

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.80162

3 种鱼糜蛋白质特性及油炸特性比较

Comparative study on protein and frying characteristics of three surimi

何立¹ 李细毛² 胡冰悦¹ 谢东飞¹ 胡秀婷¹ 罗舜菁¹HE Li¹ LI Xi-mao² HU Bing-yue¹ XIE Dong-fei¹ HU Xiu-ting¹ LUO Shun-jing¹

(1. 南昌大学食品科学与技术国家重点实验室, 江西 南昌 330047;

2. 江西煌上煌集团食品股份有限公司, 江西 南昌 330052)

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang, Jiangxi 330047, China; 2. Jiangxi Huangshanghuang Group Food Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi 330052, China)

摘要:目的:探究 3 种鱼糜的蛋白质特性及其油炸特性。**方法:**以草鱼、鲢鱼和巴沙鱼为原料,通过测定孔隙率、硬度和吸水性等指标表征鱼糜的油炸特性,测定鱼糜的动态流变学性质、泡沫稳定性和 SDS-PAGE 探究其影响机制。**结果:**相较于草鱼鱼丸和鲢鱼鱼丸,巴沙鱼鱼丸组织疏松,孔洞大,孔隙率最高,且硬度最低,吸水率最高。巴沙鱼鱼糜的凝胶强度远大于鲢鱼鱼糜和草鱼鱼糜,且草鱼、鲢鱼和巴沙鱼鱼糜的泡沫稳定性分别为 63.0%, 27.7%, 82.0%。SDS-PAGE 凝胶电泳结果表明巴沙鱼鱼糜的肌动蛋白和肌球蛋白含量较高。**结论:**巴沙鱼鱼糜含有较高的肌动蛋白和肌球蛋白,是提高鱼糜凝胶强度和泡沫稳定性的关键因素之一,最终影响鱼糜的油炸特性。**关键词:**油炸鱼丸;鱼糜;蛋白组成;油炸特性;孔隙率;泡沫稳定性**Abstract: Objective:** The objective of this study is to investigate the protein and frying characteristics of grass carp, silver carp and pangasius fish surimi. **Methods:** The frying characteristics of surimi were characterized by measuring porosity, hardness, and water absorption rate, and the dynamic rheological properties, foam stability and SDS-PAGE of surimi were measured to explore its influencing mechanism. **Results:** Compared with grass carp fish balls and silver carp fish balls, pangasius fish balls had loose tissue, large pores, highest porosity, lowest hardness, and highest water absorption rate. In addition, the gel strength of pasteurized fish surimi was much higher than that of silver carp and grass carp surimi. The foam stabilityof grass carp, silver carp and pasteurized fish surimi was 63.0%, 27.7% and 82.0%, respectively. SDS-PAGE analysis showed that the protein composition of pangasius surimi has a higher content of actin and myosin. **Conclusion:** The pangasius surimi contains high content of actin and myosin, which is one of the key factors to improve the gel strength and foam stability of surimi, eventually affecting the fried characteristics of surimi.**Keywords:** fried fish balls; surimi; protein composition; frying properties; porosity; foam stability

鱼糜是以新鲜鱼肉为原料,经漂洗、斩拌和擂溃等加工工序制备而成^[1]。制备好的鱼糜配以辅料、成型并经水煮、油炸或干燥等加热处理即可以获得鱼丸、鱼豆腐和鱼糕等鱼糜制品^[2]。其中,鱼丸根据其加工方式可分为水煮鱼丸和油炸鱼丸。与水煮鱼丸^[3]不同,油炸鱼丸的形状外表类似豆泡,色泽金黄,内部结构疏松多孔具有高孔隙率的特点,其良好的吸水性可赋予油炸鱼丸爆汁的口感,适合用做煲汤、麻辣烫、火锅及炒菜等烹饪方式的原料。

由于鱼种类不同,其蛋白组成成分也不同,鱼糜制品的理化性质和食用品质存在较大差异^[4]。刘海梅等^[5]发现鲢、鳙、草、鲫 4 种淡水鱼的鱼肉粗蛋白含量基本相同,但 4 种淡水鱼肉的盐溶性蛋白含量不同,导致 4 种鱼糜的凝胶特性存在明显差异。李斐斐等^[6]以 AA(等级)鱼糜、杂鱼鱼糜和带鱼鱼糜为原料进行加工处理,其中 AA 鱼糜具有较好的凝胶强度和蒸煮品质。尹贝贝等^[7]发现红三鱼、丁鱼和巴浪鱼 3 种海水鱼鱼糜的凝胶强度及白度与鱼糜蛋白质含量趋势一致。应月等^[8]发现鱼肉种类与鱼糜制品品质存在内在关联。因此,不同鱼种类的蛋白组分与比例存在差异,可能会引起油炸鱼丸的食用品质出现较大差异。然而,目前针对鱼蛋白组成对油炸鱼丸的理化性质及食用品质的影响还未见报道。

基金项目:江西省重大科技研发专项“揭榜挂帅”项目(编号:20213AAF02025)**作者简介:**何立,男,南昌大学在读硕士研究生。**通信作者:**罗舜菁(1969—),女,南昌大学教授,硕士。

E-mail: shunjingluo@ncu.edu.cn

收稿日期:2022-04-07

研究拟以草鱼、鲢鱼和巴沙鱼为原料制备油炸鱼丸,通过对比3种油炸鱼丸的孔隙率、硬度、吸油量和吸水性等指标,探讨鱼蛋白组成对油炸鱼丸食用品质的影响。此外,通过测定鱼糜的流变学特性、起泡性、泡沫稳定性、总蛋白含量及蛋白组成对其影响机制进行探讨,旨在明确鱼糜蛋白组成与多孔结构形成的关系,为后续改善廉价鱼糜的油炸特性提供指导,以期开发高品质的油炸鱼丸奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

无骨巴沙鱼、新鲜鲢鱼、草鱼:市售;

玉米油:中粮福临门食品营销有限公司;

牛血清白蛋白、SDS-PAGE凝胶制备试剂盒、彩虹广谱245蛋白Marker(11~245 kDa)、Bradford蛋白质测定试剂盒:北京索莱宝科技有限公司;

其他试剂均为国产分析纯。

1.1.2 仪器与设备

数显恒温油浴锅:HH-S型,金坛市成辉仪器厂;

自动脂肪测定仪:SZC-101型,浙江赛德仪器设备有限公司;

高速破壁调理机:JYL-Y20型,九阳股份有限公司;

分析天平:EL104型,梅特勒—托利多仪器有限公司;

Plus质地分析仪:TA-XT型,英国Stable公司;

高速分散机:T25 digital型,德国IKA公司;

电泳仪:Mini-Protean Tera Cell型,美国Bio-Rad公司;

流变仪:MCR-302型,奥地利Anton Paar公司。

1.2 试验方法

1.2.1 鱼糜的制备 将鲜活的草鱼、鲢鱼和巴沙鱼分别进行原料预处理,采肉、漂洗,于斩拌机中空擂10 min(转速1 200 r/min),水分控制在 $(88.0 \pm 1.0)\%$,整个处理过程将温度控制在4℃左右,并于4℃贮藏备用。

1.2.2 油炸鱼丸的制备 将3种鱼糜手工制备成鱼丸(25.0 g),并于 $(170 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的玉米油中油炸10 min,冷却,滤去表面油脂。

1.2.3 硬度测定 根据Brannan等^[9]的方法并适当修改。将油炸鱼丸切成1.0 cm×1.0 cm×1.0 cm小块。测定参数:测前速率2.0 mm/s,测试速率1.0 mm/s,测后速率2.0 mm/s,两次下压间隔时间5 s,负载类型auto-0.05 N,下压距离为样品高度的40%,P/0.5R探头;数据收集率200 pps,环境温度 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 。每个样品进行6次测量取平均值。

1.2.4 油脂含量测定 参照Zeng等^[10]的方法制备样品,

采用索氏抽提法测定油脂含量。

1.2.5 吸水率测定 将油炸鱼丸浸入沸水中蒸煮5 min,取出并用吸水纸将表面水分吸干,按式(1)计算油炸鱼丸吸水率。

$$W = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

W——吸水率,%;

M_1 ——油炸鱼丸重量,g;

M_2 ——油炸鱼丸吸水后重量,g。

1.2.6 鱼糜动态流变学性质测定 参照徐志杰等^[11-12]

的方法并适当修改。准确称取2.0 g鱼糜置于50 mm的平板上,载物台与平板间距1 mm。利用3-甲基硅油密封载物台与平板之间的孔隙,防止鱼糜水分蒸发,并于线性黏弹区范围内及振动模式下进行温度扫描。设置振动频率1 Hz,应变1%,以5℃/min的速度从20℃升温至95℃,测定升温过程中鱼糜弹性模量 G' 和储能模量 G'' 的变化。每个样品重复测定3次取平均值。

1.2.7 鱼糜蛋白起泡性和泡沫稳定性测定 参照Zhao等^[13]的方法并做适当修改。取200 mg鱼糜加入至20 mL PBS(10 mmol/L,pH 7.0)中,采用高速分散机将鱼糜混合液于15 000 r/min下分散2 min,迅速转移至100 mL量筒内,分别于0,60 min记录起泡体积,并按式(2)、式(3)计算鱼糜的起泡性(FC)和泡沫稳定性(FS)。

$$F_c = \frac{V_0}{20} \times 100\%, \quad (2)$$

$$F_s = \frac{V_{60}}{V_0} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

F_c ——起泡性,%;

F_s ——泡沫稳定性,%;

V_0 ——第0 min的起泡体积,mL;

V_{60} ——第60 min的起泡体积,mL。

1.2.8 总蛋白含量测定 参照GB 5009.5—2016中的凯氏定氮法。

1.2.9 SDS-PAGE凝胶电泳 参照Wang等^[14]的方法。

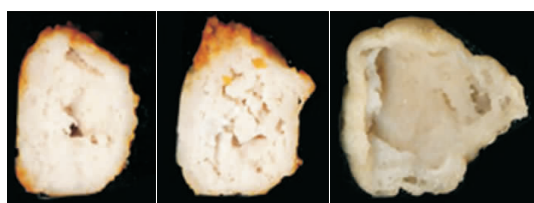
1.3 数据统计及分析

使用SPSS 25.0软件分析试验数据,并采用单因素方差分析(Duncan检验)对均值进行两两比较。置信区间为95%,使用Origin 2018、GraphPad Prism 8.0软件绘图。

2 结果与讨论

2.1 草鱼、鲢鱼和巴沙鱼鱼丸的内部结构

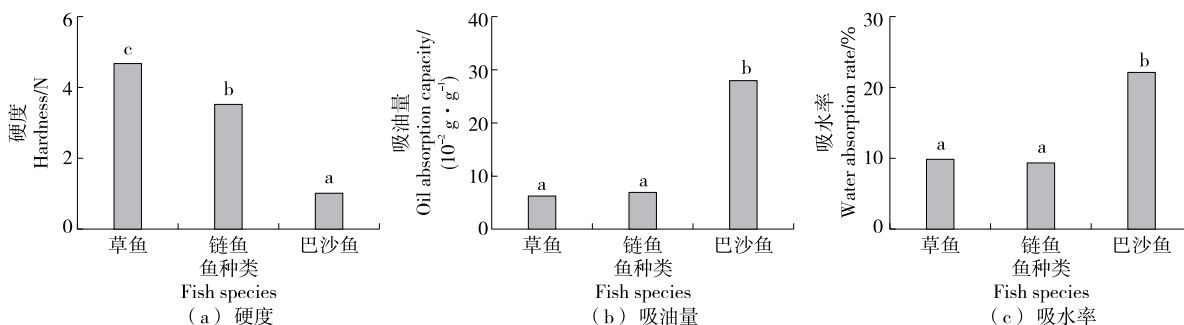
由图1可知,草鱼鱼丸和鲢鱼鱼丸的组织结构致密,孔隙率低。相比于前两者,油炸巴沙鱼鱼丸的组织结构更加疏松,孔隙率更大。鱼糜在油炸过程中形成孔洞的原因可能是蛋白质发生了聚集、分解和再聚集,进而导致



(a) 草鱼鱼丸 (b) 鲢鱼鱼丸 (c) 巴沙鱼鱼丸

图 1 油炸鱼丸内部结构

Figure 1 The internal structure of fried fish balls



字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图 2 油炸鱼丸的硬度、吸油量和吸水率

Figure 2 The hardness, oil absorption and water absorption of fried fish balls

由图 2(b)可知,草鱼、鲢鱼、巴沙鱼鱼丸的吸油量分别为 6.53, 7.15, 28.11 g/100 g, 巴沙鱼鱼丸的吸油量显著高于草鱼鱼丸和鲢鱼鱼丸 ($P < 0.05$)。这与油炸孔隙率结果一致,表明油炸鱼丸的吸油量可能与其孔隙率的高低有关。相比于鲢鱼鱼丸和草鱼鱼丸,巴沙鱼鱼丸的多孔结构为油脂提供了更多的吸附空间。周若昕^[15]研究发现油条的含油量与其孔隙率呈正相关,孔洞较小的油条含油量比较低,添加全麦粉降低了油条的孔隙率,因而全麦油条的总含油量也低于传统油条。

由图 2(c)可知,草鱼鱼丸、鲢鱼鱼丸和巴沙鱼鱼丸的吸水率分别为 9.94%, 9.48%, 22.16%, 巴沙鱼鱼丸的吸水率显著高于草鱼鱼丸和鲢鱼鱼丸 ($P < 0.05$)。这与油

水分流失,形成孔洞结构。

2.2 草鱼、鲢鱼和巴沙鱼鱼丸的硬度、吸油量和吸水率

由图 2(a)可知,油炸草鱼、鲢鱼、巴沙鱼鱼丸的硬度分别为 4.72, 3.54, 1.05 N。油炸巴沙鱼鱼丸的硬度最低 ($P < 0.05$),是由于巴沙鱼鱼糜在油炸过程中形成较大的孔洞结构,降低了油炸鱼丸的硬度。这与油炸鱼丸孔洞结构的趋势相一致,说明油炸鱼丸的硬度取决于油炸鱼丸的内部结构,其组织结构越疏松,孔隙率越高,硬度越低。

炸鱼丸的孔洞结构趋势相一致,表明油炸鱼丸的吸水率与其孔隙率呈正相关,较高孔隙率为水分提供了更多的迁移通道和储存空间。油炸鱼丸的吸水性是吸引消费者的主要食用品质之一,良好的吸水性可赋予油炸鱼丸爆汁口感。因此,相比于草鱼鱼丸和鲢鱼鱼丸,巴沙鱼鱼丸的食用品质更佳。

2.3 草鱼、鲢鱼和巴沙鱼鱼糜的动态流变学性质

由图 3 可知,当扫描温度为 20~95 °C 时,鱼糜的储能模量 G' 始终高于耗能模量 G'' ,说明 3 种鱼糜凝胶均属于弹性凝胶。3 种鱼糜在热凝胶过程中,鱼糜的储能模量 G' 和耗能模量 G'' 均随温度的升高呈先下降后上升的趋势,且在 50 °C 时达到最低值,说明鱼糜的成胶温度为

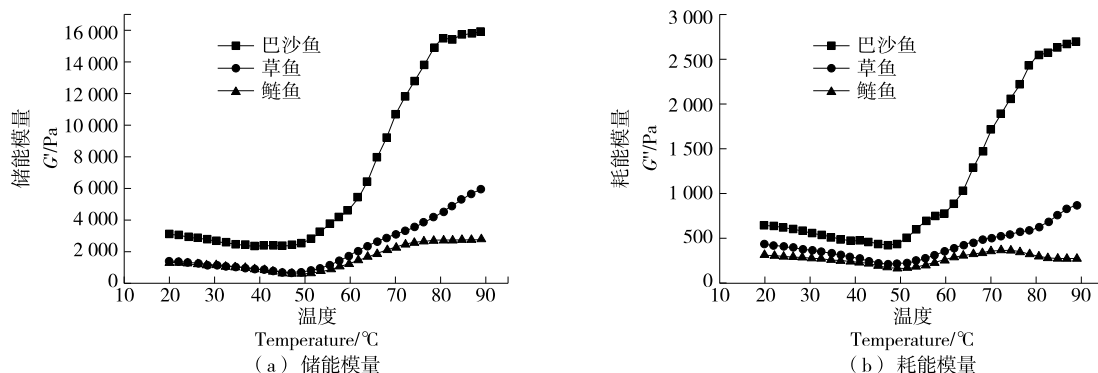


图 3 温度对巴沙鱼、草鱼和鲢鱼 3 种鱼糜动态流变学特性的影响

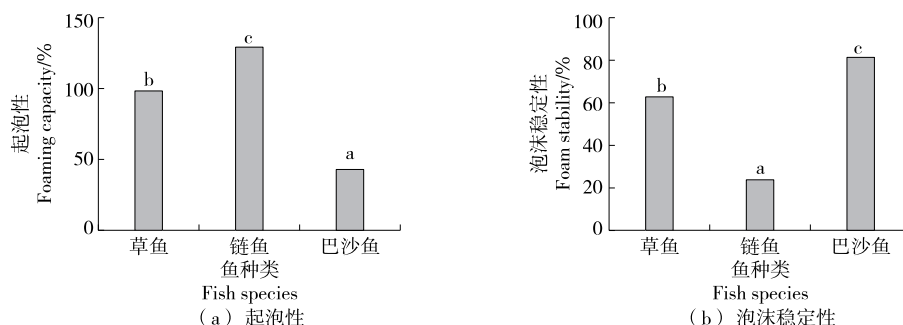
Figure 3 The effect of temperature on the dynamic rheological properties of pangasius, grass carp and silver carp surimi

50℃。此外,巴沙鱼鱼糜的 G' 和 G'' 均高于草鱼鱼糜和鲢鱼鱼糜,说明巴沙鱼鱼糜的凝胶强度大于草鱼鱼糜和鲢鱼鱼糜。这与油炸鱼丸内部结构的趋势相一致,表明鱼糜的凝胶性能可能是影响孔隙率的主要因素之一,即鱼糜的凝胶强度越大,油炸鱼丸的孔洞结构越大。

2.4 草鱼、鲢鱼和巴沙鱼鱼糜的起泡性和泡沫稳定性

由图4可知,3种鱼糜的起泡性分别为99.2%,130.0%,44.2%,泡沫稳定性分别为63.0%,27.7%,

82.0%。其中,巴沙鱼鱼糜的起泡性最低,但巴沙鱼鱼糜的泡沫稳定性显著高于草鱼鱼糜和鲢鱼鱼糜($P<0.05$)。泡沫稳定性结果与油炸鱼丸孔洞结构的趋势相一致,说明泡沫稳定性可能与油炸鱼丸的孔隙率有关。油炸初期,鱼糜形成许多小气泡,随着油炸的进行,泡沫膨胀形成大泡,最终破裂形成大孔结构,即泡沫稳定性越强,鱼糜在油炸过程中形成的泡沫越不易被破坏,油炸鱼丸越容易形成组织结构疏松的大孔结构。



字母不同表示差异显著($P<0.05$)

图4 油炸鱼丸的起泡性和泡沫稳定性

Figure 4 The foaming and foam stability of fried fish balls

2.5 总蛋白含量及蛋白组成分析

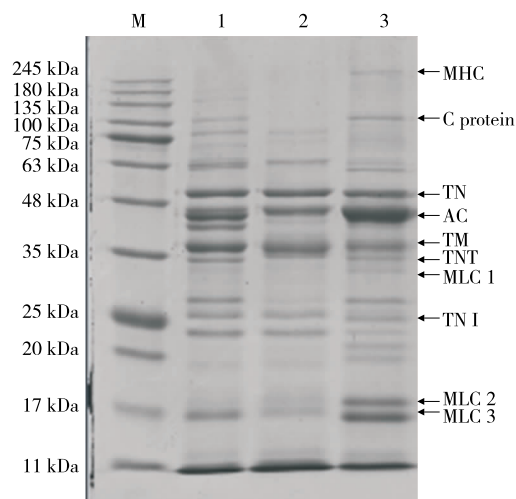
凝胶强度及泡沫稳定性通常与肌原纤维蛋白含量有关^[16-17]。试验发现,3种鱼糜的总蛋白含量分别为79.16,64.59,70.51 g/100 g,且3种鱼糜的蛋白质含量存在显著性差异($P<0.05$),与油炸鱼丸孔隙率和泡沫稳定性的趋势不一致。

由图5可知,3种鱼糜的蛋白分子种类和含量有较大差异。草鱼鱼糜蛋白中主要由C-蛋白、肌钙蛋白、肌动蛋白、原肌球蛋白和肌球蛋白轻链组成。鲢鱼鱼糜蛋白条带中主要由肌钙蛋白、肌动蛋白、原肌球蛋白组成,而巴沙鱼鱼糜条带主要由肌球蛋白重链、C-蛋白、肌钙蛋白、肌动蛋白、原肌球蛋白和肌球蛋白轻链组成。相较于草鱼鱼糜和鲢鱼鱼糜,巴沙鱼鱼糜蛋白条带中肌球蛋白和肌动蛋白的颜色最深,说明其含量较高。研究^[18]表明,肌球蛋白和肌动蛋白是鱼糜形成凝胶的关键蛋白,与试验结果一致。肌球蛋白和肌动蛋白可能是决定鱼糜凝胶强度和泡沫稳定性的关键蛋白,使巴沙鱼鱼糜的凝胶强度和泡沫稳定性均为最高,其可能是影响鱼糜油炸特性的关键因素之一。此外,3种鱼糜的油炸特性不同也可能与蛋白结构、溶解特性不同有关。

3 结论

以草鱼、鲢鱼和巴沙鱼为原料制成鱼糜,在170℃下进行油炸,发现不同种类鱼糜的油炸特性具有显著差异($P<0.05$)。3种鱼糜制成的油炸鱼丸中,巴沙鱼鱼丸的孔隙率和吸水率最高,硬度最低。动态流变学和泡沫稳

定性分析表明,巴沙鱼鱼糜的凝胶强度和泡沫稳定性优于鲢鱼鱼糜和草鱼鱼糜。草鱼鱼糜的总蛋白质含量最高,其次是巴沙鱼鱼糜,鲢鱼鱼糜最低。3种鱼糜总蛋白含量与油炸鱼丸孔隙率和泡沫稳定性的趋势并不一致。3种鱼糜的蛋白分子种类和含量有较大差异,相较于草鱼



M为Marker;1为草鱼鱼糜;2为鲢鱼鱼糜;3为巴沙鱼鱼糜;MHC为肌球蛋白重链;MLC(1,2,3)为肌球蛋白轻链;AC为肌动蛋白;TM为原肌球蛋白;TN为肌钙蛋白;TNT为肌钙蛋白T;TN I为肌钙蛋白I;C protein为C蛋白

图5 3种鱼糜的SDS-PAGE电泳图

Figure 5 SDS-PAGE electropherogram of three different surimi

鱼糜和鲢鱼鱼糜,巴沙鱼鱼糜蛋白条带中肌球蛋白和肌动蛋白的颜色最深,表明其含量较高。肌球蛋白和肌动蛋白可能是决定鱼糜凝胶强度和泡沫稳定性的关键蛋白,使巴沙鱼鱼糜的凝胶强度和泡沫稳定性均为最高,可能是影响鱼糜油炸特性的关键因素之一。研究的不足之处在于未探讨油炸工艺对鱼糜油炸特性的影响,未来可进一步研究漂洗方式、油炸温度、油炸时间及外源添加物等对鱼糜油炸特性的影响,进而改善廉价鱼糜的油炸特性。

参考文献

- [1] 陈曦芸. 香菇鱼丸品质特性的研究与应用[D]. 福州: 福建农林大学, 2017: 1-3.
CHEN Xi-yun. Study on the quality characteristic of mushroom fish balls and its application [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2017: 1-3.
- [2] 张婷, 李茜雅, 唐欢, 等. 鱼糜及鱼糜制品加工工艺研究进展[J]. 中国调味品, 2018, 43(3): 185-191.
ZHANG Ting, LI Xi-ya, TANG Huan, et al. Recent investigations on processing of surimi and surimi products[J]. China Condiment, 2018, 43(3): 185-191.
- [3] 芮汉明, 陈中, 曾庆孝, 等. 鱼丸质量影响因素的研究[J]. 食品工业科技, 1997(3): 31-35, 28.
RUI Han-ming, CHENG Zhong, ZENG Qing-xiao, et al. A study on the factors influencing the quality of fish balls[J]. Science and Technology of Food Industry 1997(3): 31-35, 28.
- [4] 谭力, 周春霞, 洪鹏志. 淡水鱼鱼糜制品加工特性及品质影响因素[J]. 食品与机械, 2018, 34(8): 165-168.
TAN Li, ZHOU Chun-xia, HONG Peng-zhi. Research progresses on processing and utilization of freshwater fish surimi and surimi products[J]. Food & Machinery, 2018, 34(8): 165-168.
- [5] 刘海梅, 严菁, 熊善柏, 等. 淡水鱼肉蛋白质组成及其在鱼糜制品加工中的变化[J]. 食品科学, 2007(2): 40-44.
LIU Hai-mei, YAN Jing, XIONG Shan-bai, et al. Protein components of freshwater fish flesh and their changes during surimi-based processing[J]. Food Science, 2007(2): 40-44.
- [6] 李斐斐, 谢新华, 康壮丽. 不同种类鱼糜品质及其加工特性的研究[J]. 肉类工业, 2018(9): 19-23.
LI Fei-fei, XIE Xin-hua, KANG Zhuang-li, et al. Study on the quality and processing characteristics of different kinds of surimi[J]. Meat Industry, 2018(9): 19-23.
- [7] 尹贝贝, 蒋爱民, 栗俊广, 等. 三种常见海水鱼鱼糜凝胶特性比较研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 25-28, 33.
YIN Bei-bei, JIANG Ai-min, LI Jun-guang, et al. Comparison of surimi of three common Marine fish[J]. Food & Machinery, 2014, 30(1): 25-28, 33.
- [8] 应月, 于加美, 朱杰, 等. 基于原料种类差异的淡水鱼鱼糜水凝胶比较分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(12): 162-168, 328.
YING Yue, YU Jia-mei, ZHU Jie, et al. Comparative analysis of freshwater fish surimi hydrogel based on the difference of raw Materials[J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(12): 162-168, 328.
- [9] BRANNAN R G, MYERS A S, HERRICK S. Reduction of fat content during frying using dried egg white and fiber solutions[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2013, 115(8): 946-955.
- [10] ZENG H, CHEN J, ZHAI J, et al. Reduction of the fat content of battered and breaded fish balls during deep-fat frying using fermented bamboo shoot dietary fiber[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 73: 425-431.
- [11] 徐志杰. 甘薯鱼丸品质特性的研究与应用[D]. 福州: 福建农林大学, 2017: 13.
XU Zhi-jie. Research and application of quality characteristics of sweet potato fish balls[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2017: 13.
- [12] 韩静文, 姜启兴, 许艳顺, 等. 可得然胶对高温杀菌鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(4): 37-41, 98.
HAN Jing-wen, JIANG Qi-xing, XU Yan-shun, et al. Effects of curdlan on gel properties of high-temperature sterilization surimi[J]. Food & Machinery, 2018, 34(4): 37-41, 98.
- [13] ZHAO Q, SELOMULYA C, XIONG H, et al. Comparison of functional and structural properties of native and industrial process-modified proteins from long-grain indica rice[J]. Journal of Cereal Science, 2012, 56(3): 568-575.
- [14] WANG K Q, LUO S Z, ZHONG X Y, et al. Changes in chemical interactions and protein conformation during heat-induced wheat gluten gel formation[J]. Food Chemistry, 2017, 214: 393-399.
- [15] 周若昕. 油炸对全麦油条面筋蛋白结构的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2020: 17-18.
ZHOU Ruo-xi. Effects of frying on structure of the gluten in whole wheat You-tiao[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020: 17-18.
- [16] PANPIPAT W, CHAIJAN M, BENJAKUL S. Gel properties of croaker-mackerel surimi blend[J]. Food Chemistry, 2010, 122(4): 1122-1128.
- [17] 余璐涵, 陈旭, 蔡茜茜, 等. 鱼糜蛋白冷冻变性规律及调控方法研究进展[J]. 食品与机械, 2020, 36(8): 1-8.
YU Lu-han, CHEN Xu, CAI Xi-xi, et al. Research progress of change rules in freezing denaturation of surimi protein and its regulatory methods[J]. Food & Machinery, 2020, 36(8): 1-8.
- [18] 孙静静. 转谷氨酰胺酶对草鱼糜凝胶性的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2012: 33.
SUN Jing-jing. The effect of transglutaminase on the gel character of grass carp surimi[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012: 33.