

棕榈油和棉籽油硬脂在油条煎炸过程中的品质评价

张振霞

(内蒙古财经大学, 内蒙古 呼和浩特 010051)

摘要: 将棕榈油和棉籽油硬脂分别进行 32 h 的连续深度煎炸, 检测过程中的质量指标, 评价其煎炸特性。结果表明, 在 32 h 连续深度煎炸过程中, 随着煎炸时间的延长, 棕榈油颜色加深更明显, 其极性组分含量和酸价增加更多, 碘值更低, 两种油的过氧化值变化均不明显, 但所有指标均在国标规定范围内。两种煎炸油的饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)的含量均增加, 单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA)和多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)的含量减少, 棉籽油硬脂的 SFA 增加更多。两种煎炸油的反式脂肪酸(trans fatty acid, TFA)含量均随煎炸时间的延长而增加, 其中棕榈油的 TFA 含量增加更多。棉籽油硬脂作为煎炸油煎炸后的食品酸价、极性组分含量、TFA 含量更低, 颜色透亮, 煎炸寿命长, 稳定性好, 食用安全, 更符合现代消费者的消费观。

关键词: 棉籽油硬脂; 棕榈油; 煎炸特性; 品质; 脂肪酸

Quality Evaluation of Palm Oil and Cottonseed Oil Stearin in Frying Deep-Fried Dough Sticks

ZHANG Zhenxia

(Inner Mongolia University of Finance and Economics, Hohhot 010051, Inner Mongolia, China)

Abstract: Palm oil and cottonseed oil stearin were deep-fried continuously for 32 h, and their quality indexes were tested and their frying characteristics were evaluated. The results showed that during 32 h of continuous deep-frying, with the increase of frying time, the color of palm oil deepened more obviously, the polar component content and acid value increased more, the iodine value decreased, and the peroxide value did not change significantly, but all indexes were within the range specified in the national standard. The content of saturated fatty acid (SFA) increased in both kinds of frying oil, while the content of monounsaturated fatty acid (MUFA) and polyunsaturated fatty acid (PUFA) decreased, and the SFA in cottonseed oil stearin increased more. The content of trans fatty acid (TFA) in both kinds of frying oil increased with time, and the TFA of palm oil increased more. Cottonseed oil stearin had lower acid value, polar component content and TFA content after frying food, with bright color, long frying life, good stability, healthier eating, and more suitable for modern consumers' consumption concept.

Key words: cottonseed oil stearin; palm oil; frying characteristics; quality; fatty acid

引文格式:

张振霞. 棕榈油和棉籽油硬脂在油条煎炸过程中的品质评价[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(7): 55-60.

ZHANG Zhenxia. Quality Evaluation of Palm Oil and Cottonseed Oil Stearin in Frying Deep-Fried Dough Sticks[J]. Food Research and Development, 2024, 45(7): 55-60.

植物油拥有丰富的脂肪酸, 是人体所需的重要营养物质之一^[1]。常见的植物油主要有大豆油、棕榈油、棉籽油、菜籽油、花生油等, 每种油由于组成成分不同, 分别具备不同的性质, 从而可以满足不同人群的需求。

随着人们生活水平的提高, 对植物油的需求量日益增加^[2-3], 据统计, 我国每年消耗约 1 000 万 t 的食用油, 其中用于食品煎炸的食用油超过 330 万 t^[4]。煎炸可以使食物质地更加酥脆、颜色更加诱人, 因此煎炸食品

基金项目: 国家自然科学基金项目(22168011)

作者简介: 张振霞(1969—), 女(蒙古), 高级实验师, 硕士, 研究方向: 烹饪与营养教育、食品加工技术。

受到广大消费者的喜爱^[5-6]。但是在煎炸过程中会引发有害物质生成及营养流失等不良影响^[7]。煎炸油通过反复加热,会导致其产生热分解反应,产生更多的游离脂肪酸并加速生成醛、酮等氧化产物^[8-10],也会导致磷脂、生育酚等微量营养成分通过氧化、聚合等反应生成对人体有害的物质并经过热交换进入煎炸食物中^[11-13]。因此,科学地控制煎炸油的煎炸温度及时间对人体健康具有重要的作用。

本文采取棉籽油硬脂与棕榈油分别进行连续 32 h 的煎炸油条试验,并检测其过程中的质量指标,评价其煎炸特性,以期开发棉籽油硬脂作为专用煎炸油提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

棕榈油:石家庄市方顺粮油贸易有限公司;棉籽油硬脂:正定县宏升食品生产有限公司;异丙醇、三氯乙酸(均为分析纯):天津市鑫铂特化工有限公司;韦氏试剂(分析纯):上海阿拉丁生化科技股份有限公司;无水乙醇(分析纯):天津市致远化学试剂有限公司;氢氧化钾、氢氧化钠(均为分析纯):烟台远东精细化工有限公司;面粉(食品级):内蒙古恒丰食品工业(集团)股份有限公司;酵母、油条膨松剂(均为食品级):安琪酵母股份有限公司;白糖(食品级):东莞市东糖集团有限公司;食盐(食品级):内蒙古蒙盐盐业集团有限公司。

1.2 仪器与设备

MC-DZE1101 煎炸锅:广州市艾凯餐饮设备有限公司;LC-20AT 液相色谱仪、GC2010Pro 气相色谱仪:日本岛津公司;SQP 型电子天平:赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;WSL-2 罗维朋比色计:杭州大吉光电仪器有限公司;BCD-618WGHSEDBL 冰箱:青岛海尔股份有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 油条的制作和煎炸

将面粉、酵母、油条膨松剂、食盐、白糖按照 100:0.3:3:1.2:1(质量比)混合后加入 70% 的温水,然后揉至表面光滑,保鲜膜密封发酵 2 h。醒发完成后制成 10 cm 的坯条,拉长至 20 cm。

分别取 10 L 棉籽油硬脂和棕榈油加入两个煎炸锅中升温至 190~195 °C,将坯条放入煎炸锅中煎炸 50 s 炸至油条通体酥脆、体大皮薄,捞出控油 40 s,然后开始煎炸下个油条,在不添加新油的情况下连续煎炸 32 h。每隔 2 h 取一次油样,冷却到室温后放入取样瓶中,置于-20 °C 的冰箱中待检。

1.3.2 油炸过程中煎炸油理化指标分析

色泽测定参考 GB/T 22460—2008《动植物油脂 罗维朋色泽的测定》中的方法进行;过氧化值测定参考

GB 5009.227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》中的方法进行;碘值测定参考 GB/T 5532—2022《动植物油脂 碘值的测定》中的方法进行;酸价测定参考 GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》中的方法进行;极性组分含量测定参考 GB 5009.202—2016《食品安全国家标准 食用油中极性组分(PC)的测定》中的方法进行;脂肪酸组成测定参考 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》中的方法进行;反式脂肪酸测定参考 GB 5009.257—2016《食品安全国家标准 食品中反式脂肪酸的测定》中的方法进行。

1.4 数据处理

利用 Excel 软件进行数据整理,SPSS 20 进行相关性分析,采用 Origin 9.1 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 两种油煎炸前后色泽的变化

两种油煎炸前后色泽的变化见图 1~图 3。

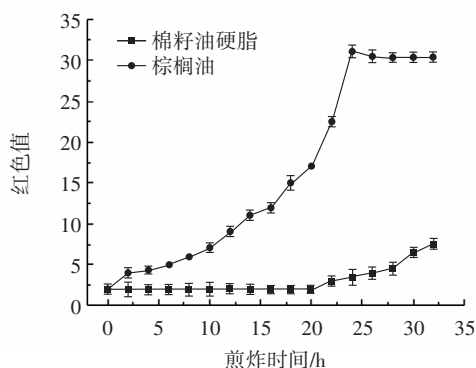


图 1 两种煎炸油色泽随煎炸时间的变化

Fig.1 Color changes of the two kinds of frying oil with frying time

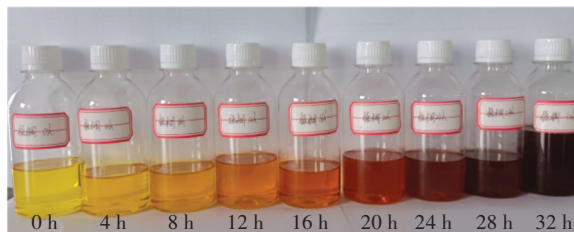


图 2 棕榈油煎炸 32 h 颜色变化

Fig.2 Color change of palm oil frying for 32 h

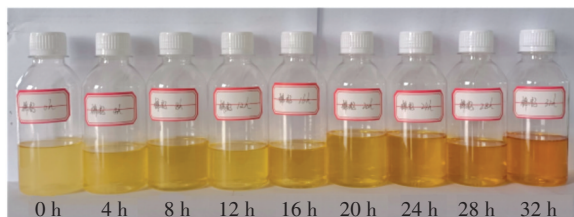


图 3 棉籽油硬脂煎炸 32 h 颜色变化

Fig.3 Color change of cottonseed oil stearin frying for 32 h

由图1和图2可知,棕榈油在32 h连续深度煎炸过程中,油脂色泽依次加深明显,由浅黄色变为深红色,红色值由2.0增加至30.4。棕榈油在煎炸初期无油烟产生,在煎炸16 h时开始出现油烟,之后随着煎炸时间的延长,油烟增多,煎炸结束时煎炸锅底存在一些黑色油渣。这可能是棕榈油在高温煎炸时,油脂与淀粉和糖类及氧气发生一系列反应,生成羰基化合物、醇等小分子化合物,导致棕榈油颜色加深,泡沫增多,产生油烟^[14-15]。

由图1和图3可知,棉籽油硬脂煎炸20 h以内红色值几乎不变,煎炸20~32 h时,红色值随煎炸时间的延长而增加,红色值最高,为7.5,煎炸32 h后未出现冒烟现象,油色澄清透明。相对于棕榈油,棉籽油硬脂煎炸过程中的颜色变化较小。

2.2 两种油煎炸前后酸价变化

两种油煎炸前后酸价变化见图4。

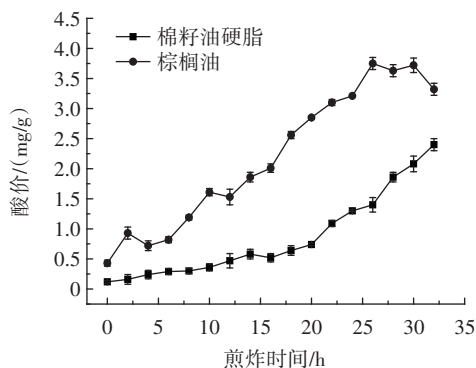


图4 两种煎炸油酸价随煎炸时间的变化

Fig.4 Changes of acid value of two kinds of frying oil with frying time

由图4可以看出,随着煎炸时间延长,煎炸后棕榈油和棉籽油硬脂的酸价整体升高。这可能是油脂在高温的条件下发生氧化分解生成醛、酮等物质,还可能水解成游离脂肪酸,从而使酸价增加^[16]。也有相关研究表明,油脂水解产生的游离脂肪酸对酸价的影响较小,主要原因为是不饱和脂肪酸的氧化^[17]。有报道称油脂在煎炸过程中酸价的上升程度与甘油三酸酯水解反应和热降解反应产生的游离脂肪酸含量有关^[7]。棕榈油煎炸前的酸价为0.43 mg/g,煎炸32 h时棕榈油的酸价为3.74 mg/g,棉籽油硬脂煎炸前的酸价为0.12 mg/g,煎炸32 h时棕榈油的酸价为2.40 mg/g,两种油煎炸32 h后酸价均小于GB 2716—2018《食品安全国家标准 植物油》中规定的酸价的限量标准(5 mg/g),其中棉籽油硬脂在煎炸过程中酸价的升高程度明显低于棕榈油。

2.3 两种油煎炸前后过氧化值变化

过氧化值是评价油脂和脂肪酸等被氧化程度的一个指标^[18]。两种油煎炸前后过氧化值变化见图5。

由图5可知,棕榈油煎炸前过氧化值为0.07 mg/kg,

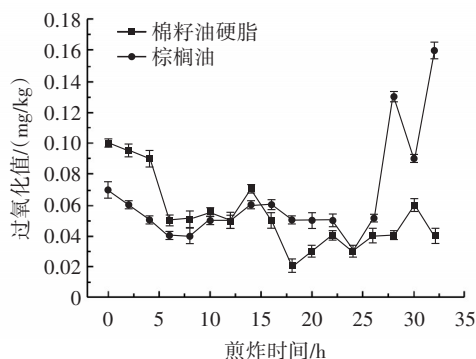


图5 两种煎炸油过氧化值随煎炸时间的变化

Fig.5 Changes of peroxide values of two kinds of frying oil with frying time

当煎炸32 h时,过氧化值为0.16 mg/kg,而棉籽油硬脂煎炸前过氧化值为0.10 mg/kg,煎炸32 h时,过氧化值为0.04 mg/kg。过氧化值在整个煎炸过程中变化不明显,主要是因为煎炸过程中产生的氢过氧化物不稳定,当其产生的速度低于其分解为醛、酮等小分子物质的速度时,会导致过氧化值降低,反之,则升高。

2.4 两种油煎炸前后碘值变化

两种油煎炸前后碘值变化见图6。

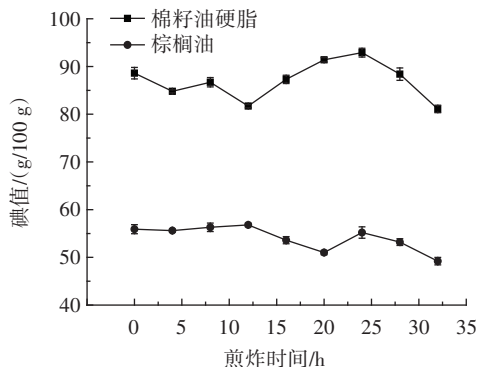


图6 两种煎炸油碘值随煎炸时间的变化

Fig.6 Changes of iodine values of the two kinds of frying oil with frying time

由图6可知,在整个煎炸过程中,随着煎炸时间的延长,两种油的碘值整体呈下降趋势。主要原因是煎炸油在氧气和加热的影响下,其不饱和键会发生氧化、聚合和分解等一系列反应,使其双键数目减少^[19],从而导致碘值降低。而棉籽油硬脂的不饱和度远低于棕榈油,因此棕榈油更加稳定,碘值变化较小。

2.5 两种油煎炸前后极性组分含量变化

在煎炸过程中,油脂在高温和氧气的作用下,发生氧化、聚合、分解反应,从而产生一些游离脂肪酸,含有酮、羟基的甘油三酯、甘油酯等成分^[20-21],这些组分的产生会导致极性化合物的增加^[22]。两种油煎炸前后极性组分含量变化见图7。

由图7可知,连续煎炸32 h时,棉籽油硬脂的极

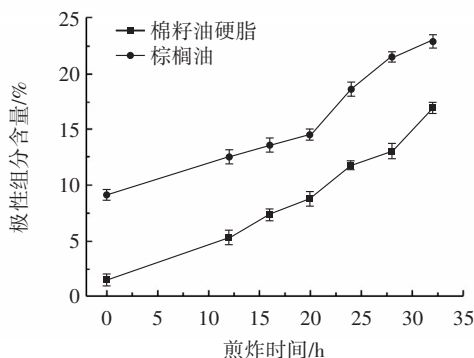


图7 两种煎炸油极性组分含量随煎炸时间的变化

Fig.7 Changes of polar component content of the two kinds of frying oil with frying time

性组分含量由 1.5% 增大至 17.0%;棕榈油的极性组分含量由 9.2% 增加至 23.0%,两种油煎炸 32 h 后均低于 GB 2716—2018《食品安全国家标准 植物油》中所规定的限量(27%),但棉籽油硬脂的极性组分含量更低。棕榈油极性组分含量初始值远高于棉籽油硬脂,可能是由于棕榈油中谷维素和甾醇含量较高,或者是棕榈油的精炼程度较低^[23]。

2.6 相关性分析结果

两种油的极性组分含量与煎炸时间的相关性分析结果见表 1。

表 1 两种油的极性组分含量与煎炸时间的相关性分析

Table 1 Correlation analysis of polar component content and frying time of two kinds of oil

指标	棉籽油硬脂极性组分含量	棕榈油极性组分含量
煎炸时间	0.982**	0.963**

注:**表示在 0.01 水平显著相关。

由表 1 可知,两种油的极性组分含量与煎炸时间呈极显著正相关,相关系数分别为 0.982、0.963($p<0.01$)。

2.7 两种油煎炸前后脂肪酸含量变化

煎炸油中脂肪酸组成是判断其品质的重要指标^[24]。油脂组分的水解、氧化、聚合反应共同影响其分解速度,不同的油脂由于组成不同其反应程度和速度有所区别,但大多均与煎炸过程中的煎炸时间、温度及食品的种类有关。油脂的不饱和程度越高其脂肪酸的反应速度越快,而其氧化破坏的速度与脂肪分解双键的分布和位置也具有相关性^[19]。两种油煎炸前后脂肪酸含量变化见表 2。

由表 2 可以看出,与煎炸前两种油的脂肪酸组成相比,经过 32 h 连续煎炸后,2 种煎炸油的 SFA (C12:0、C14:0、C16:0、C18:0、C20:0)的含量均增加,PUFA (C18:2)和 MUFA (C16:1、C18:1)的含量均减少。这是由于在高温条件下,不饱和双键发生热氧化反应,PUFA 的部分双键被氧化形成饱和结构^[25],而

表 2 两种煎炸油煎炸 32 h 前后脂肪酸含量变化

Table 2 Changes in fatty acid contents of two kinds of frying oil before and after frying for 32 h

脂肪酸组成	棉籽油硬脂		棕榈油	
	0 h	32 h	0 h	32 h
月桂酸 C12:0	0.00	0.00	0.48	0.42
肉豆蔻酸 C14:0	0.60	0.62	1.12	1.09
棕榈酸 C16:0	41.20	43.80	39.20	41.30
棕榈油酸 C16:1	0.34	0.32	0.18	0.17
硬脂酸 C18:0	1.77	1.90	4.09	4.43
油酸 C18:1	11.50	11.42	41.70	40.40
亚油酸 C18:2	41.30	38.40	10.90	7.80
花生酸 C20:0	0.16	0.18	0.38	0.41
SFA	43.73	46.50	45.27	47.65
MUFA	11.84	11.74	41.88	40.57
PUFA	41.30	38.40	10.90	7.80
总脂肪酸	96.87	96.95	98.05	96.02

注:SFA 为饱和脂肪酸(saturated fatty acid);PUFA 为多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid);MUFA 为单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid)。

MUFA 也因为氧化降解后碳链变短,生成 C14:0 和 C16:0。煎炸油中亚油酸的损失,表明煎炸过程中的氧化降解导致形成二次氧化产物和极性化合物^[26]。由于棉籽油硬脂含有的不饱和脂肪酸含量较高,因此煎炸 32 h 后棉籽油硬脂的饱和脂肪酸增加得更多。

2.8 两种油煎炸前后反式脂肪酸(trans fatty acids, TFA)含量变化

两种油煎炸前后 TFA 含量变化见表 3。

表 3 两种煎炸油煎炸前后 TFA 含量变化

Table 3 Changes of TFA content before and after frying of two kinds of frying oil

煎炸油种类	反式脂肪酸种类	g/100 g				
		0 h	16 h	24 h	30 h	32 h
棕榈油	反油酸 t18:1	0.055	0.161	0.245	0.359	0.429
	反亚油酸 t18:2	0.257	0.275	0.296	0.348	0.357
	反亚麻酸 t18:3	0.427	0.438	0.443	0.450	0.455
	TFA	0.739	0.874	0.984	1.157	1.241
	反油酸 t18:1	0.192	0.125	0.110	0.106	0.103
棉籽油硬脂	反亚油酸 t18:2	0.107	0.234	0.308	0.402	0.433
	反亚麻酸 t18:3	0.170	0.179	0.184	0.188	0.190
	TFA	0.469	0.538	0.602	0.696	0.726

由表 3 可知,煎炸前棕榈油 TFA 含量较棉籽油硬脂高 0.270 g/100 g,两种煎炸油的 TFA 含量均随着煎炸时间的延长而增加,煎炸 32 h 后棕榈油中的 TFA 增加 0.502 g/100 g,棉籽油硬脂增加 0.257 g/100 g,棕榈油的 TFA 增加更多,因此棉籽油硬脂作为煎炸油煎炸食品后产生的 TFA 含量更少,食用安全,更符合现代

消费者的消费观。

3 结论

在 32 h 连续深度煎炸过程中,随着煎炸时间的延长,棕榈油颜色加深更明显,酸价和极性组分含量增加更多,碘值更低,过氧化值变化均不明显,但所有指标均在国标规定范围内。32 h 连续煎炸后,两种煎炸油的 SFA 含量均增加,PUFA 和 MUFA 的含量减少,由于棉籽油硬脂中不饱和脂肪酸含量更高,因此棉籽油硬脂的 SFA 增加得更多。两种煎炸油的 TFA 含量均随煎炸时间的延长而增加,其中棕榈油的 TFA 含量更多。综上,棉籽油硬脂作为煎炸油煎炸后的食品酸价、极性组分含量、TFA 含量更低,颜色透亮,煎炸寿命长,稳定性好,食用安全,更符合现代消费者的消费观。

参考文献:

- [1] 许泽群, 张乐, 杨静媚, 等. 食用油煎炸过程特征指标的相关性分析[J]. 粮油食品科技, 2020, 28(5): 131-137.
XU Zequn, ZHANG Le, YANG Jingmei, et al. Correlation analysis of the characteristic indices of edible oil during fry process[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2020, 28(5): 131-137.
- [2] 张聪, 陈德慰. 油炸食品风味研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(10): 3085-3091.
ZHANG Cong, CHEN Dewei. Advance in flavor study of the deep-fried food[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2014, 5(10): 3085-3091.
- [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.
CHEN Ning, CHEN Wenna, CUI Yanfeng, et al. The research and development of blend oil for frying[J]. The Food Industry, 2017, 38(5): 65-68.
- [4] 厉玉婷, 于艳艳, 杨振东, 等. 食用植物油煎炸过程中的品质变化[J]. 中国油脂, 2022, 47(2): 47-50.
LI Yuting, YU Yanyan, YANG Zhendong, et al. Quality changes of edible vegetable oils during frying[J]. China Oils and Fats, 2022, 47(2): 47-50.
- [5] 周能, 梁丽秀. 高温反复煎炸对油脂脂肪酸的影响[J]. 玉林师范学院学报, 2018, 39(5): 41-46.
ZHOU Neng, LIANG Lixiu. Effects of repeated frying at high temperature on fatty acids in oils and fats[J]. Journal of Yulin Normal University, 2018, 39(5): 41-46.
- [6] 徐立荣. 食品煎炸过程最佳风味区间的定义、表征及影响因素[D]. 无锡: 江南大学, 2021.
XU Lirong. Definition, characterization and influence of the optimal flavor range in food frying process[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.
- [7] 张家枫, 刘玉兰, 安柯静, 等. 煎炸不同食材的花生油中极性组分与氧化甘三酯聚合物含量的相关性研究[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(7): 79-84.
ZHANG Jiafeng, LIU Yulan, AN Kejing, et al. Study on the correlation between the contents of polar components and oxidized triglyceride polymer in peanut oil frying different ingredients[J]. Cereals & Oils, 2019, 32(7): 79-84.
- [8] AKIL E, CASTELO-BRANCO V N, COSTA A M M, et al. Oxida-

- tive stability and changes in chemical composition of extra virgin olive oils after short-term deep-frying of French fries[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2015, 92(3): 409-421.
- [9] ENDO Y, HAYASHI C, YAMANAKA T, et al. Linolenic acid as the main source of acrolein formed during heating of vegetable oils[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2013, 90(7): 959-964.
 - [10] SENGUPTA S, BHATTACHARYA D K, BHOWAL J. Improved quality attributes in soy yogurts prepared from DAG enriched edible oils and edible deoiled soy flour[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2018, 120(8): 1800033.
 - [11] LIU N, LI N, FAIZA M, et al. Stability and *in vitro* digestion of high purity diacylglycerol oil-in-water emulsions[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 148: 111744.
 - [12] NG S P, KHOR Y P, LIM H K, et al. Fabrication of concentrated palm olein-based diacylglycerol oil-soybean oil blend oil-in-water emulsion: In-depth study of the rheological properties and storage stability[J]. Foods, 2020, 9(7): 877.
 - [13] LIU N, CUI J J, LI G H, et al. The application of high purity diacylglycerol oil in whipped cream: Effect on the emulsion properties and whipping characteristics[J]. CyTA-Journal of Food, 2019, 17(1): 60-68.
 - [14] WANG B W, ZHANG M G, GE W H, et al. Microencapsulated duck oil diacylglycerol: Preparation and application as anti-obesity agent[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 101: 646-652.
 - [15] 马玉婷, 侯利霞, 刘玉兰, 等. 玉米油在油条煎炸过程中的品质变化[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 16-19.
MA Yuting, HOU Lixia, LIU Yulan, et al. Quality changes of corn oil during frying dough sticks[J]. Food & Machinery, 2016, 32(2): 16-19.
 - [16] 吴晓华, 刘玉兰, 黄勤生, 等. 棉籽油在油条煎炸过程中的品质变化研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2014, 35(3): 17-20.
WU Xiaohua, LIU Yulan, HUANG Qinsheng, et al. Study on quality changes of cottonseed oil in frying process of fried dough sticks[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2014, 35(3): 17-20.
 - [17] 李东锐, 毕艳兰, 肖新生, 等. 食用油煎炸过程中的品质变化研究[J]. 中国油脂, 2006, 31(6): 34-36.
LI Dongrui, BI Yanlan, XIAO Xinsheng, et al. Research on the change of edible oil quality during frying process[J]. China Oils and Fats, 2006, 31(6): 34-36.
 - [18] 郭旭, 张东, 孙晓丽, 等. 焙炒对紫苏籽油理化性质及化学组成的影响[J]. 中国油脂, 2022, 47(8): 71-76.
GUO Xu, ZHANG Dong, SUN Xiaoli, et al. Effect of roasting on physicochemical properties and chemical composition of perilla seed oil[J]. China Oils and Fats, 2022, 47(8): 71-76.
 - [19] 孙玉萍, 刘启东, 杨亚, 等. 大豆油和棕榈油煎炸薯条过程品质评价[J]. 中国油脂, 2023, 48(3): 18-24, 39.
SUN Yuping, LIU Qidong, YANG Ya, et al. Quality evaluation of soybean oil and palm oil during frying French fries[J]. China Oils and Fats, 2023, 48(3): 18-24, 39.
 - [20] BOU R, NAVAS J A, TRES A, et al. Quality assessment of frying fats and fried snacks during continuous deep-fat frying at different large-scale producers[J]. Food Control, 2012, 27(1): 254-267.
 - [21] ALADEDUNYE F A, PRZYBYLSKI R. Degradation and nutritional quality changes of oil during frying[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2009, 86(2): 149-156.
 - [22] ZHANG Q, QIN W, LI M L, et al. Application of chromatographic techniques in the detection and identification of constituents

- formed during food frying: A review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2015, 14(5): 601-633.
- [23] 魏学鼎, 陈玉, 高盼, 等. 稻米油与其他4种常见煎炸油的煎炸性能比较[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(12): 50-55, 65.
- WEI Xueding, CHEN Yu, GAO Pan, et al. Comparison of frying performance between rice oil and other four common frying oils[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(12): 50-55, 65.
- [24] CHUNG J, LEE Y, CHOE E. Effects of sesame oil addition to soybean oil during frying on the lipid oxidative stability and antioxidants contents of the fried products during storage in the dark[J]. Journal of Food Science, 2006, 71(3): C222-C226.
- [25] 黄朦倩, 陈欢, 万重, 等. 大豆油煎炸过程极性组分和非极性组分中脂肪酸组成的研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(9): 23-29.
- HUANG Mengqian, CHEN Huan, WAN Chong, et al. Fatty acid composition in polar and non-polar fractions of soybean oil during frying[J]. China Oils and Fats, 2018, 43(9): 23-29.
- [26] 马风兰, 陈琦, 张兰, 等. 深海鱼油调和油煎炸食物时脂肪酸和相关理化参数的动态变化[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2012, 38(5): 614-622.
- MA Fenglan, CHEN Qi, ZHANG Lan, et al. Dynamic changes of fatty acids and related physical & chemical parameters during deep frying in fish oil supplemented blend oil[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences), 2012, 38(5): 614-622.

加工编辑:张昱
收稿日期:2023-09-01