

大豆油在3种传统米面食品煎炸过程中的品质变化

何雪梅¹, 黄晨昕¹, 李红丽¹, 陈文杰², 李琪¹, 于修焯¹

(1. 陕西省“四主体一联合”功能性油脂工程技术校企联合研究中心, 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 陕西省杂交油菜研究中心, 陕西 杨凌 715100)

摘要:旨在为不同传统米面食品煎炸加工提供参考, 以大豆油为煎炸油, 糯米糍粑、小麦油糕和黄米年糕为煎炸食材, 探究煎炸过程中大豆油酸值、过氧化值、*p*-茴香胺值、全氧化值、极性化合物含量和脂肪酸组成的变化情况。结果表明: 由于不同煎炸食材的水分、脂肪及抗氧化物质等的含量和组成存在差异, 煎炸糯米糍粑的大豆油酸值显著低于煎炸其他两种食材大豆油的 ($p < 0.05$); 在煎炸过程中, 各体系过氧化值呈上下波动趋势; 在煎炸 2~24 h 时, 煎炸 3 种食材大豆油的 *p*-茴香胺值大小顺序为煎炸糯米糍粑大豆油 > 煎炸小麦油糕大豆油 > 煎炸黄米年糕大豆油; 全氧化值的变化趋势与 *p*-茴香胺值基本一致; 煎炸糯米糍粑、小麦油糕和黄米年糕大豆油的极性化合物含量分别在煎炸 20、18、18 h 时已超过国标限量 ($\leq 27\%$), 其中煎炸黄米年糕大豆油极性化合物含量增加幅度最大; 在煎炸 24 h 时, 煎炸 3 种食材大豆油的反式脂肪酸含量大小顺序为煎炸黄米年糕大豆油 > 煎炸小麦油糕大豆油 > 煎炸糯米糍粑大豆油, 且存在显著差异 ($p < 0.05$)。综上, 由糯米、小麦和黄米制作的传统米面食品会对煎炸油的品质产生不同影响, 在煎炸期间应以食材对煎炸油品质的具体影响为依据做出生产调整。

关键词:大豆油; 煎炸; 米面食品; 品质变化

中图分类号: TS225.1; TQ641 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2025)03-0050-07

Quality changes of soybean oil during frying of three traditional rice and flour foods

HE Xuemei¹, HUANG Chenxin¹, LI Hongli¹, CHEN Wenjie², LI Qi¹, YU Xiuzhu¹

(1. Shaanxi Union Research Center of University and Enterprise for Functional Oil Engineering Technology, College of Food Science and Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; 2. Hybrid Rapeseed Research Center of Shaanxi Province, Yangling 715100, Shaanxi, China)

Abstract: Aiming to provide a reference for the frying processing of different traditional rice and flour foods, soybean oil was used as the frying oil, and glutinous rice cake, wheat oil cake and yellow rice cake as the frying ingredients to investigate the changes in the acid value, peroxide value, *p*-anisidine value, total oxidation value, polar compounds content and fatty acid composition of the soybean oil during frying. The results showed that due to the differences in the contents and compositions of moisture, fat and antioxidants of different fried ingredients, the acid value of soybean oil frying glutinous rice cake was significantly lower than that of soybean oils frying the other two ingredients ($p < 0.05$). During the frying process, the peroxide value of each system showed an up-and-down trend; in the 2-24 h of frying, the *p*-anisidine value of soybean oil frying glutinous rice cake was the highest, followed by that frying

收稿日期: 2023-11-04; 修回日期: 2024-11-05

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(32372376); 陕西省科技创新团队项目(2024RS-CXTD-70)

作者简介: 何雪梅(2001), 女, 硕士研究生, 研究方向为功能性油脂及安全检测(E-mail) 1924096436@qq.com。

通信作者: 于修焯, 教授(E-mail) xiuzhuyu@nwfu.edu.cn。

wheat oil cake and yellow rice cake; the trend of the total oxidation value was basically the same as that of the *p*-anisidine value. The content of polar compounds in soybean oil of the three groups of glutinous rice cake, wheat oil cake and yellow rice cake exceeded national standard limit ($\leq 27\%$)

at 20, 18 h and 18 h, respectively, and the content of polar compounds in soybean oil frying yellow rice cake increased the most. The *trans* fatty acid content in soybean oil frying yellow rice cake was the highest, followed by that frying wheat oil cake and frying glutinous rice cake, which showed significant differences ($p < 0.05$). In conclusion, traditional rice and flour foods made from glutinous rice, wheat and yellow rice have different effects on the quality of frying oil, and production adjustments should be made based on the specific effects of ingredients on the quality of oil during frying.

Key words: soybean oil; frying; rice and flour foods; quality change

大豆油含有 50% ~ 60% 的亚油酸和 5% ~ 9% 的亚麻酸,被认为是健康的植物油之一,深受消费者的喜爱。大豆油是我国居民消费量最大的食用植物油,国家粮油信息中心数据显示,2022 年我国大豆油食用消费量超过 1 600 万 t。大豆油和棕榈油是常用的煎炸用油,其中棕榈油主要应用于大规模煎炸食品的生产加工,50% 左右的饱和脂肪酸含量赋予棕榈油较好的耐热性和氧化稳定性,但长期过量摄入高含量的饱和脂肪酸会对人体健康产生不利影响。然而,由于大豆油不饱和脂肪酸含量较高,长时间的高温环境及反复煎炸会引起其品质发生不同程度的劣变^[1],因此研究煎炸过程中大豆油品质的变化具有重要意义。

目前,关于食品基质煎炸过程中煎炸油品质变化的研究主要以薯条/薯片、鸡块和鱼排等作为煎炸食材^[2-3];对于中式传统煎炸食品的研究仅分析了油条、豆腐等对煎炸油品质的影响^[4-5],而对于以统米面制品为煎炸食材的相关研究较少。为增加试验结果的可比性,本文选择了由不同原料制作但质量相同和大小相近的糯米糍粑、小麦油糕、黄米年糕 3 种常见的地方特色米面制品为煎炸食材,大豆油为煎炸用油,探究大豆油在这 3 种食材煎炸过程中酸

值、过氧化值、*p*-茴香胺值、全氧化值、极性化合物含量和脂肪酸组成等品质指标的变化,以期掌握大豆油在不同传统米面食品煎炸过程中的品质变化提供数据支撑。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

金龙鱼精炼一级大豆油,西安华讯得贸易有限公司;糯米糍粑,成都源滋味食品有限公司;小麦油糕,漯河粮合谷食品有限公司;黄米年糕,延安贤程食品有限公司。其中,小麦油糕和黄米年糕于 -20 ℃ 冷冻储藏,煎炸前解冻至室温,糯米糍粑于室温储藏。3 种煎炸食材营养成分见表 1。

无水硫酸氢钠,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;甲醇,上海麦克林生化科技股份有限公司;*p*-茴香胺,北京谨明生物科技有限公司;重铬酸钾,天津博迪化工股份有限公司;可溶性淀粉、异辛烷,天津市科密欧化学试剂有限公司;乙醚、三氯甲烷,广东西陇科学股份有限公司;酚酞、异丙醇,天津市致远化学试剂有限公司;乙醇、氢氧化钾、冰醋酸、碘化钾、五水硫代硫酸钠,广东光华科技股份有限公司。以上试剂除甲醇为色谱纯外,其余均为分析纯。

表 1 3 种煎炸食材营养成分

Table 1 The nutritional composition of three fried ingredients

食材	蛋白质/(g/100 g)	脂肪/(g/100 g)	碳水化合物/(g/100 g)	水分/(g/100 g)	原料维生素 E/(mg/100 g)
糯米糍粑	4.5	0.6	58.1	35.0	0.08
小麦油糕	7.0	1.9	58.5	30.0	1.80
黄米年糕	8.4	1.0	58.2	25.0	1.79

1.1.2 仪器与设备

WJ-801 型油炸锅,宁波市威捷电器有限公司;UV-1200 型紫外可见分光光度计,上海美析仪器有限公司;Agilent 6890N 型气相色谱仪,美国安捷伦科技有限公司;LD-OS280 型食用油极性组分测定仪,山东莱恩德智能科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 传统米面食品的煎炸

将 5.0 L 大豆油倒入油炸锅中加热至 (180 ± 5) ℃,保持 15 min 后分别将约 50.0 g 的糯米糍粑/小麦油糕/黄米年糕放入锅中煎炸,每小时煎炸 4 批,每批煎炸 4 min,每天煎炸 8 h,共煎炸 3 d,煎炸

期间不添加新油。煎炸过程中每隔 2 h 取 100 mL 油样,冷却至室温后立即储藏于 -20°C 冰箱备用,以相同加热温度和加热时间的大豆油为对照。

1.2.2 煎炸油理化指标的测定

酸值测定参照 GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》中的冷溶剂指示剂滴定法;过氧化值测定参照 GB 5009.227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》中的滴定法; p -茴香胺值测定参照 GB/T 24304—2009《动植物油脂 茴香胺值的测定》;全氧化值为 4 倍过氧化值与 p -茴香胺值的加和;脂肪酸组成测定参照 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》;极性化合物含量采用食用油极性组分测定仪进行测定,具体参照文献[6]。

1.2.3 数据处理

试验重复 3 次,结果以“平均值 \pm 标准偏差”表示,采用 SPSS 20.0 和 Origin 2022 软件进行数据的统计分析,组间比较采用单因素方差分析(ANOVA),以 Duncan 检验确定结果之间的显著差异,其置信水平设置为 95% ($p < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 煎炸过程中大豆油酸值的变化

酸值可以反映脂肪的酸败程度,通常表示油脂中游离脂肪酸的含量。煎炸过程中大豆油酸值的变化情况见图 1。

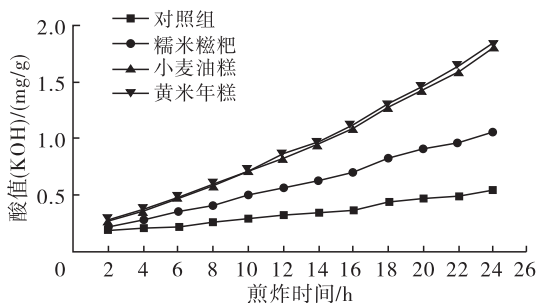


图 1 煎炸过程中大豆油酸值的变化情况

Fig. 1 Changes in the acid value of soybean oil during frying

由图 1 可知,随着煎炸时间的延长,大豆油的酸值呈不同程度的上升趋势。油脂酸值升高的原因主要有两个方面:一是在高温处理过程中甘油三酯的酯链被弱亲核性的水攻击,水解生成游离脂肪酸,导致油脂酸值升高^[7],同时,生成的游离脂肪酸会降低油脂的表面张力,提高加热或煎炸体系氧的扩散速率,促进酸值不断上升^[8];二是大豆油在 $(180 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 煎炸过程中发生热氧化反应产生的氢过氧化物不稳定,会继续氧化为酸类物质引起煎炸油酸值逐

渐增大。相较于前 8 h,大豆油在煎炸 8 ~ 10 h 和 16 ~ 18 h 时酸值的增加速度更加明显,这可能是因为油脂经过连续 8 h 处理后,在放置冷却至室温的过程中还会持续处于较高温度状态,体系所提供的能量维持着热水解、热氧化等部分反应继续进行,从而造成煎炸油在隔夜后油脂酸值增长速度高于前期的^[9]。煎炸 24 h 时,煎炸糯米糍粑大豆油的酸值(KOH)由 0.22 mg/g 增加到 1.06 mg/g,煎炸黄米年糕大豆油的酸值(KOH)由 0.26 mg/g 增加到 1.84 mg/g,煎炸小麦油糕大豆油的酸值(KOH)由 0.27 mg/g 增加到 1.80 mg/g,经 Duncan 检验,煎炸糯米糍粑大豆油的酸值显著低于煎炸相同时间黄米年糕和小麦油糕大豆油的($p < 0.05$)。造成这种结果可能的原因,不同煎炸体系脂肪的氧化与煎炸食材脂肪含量相关,黄米年糕和小麦油糕的脂肪含量高于糯米糍粑,因此前两者在煎炸过程中对于大豆油氧化程度的影响要大于糯米糍粑。

2.2 煎炸过程中大豆油过氧化值的变化

过氧化值反映油脂中氢过氧化物的含量,常用来评价油脂的初级氧化阶段。煎炸过程中大豆油过氧化值的变化情况见图 2。

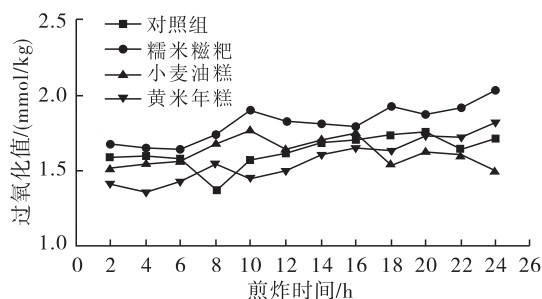


图 2 煎炸过程中大豆油过氧化值的变化情况

Fig. 2 Changes in the peroxide value of soybean oil during frying

由图 2 可知,在煎炸过程中,各体系过氧化值较低且呈上下波动趋势。Martínez - Yusta 等^[10]研究指出,在煎炸过程中,初级氧化产物含量较低的原因,可能是因为它们在高温下降解得快。大豆油在煎炸过程中表现出不稳定的过氧化值,可能是由于油脂中产生的氢过氧化物在高温下不稳定,分解为醛类等小分子化合物^[11],当其分解速度超过生成速度时,就会引起氢过氧化物含量下降,这种产生与分解速率的动态变化导致煎炸大豆油过氧化值呈现波动现象^[12]。

在煎炸 2 ~ 16 h 时,煎炸 3 种传统米面制品大豆油过氧化值的大小顺序为煎炸糯米糍粑大豆油 > 煎炸小麦油糕大豆油 > 煎炸黄米年糕大豆油,而在煎炸 18 ~ 24 h 时表现为煎炸糯米糍粑大豆油 > 煎炸黄米

年糕大豆油 > 煎炸小麦油糕大豆油,且无明显规律性,表明过氧化值无法准确反映煎炸油氧化过程。

2.3 煎炸过程中大豆油 p -茴香胺值的变化

p -茴香胺值是衡量煎炸过程中二级氧化产物的一个重要指标,与过氧化值相比,由于醛、酮等二级氧化产物在高温下相对稳定, p -茴香胺值更适合于监测煎炸油的氧化状态^[13]。煎炸过程中大豆油 p -茴香胺值的变化情况见图 3。

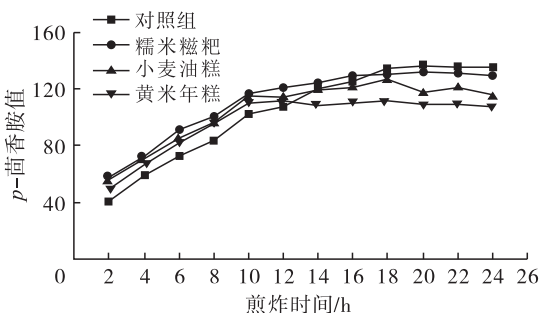


图 3 煎炸过程中大豆油 p -茴香胺值的变化情况

Fig. 3 Changes in the p -anisidine value of soybean oil during frying

由图 3 可知,随着煎炸时间的延长,大豆油 p -茴香胺值总体呈现先升高后降低的趋势,且在煎炸 18~24 h 时对照组的 p -茴香胺值最大。 p -茴香胺值的上升表明高温下氢过氧化物中—O—O—不稳定,容易断裂成烷氧自由基和羟自由基,烷氧自由基通过 β -均裂反应生成醇、醛、酮和酸类等小分子物质^[14]。 p -茴香胺值的降低可能是由于高一氧化阶段的开始,在此期间,醛被转化为更大分子质量的化合物^[15],也可能是由于部分不稳定醛类受热挥发所致。

煎炸过程中大豆油的 p -茴香胺值在煎炸 2~8 h 时迅速升高,由于油样冷却过程的化学反应,在煎炸 8~10 h 时 p -茴香胺值快速增加,此后,煎炸糯米糍粑和小麦油糕的大豆油 p -茴香胺值在煎炸 10~16 h 时增加速度有所降低,在煎炸 18~24 h 时呈现波动现象,而煎炸黄米年糕的大豆油在煎炸 12~24 h 时无明显变化。在整个煎炸过程中,煎炸 3 种食材大豆油 p -茴香胺值大小顺序为煎炸糯米糍粑大豆油 > 煎炸小麦油糕大豆油 > 煎炸黄米年糕大豆油,与煎炸 2~16 h 时 3 种煎炸体系的大豆油过氧化值大小关系一致。煎炸油中醛类和酮类的性质和浓度取决于油脂和食物基质的组成及煎炸时间^[16],因此在相同煎炸时间和温度下,造成 3 种煎炸体系中大豆油二级氧化产物含量不同的原因可能有:①糯米糍粑、小麦油糕、黄米年糕的脂肪含量和组成存在差异,造成大豆油氧化反应的底物含量存在差异;②由于蛋白质可以使活性氧失活、清除自由

基、螯合金属离子并减少氢过氧化物^[17],具有较好的抗氧化性,能够抑制脂类氧化^[18],糯米糍粑、小麦油糕、黄米年糕蛋白质含量的差异可能影响煎炸过程中大豆油的氧化降解;③从原料角度考虑,糯米、小麦粉和黄米中维生素 E 的含量不同,影响了煎炸糯米糍粑、小麦油糕和黄米年糕大豆油氧化产物的生成。

2.4 煎炸过程中大豆油全氧化值的变化

煎炸过程大豆油氧化反应包括一级氧化生成的氢过氧化物,二级氧化产生的羰基化合物以及二级氧化产物聚合生成的更高级氧化产物^[19]。全氧化值可用于表征一级和二级氧化产物变化^[20]。煎炸过程中大豆油全氧化值的变化情况见图 4。

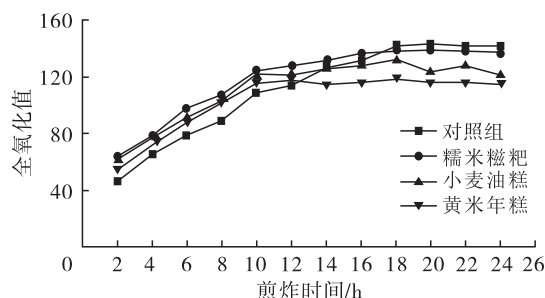


图 4 煎炸过程中大豆油全氧化值的变化情况

Fig. 4 Changes in the total oxidation value of soybean oil during frying

由图 4 可知,大豆油的全氧化值随煎炸时间的延长而显著升高,煎炸 24 h 时 3 种煎炸食材大豆油的全氧化值是煎炸 2 h 时的 2 倍左右,而对照组油样加热 24 h 时的全氧化值约为 2 h 的 3 倍,相较于 3 种煎炸体系其全氧化值变化更明显,这可能是由于 3 种煎炸食材中存在的抗氧化物质抑制了大豆油部分氧化反应的发生。与图 2 和图 3 相比较,全氧化值的变化趋势与 p -茴香胺值的变化趋势基本一致,可见,二级氧化反应对全氧化值的影响更大^[21]。

2.5 煎炸过程中大豆油极性化合物含量的变化

极性化合物是指油脂在氧化变质过程中,氧化水解产生的甘油三酯降解产物,如游离脂肪酸、非挥发性氧化衍生物、聚合物等。煎炸过程中大豆油极性化合物含量的变化情况见图 5。

由图 5 可知,煎炸过程中大豆油极性化合物含量均随煎炸时间的延长而增加。煎炸糯米糍粑、小麦油糕和黄米年糕大豆油极性化合物含量分别在煎炸 20、18、18 h 时已超过 GB 2716—2018 限量要求 ($\leq 27\%$)。煎炸 2~10 h 时煎炸 3 种食材的大豆油极性化合物含量较对照组的低,推测煎炸食材影响了油脂内部的氧化、聚合、水解等与极性化合物生成相关的化学反应的发生^[22];随着各煎炸食材对油脂

的吸收量增加,煎炸油体积减小,油脂热反应加速,在煎炸 16~24 h 时煎炸 3 种食材大豆油极性化合物含量均大于对照组。

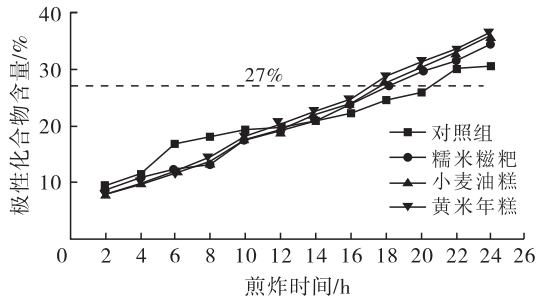


图 5 煎炸过程中大豆油极性化合物含量的变化情况
Fig. 5 Changes in the content of polar compounds in soybean oil during frying

在煎炸初期,煎炸 3 种食材大豆油极性化合物含量差异不显著,而在煎炸 12 h 以后,煎炸黄米年糕大豆油极性化合物含量显著大于煎炸糯米糍粑大豆油的,虽然煎炸小麦油糕大豆油极性化合物含量也低于煎炸黄米年糕大豆油的,但在煎炸 22 h 时两者无显著差异($p > 0.05$)。在煎炸 24 h 时,煎炸黄米年糕大豆油中极性化合物含量是煎炸 2 h 时的 4.6 倍,增加幅度最大,煎炸小麦油糕大豆油的次之,煎炸糯米糍粑大豆油的最小。

2.6 煎炸过程中大豆油脂肪酸组成的变化

3 种传统米面食品煎炸过程中大豆油脂肪酸组成的变化情况见表 2。

表 2 煎炸过程中大豆油脂肪酸组成及相对含量的变化情况

Table 2 Changes in the fatty acid composition and relative content of soybean oil during frying %

脂肪酸	煎炸 2 h				煎炸 24 h			
	对照组	糯米糍粑	小麦油糕	黄米年糕	对照组	糯米糍粑	小麦油糕	黄米年糕
C8:0	ND	ND	ND	ND	0.22 ± 0.00 ^b	0.26 ± 0.00 ^a	0.26 ± 0.00 ^a	0.27 ± 0.00 ^a
C16:0	10.90 ± 0.02 ^a	10.92 ± 0.02 ^a	10.89 ± 0.02 ^a	10.93 ± 0.03 ^a	12.29 ± 0.00 ^c	12.51 ± 0.01 ^b	12.50 ± 0.01 ^b	12.54 ± 0.01 ^a
C16:1	0.08 ± 0.00 ^a	0.08 ± 0.00 ^b	0.07 ± 0.00 ^b	0.08 ± 0.00 ^b	0.09 ± 0.00 ^{ab}	0.08 ± 0.00 ^{ab}	0.09 ± 0.01 ^a	0.08 ± 0.00 ^b
C17:0	0.13 ± 0.00 ^a	0.13 ± 0.00 ^a	0.13 ± 0.00 ^a	0.13 ± 0.00 ^a	0.22 ± 0.00 ^a	0.22 ± 0.00 ^a	0.18 ± 0.01 ^b	0.21 ± 0.00 ^a
C18:0	4.49 ± 0.05 ^a	4.48 ± 0.01 ^a	4.50 ± 0.00 ^a	4.50 ± 0.00 ^a	4.99 ± 0.01 ^b	5.11 ± 0.01 ^a	5.11 ± 0.08 ^a	5.09 ± 0.01 ^{ab}
<i>trans</i> C18:1	ND	ND	ND	ND	0.15 ± 0.00 ^a	0.17 ± 0.00 ^a	0.17 ± 0.01 ^a	0.17 ± 0.00 ^a
C18:1	22.29 ± 0.05 ^a	22.35 ± 0.00 ^a	22.35 ± 0.01 ^a	22.33 ± 0.01 ^a	24.01 ± 0.01 ^c	24.19 ± 0.02 ^a	24.19 ± 0.03 ^a	24.12 ± 0.01 ^b
<i>trans</i> C18:2	0.35 ± 0.00 ^a	0.34 ± 0.01 ^{ab}	0.33 ± 0.00 ^b	0.34 ± 0.01 ^{ab}	0.90 ± 0.00 ^b	0.84 ± 0.01 ^c	0.88 ± 0.02 ^b	0.95 ± 0.01 ^a
C18:2	52.93 ± 0.00 ^a	52.86 ± 0.03 ^a	52.84 ± 0.01 ^a	52.85 ± 0.08 ^a	48.83 ± 0.04 ^a	48.38 ± 0.03 ^b	48.37 ± 0.21 ^b	48.16 ± 0.00 ^b
<i>trans</i> C18:3	0.60 ± 0.01 ^a	0.59 ± 0.00 ^b	0.60 ± 0.00 ^{ab}	0.60 ± 0.00 ^a	1.04 ± 0.00 ^a	0.93 ± 0.00 ^d	0.94 ± 0.00 ^c	0.98 ± 0.00 ^b
C18:3	6.50 ± 0.00 ^b	6.53 ± 0.01 ^a	6.53 ± 0.00 ^a	6.50 ± 0.00 ^b	3.88 ± 0.00 ^c	4.00 ± 0.00 ^a	3.88 ± 0.00 ^b	3.78 ± 0.00 ^d
C20:0	0.39 ± 0.01 ^a	0.40 ± 0.00 ^a	0.40 ± 0.00 ^a	0.40 ± 0.00 ^a	0.61 ± 0.00 ^a	0.57 ± 0.00 ^c	0.57 ± 0.01 ^c	0.60 ± 0.00 ^b
C22:0	0.37 ± 0.00 ^a	0.38 ± 0.00 ^a	0.32 ± 0.01 ^b	0.34 ± 0.00 ^b	0.41 ± 0.00 ^a	0.38 ± 0.00 ^{ab}	0.37 ± 0.02 ^b	0.39 ± 0.01 ^{ab}
SFA	16.28 ± 0.06 ^a	16.31 ± 0.03 ^a	16.24 ± 0.00 ^a	16.30 ± 0.03 ^a	18.74 ± 0.02 ^b	19.06 ± 0.01 ^a	19.00 ± 0.09 ^a	19.11 ± 0.02 ^a
<i>cis</i> - UFA	81.80 ± 0.04 ^a	81.81 ± 0.02 ^a	81.79 ± 0.01 ^a	81.75 ± 0.09 ^a	76.80 ± 0.03 ^a	76.65 ± 0.01 ^a	76.53 ± 0.23 ^a	76.14 ± 0.01 ^b
<i>cis</i> - MUFA	22.37 ± 0.05 ^a	22.43 ± 0.00 ^a	22.42 ± 0.01 ^a	22.40 ± 0.01 ^a	24.10 ± 0.01 ^c	24.27 ± 0.02 ^a	24.28 ± 0.02 ^a	24.20 ± 0.01 ^b
<i>cis</i> - PUFA	59.43 ± 0.00 ^a	59.38 ± 0.02 ^a	59.36 ± 0.00 ^a	59.35 ± 0.08 ^a	52.70 ± 0.04 ^a	52.38 ± 0.03 ^b	52.25 ± 0.21 ^b	51.94 ± 0.00 ^b
TFA	0.95 ± 0.01 ^a	0.93 ± 0.01 ^b	0.92 ± 0.00 ^b	0.94 ± 0.01 ^{ab}	2.08 ± 0.00 ^a	1.94 ± 0.00 ^c	1.99 ± 0.03 ^b	2.10 ± 0.01 ^a

注:SFA. 饱和脂肪酸;*cis* - UFA. 顺式不饱和脂肪酸;*cis* - MUFA. 顺式单不饱和脂肪酸;*cis* - PUFA. 顺式多不饱和脂肪酸;TFA. 反式脂肪酸;同一煎炸时间同行不同字母表示差异显著($p < 0.05$);ND 表示未检出

Note: SFA. Saturated fatty acids; *cis* - UFA. *Cis* - unsaturated fatty acids; *cis* - MUFA. *Cis* - monounsaturated fatty acids; *cis* - PUFA. *Cis* - polyunsaturated fatty acids; TFA. *Trans* fatty acids; Different letters in the same frying time and same row indicate significant differences ($p < 0.05$); ND. Not detected

由表 2 可知,煎炸 24 h 大豆油饱和脂肪酸含量较煎炸 2 h 有不同程度的增加。由于一些低分子量化合物在加热条件下形成^[23],大豆油在煎炸 24 h 后检测到了 C8:0 的存在。

由表 2 可知,煎炸 24 h 大豆油油酸(C18:1)含量较煎炸 2 h 增加,而亚麻酸(C18:3)、亚油酸(C18:2)的含量有所降低,这是由于在持续高温煎

炸条件下,大豆油中不饱和脂肪酸具有不稳定性,且饱和程度越高的脂肪酸相对氧化或分解的速度越快^[24],因此 C18:3、C18:2 等不饱和脂肪酸分子结构中部分双键经氧化生成 C18:0 等饱和脂肪酸及 C18:1 等单不饱和脂肪酸。煎炸 24 h 大豆油中 3 种反式脂肪酸含量均大于煎炸 2 h 的,其中反式油酸(*trans* C18:1)在煎炸 2 h 时未检出,而在煎炸 24 h

时检出,表明顺反异构等化学转化反应的发生^[23]。从整体脂肪酸组成来看,煎炸大豆油的脂肪酸含量大小顺序为多不饱和脂肪酸>单不饱和脂肪酸>饱和脂肪酸,多不饱和脂肪酸含量的下降伴随着单不饱和脂肪酸或饱和脂肪酸含量的升高,由于煎炸食材中所含的水、蛋白质和脂肪等的影响,煎炸24 h时三者含量均表现为对照组与煎炸3种食材大豆油存在显著差异($p < 0.05$)。

值得注意的是,煎炸24 h后,煎炸糯米糍粑、小麦油糕、黄米年糕大豆油中顺式不饱和脂肪酸的含量相对煎炸2 h分别降低6.31%、6.43%、6.86%,煎炸黄米年糕大豆油的顺式不饱和脂肪酸含量显著低于煎炸糯米糍粑和小麦油糕大豆油的($p < 0.05$),其中煎炸3种食材大豆油的C18:3含量在煎炸2 h表现为煎炸黄米年糕大豆油显著低于煎炸糯米糍粑和小麦油糕大豆油的,煎炸24 h其大小顺序为煎炸糯米糍粑大豆油>煎炸小麦油糕大豆油>煎炸黄米年糕大豆油,且各体系之间差异显著($p < 0.05$)。煎炸24 h时煎炸糯米糍粑、小麦油糕、黄米年糕大豆油的反式脂肪酸含量存在显著差异($p < 0.05$),具体表现为煎炸黄米年糕大豆油>煎炸小麦油糕大豆油>煎炸糯米糍粑大豆油。造成以上结果的原因可能是煎炸过程中不同煎炸食材的组分转移到大豆油中,从而改变了其反应类型和速度^[25],但由于3种煎炸食材都以淀粉为主要成分,从而造成煎炸大豆油的脂肪酸含量变化较为相似。

3 结论

大豆油的酸值、 p -茴香胺值、全氧化值、极性化合物含量等理化指标在3种传统米面食品煎炸过程中均有所增加,且煎炸糯米糍粑大豆油的一级和二级氧化水平明显高于煎炸小麦油糕和黄米年糕大豆油的,而煎炸黄米年糕大豆油的酸值、极性化合物含量的增幅则显著大于煎炸糯米糍粑和小麦油糕大豆油的,其中煎炸糯米糍粑、小麦油糕和黄米年糕大豆油的极性化合物含量分别在煎炸20、18、18 h时已超过国标限值($\leq 27\%$)。煎炸3种食材大豆油的脂肪酸组成的差异性主要体现在部分不饱和脂肪酸和反式脂肪酸的变化上,其中煎炸24 h时煎炸糯米糍粑、小麦油糕和黄米年糕大豆油反式脂肪酸的含量分别为1.94%、1.99%和2.10%,三者具有显著差异($p < 0.05$)。原料组成不同的3种传统米面食品在煎炸中大豆油的使用和判废情况存在差异,后续可对煎炸大豆油品质降低的具体变化机制进行深入探究。

参考文献:

- [1] OLAGUNJU A I, ADELAKUN O S, OLAWOYINM S. The effect of rice bran extract on the quality indices, physicochemical properties and oxidative stability of soybean oil blended with various oils[J/OL]. Meas Food, 2022, 6: 100032[2023-11-04]. <https://doi.org/10.1016/j.meaf.2022.100032>.
- [2] 符海琰, 陈云波, 秦飞, 等. 煎炸过程中油脂劣变的影响因素研究[J]. 中国油脂, 2021, 46(4): 72-75.
- [3] 万重, 黄朦倩, 陈欢, 等. 煎炸不同食物对煎炸油品质的影响[J]. 中国油脂, 2018, 43(3): 54-58.
- [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.
- [5] 刘玉兰, 安柯静, 马宇翔, 等. 不同食材煎炸过程极性组分与聚甘油酯变化的研究[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(3): 53-57.
- [6] 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.
- [7] KUEK S L, AHMAD TARMIZI A H, ABD RAZAK R A, et al. Contribution of lipid towards acrylamide formation during intermittent frying of French fries [J/OL]. Food Contr, 2020, 118: 107430[2023-11-04]. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107430>.
- [8] MISTRY B S, MIN D B. Effects of fatty acids on the oxidative stability of soybean oil[J]. J Food Sci, 1987, 52(3): 831-832.
- [9] 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.
- [10] MARTÍNEZ - YUSTA A, GUILLÉN M D. Deep - frying food in extra virgin olive oil: A study by ¹H nuclear magnetic resonance of the influence of food nature on the evolving composition of the frying medium [J]. Food Chem, 2014, 150: 429-437.
- [11] PERKINS E G. Formation of non - volatile decomposition products in heated fats and oils[J]. Food Technol, 1967, 21(4): 125-130.
- [12] 董会娟. 菜籽油煎炸过程中品质变化及氧化稳定性研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2018.
- [13] CHEN J, ZHANG L, LI Q, et al. Utilization of *Diaphragma juglandis* extract as a natural antioxidant for improving the oxidative stability of soybean oil during deep frying[J/OL]. Food Chem; X, 2022, 14: 100359[2023-11-04]. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100359>.
- [14] ZHANG Q, SALEH A S, CHEN J, et al. Chemical alterations taken place during deep - fat frying based on certain reaction products: A review [J]. Chem Phys Lipids, 2012, 165(6): 662-681.

(下转第75页)

- Appl Sci Environ Manag, 2018, 22(6): 929 [2023 - 09 - 11]. <https://doi.org/10.4314/JASEM.V22I6.15>.
- [56] SCHROEDER M T, BECKER E M, SKIBSTED L H. Molecular mechanism of antioxidant synergism of tocotrienols and carotenoids in palm oil[J]. J Agric Food Chem, 2006, 54(9): 3445 - 3453.
- [57] IFEANYI O E. A review on palm oil supplemented diet and enzymatic antioxidants in aging[J]. Int J Curr Res Med Sci, 2018, 4(4): 43 - 52.
- [58] MONTAGNANI MARELLI M, MARZAGALLI M, FONTANA F, et al. Anticancer properties of tocotrienols: A review of cellular mechanisms and molecular targets [J]. J Cell Physiol, 2019, 234(2): 1147 - 1164.
- [59] SYLVESTER P W, SHAH S. Antioxidants in dietary oils: Their potential role in breast cancer prevention [J]. Malays J Nutr, 2002, 8(1): 1 - 11.
- [60] RIBOLI E, NORAT T. Epidemiologic evidence of the protective effect of fruit and vegetables on cancer risk[J]. Am J Clin Nutr, 2003, 78(3 suppl): 559S - 569S.
- [61] BOATENG J, VERGHESE M, CHAWAN C B, et al. Red palm oil suppresses the formation of azoxymethane (AOM) induced aberrant crypt foci (ACF) in Fisher 344 male rats [J]. Food Chem Toxicol, 2006, 44(10): 1667 - 1673.
- [62] BENADÉ A J S. Red palm oil carotenoids [M]// JUTURU V, GORMLEY J J. Bioactive food as dietary interventions for cardiovascular disease. Amsterdam: Elsevier, 2013: 333 - 343.
- [63] 张坚, 王春荣, 薛安娜, 等. 红棕油对中国成年男子血脂和类胡萝卜素水平的影响[C]// 中国营养学会第五次营养资源与保健食品学术会议论文摘要汇编. 北京: 中国营养学会, 1999: 50 - 51.
- [64] AYELESO A O, OGUNTIBEJU O O, BROOKS N L. Effects of dietary intake of red palm oil on fatty acid composition and lipid profiles in male wistar rats[J]. Afr J Biotechnol, 2012, 11(33): 8275 - 8279.
- [65] OGUNTIBEJU O O, ESTERHUYSE A J, TRUTER E J. Red palm oil: Nutritional, physiological and therapeutic roles in improving human wellbeing and quality of life [J]. Br J Biomed Sci, 2009, 66(4): 216 - 222.
- [66] ERMATOV N, GULI S, FERUZA S, et al. The effectiveness of red palm oil in patients with gastrointestinal diseases[J]. Int J Pharm Res, 2019, 11(4): 648 - 652.
-
- (上接第 55 页)
- [15] KHOR Y P, SIM B I, ABAS F, et al. Influence of carbohydrate - and protein - based foods on the formation of polar lipid fraction during deep - frying[J/OL]. Food Contr, 2020, 107: 106781 [2023 - 11 - 04]. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106781>.
- [16] GUILLÉN M D, URIARTE P S. Aldehydes contained in edible oils of a very different nature after prolonged heating at frying temperature: Presence of toxic oxygenated α , β unsaturated aldehydes[J]. Food Chem, 2012, 131(3): 915 - 926.
- [17] ELIAS R J, KELLERBY S S, DECKER E A. Antioxidant activity of proteins and peptides[J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2008, 48(5): 430 - 441.
- [18] 万重. 川明参醇提取物对煎炸油常规理化指标及红外光谱性质的影响研究[D]. 四川 雅安: 四川农业大学, 2019.
- [19] ABD RAZAK R A, AHMAD TARMIZI A H, KUNTOM A, et al. Intermittent frying effect on French fries in palm olein, sunflower, soybean and canola oils on quality indices, 3 - monochloropropane - 1, 2 - diol esters (3 - MCPDE), glycidyl esters (GE) and acrylamide contents [J/OL]. Food Contr, 2021, 124: 107887 [2023 - 11 - 04]. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107887>.
- [20] XU L, ZHANG Y, GONG M, et al. Change of fatty acid esters of MCPD and glycidol during restaurant deep frying of fish nuggets and their correlations with total polar compounds [J]. Int J Food Sci Tech, 2020, 55(7): 2794 - 2801.
- [21] SHAHIDI F, WANASUNDARA U. Methods for measuring oxidative rancidity in fats and oils[M]. Boca Roton: CRC Press, 2002.
- [22] 李徐, 刘睿杰, 金青哲, 等. 介电常数在煎炸油极性组分快速检测中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(7): 1918 - 1922.
- [23] CHERIF A, SLAMA A. Stability and change in fatty acids composition of soybean, corn, and sunflower oils during the heating process[J/OL]. J Food Qual, 2022, 2022: 6761029 [2023 - 11 - 04]. <https://doi.org/10.1155/2022/6761029>.
- [24] 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.
- [25] JUÁREZ M D, OSAWA C C, ACUÑA M E, et al. Degradation in soybean oil, sunflower oil and partially hydrogenated fats after food frying, monitored by conventional and unconventional methods [J]. Food Contr, 2011, 22(12): 1920 - 1927.