

不同煎炸食材对高油酸菜籽油煎炸稳定性的影响

王星晔^{1,2}, 高盼^{1,2,3}, 王澍^{3,4}, 刘家伟¹, 胡传荣¹, 何东平^{1,3}

(1. 武汉轻工大学食品科学与工程学院, 武汉 430023; 2. 大宗粮油精深加工教育部重点实验室, 武汉 430023;
3. 国家市场监督管理总局重点实验室(食用油质量与安全), 武汉 430012; 4. 武汉食品化妆品检验所, 武汉 430012)

摘要:为研究高油酸菜籽油作为煎炸油的潜力,使用高油酸菜籽油煎炸土豆、鸡柳和豆腐3种不同食材18 h,分析煎炸过程中油样的总极性组分含量、酸值、过氧化值、碘值和脂肪酸组成的变化,并对煎炸食品进行了吸油率测定和感官评价,研究煎炸食材对高油酸菜籽油煎炸稳定性的影响。结果表明:3种食材对高油酸菜籽油总极性组分含量、酸值、过氧化值和碘值影响大小顺序均为土豆>鸡柳>豆腐;煎炸18 h时,3组高油酸菜籽油的单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA)含量降低,而饱和脂肪酸(SFA)含量增加,其中煎炸土豆的高油酸菜籽油PUFA含量降幅最大,煎炸鸡柳的高油酸菜籽SFA含量增幅最大;煎炸3 h,3种食材感官评分分别达到了9.32、9.24分和9.12分,之后随着煎炸时间的延长感官评分降低,但豆腐的降幅最小。综上,结合豆腐水分含量高的特性,推测高油酸菜籽油更适合用于高水分含量食材的煎炸,且最佳煎炸时间应控制在3 h之内。

关键词:高油酸菜籽油;极性组分;煎炸稳定性;煎炸食材

中图分类号:TS225.14;TS225.6 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2022)05-0082-06

Effect of different foodstuffs on the frying stability of high oleic rapeseed oil

WANG Xingye^{1,2}, GAO Pan^{1,2,3}, WANG Shu^{3,4}, LIU Jiawei¹,
HU Chuanrong¹, HE Dongping^{1,3}

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;
2. Key Laboratory for Deep Processing of Major Grain and Oil of Ministry of Education, Wuhan 430023,
China; 3. Key Laboratory of Edible Oil Quality and Safety for State Market Regulation, Wuhan
430012, China; 4. Wuhan Institute for Food and Cosmetic Control, Wuhan 430012, China)

Abstract: Three different foodstuffs, potato, chicken fillet and tofu, were fried in high oleic rapeseed oil, and the changes of total polar component content, acid value, peroxide value, iodine value and fatty acid composition of the oil samples during frying were determined and analyzed, and the oil absorption rate and the sensory evaluation of the fried food were performed to study the effect of frying foodstuffs on the frying stability of high oleic rapeseed oil. The results showed that the three foodstuffs affected the total polar component content, acid value, peroxide value and iodine value of the high oleic rapeseed oil, and their significance decreased in the order of potato, chicken fillet and tofu; the monounsaturated fatty acid (MUFA) and polyunsaturated fatty acid (PUFA) contents of the three groups of high oleic rapeseed oil

decreased after frying for 18 h, with the largest decrease of PUFA content in potato high oleic rapeseed oil, and the saturated fatty acid content increased, with the largest increase in chicken fillet high oleic rapeseed oil. The sensory evaluation showed that the sensory scores of the

收稿日期:2021-10-28;修回日期:2022-03-01

基金项目:大宗粮油精深加工教育部重点实验室开放课题(DZLY202101)

作者简介:王星晔(1998),男,硕士研究生,研究方向为粮食、油脂及植物蛋白(E-mail)2966448185@qq.com。

通信作者:高盼,讲师,博士(E-mail)gaopan925@163.com。

three foodstuffs reached 9.32, 9.24 and 9.12 respectively when frying for 3 h, after that the sensory scores decreased as the frying time increased, but tofu showed the smallest decrease. In summary, combined with the characteristics of high moisture content of tofu, it is assumed that high oleic rapeseed oil is more suitable for frying foodstuffs with high moisture content, and the optimum frying time should be within 3 h.

Key words: high oleic rapeseed oil; polar component; frying stability; foodstuffs

油脂在煎炸过程中发生一系列的复杂化学反应,如高温氧化、聚合、水解、焦化和美拉德反应^[1-2],会产生醛、酸、酮、醇等小分子物质和反式脂肪酸、甘油三酯聚合物、丙烯酰胺等大分子物质^[3-4],造成油脂营养物质减少,品质降低,并对人体健康造成损害。高油酸菜籽油是指油酸含量大于72%的菜籽油^[5],由于油酸的烯丙基双键具有较低的反应活性,使其具有极佳的氧化稳定性^[6-7]。

不同食材由于成分的不同会影响食用油在煎炸过程中的稳定性^[8]。目前最常见的煎炸食材有土豆、豆腐、鸡块、鸡柳等,其中土豆是高淀粉含量类食材,豆腐水分含量高,鸡肉是肉类高蛋白类食材。不同的食材对食用油煎炸稳定性的影响一直受到研究者的关注,如:王莹辉等^[9]通过研究在米糠油中间歇性煎炸鸡翅、豆腐和油条,发现不同食材对米糠油酸值、碳基值、脂肪酸组成等指标影响较大;郝乾有等^[10]在玉米油中煎炸不同水分含量的豆腐(豆腐皮、老豆腐、水豆腐),得出玉米油维生素E含量与食材水分含量有关;刘玉兰等^[11]通过检测花生油煎炸过程中3-氯丙醇酯和缩水甘油酯含量,探究了不同煎炸食材对花生油品质的影响。但以高油酸菜籽油为煎炸油,对不同食材下其稳定性变化的相关研究较少。基于此,本文在控制煎炸条件(温度、时间)相同的情况下,选用上述3种代表性食材肉类蛋白类(鸡柳)、淀粉类(土豆)、高水分含量类(豆腐)在180℃的高油酸菜籽油中进行煎炸实验,在不同的煎炸时间抽取油样检测质量指标(总极性组分(TPC)含量、酸值、碘值、过氧化值)和脂肪酸组成,结合感官分析,探究煎炸过程中高油酸菜籽油的品质变化,考察其作为煎炸油的潜力,并填补高油酸菜籽油作为煎炸油在煎炸食材选择方面的空白。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

精炼高油酸菜籽油,成都新兴粮油有限公司提供;新鲜土豆、新鲜豆腐、冷冻鸡柳,当地超市购

买;三氯甲烷,色谱纯;乙醚、95%乙醇、无水硫酸钠、甲醇、冰乙酸、正己烷、硫代硫酸钠、酚酞、碘化钾、氢氧化钾、氢氧化钠、可溶性淀粉等,分析纯。

1.1.2 仪器与设备

RE-2000A 2 L型旋转蒸发仪,河南华丰仪器有限公司;GC-9870型气相色谱仪,山东鲁创分析仪器有限公司;普利赛斯321LS分析电子天平,上海科技有限公司;W2L系列恒温水浴槽,杭州瑞诚仪器有限公司;YZ-25DB型超声波清洗机,上海数控仪器有限公司;CSY-SDC油脂极性组分测试仪,深圳市分析仪器制造有限公司;YXD-12型商用电炸锅,宁波市环亚太电器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 鸡柳煎炸方法

称取适量冷冻鸡柳,在阴凉干燥处解冻30 min。电炸锅中加入1.0 kg高油酸菜籽油,加热升温至(180±5)℃,加入50 g解冻后的鸡柳,煎炸30 s后捞出。每隔15 min进行1次煎炸,煎炸过程中每隔3 h取油样测定酸值、过氧化值、碘值,每隔1 h取油样测定总极性组分含量。

1.2.2 土豆煎炸方法

土豆清洗干净,去皮,切成薄厚相同、大小相等(约10 cm×5 cm×1 cm)的土豆条,清水中浸泡30 min,捞出用厨房用纸吸干表面水分,再采用1.2.1相同方法煎炸并测定相关指标。

1.2.3 豆腐煎炸方法

豆腐经过清水清洗,盐水浸泡30 min后再切成薄厚一致、大小相等的豆腐块(约5 cm×5 cm×5 cm)。电炸锅中加入1.0 kg高油酸菜籽油,加热升温至(180±5)℃,加入50 g豆腐块,煎炸3 min后(豆腐表皮金黄,浮出油面)捞出。每隔15 min进行1次煎炸实验,每隔3 h取油样测定酸值、过氧化值、碘值,每隔1 h取油样测定总极性组分含量。

1.2.4 煎炸油相关指标的检测

酸值参照GB 5009.229—2016第一法冷溶剂指示剂滴定法进行测定;过氧化值参照GB 5009.227—2016第一法滴定法进行测定;TPC含

量参照 GB 5009.202—2016 第一法制备型快速柱层析法进行测定;碘值参照 GB/T 5532—2008 进行测定。

脂肪酸组成参照 GB 5009.168—2016 进行测定并略作修改。气相色谱条件为: TG-5SILMS 色谱柱(30 m × 0.32 mm × 0.25 μm);采用程序升温,60 °C 保持 3 min,以 5 °C/min 升温至 175 °C,保持 15 min,以 2.5 °C/min 升温至 220 °C,保持 15 min;进样口温度 200 °C;氢火焰离子化检测器温度 230 °C;分流比 20:1;柱流量 1 mL/min。

1.2.5 吸油率的测定

取煎炸 3、6、9、12、15、18 h 的样品于 250 mL 具塞锥形瓶中,加入正己烷没过食材,超声波辅助浸泡 5 h,溶液旋蒸回收溶剂,即为食材中的油脂。按下式测定食材的吸油率(x)。

$$x = \frac{m}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: m 为煎炸食品中的含油量; m_0 为煎炸食品的质量。

1.2.6 感官评价

参照 Esra 等^[12]的方法,建立感官评价体系,具体如下:将产品的形态、色泽、气味和总体可接受度作为评定指标,每项指标按照 1~10 分划分。10 位经过专业培训的品评人员通过双盲法(对样品进行随机编号,按随机顺序检验实验样品)按照“优(7~10)、中(4~6)、差(0~3)”3 个等级对样品进行感官评分,煎炸食品的感官评价标准见表 1。

表 1 煎炸食品的感官评价标准

项目	标准	感官评分	权重
形态	整体形态完整,表面均匀	7~10	0.25
	表面有塌陷或发胀	4~6	
	形状不完整	0~3	
色泽	表面呈金黄色有光泽,无焦黑	7~10	0.25
	表面呈淡黄或深黄色,无焦黑	4~6	
	表面呈焦黑色	0~3	
气味	有浓郁的油香味	7~10	0.25
	有淡淡的油香味	4~6	
	有难闻的过油炸味	0~3	
总体可接受度	喜欢,味道受欢迎	7~10	0.25
	一般,味道可以接受	4~6	
	讨厌,味道不可接受	0~3	

1.2.7 数据处理

所有数据经过 3 次重复检测取平均值,利用

Excel 2015 和 SPSS 18.0 进行处理分析,应用 Origin 9.5 软件作图。

2 结果与讨论

2.1 煎炸油质量指标的变化

2.1.1 总极性组分(TPC)含量的变化

连续煎炸豆腐、鸡柳与土豆过程中高油酸菜籽油 TPC 含量的变化如图 1 所示。

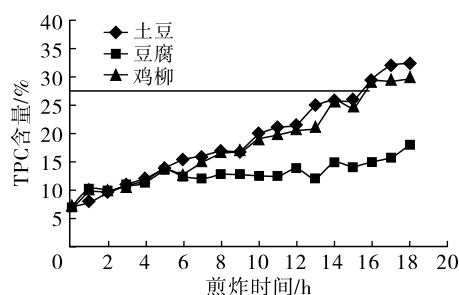


图 1 高油酸菜籽油在不同食材的煎炸过程中 TPC 含量的变化

由图 1 可看出,煎炸不同食材高油酸菜籽油的 TPC 含量随煎炸时间的延长而增加。0~5 h,3 组高油酸菜籽油 TPC 含量增幅相差不大,增幅分别为 6.8 百分点(豆腐)、7 百分点(鸡柳)、7 百分点(土豆)。煎炸超过 5 h 后,煎炸土豆与鸡柳的高油酸菜籽油 TPC 含量快速增加,而煎炸豆腐的高油酸菜籽油 TPC 含量增加较慢,煎炸至 18 h 时,煎炸土豆、鸡柳和豆腐高油酸菜籽油 TPC 含量分别为 32.5%、30.0% 和 18.0%,较初始的 TPC 含量(7.0%)分别增加 25.5、23.0、11.0 百分点,TPC 含量增幅大小排序为煎炸土豆油样 > 煎炸鸡柳油样 > 煎炸豆腐油样。另外,根据 GB 2716—2008,煎炸土豆与鸡柳的高油酸菜籽油达到煎炸废弃点(TPC 含量 27.0%)的时间分别为 15.5、15.6 h,而煎炸豆腐的高油酸菜籽油,在煎炸 15.6 h 时 TPC 含量为 14.6%,煎炸 18 h 时 TPC 含量仍远低于煎炸废弃点。由此可看出,在整个煎炸过程中,相较于土豆和鸡柳,高油酸菜籽油在煎炸豆腐过程中 TPC 含量的增长速率最慢,由 0~5 h 的每小时 1.36 百分点降至 5~18 h 的每小时 0.32 百分点,推测可能与豆腐的特性相关,豆腐水分含量最高,前 5 h 内水分大量逸出参与反应,反应速度快,5 h 后水分全部蒸发,反应速度放缓,这佐证并补充了 Li 等^[13]的观点。

2.1.2 酸值的变化

连续煎炸豆腐、鸡柳与土豆过程中高油酸菜籽油酸值的变化如图 2 所示。

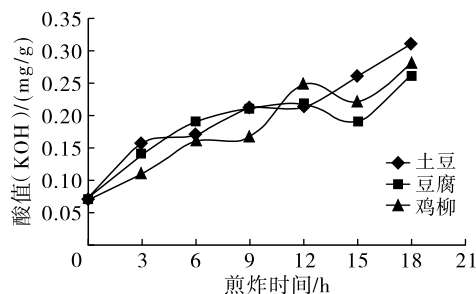


图2 高油酸菜籽油在不同食材的煎炸过程中酸值的变化

由图2可以看出,3组高油酸菜籽油的酸值随着煎炸时间的延长而增大,煎炸至18 h时,煎炸土豆的高油酸菜籽油酸值(KOH)最大,为0.31 mg/g,其次为煎炸鸡柳的高油酸菜籽油,酸值(KOH)为0.28 mg/g,煎炸豆腐的高油酸菜籽油酸值(KOH)最低,为0.26 mg/g,均低于GB 2716—2018中规定的酸值(KOH)小于或等于5 mg/g的标准。经过18 h的煎炸,3组高油酸菜籽油的酸值(KOH)增幅分别为0.24 mg/g(土豆)、0.19 mg/g(豆腐)和0.21 mg/g(鸡柳)。煎炸鸡柳的高油酸菜籽油在煎炸9~12 h其酸值(KOH)增幅为0.082 mg/g,同时期煎炸土豆和豆腐高油酸菜籽油酸值增幅(KOH)分别为0.002、0.007 mg/g,煎炸鸡柳组的酸值增长速率远大于其余两组。这可能是由于鸡肉中部分纤维在高温下被分解破坏,鸡肉纤维中的脂肪流入煎炸油中致使其游离脂肪酸含量相对增加^[14]。

2.1.3 过氧化值的变化

连续煎炸豆腐、鸡柳与土豆过程中高油酸菜籽油过氧化值的变化如图3所示。

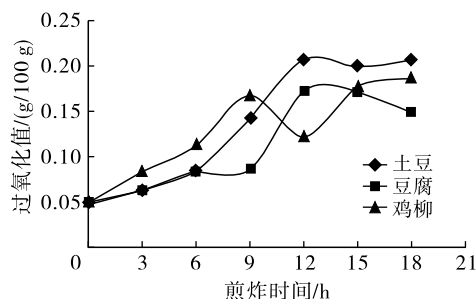


图3 高油酸菜籽油在不同食材的煎炸过程中过氧化值的变化

由图3可看出,3组高油酸菜籽油的过氧化值总体上均随煎炸时间的延长而增大,煎炸至18 h时,煎炸土豆、豆腐和鸡柳的高油酸菜籽油的过氧化值分别由初始的0.050 g/100 g增长至0.205、0.148 g/100 g和0.186 g/100 g,均未超过GB 2716—2018的标准(≤ 0.25 g/100 g),增幅大小排序为煎炸土豆油样>煎炸鸡柳油样>煎炸豆腐油样。此外,在

9~12 h期间,煎炸鸡柳的高油酸菜籽油的过氧化值最先呈现下降趋势,由0.166 g/100 g降至0.121 g/100 g,可能是由于鸡柳中的脂肪流出导致高油酸菜籽油中游离脂肪酸含量升高,比其他两组先进入深度氧化阶段^[15],该阶段氢过氧化物在高温下会进一步分解和聚合,导致煎炸鸡柳组的过氧化值先出现下降趋势。

2.1.4 碘值的变化

连续煎炸豆腐、鸡柳与土豆过程中高油酸菜籽油碘值的变化如图4所示。

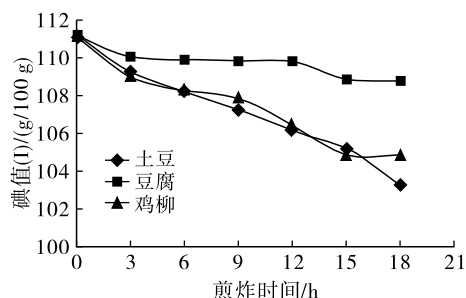


图4 高油酸菜籽油在不同食材的煎炸过程中碘值的变化

油脂在煎炸过程中会与空气中的氧气和食材中的水分发生一系列氧化和水解反应,其碘值也会随着不饱和脂肪酸中的双键断裂而减少^[16]。由图4可看出:经过18 h的煎炸,3组高油酸菜籽油的碘值出现了不同程度的降低,其中以煎炸土豆的油样降低最明显,其碘值(I)降至103.29 g/100 g,降幅为7.80 g/100 g,煎炸鸡柳的油样次之,碘值(I)从初始的111.09 g/100 g降至104.88 g/100 g,降幅6.21 g/100 g,煎炸豆腐的油样碘值(I)降幅最小,煎炸18 h仅下降了2.32 g/100 g。可见,高油酸菜籽油在煎炸豆腐过程中的碘值下降最慢,煎炸豆腐能延长高油酸菜籽油的煎炸时间。

2.2 煎炸油脂脂肪酸组成的变化

连续煎炸不同食材18 h后,高油酸菜籽油中脂肪酸组成及含量变化如表2所示。

表2 煎炸不同食材的高油酸菜籽油的

脂肪酸	脂肪酸组成及含量				/%
	初始煎炸油	土豆组煎炸油	豆腐组煎炸油	鸡柳组煎炸油	
SFA	2.11	7.52	7.69	8.04	
MUFA	73.43	67.95	64.96	66.54	
PUFA	25.56	24.49	25.25	25.23	

注:SFA.饱和脂肪酸;MUFA.单不饱和脂肪酸;PUFA.多不饱和脂肪酸。

由表2可看出:经过18 h连续煎炸,3组高油酸菜籽油的PUFA含量均出现了不同程度的降低,其中土豆组的PUFA含量由初始的25.56%降至24.49%,豆腐组则降至25.25%,鸡柳组降至25.23%。在深度煎炸中,PUFA在高温及接触氧气的情况下容易发生异构化和氧化裂解反应^[17],致使其含量不断减少。3组高油酸菜籽油的MUFA含量分别由初始的73.43%降至67.95%(土豆)、64.96%(豆腐)和66.54%(鸡柳),SFA含量由初始的2.11%增加至7.52%(土豆)、7.69%(豆腐)和8.04%(鸡柳)。

2.3 煎炸食材的感官评价

高油酸菜籽油连续煎炸豆腐、鸡柳与土豆过程中,不同食材的吸油率变化如图5所示。3种食材在高油酸菜籽油连续煎炸18 h后的感官评价如表3所示。

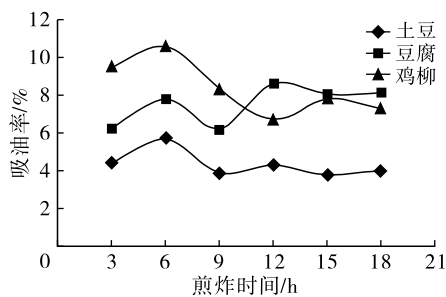


图5 连续煎炸过程中不同食材吸油率的变化

由图5可看出,豆腐的吸油率总体上随着煎炸时间的延长呈上升趋势,由煎炸3 h的6.2%升至煎炸18 h的8.1%,升幅为1.9个百分点。这主要是因为豆腐疏松多孔的结构,且煎炸过程中大量水蒸气从孔洞中逸出,油脂不断进入造成了吸油率随煎炸时间延长而升高。鸡柳与土豆的吸油率随煎炸时间延长呈下降趋势,吸油率分别由煎炸3 h的9.5%和4.4%降低至煎炸18 h的7.3%和4.0%,相比于土豆,鸡柳的吸油率下降趋势更明显,这可能是由于煎炸过程中,鸡柳在高油酸菜籽油中同时进行着传质与传热,煎炸初期,高温促进传质,随着煎炸时间的延长,鸡柳中的水分蒸发致使鸡柳内部毛细孔与气孔扩大,蒸发出的水分在鸡柳的表面形成蒸汽,抑制了鸡柳对油脂的吸收^[18]。本实验不同煎炸时间的吸油率均低于健康油条含油率小于或等于15%的适宜值^[19],这对于消费者在摄入煎炸食品时减少油脂摄入量是有利的。

表3 高油酸菜籽油煎炸食品的感官评价

煎炸时间/h	感官得分		
	土豆	豆腐	鸡柳
3	9.32	9.12	9.24
6	9.08	8.91	9.04
9	8.78	8.61	8.85
12	8.62	8.24	8.71
15	8.31	7.92	7.39
18	7.98	7.87	7.07

由表3可看出,随着煎炸时间的延长,土豆、豆腐和鸡柳的感官评分分别由煎炸3 h的9.32、9.12分和9.24分降至煎炸18 h的7.98、7.87分和7.07分,食品的感官评价整体保持在较好水平,说明高油酸菜籽油在长时间持续煎炸条件下仍具有良好的煎炸性能。与煎炸3 h相比,煎炸18 h,豆腐的感官评分降幅最小,为1.25分,土豆次之,为1.34分,鸡柳的感官评分降幅最大,为2.17分,这可能是由于长时间的煎炸导致煎炸油中的醛类物质增加,其与鸡柳中的谷胱甘肽、半胱氨酸和赖氨酸发生反应,导致鸡柳风味降低,感官评分明显下降。因此,仅从感官评价上考虑,推测18 h后高油酸菜籽油的煎炸稳定性排名为豆腐组>土豆组>鸡柳组。综上,高油酸菜籽油在连续煎炸18 h下其煎炸食品仍保持着较高的感官评分。

3 结论

通过对3种代表性食材豆腐、土豆和鸡柳在高油酸菜籽油中的连续煎炸实验,分析比较高油酸菜籽油在煎炸过程中总极性组分含量、酸值、过氧化值、碘值、脂肪酸组成的变化,并对煎炸食品进行了感官评价。结果表明:高油酸菜籽油的酸值、总极性组分含量、过氧化值随煎炸时间的延长而升高,碘值随煎炸时间延长而降低;煎炸不同食材会对高油酸菜籽油的煎炸稳定性造成影响,其煎炸稳定性按由强到弱排序为豆腐组>鸡柳组>土豆组。结合豆腐水分含量高的特性,推测高油酸菜籽油更适合用于高水分含量食材的煎炸,且最佳煎炸时间应控制在3 h之内。

参考文献:

- [1] XU Z Y, YE Z, LI Y D, et al. Comparative study of the oxidation stability of high oleic oils and palm oil during thermal treatment[J]. *J Oleo Sci*, 2020, 69(6):573-584.
- [2] SOMA K A, INOKOSHI K A, YAMAMOTO K A, et al. Sensory characteristics of high oleic sunflower oil for deep-fat frying[J]. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*, 2017, 64(6):302-311.
- [3] SYLWIA O G, ANNA Z. Effect of high-oleic rapeseed oil

- oleogels on the quality of short - dough biscuits and fat migration [J]. *J Food Sci Technol*, 2020, 57 (5): 1609 - 1618.
- [4] REKAS A, WRONIAK M, SIGER A, et al. Chemical composition and resistance to oxidation of high - oleic rapeseed oil pressed from microwave pre - treated intact and de - hulled seeds [J/OL]. *Grasas Aceites*, 2017, 68 (49): 225 [2021 - 10 - 28]. [http://dx. doi. org/10.3989/gya.0775171](http://dx.doi.org/10.3989/gya.0775171).
- [5] 刘家伟, 杨威, 涂梦婕, 等. 高油酸菜籽煎炸油的研究 [J]. *中国油脂*, 2018, 43(12): 45 - 49.
- [6] 黄雅卿, 郭扬, 蒙温露儿, 等. 不同乳化剂对油酸和亚油酸乳液稳定性影响 [J]. *食品工业科技*, 2020, 41(6): 53 - 58.
- [7] 蔡新华, 钱小君. 油脂抗氧化的研究进展 [J]. *粮食与食品工业*, 2013(4): 37 - 40.
- [8] 杨雪莲, 张翔宇, 谢建春, 等. 部分食品煎炸用油的反式脂肪酸比较 [J]. *中国食品学报*, 2021, 21(1): 327 - 333.
- [9] 王莹辉, 刘玉兰, 田瑜, 等. 不同煎炸食材对米糠油煎炸品质影响的研究 [J]. *中国油脂*, 2014, 39(11): 48 - 51.
- [10] 郝乾有, 侯利霞. 煎炸不同含水量食材对玉米油理化指标和维生素 E 含量变化影响的研究 [J]. *粮食与食品工业*, 2016, 23(4): 16 - 20.
- [11] 刘玉兰, 刘海兰, 黄会娜, 等. 煎炸方式和煎炸食材对花生煎炸油中 3 - 氯丙醇酯和缩水甘油酯含量的影响 [J]. *食品科学*, 2019, 40(11): 22 - 25.
- [12] ESRA D S, DILARA O, MEHMET K, et al. Effect of vacuum frying conditions on quality of French fries and frying oil [J]. *Acta Chim Slov*, 2021, 68(1): 25 - 36.
- [13] LI X, WU G C, YANG F, et al. Influence of fried food and oil type on the distribution of polar compounds in discarded oil during restaurant deep frying [J]. *Food Chem*, 2019, 272: 12 - 16.
- [14] JIANG H, CHEN W, JIA Z, et al. Physiochemical properties of short - term frying oil for chicken wing and its oxidative stability in an oil - in - water emulsion [J]. *Food Sci Nutr*, 2020, 8(1): 668 - 674.
- [15] TORQUATO A S, SILVA B, ROSANA A, et al. Palm olein and partially hydrogenated soybean oil used in industrial pre-frying of chicken nuggets: chemical and sensory characterization [J/OL]. *J Food Process Pres*, 2021, 45(2): e15109 [2021 - 10 - 28]. [https://doi. org/10.1111/jfpp.15109](https://doi.org/10.1111/jfpp.15109).
- [16] ASADI Y, FARAHRMANDFAR R. Frying stability of canola oil supplemented with ultrasound - assisted extraction of *Teucrium polium* [J]. *Food Sci Nutr*, 2020, 8(2): 1187 - 1196.
- [17] AL K M, GORDON M H, LOVEGROVE J A, et al. Frying of potato chips in a blend of canola oil and palm olein: changes in levels of individual fatty acids and tocopherols [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2016, 47(8): 1701 - 1709.
- [18] MA L, LIU G, CHENG W, et al. Formation of malondialdehyde, 4 - hydroxy - hexenal and 4 - hydroxy - nonenal during deep - frying of potato sticks and chicken breast meat in vegetable oils [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2020, 55(4): 1833 - 1842.
- [19] 康志敏, 郭祯祥, 姚显伟, 等. 市售油条感官评定与含油率的分析 [J]. *农业机械*, 2011(8): 141 - 143.
-
- (上接第 81 页)
- [10] ADHOUM N, MONSER L. Removal of phthalate on modified activated carbon: application to the treatment of industrial wastewater [J]. *Sep Purif Technol*, 2004, 38 (3): 233 - 239.
- [11] DARGNAT C, TEIL M J, CHEVREUIL M, et al. Phthalate removal throughout wastewater treatment plant case study of Marne Aval station (France) [J]. *Sci Total Environ*, 2009, 407(4): 1235 - 1244.
- [12] CHAO W L, LIN C M, SHIUNG I I, et al. Degradation of di - butyl - phthalate by soil bacteria [J]. *Chemosphere*, 2006, 63: 1377 - 1383.
- [13] NAVACHAROEN A, VANGNAI A S. Biodegradation of diethyl phthalate by an organic - solvent - tolerant *Bacillus subtilis* strain 3C3 and effect of phthalate ester coexistence [J]. *Int Biodeter Biodegr*, 2011, 65(6): 818 - 826.
- [14] CHIOU C S, CHEN Y H, CHANG C T, et al. Photochemical mineralization of di - n - butyl phthalate with H₂O₂/Fe³⁺ [J]. *J Hazard Mater*, 2006, 135(1/2/3): 344 - 349.
- [15] JING Y, LI L S, ZHANG Q Y, et al. Photocatalytic ozonation of dimethyl phthalate with TiO₂ prepared by a hydrothermal method [J]. *J Hazard Mater*, 2011, 189(1/2): 40 - 47.
- [16] 张桂, 赵国群, 姜娟娟. 分子蒸馏技术 [J]. *农产品加工*, 2010(11): 70 - 71, 73.
- [17] 董海胜, 陈斌, 臧鹏, 等. 不同温度分子蒸馏脱酸处理对茶叶籽油馏出物和馏余物的影响 [J]. *中国粮油学报*, 2014, 29(7): 54 - 57.
- [18] 马传国. 分子蒸馏对花椒子油脱酸的研究 [J]. *粮油加工与食品机械*, 2001(12): 40 - 42.
- [19] 姜绍通, 牛春祥, 庞敏, 等. 稻米油分子蒸馏脱酸工艺优化 [J]. *食品科学*, 2012, 33(18): 1 - 5.
- [20] 梁峥, 胡雪芳, 赵航, 等. 分子蒸馏纯化姜精油工艺响应面法优化 [J]. *食品科学*, 2010, 31(20): 74 - 78.
- [21] 韩玉洁, 陈晔, 孔琪, 等. 响应面法优化分子蒸馏精制 L - 乳酸工艺的研究 [J]. *食品科技*, 2008(6): 109 - 112.
- [22] 呼晓姝, 王建中. 响应面法优化分子蒸馏提纯神经酸工艺的研究 [J]. *中国粮油学报*, 2009, 24(6): 123 - 128.