



油炸用油的种类对炸鱼丸的品质及N-亚硝胺含量的影响

周晓璐¹, 王蕊¹, 高媛媛¹, 赵双双¹, 马俪珍^{1,*}, 张乃琳²

(1.天津农学院食品与生物工程学院, 天津市农副产品深加工技术工程中心, 天津 300384;

2.天津市宽达水产食品有限公司, 鱼糜高值转化及品质控制技术企业重点实验室, 天津 300304)

摘要: 分别使用葵花籽油、花生油、大豆油、玉米油4种植物油炸制鱼丸, 通过测定炸鱼丸的质构、蒸煮损失率、脂肪氧化值(thiobarbituric acid reaction substances, TBARs)、亚硝酸盐残留量、N-亚硝胺含量, 考察油的种类对炸鱼丸品质和安全性的影响。结果表明: 油的种类对各项检测指标都有显著影响。以氧化稳定性最高的花生油炸制的鱼丸, 组织状态最好, 蒸煮损失小, 以氧化稳定性最低的葵花籽油炸制的鱼丸组织状态最差, 蒸煮损失大。鱼丸油炸后脂肪发生氧化, 样品TBARs值的顺序为花生油(1.0 mg/kg) < 大豆油 < 玉米油 < 葵花籽油(4.8 mg/kg)组; 亚硝酸盐残留量的顺序为花生油(57 mg/kg) > 葵花籽油 > 玉米油 > 大豆油(36 mg/kg)组; N-亚硝胺含量顺序为葵花籽油(12.52 μg/kg) < 花生油 < 大豆油 < 玉米油(19.91 μg/kg)。检测的9种N-亚硝胺中, N-亚硝吡咯烷的含量最高(8.68~11.22 μg/kg), 其次是N-二丙基亚硝胺(1.63~1.90 μg/kg)和N-二丁基亚硝胺(1.19~1.48 μg/kg)。实际生产中应采取选择合适的食用油, 并采取相应措施, 降低炸鱼丸的脂肪氧化和N-亚硝胺含量。

关键词: 炸鱼丸; N-亚硝胺; 植物油; 品质

Effect of Frying Oils on the Quality and N-Nitrosamine Content of Deep-Fat Fried Fish Balls

ZHOU Xiaolu¹, WANG Rui¹, GAO Yuanyuan¹, ZHAO Shuangshuang¹, MA Lizhen^{1,*}, ZHANG Nailin²

(1.Tianjin Engineering and Technology Research Center of Agricultural Products Processing, College of Food Science and Biological Engineering, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China; 2. High Value Transformation and Quality Control Technology of Surimi of Enterprise Key Laboratory, Tianjin Kuanda Aquatic Food Co. Ltd., Tianjin 300304, China)

Abstract: Texture properties, cooking loss rate, thiobarbituric acid reaction substances (TBARs) value, nitrite residue and N-nitrosamine content of deep-fat fried fish balls made with one of four different vegetable oils, sunflower oil, peanut oil, soybean oil and corn oil, were determined to evaluate the effect of cooking oil type on the quality and safety of deep-fat fried fish balls. The results showed that all tested parameters of deep-fat fried fish balls were significantly influenced by frying oil type. Deep-fat fried fish balls made with peanut oil, having the greatest oxidative stability among the four oils, had the best texture and lower cooking loss, whereas the samples made with sunflower oil, possessing the lowest oxidative stability, had the worst texture and higher cooking loss. Deep-fat frying promoted lipid oxidation in fish balls, and the TBARs of four samples made with different oils were in the increasing order of peanut oil (1.0 mg/kg) < soybean oil < corn oil < sunflower oil (4.8 mg/kg). The nitrite residues in the samples followed the decreasing order of peanut oil (57 mg/kg) > sunflower oil > corn oil > soybean oil (36 mg/kg), and the N-nitrosamine contents increased in the order of sunflower seed oil (12.52 g/kg) < peanut oil < soybean oil < corn oil (19.91 g/kg). N-nitrosopyrrolidine (NPYR) was predominant (8.68–11.22 μg/kg) among 9 detected N-nitrosamines, followed by NDPA (1.63–1.90 μg/kg) and NDBA (1.19–1.48 μg/kg). It is necessary to select a suitable oil for deep-fat frying of fish balls and to apply proper methods to reduce lipid oxidation and N-nitrosamine formation in the manufacture of deep-fried fish balls.

Key words: deep-fat fried fish ball; N-nitrosamine; vegetable oil; quality

DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.11.003

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2016) 11-0011-05

收稿日期: 2016-05-12

基金项目: 国家农业科技成果转化项目(2014GB2A100502); 2015年天津市市级大学生创新创业训练计划项目(201510061010)

作者简介: 周晓璐(1994—), 女, 本科, 研究方向为肉制品品质与安全。E-mail: 782072778@qq.com

*通信作者: 马俪珍(1963—), 女, 教授, 博士, 研究方向为肉品加工。E-mail: 391794215@qq.com

引文格式:

周晓璐, 王蕊, 高媛媛, 等. 油炸用油的种类对炸鱼丸的品质及N-亚硝胺含量的影响[J]. 肉类研究, 2016, 30(11): 11-15.

DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.11.003. <http://rlyj.cbpt.cnki.net>

ZHOU Xiaolu, WANG rui, GAO Yuanyuan, et al. Effect of frying oils on the quality and N-nitrosamine content of deep-fat fried fish balls[J]. Meat Research, 2016, 30(11): 11-15. (in Chinese with English abstract) DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.11.003. <http://rlyj.cbpt.cnki.net>

炸鱼丸是一种中国传统佳肴, 它色泽诱人、味道鲜美、营养丰富、老少皆宜。油是油炸食品风味物质的主要贡献者^[1], 同时油在高温加热过程中分子结构会发生变化, 产生氧化, 不饱和脂肪酸含量下降, 部分脂肪酸甚至会成为对人体健康有害的反式脂肪酸^[2]。因此油的稳定性对于油炸制品的品质有至关重要的影响。

油炸食品用的油主要是植物油, 目前国内消费量最大的植物油主要是大豆油、玉米油、葵花籽油、花生油等。这些天然食用植物油含有多种具有生理活性的不饱和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acid, PUFA)^[3], 如 *n*-3 PUFA、*n*-6 PUFA等, 但不饱和脂肪酸含量越高, 油脂的氧化稳定性越低^[4]。油炸过程会影响油炸制品的脂肪酸组成^[5]、色泽、风味、质地。另一方面, 油脂以及高温会促进致癌物质N-亚硝胺的合成^[6], 已知脂肪的不饱和度会影响肉制品的N-亚硝胺含量^[7], 但目前还不清楚油脂的氧化稳定性与N-亚硝胺合成的关系。

本研究探讨4种氧化稳定性不同的植物油 (大豆油、玉米油、葵花籽油、花生油) 对炸鱼丸的感官、理化品质及产品中N-亚硝胺含量的影响。研究结果可为油炸食品的品质和安全控制提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

带鱼鱼浆 宁波飞日水产食品有限公司; 花椒、料酒、白胡椒粉、香葱粉、生姜粉、蒜香粉、大豆油 (鲁花压榨油)、花生油 (鲁花压榨油)、玉米油 (金龙鱼)、葵花籽油 (金龙鱼)、鲜姜、鲜葱、辣椒、玉米淀粉、鸡蛋、猪皮下脂肪、鸡皮、食盐等 天津红旗农贸市场。

转谷氨酰胺酶 (transglutaminase, TG) (100 U/g) 广州华柏食品添加剂有限公司; 大豆分离蛋白粉 谷神生物科技集团有限公司; 质量分数为7.5%的三氯乙酸 (trichloroacetic acid, TCA) (含0.1 g丁基羟基茴香醚 (butylhydroxyanisole, BHA)、0.1 g乙二胺四乙酸 (ethylenediaminetetraacetic acid, EDTA)、硫代巴比妥酸、氯仿、质量分数为2%的硼酸、氧化镁混悬液、盐酸标准液、亚硝酸钠标准溶液、亚硝酸钠标准使用液、饱和硼砂溶液、亚铁氰化钾、乙酸锌、对氨基苯磺酸、盐

酸苯乙二胺、饱和氯化钠溶液 (用娃哈哈纯净水配制) 等国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

PQ-001型核磁共振成像仪 上海纽迈电子科技有限公司; TA-XT plus物性分析仪 英国 Stable Micro System公司; PC-420D固微相萃取仪 墨西哥Corning公司; GC7890A/MSD5975A气相色谱-质谱 (gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS) 联用仪 (配G4513A自动进样器)、DB-WAX毛细管色谱柱 (30 m×250 μm, 0.25 μm) 美国Agilent公司; CM-5色差仪 日本Konica Minolta公司; WFJ7200可见分光光度计 上海尤尼柯仪器有限公司; FA-25乳化分散机 弗鲁克 (上海) 仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 鱼肉丸的配方、工艺及实验设计

1.3.1.1 鱼肉丸配方

带鱼鱼浆2 000 g、食盐47.0 g、亚硝酸钠0.3 g、抗坏血酸钠2.3 g、花椒水1 000 mL (2.5 g花椒1 000 mL开水浸泡30 min)、料酒93.3 g、大豆蛋白粉66.7 g、玉米淀粉326.7 g、鸡蛋液200.0 g、TG酶18.7 g、鸡皮和猪油各400.0 g、香辛料粉适量。

1.3.1.2 鱼肉丸加工工艺

首先将食盐、复合磷酸盐、亚硝酸钠、抗坏血酸钠和香料水添加到带鱼鱼浆中, 搅拌均匀, 在 (3±1) °C 温度下腌制2 h, 然后在斩拌机中加入其他辅料 (大豆蛋白粉、玉米淀粉、TG酶、鸡蛋液、脂肪等), 擂溃5 min, 即可得到黏弹性很好的肉馅。然后用植物油进行油炸定型 (油温140~160 °C), 每个鱼丸的直径1.5~2.0 cm, 油炸时间2~3 min, 冷却、包装即为成品。

1.3.1.3 样品分组及检测项目

按照鱼肉丸的配方和工艺在斩拌机中得到配制好的鱼肉馅, 随机分4组, 分别用大豆油、花生油、玉米油和葵花籽油油炸鱼肉丸, 冷却后测定油炸鱼肉丸的色差、硫代巴比妥酸反应物 (thiobarbituric acid reaction substances, TBARs) 值、系水力、蒸煮损失率、质构、亚硝酸盐残留量和N-亚硝胺含量。

1.3.2 指标测定

1.3.2.1 蒸煮损失率的测定

将原料鱼浆经过腌制、加辅料擂溃得到黏弹性很好

的鱼丸肉馅, 将其称质量 (m_1), 炸出鱼丸、冷却至常温后称质量 (m_2), 按照式 (1) 计算蒸煮损失率。

$$\text{蒸煮损失率}/\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

1.3.2.2 鱼丸质构的测定

利用物性分析仪以质构剖面分析 (texture profile analyse, TPA) 方法测定鱼肉丸的硬度、咀嚼性、胶着度和弹性。将鱼肉丸切成 $1.5 \text{ cm} \times 1.5 \text{ cm} \times 1.5 \text{ cm}$ 小块, 固定于测定平台。测定参数: 测前速率 2 mm/s , 测试速率 1 mm/s , 测试后速率 2 mm/s ; 2 次下压间隔时间: 7.5 s ; 负载类型: auto-5 g; 下压距离: 样品高度的40%; 探头类型: P/36R; 数据收集率: 200 pps; 环境温度: $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 。每个样品重复测3次, 每次6个平行。

1.3.2.3 鱼丸持水力的测定

参考李贤^[8]的方法, 精确称取 2 g 鱼丸肉 (保留到 0.0001) (m_3), 用定性滤纸包好, 以 $2000 \times \text{g}$ 离心 10 min 后取出, 立即去掉滤纸后再精确称质量 (m_4), 按照式 (2) 计算持水力。

$$\text{持水力}/\% = \frac{m_4}{m_3} \times 100 \quad (2)$$

1.3.2.4 硫代巴比妥酸反应物 (TBARs) 的测定

参考John等^[9]的方法, 取 1.0 g 鱼丸肉样, 加 5 mL 储备液 (质量分数为 0.375% 2-TBA 和质量分数为 15% TCA 溶于 0.25 mol/L 的盐酸), 用乳化分散机的B档匀浆 30 s , 沸水浴 10 min 后立即用冰水冷却, 加 2 mL 氯仿, 混匀, 以 $10000 \times \text{g}$ 离心 15 min , 取上清液, 在 532 nm 波长处测其吸光度 $A_{532 \text{ nm}}$ 。TBARs 值以每千克脂质氧化样品溶液中丙二醛的毫克数表示, 按照式 (3) 计算。

$$\text{TBARs}/(\text{mg/kg}) = \frac{1000A_{532 \text{ nm}}VM}{\epsilon Lm} \quad (3)$$

式中: m 为称取鱼丸肉样质量; V 为测定时样品体积 mL ; M 为丙二醛的相对分子质量 72.063 ; ϵ 为摩尔吸光系数 156000 ; L 为光程 1 cm 。

1.3.2.5 亚硝酸盐残留量的测定

按照GB 500933—2010《食品安全国家标准 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》中分光光度法进行测定。

1.3.2.6 N-亚硝胺含量的测定

参考Andrade^[10]和Yuan^[11]的方法, 略作修改, 样品前处理采用固相微萃取 (solid-phase microextraction, SPME), 萃取条件: 将鱼丸绞碎后称取 1.00 g 的肉糜, 置于萃取瓶中, 放入转子, 加入 9 mL 饱和氯化钠溶液, 将CAR/DVB/PDMS萃取头插入萃取瓶中置于上部空间, 萃取温度 50°C , 搅拌速率 400 r/min , 萃取时间 30 min 。萃取完毕后, 将SPME针管插入GC-MS进样口, 解析时间为 3 min 。GC-MS检测条件参考杨华^[12]的方法。

1.4 数据处理

上述实验均重复3次, 结果用平均值 $\pm$ 标准差表示。数据统计分析采用Statistix 8.1软件, 采用Turkey HSD程序进行差异显著性分析 ($P < 0.05$), 采用SigmaPlot 10.0绘图软件作图。

2 结果与分析

2.1 植物油种类对炸鱼丸感官品质的影响

表1 以4种植物油炸制的鱼丸的感官品质
Table 1 Sensory quality of deep-fat fried fish balls made with four different oils

指标	玉米油	大豆油	葵花籽油	花生油
滋味	咸淡适中, 无生粉, 汁液感一般	咸淡适中, 无生粉, 汁液感一般	咸淡适中, 无生粉, 汁液感一般	咸淡适中, 无生粉, 汁液感一般
气味	有混合香味	有混合香味	有混合香味	有混合香味
色泽	表面金黄色	表面金黄色	表面金黄色	表面浅黄色
组织形态	结构较均匀, 无气孔, 无游离脂肪析出	结构较松散, 有小气孔, 无游离脂肪析出	结构较松散, 有小气孔, 无游离脂肪析出	结构致密均匀, 无气孔, 无游离脂肪析出
弹性	弹性好, 咀嚼无砂状感	弹性一般, 咀嚼无砂状感	弹性一般, 咀嚼无砂状感	弹性好, 咀嚼无砂状感

由表1可知, 以4种植物油炸制的鱼丸, 滋味和气味没有显著差异。以花生油炸制的鱼丸表面呈浅黄色, 而用其他植物油炸制的鱼丸色泽更好, 为金黄色。以玉米油和花生油炸制的鱼丸, 组织状态和弹性较好, 没有气孔, 而以大豆油和葵花籽油炸制的鱼丸, 组织状态稍差, 有小气孔, 弹性一般。

2.2 植物油种类对炸鱼丸质构的影响

表2 以4种植物油炸制的鱼丸的质构指标
Table 2 Texture parameters of deep-fat fried fish balls made with four different oils

植物油	硬度/g	胶着度/g	咀嚼度/g	回复性
玉米油	800 ± 12^d	801 ± 19^d	801 ± 25^d	0.21 ± 0.01^b
大豆油	2057 ± 45^a	2075 ± 27^a	1993 ± 33^a	0.19 ± 0.04^b
葵花籽油	1046 ± 32^c	1070 ± 22^c	1056 ± 36^c	0.33 ± 0.06^a
花生油	1533 ± 20^b	1422 ± 18^b	1329 ± 43^b	0.26 ± 0.05^{ab}

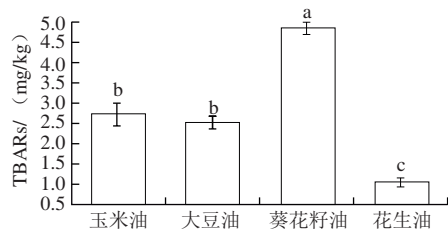
注: 同列小写字母不同, 表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

由表2可知, 在4组样品中, 大豆油炸制的鱼丸硬度 (2057 ± 45) g、胶着度 (2075 ± 27) g 和咀嚼性 (1993 ± 33) g 均最高, 但回复性相对较低 (0.19 ± 0.04)。花生油组硬度、胶着度、咀嚼度仅次于大豆油组, 且回复性较高。葵花籽油组回复性最高 (0.33 ± 0.06), 其他指标数值相对较低。而以玉米油炸制的鱼丸各项指标数值均最低。

质构仪分析的结果能够较为客观地反应肉丸的质构特征, 有研究表明TPA测得的硬度与肉丸的粗糙度、硬度、残余颗粒呈正相关, 而与黏聚性、多汁性呈负相关^[13]。

2.3 植物油种类对炸鱼丸理化品质的影响

2.3.1 植物油种类对炸鱼丸脂肪氧化的影响



字母不同, 表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

图1 植物油种类对炸鱼丸TBARs值的影响

Fig. 1 Influence of cooking oil type on TBARs value of deep-fat fried fish balls

TBARs值是反应油脂氧化的一个重要指标。由图1可知, 葵花籽油组TBARs值最高, 为4.8 mg/kg, 其次为玉米油组和大豆油组, 二者的TBARs含量没有显著差异, 花生油组TBARs含量最低为1.0 mg/kg。油脂在高温加热过程中会发生脂肪氧化, 表现为TBARs值升高。不同的植物油其脂肪酸的种类、含量以及抗氧化物质的含量不同, 氧化稳定性也有很大差别。李红艳等^[14]报道, 氧化稳定性由弱到强依次为葵花籽油<玉米油<大豆油<花生油。这一顺序与炸鱼丸TBARs值从高到底的顺序一致, 表明炸制用油的种类是影响鱼丸脂肪氧化情况的重要因素。

2.3.2 植物油种类对炸鱼丸蒸煮损失率的影响

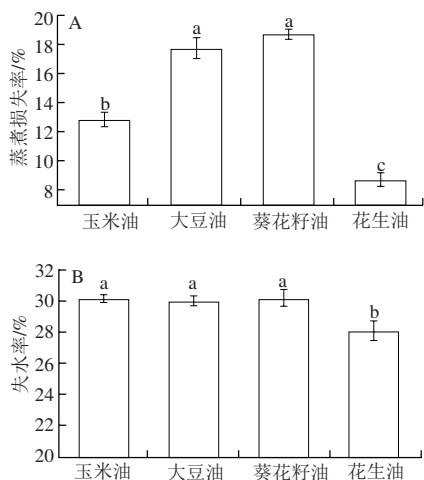


图2 植物油种类对炸鱼丸蒸煮损失 (A)、失水率 (B) 的影响

Fig. 2 Influence of cooking oil type on cooking loss (A) and water loss (B) of deep-fat fried fish balls

由图2可知, 4组鱼丸样品的蒸煮损失率的顺序为花生油 (8.7%) < 玉米油 < 大豆油 = 葵花籽油 (18.7%)。这一顺序与感官评价的结果相符, 花生油炸制的鱼丸结构最为致密均匀, 弹性好, 因为样品蒸煮过程中水分和

油脂损失少。而以大豆油和葵花籽油炸制的鱼丸, 组织状态差, 有小气孔, 弹性一般, 这是样品蒸煮后水分和油脂大量损失的表现。另外, 蒸煮损失率与TBARs值有一定的关联性, TBARs越高, 蒸煮损失就越大。鱼丸中的鱼肉肌原纤维蛋白与脂肪可以形成复合凝胶网络, 其中蛋白和脂肪通过疏水作用、离子相互作用、氢键和范德华力以及二硫键相互作用^[15]。蛋白质的氧化会影响蛋白与蛋白间或蛋白与脂肪间的相互作用, 破坏蛋白-脂肪凝胶结构, 降低鱼丸的保水性和质构品质, 增加蒸煮损失。本研究中的鱼丸炸制后脂肪发生氧化, 而脂肪氧化可以促进蛋白氧化^[16], 进而影响了鱼丸的质构和保水性。玉米油、大豆油和葵花籽油组样品的失水率没有显著差别, 均约为30%, 花生油组样品失水率略低, 为28%。花生油组样品较低的失水率即较高的持水率与花生油较高的氧化稳定性有关。

2.4 植物油种类对炸鱼丸亚硝酸盐残留和N-亚硝胺含量的影响

表3 植物油种类对油炸鱼丸亚硝酸盐残留和N-亚硝胺形成的影响

Table 3 Influence of cooking oil type on nitrite residue and N-nitrosamine formation in deep-fat fried fish balls

指标	大豆油	花生油	葵花籽油	玉米油
N-二甲基亚硝胺	nd	0.14±0.02	nd	nd
N-甲基乙基亚硝胺	4.99±0.07 ^a	1.03±0.03 ^b	nd	5.12±0.06 ^c
N-二乙基亚硝胺	nd	nd	nd	nd
N-二丙基亚硝胺	1.93±0.02 ^a	1.63±0.03 ^c	1.79±0.03 ^b	1.90±0.04 ^a
N-二丁基亚硝胺	1.19±0.06 ^b	1.20±0.02 ^b	1.48±0.04 ^a	1.45±0.02 ^a
N-亚硝基吡啶	0.48±0.04	nd	0.53±0.05	0.45±0.05
N-亚硝基吡咯烷	10.13±0.10 ^b	11.22±0.15 ^a	8.68±0.08 ^c	11.0±0.14 ^a
N-亚硝基吗啉	0.01±0.01	0.05±0.05	0.05±0.04	nd
N-亚硝基二苯胺	nd	nd	nd	nd
N-亚硝胺总量	18.75±0.08 ^b	15.27±0.09 ^c	12.52±0.06 ^d	19.91±0.08 ^a
亚硝酸盐残留量/(mg/kg)	36±3 ^b	57±3 ^a	55±5 ^a	41±4 ^b

注: nd. 未检出 (含量<0.005 μg/kg)。

由表3可知, 各组鱼丸样品的亚硝酸盐残留量和N-亚硝胺含量有显著差异。亚硝酸盐残留量的顺序为花生油>葵花籽油>玉米油>大豆油。尽管炸鱼丸中亚硝酸盐的添加量符合国家标准 (最大添加150 mg/kg), 但是各组样品的亚硝酸盐残留量均超过了国家限量标准 (30 mg/kg)。亚硝酸盐添加到肉制品中可发挥发色、抑菌等多重功效, 它反应形成的NO-血色原^[17-18]可使肉制品发色。但鱼肉中肌红蛋白含量很少, 消耗的NO少, 导致亚硝酸盐残留。另外, 多余的NO会与氧气反应生成N₂O₃, 进一步与胺类反应生成致癌物N-亚硝胺^[19]。因此, 在加工低肌红蛋白肉制品时, 应适当降低亚硝酸盐的添加量。

本研究检测了9种危害性较大的N-亚硝胺, N-二乙基亚硝胺和N-亚硝基二苯胺在4组样品中均未检出, 另外7种N-亚硝胺在4组鱼肉丸中含量有显著差异。含量



最高的是*N*-亚硝吡咯烷 (*N*-nitrosopyrrolidine, NPYR) 8.68~11.22 μg/kg, 其次是*N*-二丙基亚硝胺和*N*-二丁基亚硝胺, 含量分别是1.63~1.93 μg/kg和1.19~1.48 μg/kg。鱼丸油炸过程中经历较高的温度(160~180 ℃), 高温有利于NPYR的合成。如培根^[20]、羊肉^[7]、干香肠^[21]经过高温烹饪后NPYR的含量显著增加。NPYR含量顺序为葵花籽油<大豆油<花生油=玉米油, *N*-亚硝胺总含量顺序为葵花籽油((12.52±0.06) μg/kg)<花生油<大豆油<玉米油((19.91±0.08) μg/kg)。4种油中, 葵花籽油不饱和脂肪酸含量最高, 以它为介质炸制的鱼肉丸中*N*-亚硝胺含量最低。这与一些报道的观点一致, Yurchenko等^[7]通过调查发现以不饱和脂肪酸含量高的油烹饪的肉制品中*N*-亚硝胺含量更低。Kato等^[6]认为不饱和脂肪酸可以清除亚硝化试剂, 抑制*N*-亚硝胺的合成。

3 结 论

在油炸鱼肉丸加工过程中, 油的种类对炸鱼丸的感官品质、质构特征、理化指标都有显著的影响。油脂的氧化稳定性可能是影响鱼丸品质的最主要因素, 以氧化稳定性最高的花生油炸制的鱼丸, 组织状态最好, 脂肪氧化水平低, 蒸煮损失小, 但产品亚硝酸盐残留量和*N*-亚硝胺含量较高。以氧化稳定性最低的葵花籽油炸制的鱼丸*N*-亚硝胺含量最低, 但组织状态最差, 脂肪氧化水平高和蒸煮损失大。炸鱼丸的*N*-亚硝胺总含量较高, NPYR含量最高(8.68~11.22 μg/kg), 其次是*N*-二丙基亚硝胺(1.63~1.90 μg/kg)和*N*-二丁基亚硝胺(1.19~1.48 μg/kg)。为提高炸鱼丸的食用品质 and 安全性, 实际生产过程中应选取适宜的油作为加热介质, 并添加亚硝化抑制剂降低*N*-亚硝胺的含量。

参考文献:

- FORSS D A. Odor and flavor compounds from lipids[J]. Progress in the Chemistry of Fats and Other Lipids, 1973, 13(4): 177-258. DOI:10.1016/0079-6832(73)90007-4.
- CHOE E, MIN D B. Chemistry of deep-fat frying oils[J]. Journal of Food Science, 2007, 72(5): 77-86. DOI:10.1111/j.1750-3841.2007.00352.x.
- TAPIERO H, NGUYEN B G, COUVREUR P, et al. Polyunsaturated fatty acids(PUFA) and eicosanoids in human health and pathologies[J]. Biomedicine and Pharmacotherapy, 2002, 56(5): 215-222. DOI:10.1016/S0753-3322(02)00193-2.
- RUI Ganhao, ESTÉVES M, ARMENTEROS M, et al. Mediterranean berries as inhibitors of lipid oxidation in porcine burger patties subjected to cooking and chilled storage[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2013, 11: 1982-1992. DOI:10.1016/S2095-3119(13)60636-X.
- CANDELA M, AATIASARAN I, BELLO J. Deep-fat frying modifies high-fat fish lipid fraction[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46(7): 2793-2796. DOI:10.1021/jf9709616.
- KATO T, KIKUGAWA K. Effect of organic solvents and unsaturated fatty acids on nitrosamine formation [J]. Food and Chemical Toxicology, 1984, 22(6): 419-423. DOI:10.1016/0278-6915(84)90323-5.
- YURCHENKO S, MÖLDER U. The occurrence of volatile *N*-nitrosamines in Estonian meat products[J]. Food Chemistry, 2007, 100(4): 1713-1721. DOI:10.1016/j.foodchem.2005.10.017.
- 李贤. 破碎方式对鱼糜凝胶特性的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014. DOI:10.7666/d.Y2566103.
- JOHN L, CORNFORTH D, CARPENTER C E, et al. Color and thiobarbituric acid values of cooked top sirloin steaks packaged in modified atmospheres of 80% oxygen, or 0.4% carbon monoxide, or vacuum[J]. Meat Science, 2005, 69(3): 441-449. DOI:10.1016/j.meatsci.2004.08.013.
- ANDRADE R, REYES F G R, RATH S. A method for the determination of volatile *N*-nitrosamines in food by HS-SPME-GC-TEA[J]. Food Chemistry, 2005, 91: 173-179. DOI:10.1016/j.foodchem.2004.08.015.
- YUAN Y, WEI M, MIAO Y T, et al. Determination of eight volatile nitrosamines in meat products by ultrasonic solvent extraction and gas chromatography-mass spectrometry method[J]. International Journal of Food Properties, 2015, 18: 1181-1190. DOI: 10.1080/10942912.2014.898652.
- 杨华. 肉品贮藏与加工过程中蛋白氧化与*N*-亚硝胺形成的关系研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2013.
- 殷俊, 梅灿辉, 陈斌, 等. 肉丸品质的质构与感官分析[J]. 现代食品科技, 2011(1): 50-55. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2011.01.008.
- 李红艳, 邓泽元, 李静, 等. 不同脂肪酸组成的植物油氧化稳定性的研究[J]. 食品工业科技, 2010(1): 173-175. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2010.01.032.
- 吴满刚. 脂肪和淀粉对肌原纤维蛋白凝胶性能的影响机理[D]. 无锡: 江南大学, 2010.
- CAMERON F, QUN S, RICHARD M, et al. Myoglobin and lipid oxidation interactions: mechanistic bases and control[J]. Meat Science, 2010, 86(1): 86-94. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.04.025.
- HONIKEL K O. The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products[J]. Meat Science, 2008, 78(1/2): 68-76. DOI:10.1016/j.meatsci.2007.05.030.
- HEROLD S, REHMANN F J K. Kinetic and mechanistic studies of the reactions of nitrogen monoxide and nitrite with ferryl myoglobin[J]. Journal of Biological Inorganic Chemistry, 2001, 6(6): 543-555. DOI:10.1007/s007750100231.
- DRABIK-MARKIEWICZ G, DEJAEGHER B, de MEY E, et al. Evaluation of the influence of proline, hydroxyproline or pyrrolidine in the presence of sodium nitrite on *N*-nitrosamine formation when heating cured meat[J]. Analytica Chimica Acta, 2010, 657(2): 123-130. DOI:10.1016/j.aca.2009.10.028.
- MOTTRAM D S, PATTERSON R L S, EDWARDS R A, et al. The preferential formation of volatile *N*-nitrosamines in the fat of fried bacon[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1977, 28(11): 1025-1029. DOI:10.1002/jfsa.2740281112.
- LI L, WANG P, XU X, et al. Influence of various cooking methods on the concentrations of volatile *N*-nitrosamines and biogenic amines in dry-cured sausages[J]. Journal of Food Science, 2012, 77(5): 560-565. DOI:10.1111/j.1750-3841.2012.02667.x.
- 马偲珍, 南庆贤, 方长法. *N*-亚硝胺类化合物与食品安全性[J]. 农产品加工(学刊), 2005(12): 8-11. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646-B.2005.12.002.
- 王瑞, 马偲珍, 方长法, 等. 气相色谱法测定熟肉制品中挥发性*N*-亚硝胺类化合物[J]. 中国食品学报, 2007(2): 124-127. DOI:10.16429/j.1009-7848.2007.02.024.
- 丁之恩. 亚硝酸盐和亚硝胺在食品中的作用及其机理[J]. 安徽农业大学学报, 1994(2): 199-205. DOI:10.13610/j.cnki.1672-352x.1994.02.020.
- 魏国勤. 食品中硝酸盐和亚硝酸盐的测定[J]. 食品与发酵工业, 1987(2): 65-70. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.1987.02.009.
- 孙敬. 蒸煮火腿中亚硝胺形成影响因素的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- 马偲珍, 高艳芹, 黄宗海, 等. 体外模拟腌肉制品中亚硝胺形成条件及机理的研究[J]. 食品科技, 2007(2): 118-122. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2007.02.030.
- 穆昭. 煎炸油加热过程品质变化与评价[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- 王昱. 油脂反复使用对其氧化特性及油炸鱼豆腐的影响[D]. 晋中: 山西农业大学, 2014.
- 何优选, 梁奇峰. 食用油品质的红外吸收光谱分析[J]. 化工技术与开发, 2011(6): 32-34. DOI:10.3969/j.issn.1671-9905.2011.06.010.
- 贾文博. 气相色谱技术在食品安全检测中的应用探讨[J]. 食品安全导刊, 2015(36): 126. DOI:10.16043/j.cnki.cfs.2015.36.078.