

油脂加工

以稻米油为基油制备稻米调和油及其煎炸性能的研究

陈 玉¹, 赵 菁¹, 姚行权², 许建红³, 李 勃⁴, 张世宏¹, 何东平^{1,5}, 胡传荣^{1,5}

(1. 武汉轻工大学 食品科学与工程学院, 武汉 430023; 2. 湖北天星粮油股份有限公司, 湖北 随州 441300;

3. 湖北康宏粮油食品有限公司, 湖北 黄梅 435500; 4. 江苏康之源粮油有限公司, 江苏 宿迁 223800;

5. 国家粮食局粮油资源综合开发工程技术研究中心, 武汉 430023)

摘要:对稻米油、稻米调和油、添加0.02%迷迭香提取物的稻米调和油和添加0.06%茶多酚的稻米调和油4种煎炸油进行土豆条连续煎炸试验,对比4种煎炸油在煎炸过程中的极性组分、脂肪酸组成、维生素E、甾醇、谷维素、反式脂肪酸(TFA)、3-氯丙醇酯(3-MCPD酯)和苯并芘含量变化,综合评估其煎炸性能。结果表明:稻米油、稻米调和油、添加迷迭香提取物的稻米调和油和添加茶多酚的稻米调和油的极性组分含量分别在煎炸10、14、16 h和14 h超过国家标准;稻米调和油的谷维素保留率均优于稻米油;添加迷迭香提取物有利于维生素E和谷维素的保留;添加茶多酚有利于甾醇的保留;反式脂肪酸和苯并芘的含量均未超过国家标准限值。

关键词:稻米油;煎炸油;营养物质;有害物质

中图分类号:TS225.6;TQ641 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2018)10-0012-06

Preparation of ricn bran blend oil and its frying property

CHEN Yu¹, ZHAO Jing¹, YAO Xingquan², XU Jianhong³, LI Bo⁴,
ZHANG Shihong¹, HE Dongping^{1,5}, HU Chuanrong^{1,5}

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;

2. Hubei Tianxing Grain & Oil Co., Ltd., Suizhou 441300, Hubei, China; 3. Hubei Kong Hong Cereals,

Oils and Foodstuffs Co., Ltd., Huangmei 435500, Hubei, China; 4. Jiangsu Kangzhiyuan Grain

and Oil Co., Ltd., Suqian 223800, Jiangsu, China; 5. Grain and Oil Resources Comprehensive

Exploitation and Engineering Technology Research Center of State Administration of Grain, Wuhan

430023, China)

Abstract: The experiment of continuous frying of potato chips with rice bran oil (RBO), rice bran blend oil (RBBO), rice bran blend oil with 0.02% rosemary extract and 0.06% tea polyphenol were conducted to compare the content changes of polar components, fatty acid composition, vitamin E, sterols, oryzanol, *trans* fatty acids, trichloropropanols ester (3-MCPD ester) and benzopyrene (BaP) in the frying process were evaluated comprehensively. The results showed that polar components of RBO, RBBO, RBBO with rosemary extract and RBBO with tea polyphenol exceeded the national standard at 10, 14, 16 h and 14 h, respectively. The retention rates of oryzanol in RBBO were higher than that of RBO. Adding rosemary extract was beneficial to the retention of vitamin E and oryzanol, and adding tea polyphenols improved the retention of sterols. The contents of *trans* fatty acids and BaP during frying did not exceed the national limitation.

Key words: rice bran oil; frying oil; nutrition; harmful substance

收稿日期:2018-02-04;修回日期:2018-04-11

基金项目:湖北省重大科技创新计划(鄂科技发计(2014)10号);江苏省科学技术厅现代农业研究开发示范类项目(BE2016366)

作者简介:陈 玉(1994),女,硕士研究生,研究方向为粮食、油脂及植物蛋白(E-mail:yukichen0120@foxmail.com)。

通信作者:胡传荣,教授,博士(E-mail:hcr305@163.com)。

煎炸是最古老的烹饪方式之一,煎炸食品具有独特的香气、味道和质地,是其他烹饪方式不具备的^[1]。稻米油脂肪酸组成合理,富含丰富的维生素

E、磷脂、生育三烯酚、角鲨烯、植物甾醇、谷维素等天然生物活性成分并具有一定的煎炸性能^[2-3]。为了使消费者摄入更多种的营养物质,并合理延长煎炸油的使用寿命,选择稻米油进行煎炸试验,并对其进行调整和添加抗氧化剂。迷迭香提取物是一种天然抗氧化剂,具有安全、高效、耐高温等显著优势^[4]。茶多酚安全无毒,其中儿茶素苯环上的酚羟基具有供氢的活性,使得其还原能力很强,成为油脂理想的天然抗氧化剂^[5]。

目前,国内外对煎炸油和在煎炸油中添加天然抗氧化剂研究较多,但在稻米油煎炸试验中较少见。对于稻米油作煎炸油的研究多集中在其理化性质和营养物质上,多与其他油品进行对比。本研究对稻米油、稻米调和油和添加两种不同天然抗氧化剂的稻米调和油进行连续煎炸试验,以土豆条为炸物,研究其营养物质保留和有害物质产生情况,综合评估其煎炸性能。

1 材料与方法

1.1 试验材料

稻米油,益海嘉里油脂工业有限公司;土豆条,市购。

氢氧化钾、三氟化硼、甲醇、异丙醇和正己烷,均为色谱纯;氢氧化钾、乙醇、正己烷、无水硫酸钠、吡啶、丙酸酐,均为分析纯; β -生育酚标准品、 γ -生育酚标准品、 δ -生育酚标准品,美国 Supelco Analytical 公司;混标(α -生育酚、 α -生育三烯酚、 β -生育三烯酚、 γ -生育三烯酚、 δ -生育三烯酚),马来西亚 Sime Darby Plantation 公司;迷迭香提取物(纯度 99%),上海昕凯医药科技有限公司;茶多酚(纯度 $\geq 90\%$),杭州普丽美地生物科技有限公司。

TD5A 型台式离心机;HH-6 型数显恒温水浴锅;Agilent 7890A 597.5C 气相色谱-质谱联用仪,美国 Agilent 公司;Agilent 1200 高效液相色谱仪,配 Agilent G1314B 紫外检测器,美国 Agilent 公司;KQ2200E 超声波清洗器;针筒式微孔滤膜过滤器($\Phi 13$ mm,孔径 0.45 μm);电子天平(精度 0.1 mg),瑞士 Mettler Toledo 公司;Testo 270 极性组分检测仪,德国 Testo 公司;ITO-81 单缸单筛电炸炉。

1.2 试验方法

1.2.1 煎炸方法

在油锅里加入 5 L 油,加热到 180 $^{\circ}\text{C}$,每次取 50 g 大小宽度大致相同的土豆条进行煎炸试验。每批薯条煎炸时间约 3 min,每 15 min 煎炸一批样。所有试验定时取样,每次取样 100 mL 于样品瓶中,密

封后放入 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中备用,煎炸过程中不添加新油。

1.2.2 样品制备

通过配方筛选,按照 60% 稻米油、35% 棕榈油和 5% 棉籽油进行调配。在调配后的稻米调和油中分别添加迷迭香提取物和茶多酚,添加量分别为 0.02% 和 0.06%,符合国家标准和购买单位推荐添加量。

对稻米油、稻米调和油、添加迷迭香提取物的稻米调和油和添加茶多酚的稻米调和油进行 30 h 的连续煎炸试验,煎炸过程中定时取样。

1.2.3 检测方法

(1) 极性组分。参照 GB 5009.202—2016 测定。

(2) 脂肪酸组成。GC 条件:毛细管气相色谱柱(30 m \times 0.25 mm,0.25 μm);进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$;进样量 1 μL ;分流比 20:1;载气为高纯 He,流速 1.0 mL/min;采用程序升温模式,初始温度 180 $^{\circ}\text{C}$,保持 5 min,以 3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度升到 230 $^{\circ}\text{C}$,保持 15 min。MS 条件:电子电离(EI),电子能量 70 eV,离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$,四级杆温度 150 $^{\circ}\text{C}$,传输线温度 230 $^{\circ}\text{C}$,质量范围 30~450;全扫描方式,溶剂延迟 3 min。定量方法为面积归一化法。

(3) 反式脂肪酸。参照 GB 5009.257—2016 测定。

(4) 谷维素含量。制备谷维素标准曲线:取谷维素标准样品约 15 mg,置于 50 mL 容量瓶中,加正庚烷溶解,定容。分别取 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 mL,置于 50 mL 容量瓶中,加正庚烷定容,以正庚烷为空白液,在 315 nm 波长处测定吸光度。样品测定:取 50 mg 左右样品,置于 50 mL 容量瓶中,加正庚烷适量,溶解、定容,在 315 nm 波长处测定吸光度。

(5) 维生素 E 含量。参照 GB/T 26635—2011 测定。

(6) 甾醇含量。参照 GB/T 25223—2010 测定。

(7) 苯并芘含量:参照 GB 5009.27—2016 测定。

(8) 3-MCPD 酯含量:参照 GB 5009.191—2016 测定。

1.2.4 数据统计

使用 Origin Pro 8.5 作图,SPSS19.0 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 极性组分的变化

煎炸过程中极性组分的变化如图 1 所示。

由图 1 可知,稻米油、稻米调和油、添加抗氧化剂的稻米调和油的极性组分在相同煎炸条件下,均呈现上升的趋势,但上升速率不同。在国家标准中,

规定极性组分含量不超过 27%^[6]。稻米油、稻米调和油、添加迷迭香提取物的稻米调和油和添加茶多酚的稻米调和油分别在煎炸 10、14、16 h 和 14 h 时,极性组分含量达到国家标准的上限。因此,在极性组分小于等于 27% 的条件下,稻米调和油的煎炸时间较稻米油延长了 40%,有显著效果,说明脂肪酸组成及含量对煎炸过程中的极性组分有影响。

在添加抗氧化剂的稻米调和油中,添加迷迭香提取物的稻米调和油比未添加的煎炸时间延长了 14%,而添加茶多酚的稻米调和油的极性组分尽管上升趋势较未添加的更为平缓,但却并未延长其煎炸时间。Lalas 等^[7]发现添加了迷迭香提取物的大豆油在煎炸土豆条时具有更高的抗氧化活性,并且减少油脂酸败。由此说明,在稻米调和油中添加迷

迭香提取物的结果与在其他油品中相同,有延长煎炸时间的效果。

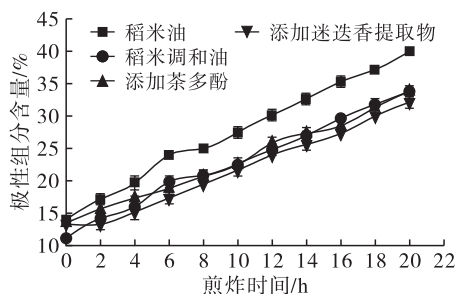


图 1 煎炸过程中极性组分的变化

2.2 脂肪酸组成及反式脂肪酸含量变化

煎炸前后煎炸油脂肪酸组成及含量变化见表 1,反式脂肪酸含量变化见表 2。

表 1 煎炸前后煎炸油脂肪酸组成及含量变化

脂肪酸	稻米油		稻米调和油		添加迷迭香提取物稻米调和油		添加茶多酚稻米调和油	
	煎炸前	煎炸后	煎炸前	煎炸后	煎炸前	煎炸后	煎炸前	煎炸后
C14:0	0.27 ± 0.01 ^a	0.33 ± 0.00 ^b	0.61 ± 0.01 ^f	0.55 ± 0.00 ^d	0.58 ± 0.01 ^e	0.57 ± 0.00 ^e	0.41 ± 0.00 ^e	0.58 ± 0.01 ^e
C16:0	17.50 ± 0.00 ^a	19.74 ± 0.01 ^b	24.02 ± 0.00 ^e	26.97 ± 0.02 ^g	24.76 ± 0.01 ^d	27.23 ± 0.01 ^h	25.86 ± 0.00 ^f	25.79 ± 0.02 ^e
C16:1	-	0.19 ± 0.01 ^c	0.21 ± 0.01 ^e	0.20 ± 0.00 ^{cd}	0.20 ± 0.00 ^{cd}	-	0.17 ± 0.01 ^b	0.21 ± 0.01 ^e
C18:0	1.64 ± 0.01 ^a	1.85 ± 0.02 ^b	3.20 ± 0.10 ^e	3.00 ± 0.02 ^e	3.16 ± 0.01 ^e	3.31 ± 0.01 ^f	3.30 ± 0.00 ^f	3.09 ± 0.01 ^d
C18:1	43.96 ± 0.03 ^e	45.06 ± 0.03 ^f	42.64 ± 0.14 ^b	44.02 ± 0.02 ^e	41.74 ± 0.00 ^a	43.68 ± 0.08 ^c	43.79 ± 0.00 ^d	43.95 ± 0.00 ^e
C18:2	35.99 ± 0.01 ^b	30.68 ± 0.00 ^g	27.52 ± 0.01 ^b	23.91 ± 0.01 ^e	27.97 ± 0.00 ^f	23.62 ± 0.00 ^a	25.46 ± 0.01 ^d	24.68 ± 0.01 ^c
C18:3	0.64 ± 0.00 ^e	0.61 ± 0.00 ^d	0.64 ± 0.02 ^a	0.28 ± 0.02 ^g	0.83 ± 0.01 ^f	0.36 ± 0.02 ^b	0.78 ± 0.00 ^e	0.51 ± 0.00 ^c
C19:0	-	0.85 ± 0.00 ^g	0.67 ± 0.01 ^e	0.62 ± 0.01 ^d	0.26 ± 0.02 ^f	0.71 ± 0.00 ^c	0.23 ± 0.00 ^b	0.66 ± 0.01 ^e
C20:1	-	0.71 ± 0.00 ^f	0.49 ± 0.00 ^c	0.45 ± 0.01 ^b	0.48 ± 0.02 ^c	0.51 ± 0.01 ^d	-	0.54 ± 0.00 ^e
SFA	19.41	22.76	28.50	31.14	28.77	31.82	29.80	30.12
MUFA	43.96	45.95	43.34	44.67	42.43	44.19	43.96	44.69
PUFA	36.63	31.28	28.16	24.19	28.81	23.98	26.24	25.19

注:同行不同字母上标表示差异显著($P < 0.05$),“-”表示未检出。下同。

表 2 煎炸前后煎炸油反式脂肪酸含量变化

脂肪酸	稻米油		稻米调和油		添加迷迭香提取物稻米调和油		添加茶多酚稻米调和油	
	煎炸前	煎炸后	煎炸前	煎炸后	煎炸前	煎炸后	煎炸前	煎炸后
<i>trans</i> C18:1	0.109 ± 0.001 ^d	0.200 ± 0.000 ^h	0.088 ± 0.001 ^a	0.165 ± 0.001 ^e	0.094 ± 0.000 ^b	0.195 ± 0.000 ^g	0.101 ± 0.000 ^e	0.172 ± 0.001 ^f
<i>trans</i> C18:2	0.057 ± 0.001 ^{de}	0.037 ± 0.000 ^a	0.041 ± 0.002 ^b	0.055 ± 0.003 ^d	0.050 ± 0.000 ^c	0.060 ± 0.001 ^f	0.051 ± 0.001 ^e	0.059 ± 0.000 ^{ef}
<i>trans</i> C18:3	0.566 ± 0.004 ^g	0.618 ± 0.002 ^h	0.483 ± 0.003 ^e	0.509 ± 0.001 ^a	0.479 ± 0.001 ^d	0.513 ± 0.001 ^f	0.425 ± 0.000 ^b	0.455 ± 0.001 ^c
TFA	0.732	0.855	0.612	0.729	0.622	0.768	0.577	0.686

由表 1 可知,稻米油、稻米调和油、添加迷迭香提取物和添加茶多酚的稻米调和油煎炸前后,其脂肪酸变化趋势基本一致,饱和脂肪酸(SFA)和单不饱和脂肪(MUFA)呈增多的趋势,多不饱和脂肪酸(PUFA)呈下降趋势。稻米油、稻米调和油、添加迷

迭香提取物的稻米调和油和添加茶多酚的稻米调和油的 SFA 的增长率依次为 17.26%、9.26%、10.60% 和 1.07%,MUFA 的增长率依次为 4.53%、3.07%、4.15% 和 1.66%,PUFA 的减少率依次为 14.61%、14.10%、16.77% 和 4.00%。

由此可知, 稻米调和油的 SFA 增长率比稻米油低, 说明调配使其在煎炸条件下的脂肪酸变化幅度减小, 相对稳定。分别添加迷迭香提取物和茶多酚的稻米调和油与稻米调和油相比, 迷迭香提取物对其脂肪酸组成含量变化无明显影响, 但添加茶多酚的稻米调和油对脂肪酸组成含量变化有显著影响, 其脂肪酸含量在煎炸前后变化幅度明显降低。

由表 2 可知, 4 种煎炸油在煎炸后, 反式脂肪酸含量均增加, 但均未超过国标。其中增幅最大的为

添加迷迭香提取物的稻米调和油, 反十八碳一烯酸的增加量最大。其中增幅最小的为添加茶多酚的稻米调和油, 增加量最大的也是反十八碳一烯酸。而稻米调和油的反式脂肪酸含量变化量低于稻米油。由此可知, 调配是一种应对稻米油煎炸过程中脂肪酸变化的有效处理方式, 添加茶多酚对抑制煎炸过程中反式脂肪酸的产生有效果。

2.3 维生素 E 含量的变化

煎炸过程中维生素 E 含量的变化见表 3。

表 3 煎炸过程中维生素 E 含量的变化

样品	时间/h	含量/(mg/kg)				总量/(mg/kg)
		α -生育酚	γ -生育酚	α -生育三烯酚	γ -生育三烯酚	
稻米油	0	243.9	112.4	191.1	238.8	786.2
	6	155.1	13.4	69.1	72.3	309.9
	18	42.1	-	-	-	42.1
稻米调和油	0	224.1	64.1	137.8	239.6	665.6
	6	108.4	15.3	34.6	56.1	214.4
	18	-	-	-	-	-
添加迷迭香提取物的稻米调和油	0	207.8	89.1	144.9	228.3	670.1
	6	171.5	40.9	84.9	110.9	408.2
	18	36.7	-	-	-	36.7
添加茶多酚的稻米调和油	0	168.4	35.5	103.5	147.9	455.3
	6	104.8	4.3	34.7	28.8	172.6
	18	-	-	-	-	-

注: 其他生育酚及生育三烯酚均为未检出。

由表 3 可知, 稻米油在煎炸过程中, 其维生素 E 的含量呈下降趋势, 并且在 18 h 后趋近于零。在煎炸 6 h 时, α -生育酚、 γ -生育酚、 α -生育三烯酚和 γ -生育三烯酚的保留率分别为 63.59%、11.92%、36.15% 和 30.28%, 说明稳定性大小为 α -生育酚 > α -生育三烯酚 > γ -生育三烯酚 > γ -生育酚。在煎炸 18 h 时, 只有 α -生育酚还有所保留, 其余异构体都已消耗殆尽。

稻米调和油的维生素 E 含量相比稻米油的维生素 E 含量低, 为 665.6 mg/kg, 在煎炸过程中整体呈现下降的趋势, 且下降速率较快。在煎炸 6 h 时, α -生育酚、 γ -生育酚、 α -生育三烯酚和 γ -生育三烯酚的保留率分别为 48.37%、23.87%、25.11% 和 23.41%。除了 γ -生育酚外, 其他异构体的保留率比稻米油低。在煎炸 18 h 时, 维生素 E 含量趋近于零。稻米调和油的维生素 E 保留情况较稻米油差的主要原因可能是稻米调和油中维生素 E 含量较低, 煎炸时间相同的情况下, 未有保留。

添加抗氧化剂的稻米调和油在煎炸过程中, 其

维生素 E 含量也呈下降趋势, 且在 18 ~ 24 h 内其含量趋近于零。维生素 E 含量下降程度由高到低依次为: 稻米调和油、添加茶多酚的稻米调和油和添加迷迭香提取物的稻米调和油。由此说明, 添加迷迭香提取物对稻米调和油煎炸过程中维生素 E 的保留效果明显。

2.4 谷维素和甾醇含量的变化

煎炸过程中甾醇含量的变化如图 2 所示, 谷维素含量的变化如图 3 所示。

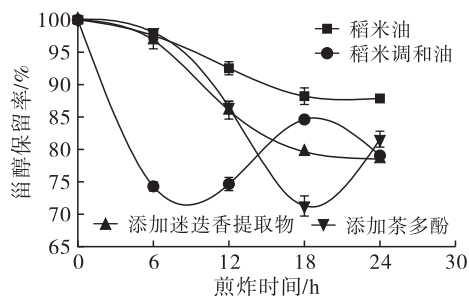


图 2 煎炸过程中甾醇含量的变化

由图 2 可知, 在煎炸过程中, 稻米油中甾醇含量开始减少幅度较大, 最后趋于平稳, 其保留率为

89.08%,说明甾醇在煎炸过程中在稻米油中的保留情况较好。稻米调和油在煎炸过程中甾醇的波动较大,呈现先急剧降低再平稳增长最后逐渐降低的趋势,其保留率为79.05%。

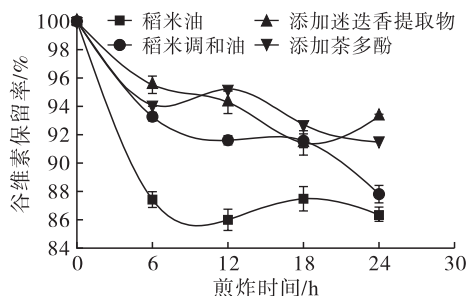


图3 煎炸过程中谷维素含量的变化

添加茶多酚的稻米调和油在煎炸过程中和稻米调和油一样波动情况较大,但呈现的趋势不同,其甾醇含量先逐渐减少,再逐渐上升,其保留率为81.57%。添加迷迭香提取物的稻米调和油的甾醇变化情况较为平缓,其保留率为78.52%,与稻米油煎炸时的情况较为相似。说明添加茶多酚作为抗氧化剂对甾醇的保留具有有益作用。

由图3可知,在煎炸过程中,稻米油中谷维素含量呈先下降后略有波动,保留率为86.39%。稻米调和油和稻米油相同,但相对于稻米油其变化情况更为平缓,起伏不大,其谷维素保留率为87.84%。因此,调配的处理方式对谷维素含量的保留较好。

添加抗氧化剂的稻米调和油的谷维素含量变化情况与未添加的变化情况相同,保留情况都比较好。稻米调和油、添加迷迭香提取物的稻米调和油、添加茶多酚的稻米调和油在煎炸过程中,谷维素保留率分别为87.84%、93.24%和91.47%,说明添加迷迭香提取物的稻米调和油的谷维素的保留率最高,是一种有效的处理方式。

由此可知,4种煎炸油在煎炸过程中,甾醇和谷维素含量的保留率良好。其中甾醇中的甾醇酯易形成游离甾醇,游离甾醇与脂肪酸易发生热促酯化反应,所以在煎炸初期,甾醇含量减少。而谷维素是阿魏酸和三萜烯醇类和甾醇类物质所形成的酯^[8-9],稻米油中谷维素和甾醇含量较高,可能存在转化情况。所以随着煎炸时间延长,甾醇含量升高,最后逐渐降低。

2.5 3-MCPD酯和BaP含量的变化

煎炸过程中3-MCPD酯含量变化如图4所示,BaP含量变化如图5所示。

由图4可知,稻米油、稻米调和油、添加迷迭香提取物的稻米调和油和添加茶多酚的稻米调和油在

煎炸过程中3-氯丙醇酯(3-MCPD酯)含量都从高到低逐渐降低最后逐渐趋于平稳,油品是否调配和添加抗氧化剂对稻米油在煎炸过程中3-MCPD酯含量的变化并无显著影响。煎炸过程中,减少氯丙醇酯含量的关键是严格控制水分、温度、时间和氯来源^[10]。

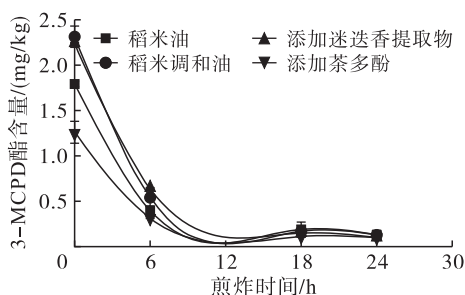


图4 煎炸过程中3-MCPD酯含量变化

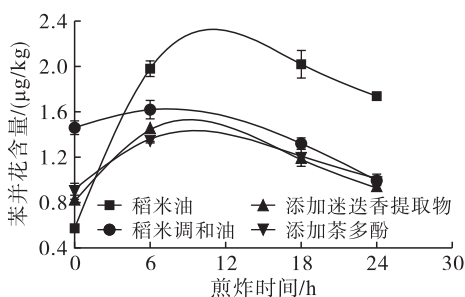


图5 煎炸过程中BaP含量变化

由图5可知,稻米油、稻米调和油、添加抗氧化剂的稻米调和油在煎炸过程中苯并芘(BaP)含量呈先增加后降低的趋势。其中稻米油在煎炸前后BaP含量变化最大,最高达到2.02 μg/kg,但未超过国标限值10 μg/kg,超过欧盟限值2 μg/kg。稻米调和油相对于稻米油煎炸前的BaP含量高,且变化幅度较小。添加抗氧化剂后的稻米调和油煎炸前BaP含量较少,且最高峰值未超过2 μg/kg。虽然在煎炸过程中BaP含量未超标,但仍需引起重视。

3 结论

利用稻米油、稻米调和油、添加0.02%迷迭香提取物的稻米调和油和添加0.06%茶多酚的稻米调和油进行煎炸试验。结果表明:稻米油调配后,以极性组分为参照,煎炸时间延长40%;脂肪酸组成含量变化相对于稻米油作煎炸油更稳定。稻米油尽管富含天然活性成分并具有一定的煎炸性能,但是脂肪酸组成及含量对其煎炸时间的延长也具有一定影响。在稻米调和油中添加迷迭香提取物对煎炸时间的延长有显著作用,而添加茶多酚对其脂肪酸含量的稳定具有显著效果。而稻米调和油中添加抗氧

(下转第31页)

- bean oils[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2002, 79(3):287-290.
- [4] 周莉. 食用油在煎炸中品质的变化及极性组分的快速检测技术研究[D]. 重庆:西南大学,2009.
- [5] 张雅娜,王妍,王欢,等. 加热对大豆油品质特性的影响[J]. *食品工业科技*,2013(23):77-83.
- [6] 赵功玲,路建锋,苏丁. 三种加热方式对油脂品质影响的比较[J]. *中国粮油学报*, 2006, 21(5):113-116.
- [7] 曹玮珈,包海蓉,金银哲. 大豆油煎炸过程中电特性与品质变化相关性的研究[J]. *中国油脂*, 2016, 41(2):48-52.
- [8] 李一凡,王凤玲,王玉玮,等. 加热对亚麻籽油中脂肪酸种类和含量的影响[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(1):10-13.
- [9] 伍新龄,王凤玲,关文强. 不同加热温度对食用植物油脂肪酸成分的影响[J]. *安徽农业科学*, 2014(27):9522-9524.
- [10] 章海风,李辉,周晓燕,等. 三种食用油在鸡排煎制中的品质变化[J]. *扬州大学烹饪学报*, 2013, 30(1):27-30.
- [11] 孙雪梅,白长军,王小三,等. DHA藻油调和油用于炒土豆丝的品质评价[J]. *中国油脂*, 2016, 41(6):39-43.
- [12] 李易文,陈倩,张鹏,等. 基于涂膜法 FTIR 的食用油羰基值快速检测[J]. *食品科学*, 2016, 37(8):226-230.
- [13] LEYLA T, MEHMETSECKIN A, EMIN Y. Physicochemical changes in hazelnut, olive pomace, grapeseed and sunflower oils heated at frying temperatures[J]. *Food Sci Technol Res*, 2009, 15(5):519-524.
- [14] 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.
- [15] 毕艳兰. 油脂化学[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [16] 曹文明,薛斌,袁超,等. 油脂氧化酸败研究进展[J]. *粮食与油脂*, 2013, 26(3):1-5.
- [17] 穆昭. 煎炸油加热过程品质变化与评价[D]. 江苏无锡:江南大学,2008.
- [18] 胡兰萍,李燕,张琳,等. 遥感 FTIR 在大气环境监测中的新发展[J]. *光谱学与光谱分析*, 2006, 26(10):1863-1867.
- [19] DONG X, LI Q, SUN D, et al. Direct FTIR analysis of free fatty acids in edible oils using disposable polyethylene films[J]. *Food Anal Meth*, 2014, 185(4):503-508.
- [20] MA K, VOORT F R V D, SEDMAN J, et al. Stoichiometric determination of hydroperoxides in fats and oils by Fourier transform infrared spectroscopy [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1997, 74(8):897-906.
- [21] 于修烛,杜双奎,王青林,等. 傅里叶红外光谱法油脂定量分析研究进展[J]. *中国粮油学报*, 2009, 24(1):129-136.
- [22] MOZAFFARIAN D, KATAN M B, ASCHERIO A, et al. Medical progress—*trans* fatty acids and cardiovascular disease[J]. *New Eng J Med*, 2006, 354(15):1601-1613.
- [23] XU L, ZHU X, CHEN X, et al. Direct FTIR analysis of isolated *trans* fatty acids in edible oils using disposable polyethylene film[J]. *Food Chem*, 2015, 185(4):503-508.
- [24] ZHANG Q, LIU C, SUN Z, et al. Authentication of edible vegetable oils adulterated with used frying oil by Fourier transform infrared spectroscopy [J]. *Food Chem*, 2012, 132(3):1607-1613.

(上接第16页)

化剂后,营养物质的保留率有所不同。其中,迷迭香提取物对维生素 E 的保留有显著作用;添加茶多酚使甾醇的保留率上升到 81.57%;添加迷迭香提取物使谷维素的保留率上升到 93.24%。4 种煎炸油在煎炸过程中,反式脂肪酸含量、苯并芘含量均未超过国标的限值,但仍要严格控制煎炸条件。

综上所述,稻米油具有良好的煎炸性能,但对其进行调配后,可延长煎炸时间,并且对减少有害物质产生有一定作用。在添加抗氧化剂后,迷迭香提取物和茶多酚对煎炸时间的延长、不同的营养物质的保留具有一定作用,说明在煎炸过程中确实起到了抗氧化效果,后期可继续研究迷迭香提取物和茶多酚复配的复合抗氧化剂的作用。

参考文献:

- [1] HWANG H S, WINKLER - MOSER J K. Antioxidant activity of amino acids in soybean oil at frying temperature: structural effects and synergism with tocopherols[J]. *Food Chem*, 2017, 221:1168-1177.
- [2] 丁丽,周维仁,章世元,等. 米糠油生理功能及制取工艺的研究[J]. *粮食与食品工业*,2009,16(4):9-17.
- [3] 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.
- [4] 杜纪权,徐宏,曹庸,等. 迷迭香提取物在玉米油中的抗氧化作用研究[J]. *现代食品科技*,2011,27(4):400-403.
- [5] 胡思,李华,陆启玉. 茶多酚在食品工业中的应用研究进展[J]. *粮食与油脂*,2015,28(7):1-4.
- [6] 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.
- [7] LALAS S, DOURTOGLOU V. Use of rosemary extract in preventing oxidation during deep-fat frying of potato chips[J]. *J Am Oil Chem Soc*,2003,80(6):579-583.
- [8] 王莹辉,刘玉兰,李时军. 米糠油在油条煎炸过程中的品质变化研究[J]. *中国油脂*, 2013,38(12):28-32.
- [9] 刘玉兰,王莹辉,李时军. 米糠煎炸油营养成分及煎炸油条品质分析[J]. *中国油脂*,2014,39(3):28-32.
- [10] JIN Q Z. Safty risk and real-time control of frying oil [R]. Shanghai: 9th International Symposium on Deep-fat Frying,2017.