严重糊焦味

煎炸油色泽参考 GB/T 22460—2008 进行检测，一级大豆油罗维朋比皿应采用 133.4 mm 比色皿，但由表 1 可知，油脂在多次煎炸后，色泽色值超出了罗维朋比较测色仪的检测范围，因而我们采用 25.4 mm 对色泽项目进行比较。在罗维朋比色皿为 25.4 mm 的条件下，大豆油本底色泽较浅，在煎炸过程中，颜色加深的趋势较为和缓。直至煎炸油极性组分超标废弃，大豆油的色泽为黄色值 30.0、红色值 2.7。在整个煎炸过程中，色泽黄色值增加约为 30 左右、红色值增加约为 2.7 左右。菜籽油本底色泽为黄色值 2.0、红色值 0.0，在煎炸过程中，颜色加深的趋势较为明显，在煎炸 12.5 h 后，菜籽油的色泽达到了黄色值 40.0、红色值 3.7。在整个煎炸过程中，色泽黄色值增加 38.0、红色值增加 4.4。

由表 2 可知，大豆油在煎炸 5 h 后出现焦糊

味，颜色不断加深，但能保持较好的澄清和透明，流动性较好菜籽油在煎炸 5 h 后出现焦糊味，颜色不断加深，且流动性逐渐变差，感官体验总体差于同等煎炸条件下的大豆油。

2.2 煎炸过程中酸值的变化

各油样煎炸实验点酸值结果如图 1。

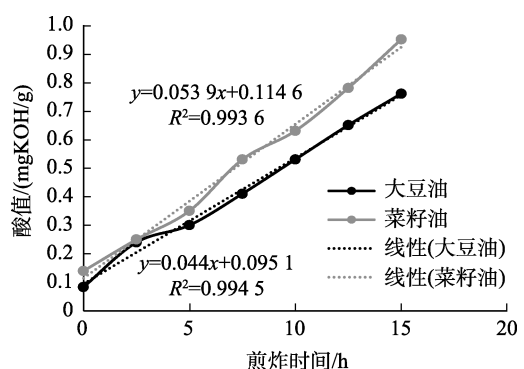


图 1 煎炸过程中酸值的变化

由图 1 可知,随着煎炸时间的延长,植物油在高温煎炸过程中发生热氧化和水解反应,尤其是甘油三酯水解产生游离脂肪酸造成酸值明显增大。大豆油、菜籽油煎炸时间和酸值的相关系数分别为 0.997、0.997,均存在极显著的正相关关系 ($P<0.01$),以煎炸时间为 x 值,酸值为 y 值建立线性方程,大豆油为 $y=0.044x+0.0951$ ($R^2=0.9945$),菜籽油为 $y=0.0539x+0.1146$ ($R^2=0.9936$);二者斜率较小,在煎炸 15.0 h 后,大豆油的酸值分别为 0.76 mgKOH/g,菜籽油的酸值为 0.95 mgKOH/g,明显低于 GB 7102.1—2003 食用植物油煎炸过程中的卫生标准(酸值 ≤ 5 mgKOH/g),说明大豆油、菜籽油在抑制酸值方面的煎炸品质较好。

2.3 煎炸过程泡高值的变化

检测原始样品及各留样时间点样品泡高值。结果如图 2。

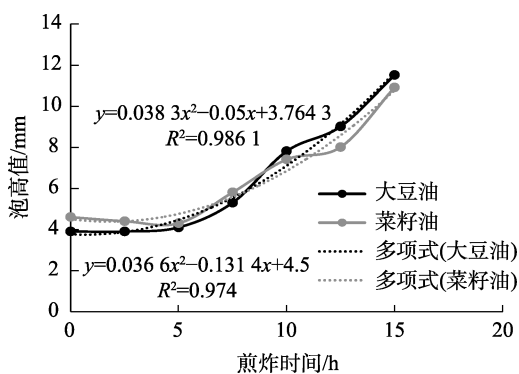


图 2 煎炸过程中泡高值的变化

由图 2 可知,随着煎炸时间的延长,泡高值会不断增加。煎炸初期(0~5 h)泡高值的变化较为平缓,这主要是因为煎炸初期植物油液面气泡在高温下表面张力较低,但破裂没办法完成叠加,造成泡高值较低,因而在这一阶段泡高值变化不明显;而煎炸后期(5~15 h)泡高值的变化较为急剧,随着煎炸时间的延长,油脂的氧化酸败、使得油脂分解为醛类、酮类、游离脂肪酸、极性物质、聚合物等多种化合物,这些醛酮类化合物的积聚增多,导致极性较大,在非极性的油脂体系中相当于增加了体系的表面活性,同时这些化合物逐渐结合食物中的水分子,增强了体系的表面黏度,气泡不易破裂,出现持续性起泡。大豆

油煎炸时间和泡高值的相关系数分别为 0.947,存在极显著的正相关关系 ($P<0.01$),以煎炸时间为 x 值、泡高值为 y 值建立多项式方程,大豆油为 $y=0.0383x^2-0.05x+3.7643$ ($R^2=0.9861$);菜籽油煎炸时间和泡高值的相关系数为 0.923,存在极显著的正相关关系 ($P<0.01$),以煎炸时间为 x 值、泡高值为 y 值建立多项式方程, $y=0.0366x^2-0.1314x+4.5$ ($R^2=0.9740$)。

2.4 煎炸过程脂肪酸组成的变化及与泡高值的相关性分析

检测脂肪酸组成,分类计算各时段样品饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸含量。并与泡高值分析相关性。结果如表 3~5。

在煎炸过程中,饱和脂肪酸比较稳定,加上部分不饱和脂肪酸在煎炸过程中的双键破坏可能转化成饱和脂肪酸,使得饱和脂肪酸的含量会随着煎炸时间的延长而增加,而不饱和脂肪酸含量由于发生氧化裂解等反应会相应的减少。随着煎炸时间的延长,反式脂肪酸整体呈现下降趋势,反式亚麻酸 C18:3 碳链长,且含有三个不饱和双键,在高温煎炸条件下不稳定,分解成了其他小分子物质。本实验与相关研究^[14-16]结论一致。

由表 3 可知,大豆油在煎炸过程中,其饱和脂肪酸中的豆蔻酸(C14:0)、棕榈酸(C16:0)、硬脂酸(C18:0)及不饱和脂肪酸中的油酸(C18:1)显著增加 ($P<0.05$),而不饱和脂肪酸中的亚油酸(C18:2)、亚麻酸(C18:3)、显著降低 ($P<0.05$)。另外,煎炸过程中的月桂酸(C12:0)含量变化差异不大 ($P>0.05$)。大豆油总饱和脂肪酸含量由 16.32% 增加到 18.31%,总不饱和脂肪酸含量由 82.86% 减少到 80.58%。

由表 4 可知,菜籽油在煎炸过程中,其饱和脂肪酸中的豆蔻酸 C14:0、棕榈酸 C16:0、硬脂酸 C18:0、山嵛酸 C22:0、木焦油酸 C24:0 及不饱和脂肪酸中的十七碳一烯酸 C17:1、亚油酸 C18:2 显著增加 ($P<0.05$),而饱和脂肪酸中的花生酸 C20:0 及不饱和脂肪酸中的油酸 C18:1、亚麻酸 C18:3、花生一烯酸 C20:1、花生二烯酸 C20:2、二十四碳一酸 C24:1 显著降低 ($P<0.05$)。另外,煎炸过程中的十四碳以下脂肪酸、

表 3 大豆油炸过程中脂肪酸组成的变化

%

检测项目	0.0/h	2.5/h	5.0/h	7.5/h	10.0/h	12.5/h	15.0/h
月桂酸 C12:0	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a
豆蔻酸 C14:0	0.08±0.00a	0.08±0.00a	0.08±0.00b	0.08±0.00c	0.09±0.00d	0.10±0.00e	0.10±0.00f
棕榈酸 C16:0	10.83±0.00a	11.06±0.02b	11.17±0.02c	11.45±0.03d	11.78±0.00e	12.05±0.00f	12.34±0.03g
棕榈一烯酸 C16:1	0.08±0.00a	0.09±0.00ab	0.09±0.00b	0.09±0.00c	0.09±0.00d	0.09±0.00d	0.10±0.00d
十七烷酸 C17:0	0.10±0.00a	0.10±0.00a	0.10±0.00b	0.10±0.00c	0.10±0.00d	0.10±0.00d	0.10±0.00d
十七碳一烯酸 C17:1	0.06±0.00a	0.06±0.00b	0.06±0.00b	0.06±0.00b	0.06±0.00b	0.06±0.00b	0.06±0.00b
硬脂酸 C18:0	4.18±0.01a	4.22±0.00b	4.26±0.00c	4.33±0.01d	4.35±0.00e	4.37±0.00f	4.40±0.01g
油酸 C18:1	25.24±0.01a	25.51±0.01b	25.74±0.01c	26.09±0.01d	26.36±0.00e	26.69±0.00f	27.52±0.05g
亚油酸 C18:2	50.81±0.00a	50.40±0.01b	50.06±0.01c	49.53±0.01d	49.01±0.01e	48.50±0.00f	47.47±0.03g
亚麻酸 C18:3	6.44±0.00a	6.27±0.01b	6.16±0.01c	5.96±0.01d	5.81±0.01e	5.68±0.01f	5.17±0.01g
花生酸 C20:0	0.47±0.00a	0.48±0.01a	0.47±0.00a	0.48±0.01a	0.46±0.00ab	0.46±0.01b	0.57±0.01c
花生一烯酸 C20:1	0.20±0.00a	0.22±0.00b	0.22±0.01b	0.22±0.01b	0.23±0.01b	0.22±0.00b	0.23±0.00b
花生二烯酸 C20:2	0.04±0.00a	0.04±0.00a	0.04±0.00a	0.04±0.00a	0.04±0.00a	0.04±0.00a	0.04±0.00a
山嵛酸 C22:0	0.47±0.00a	0.48±0.00a	0.49±0.01a	0.52±0.00b	0.52±0.00b	0.54±0.01b	0.58±0.01c
芥酸 C22:1	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a
木焦油酸 C24:0	0.21±0.01a	0.22±0.00b	0.23±0.01b	0.23±0.01b	0.23±0.00b	0.22±0.00b	0.23±0.00b
总饱和脂肪酸	16.32	16.62	16.78	17.18	17.53	17.83	18.31
总不饱和脂肪酸	82.86	82.57	82.35	81.97	81.59	81.28	80.58

表 4 菜籽油煎炸过程中脂肪酸组成的变化

%

检测项目	0.0/h	2.5/h	5.0/h	7.5/h	10.0/h	12.5/h	15.0/h
十四碳以下脂肪酸	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.06±0.00a	0.07±0.00a	0.09±0.00a
豆蔻酸 C14:0	0.05±0.00a	0.06±0.00b	0.06±0.00c	0.07±0.00c	0.07±0.00d	0.08±0.00e	0.08±0.00f
棕榈酸 C16:0	4.14±0.01a	4.57±0.01b	4.91±0.03c	5.41±0.02d	5.90±0.01e	6.36±0.01f	6.93±0.00g
棕榈一烯酸 C16:1	0.20±0.00a	0.20±0.00ab	0.20±0.00ab	0.20±0.00ab	0.20±0.01ab	0.19±0.00b	0.19±0.00b
十七烷酸 C17:0	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a
十七碳一烯酸 C17:1	0.06±0.00a	0.06±0.00ab	0.06±0.00ab	0.06±0.00a	0.06±0.00b	0.06±0.00b	0.07±0.00b
硬脂酸 C18:0	2.06±0.02a	2.16±0.00b	2.25±0.01c	2.35±0.00d	2.47±0.00e	2.58±0.00f	2.73±0.01g
油酸 C18:1	55.85±0.02a	55.16±0.02b	54.45±0.02c	53.54±0.00d	52.49±0.03e	51.61±0.01f	50.30±0.02g
亚油酸 C18:2	17.20±0.01a	18.07±0.01b	18.73±0.01c	19.84±0.01d	20.86±0.01e	21.78±0.00f	23.09±0.01g
亚麻酸 C18:3	6.27±0.01a	5.95±0.00b	5.79±0.00c	5.57±0.01d	5.40±0.00e	5.20±0.00f	5.00±0.00g
花生酸 C20:0	1.86±0.00a	1.80±0.00b	1.75±0.00c	1.70±0.00d	1.65±0.00e	1.60±0.00f	1.54±0.00g
花生一烯酸 C20:1	3.62±0.01a	3.51±0.01b	3.45±0.02c	3.29±0.00d	3.16±0.01e	3.04±0.00f	2.88±0.00g
花生二烯酸 C20:2	0.15±0.00a	0.15±0.00b	0.14±0.00c	0.14±0.00d	0.13±0.00e	0.13±0.00f	0.12±0.00g
山嵛酸 C22:0	0.42±0.00a	0.42±0.00a	0.43±0.00a	0.42±0.00a	0.42±0.01a	0.43±0.00a	0.45±0.01b
芥酸 C22:1	6.60±0.01a	6.40±0.03b	6.27±0.04c	5.98±0.02d	5.70±0.03e	5.49±0.00f	5.18±0.01g
二十二碳二烯酸 C22:2	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a
木焦油酸 C24:0	0.19±0.00a	0.21±0.00b	0.21±0.00b	0.23±0.01c	0.22±0.00c	0.22±0.00c	0.22±0.00c
二十四碳一酸 C24:1	0.29±0.00a	0.28±0.00b	0.28±0.00c	0.27±0.00d	0.25±0.00e	0.25±0.00f	0.23±0.00g
总饱和脂肪酸	8.73	9.21	9.61	10.17	10.78	11.33	12.04
总不饱和脂肪酸	90.24	89.77	89.37	88.88	88.25	87.73	87.06

注: a~g 煎炸过程中同行不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下同。

表 5 煎炸过程中反式脂肪酸的变化

%

煎炸时间/h	大豆油			菜籽油		
	反式亚油酸 C18:2	反式亚麻酸 C18:3	总反式脂肪酸	反式亚油酸 C18:2	反式亚麻酸 C18:3	总反式脂肪酸
0.0	0.69	0.85	1.54	0.65	0.30	0.95
2.5	0.69	0.82	1.51	0.65	0.30	0.95
5.0	0.67	0.80	1.47	0.65	0.30	0.95
7.5	0.64	0.78	1.42	0.63	0.29	0.92
10.0	0.64	0.76	1.40	0.63	0.28	0.91
12.5	0.62	0.73	1.35	0.62	0.27	0.89
15.0	0.63	0.71	1.34	0.61	0.27	0.88

注：两种煎炸油中均未检测出反式油酸 C18:1。

二十二碳二烯酸 C22:2 含量变化差异不大 ($P > 0.05$)。总饱和脂肪酸含量由 8.73% 增加到 12.04%，总不饱和脂肪酸含量由 90.24% 减少到 87.06%。

由表 5 可知大豆油总反式脂肪酸比菜籽油高，其中主要体现在反式亚麻酸 C18:3 上，大豆油整体过程保持在 0.71%~0.85%，而菜籽油保持在 0.27%~0.30%，两种煎炸油总反式脂肪酸均显著降低 ($P < 0.05$)。大豆油总反式脂肪酸和泡高值的相关系数为 -0.917，存在极显著的负相关关系 ($P < 0.01$)。菜籽油总反式脂肪酸和泡高值的相关系数为 -0.956，存在极显著的负相关关系 ($P < 0.01$)。

大豆油总饱和脂肪酸相对含量和泡高值的相关系数为 0.972，存在极显著的正相关关系 ($P < 0.01$)，以泡高值为 x 值、总饱和脂肪酸相对含量为 y 值建立多项式方程， $y = -0.0051x^4 + 0.1596x^3 - 1.8156x^2 + 9.0157x + 0.6659$ ($R^2 = 0.9802$)；其总不饱和脂肪酸和泡高值的相关系数为 -0.977，存在极显著的负相关关系 ($P < 0.01$)，以泡高值为 x 值、总不饱和脂肪酸相对含量为 y 值建立多项式方程， $y = 0.005x^4 - 0.1587x^3 + 1.8238x^2 - 9.1373x + 98.821$ ($R^2 = 0.9819$)。

菜籽油总饱和脂肪酸相对含量和泡高值的相关系数为 0.949，存在极显著的正相关关系 ($P < 0.01$)，以泡高值为 x 值、总饱和脂肪酸相对含量为 y 值建立多项式方程， $y = -0.018x^3 + 0.371x^2 - 1.8985x + 11.935$ ($R^2 = 0.9302$)；其总不饱和脂肪酸和泡高值的相关系数为 -0.948，存在极显著的负相关关系 ($P < 0.01$)，以泡高值为 x 值、总不饱和脂肪酸相对含量为 y 值建立多项式方程， $y = 0.0199x^3 - 0.416x^2 + 2.2484x + 86.211$ ($R^2 = 0.9299$)。

2.5 煎炸过程黏度值的变化及与泡高值的相关性分析

检测原始样品及各留样时间点样品黏度值，并与泡高值分析相关性，如图 3 所示。

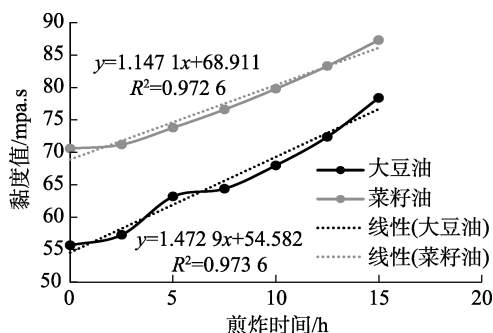


图 3 煎炸过程中黏度值的变化

从图 3 可知，随着煎炸时间的延长，油脂之间的热聚合、氧化程度加剧，大分子物质含量增加造成在同一温度下测得的黏度呈上升趋势。大豆油、菜籽油煎炸时间和黏度值的相关系数分别为 0.987、0.986，存在极显著的正相关关系 ($P < 0.01$)，以煎炸时间为 x 值，黏度值为 y 值建立线性方程，大豆油为 $y = 1.4729x + 54.582$ ($R^2 = 0.9736$)；菜籽油为 $y = 1.1471x + 68.911$ ($R^2 = 0.9726$)。黏度是流体粘滞性的一种量度，油脂内摩擦力大，分子量越大，碳氢结合越多，黏度也就越大，与植物油的持续性起泡息息相关，大豆油黏度值和其泡高值的相关系数为 0.958，存在极显著的正相关关系 ($P < 0.01$)，泡高值为 x 值，黏度值为 y 值建立多项式方程为 $y = -0.093x^4 + 2.8592x^3 - 31.558x^2 + 150.01x - 195.38$ ($R^2 = 0.9570$)；菜籽油黏度值和泡高值的相关系数为 0.967，存在极显著的正相关关系 ($P < 0.01$)，泡高值为 x 值，黏度值为 y 值建立

多项式方程为 $y=0.0615x^4-1.8711x^3+20.513x^2-93.16x+221.17$ ($R^2=0.9586$)。

2.6 煎炸过程极性组分的变化及与泡高值的相关性分析

检测原始样品及各留样时间点样品极性组分, 并与泡高值分析相关性, 结果如图 4。

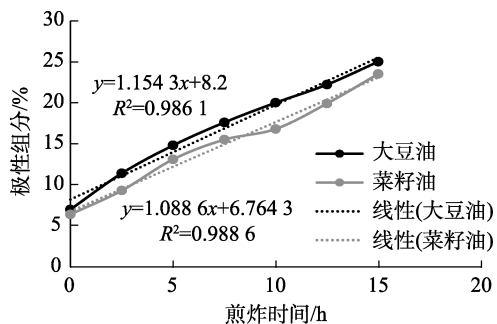


图 4 煎炸过程中极性组分的变化

从图 4 可知, 随着煎炸时间的延长, 油脂在高温条件下, 发生甘油三酸酯的热氧化产物、热聚合产物、热氧化聚合产物、水解产物, 产生了比正常植物油分子极性较大的一些成分, 造成极性组分的增加。大豆油、菜籽油煎炸时间和极性组分的相关系数分别为 0.996、0.994, 存在极显著的正相关关系 ($P<0.01$), 以煎炸时间为 x 值, 极性组分为 y 值建立线性方程, 大豆油为 $y=1.2471x+11.361$ ($R^2=0.9916$); 菜籽油为 $y=1.2971x+7$ ($R^2=0.9880$)。由于极性组分会影响油脂的表面张力, 因为也会影响植物油的持续起泡性。大豆油极性组分和泡高值的相关系数分别为 0.947, 存在极显著的正相关关系 ($P<0.01$), 泡高值为 x 值, 极性组分为 y 值建立多项式方程为大豆油为 $y=-0.065x^4+2.0413x^3-23.255x^2+115.29x-188.59$ ($R^2=0.9842$); 菜籽油极性组分和泡高值的相关系数为 0.929, 存在极显著的正相关关系 ($P<0.01$), 泡高值为 x 值, 极性组分为 y 值建立多项式方程为 $y=-0.08x^3+1.67x^2-8.096x+20.982$ ($R^2=0.8759$)。

3 总结

通过对大豆油和菜籽油的煎炸实验分析, 在 170 °C 高温煎炸 5 h 后大豆油和菜籽油感官性能下降明显, 大豆油的感官要优于菜籽油。在煎炸过程中, 食用油脂酸值、泡高值、黏度、极性组分与煎炸时间均存在极显著的正相关关系 ($P<$

0.01)。此外黏度、极性组分这两者与泡高值也存在极显著的正相关关系 ($P<0.01$)。食用油脂总饱和脂肪酸相对含量会逐渐增加, 和泡高值的存在极显著的正相关关系 ($P<0.01$); 其总不饱和脂肪酸相对含量会逐渐减低, 和泡高值存在极显著的负相关关系 ($P<0.01$), 反式脂肪酸整体呈现下降, 和泡高值存在极显著的负相关关系 ($P<0.01$)。综上所述, 煎炸时间对食用油的品质影响较大, 泡高值变化与食用油品质变化存在一定关系, 将为油脂企业生产研发提供依据。

参考文献:

- [1] 张元贵, 韩伟. 食用油品质检测方法综述[J]. 现代食品, 2017(21): 28-30.
 - [2] 徐珊, 冷鹏辉, 曹竑. 煎炸食用油调查报告[J]. 食品安全导刊, 2018(9): 93.
 - [3] 陈宁, 陈文娜, 崔言峰, 等. 煎炸调和油的研究与开发[J]. 食品工业, 2017, 38(5): 65-68.
 - [4] KARAKAYA S, SIMSEK, SEBNEM. Changes in total polar compounds, peroxide value, total phenols and antioxidant activity of various oils used in deep fat frying[J]. JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society, 2011, 88(9): 1361-1366.
 - [5] ASHRAF G A, MOHAMMAD H H K, REZA F. Frying stability of canola oil in presence of pumpkin seed and olive oils[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2010, 112(8): 871-877.
 - [6] 章海风, 周晓燕, 李辉, 等. 3 种食用油在油条煎炸过程中的品质变化比较[J]. 食品科学, 2013, 34(22): 160-164.
 - [7] 方亚峰, 周婷, 陶丽媛, 等. 食用油在持续煎炸过程中品质的变化与评价[J]. 粮食与食品工业, 2016, 23(2): 32-34+39.
 - [8] 钟宏星, 张晶, 梁伟健, 等. 煎炸时间对不同食用油脂品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(12): 4694-4697.
 - [9] 刘麒薇, 李赛男, 白妍双, 等. 反复煎炸对 4 种食用植物油品质的影响[J]. 中国食品卫生杂志, 2014, 26(3): 274-277.
 - [10] 周盛敏, 李磊, 张余权. 油脂起泡机理及影响因素研究进展[J]. 粮食科技与经济, 2015, 40(2): 69-72.
 - [11] 许荣华, 闫喜霜, 姜慧, 等. 煎炸油泡高值的稳定性及与羰基价的关系[J]. 食品科学, 2008(7): 65-66.
 - [12] 张红升. HACCP 控制体系在餐饮业中的应用研究[D]. 天津商业大学, 2008.
 - [13] 张蕊, 祖丽亚, 樊铁. 食用植物油生产过程中 HACCP 的应用[J]. 粮油食品科技, 2005(3): 35-36.
 - [14] 刘素君, 任炳旭, 杨会军, 等. 4 种食用油煎炒过程中品质变化研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(10): 26-31.
 - [15] 陈玉, 赵菁, 姚行权, 等. 以稻米油为基油制备稻米调和油及其煎炸性能的研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(10): 12-16+31.
 - [16] 王莹辉. 米糠油的煎炸应用研究[D]. 河南工业大学, 2014.
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lspkj.ijournal.cn/ch/index.aspx>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。