

# 蛋清粉对鱼糜油炸特性的影响及其机制

## Effect of egg white powder on frying characteristics of surimi and its mechanism

谢东飞<sup>1</sup> 邓奉红<sup>1</sup> 彭佩琪<sup>1</sup>

XIE Dong-fei<sup>1</sup> DENG Feng-hong<sup>1</sup> PENG Pei-qi<sup>1</sup>

黄丽<sup>2</sup> 胡秀婷<sup>1</sup> 罗舜菁<sup>1</sup>

HUANG Li<sup>2</sup> HU Xiu-ting<sup>1</sup> LUO Shun-jing<sup>1</sup>

(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. 南昌市检验检测中心, 江西 南昌 330038)

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang, Jiangxi 330047, China; 2. Nanchang Inspection and Testing Center, Nanchang, Jiangxi 330038, China)

**摘要:**目的:改善油炸鲢鱼鱼丸的食用品质。方法:添加蛋清粉与鲢鱼鱼糜进行复配,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,并采用 SDS-PAGE 探究其影响机制。结果:随着蛋清粉添加量的升高,油炸鱼丸孔隙率和吸水率先升高后降低,硬度先降低后升高,其中添加 10.0% 蛋清粉的效果最佳。此外,鱼糜中还出现了分子量 100 kDa 以上的新条带,且油炸鱼丸的孔隙率与鱼糜的凝胶性、泡沫稳定性呈正比。结论:蛋清粉的添加提高了鱼糜的凝胶性和泡沫稳定性,改善了其食用品质。

**关键词:**鱼糜;蛋清粉;油炸鱼丸;孔隙率

**Abstract:** Objective: The objective of this study is to investigate the effect of egg white powder addition on the fried characteristics of surimi and its influencing mechanism. Methods: The cheap silver carp was used as raw material, and the egg white powder was added to the surimi for compounding. The frying characteristics of surimi were characterized by measuring porosity, hardness and water absorption, and the dynamic rheological properties, foam stability and SDS-PAGE of surimi were measured to explore its influencing mechanism. Results: With the increase of egg white powder content, the porosity and water absorption of fried fish ball increased first and then decreased, and the hardness decreased first and then increased. The effect of 10.0% egg white

powder was the best. In addition, SDS-PAGE analysis showed that, new bands with molecular weight of  $\geq 100$  kDa were generated in surimi. Accordingly, the porosity of fried fish balls was positively correlated to the gel property and foam stability of surimi. Conclusion: The addition of egg white powder improved the gel property and foam stability of surimi, thereby increasing the stability of pore structure of surimi during frying, improving the porosity and taste of fried fish balls, and improving its edible quality.

**Keywords:** surimi; egg white powder; fried fish ball; porosity

鱼糜是以新鲜鱼肉为原料,经过漂洗、斩拌、擂溃等加工工序制备而成<sup>[1]</sup>。鱼糜可加工成各种鱼丸、鱼豆腐、鱼肠、蟹棒等鱼糜制品<sup>[2-3]</sup>。其中有一种类似于豆泡的特色油炸鱼丸,内部结构疏松多孔,富有弹性,外表金黄,入口软糯弹韧。这类鱼丸常被用作煲汤、麻辣烫、火锅的原料。鲢鱼产量大,价格低廉,但鲢鱼肌原纤维蛋白含量较低,肉质粗糙,有较强的纤维感,蒸煮后有泥腥味,口感较差<sup>[4]</sup>。若将鲢鱼加工制备成油炸鱼丸,可有效解决上述问题,从而提高鲢鱼的经济价值。然而,相对于其他鱼种,油炸鲢鱼鱼丸存在孔隙率低、质感硬、吸水性差等问题。

蛋清因其多种功能特性如起泡特性、乳化性、凝胶性能、增香作用等被广泛用于食品工业<sup>[5]</sup>。蛋清中的蛋白质主要为卵清蛋白和伴清蛋白<sup>[6]</sup>。卵清蛋白是一种球状单体磷酸糖蛋白,具有较强的凝胶能力<sup>[7]</sup>。在凝胶化过程中,卵清蛋白展开呈熔融的球状结构,然后聚集形成三维凝胶网络结构<sup>[8]</sup>。因此,蛋清蛋白具有较强的凝胶性质。陈海华等<sup>[9]</sup>通过对比淀粉类、蛋白类及卡拉胶类对

**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:**谢东飞,男,南昌大学在读硕士研究生。

**通信作者:**黄丽(1983—),女,南昌市检验检测中心高级工程师,硕士。E-mail: huanglihedu\_0817@163.com

**收稿日期:**2022-03-22 **改回日期:**2022-06-16

鱼糜凝胶性质的影响,发现蛋清提高鱼糜凝胶性能的效果最好。周阳等<sup>[10]</sup>发现蛋清粉可显著提高鱼糜的凝胶特性。但在油炸条件下,添加蛋清对鱼糜油炸特性的影响及其机制尚未见报道。

研究拟以鲢鱼鱼肉为原料,通过添加蛋清粉与鱼糜进行复配,以孔隙率、硬度和吸水性等为评价指标,探讨蛋清添加量对鱼糜制品油炸特性的影响,并对其影响机制进行探究,旨在为后续改善廉价鱼糜的油炸特性提供指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

#### 1.1.1 材料与试剂

新鲜鲢鱼:市售;

玉米油:上海福临门食品有限公司;

蛋清粉:鼎晟食品配料有限公司;

SDS-PAGE 凝胶试剂盒、彩虹 245 广谱蛋白 Marker (11~245 kDa)、Bradford 法蛋白浓度测定试剂盒:北京索莱宝科技有限公司;

考马斯亮蓝 R-250:上海阿拉丁生化科技股份有限公司;

其他试剂均为分析纯(AR)及以上。

#### 1.1.2 主要仪器设备

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:九阳股份有限公司;

厨师机:TZW103 型,上海双立人亨克有限公司;

质地分析仪:TA-XT Plus 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 鲢鱼鱼糜制备 将新鲜鲢鱼进行预处理,采肉、漂洗、斩拌机中空擂 5 min (1 200 r/min),水分控制在 (88.0±1.0)%,分别加入 0%, 1.0%, 5.0%, 10.0%, 15.0%的蛋清粉,擂溃 5 min (1 200 r/min),备用,整个处理过程将温度控制在 4℃左右。

1.2.2 油炸鱼丸制备 将鱼糜手工制作成鱼丸(25.0 g),并于(170±1)℃玉米油中油炸 10 min。冷却至室温,利用吸油纸吸去表面油脂。

1.2.3 硬度测定 根据 Brannan 等<sup>[11-12]</sup>的方法适当修改。将油炸鱼丸切成 1.0 cm×1.0 cm×1.0 cm 的小块,固定于测定平台。测前速率为 2.0 mm/s,测试速率为 1.0 mm/s,测后速率为 2.0 mm/s,2 次下压间隔时间为

5 s,负载类型为 Auto-0.05 N,下压距离为样品高度的 40%,探头类型为 P/0.5R;数据收集率为 200 s<sup>-1</sup>,环境温度(20±2)℃。对每个样品进行 6 次平行测量并计算平均值。

1.2.4 吸水性能测定 将油炸鱼丸于沸水中蒸煮 5 min,取出并用吸水纸将表面水分吸干,并按式(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<sub>1</sub>——油炸鱼丸重量,g;

M<sub>2</sub>——油炸鱼丸吸水后重量,g。

1.2.5 鱼糜动态流变学性质测定 参照徐志杰<sup>[13]</sup>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,载物台与平板间距为 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,应变为 1%,温度以 5℃/min 的速度从 20℃升温至 95℃,测定升温过程鱼糜弹性模量 G' 和储能模量 G'' 的变化。每个样品重复测定 3 次,取平均值。

1.2.6 鱼糜蛋白起泡性和泡沫稳定性测定 参照 Zhao 等<sup>[14]</sup>的方法并适当修改。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在 15 000 r/min 下分散 2 min,然后迅速转移到 100 mL 的量筒内,分别于 0, 60 min 记录起泡体积 V<sub>0</sub> 及 V<sub>60</sub>,并按式(2)、式(3)分别计算鱼糜的起泡性和泡沫稳定性。

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

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

式中:

F<sub>c</sub>——起泡性,%;

F<sub>s</sub>——泡沫稳定性,%;

V<sub>0</sub>——第 0 min 的起泡体积,mL;

V<sub>60</sub>——第 60 min 的起泡体积,mL。

1.2.7 SDS-PAGE 凝胶电泳 参照 Wang 等<sup>[15]</sup>的方法适当修改。取 500 mg 蛋清粉及鱼糜添加到 10 mL pH 为 7.0 磷酸盐缓冲液 (0.1 mol/L PBS) 中,并将混合物在 10 000 r/min 均质 1 min。将匀浆液在 4℃水浴中搅拌孵育 60 min,10 000 r/min 离心 20 min,保留上清液,通过 Bradford 法测定上清液中蛋白质浓度<sup>[16]</sup>,调整蛋白质量浓度为 1 mg/mL。取蛋白质溶液 (1 mg/mL) 与加样缓冲液以体积比为 3:1 混合。加样前,混合物沸水浴加热 8 min,离心得上清液。吸取 10 μL 上清液至每个泳道,分

离胶和浓缩胶体积分数分别为 12%, 5%。样品在浓缩胶中的迁移电压为 80 V, 当样品进入分离胶时升高至 120 V。完成电泳迁移后, 将凝胶置于 0.125% 考马斯亮蓝 R-250 中染色 60 min, 并采用甲醇-冰乙酸(体积分数分别为 5%, 7.5%) 溶液对染色后的凝胶进行脱色, 直到出现清晰的蛋白条带, 利用凝胶成像仪对凝胶进行灰度扫描。

### 1.3 数据统计及分析

使用 SPSS 25.0 软件分析试验数据, 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 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 对油炸鱼丸孔洞结构的影响

试验发现, 未添加蛋清粉的油炸鱼丸组织致密, 孔隙率低, 内部结构只有一些细小的孔洞。添加蛋清粉后, 油炸鱼丸组织变得疏松, 孔隙率增大, 内部逐渐形成了大孔结构。当蛋清粉添加量为 10.0% 时, 油炸鱼丸的孔隙率最高, 组织结构最疏松, 孔洞最大, 内部形成了空洞结构。而添加 15.0% 蛋清粉的油炸鱼丸组织变得致密, 孔洞变小, 可能是过多的蛋清粉与鱼糜竞争水分, 导致鱼糜的初始水分下降, 不利于油炸鱼丸形成孔洞结构。综上, 适量添加蛋清粉有利于油炸鱼丸孔洞结构的形成。

### 2.2 对油炸鱼丸硬度的影响

由图 1 可知, 随着蛋清粉添加量的增大, 油炸鱼丸硬度先降低后升高, 当蛋清粉添加量为 10.0% 时, 油炸鱼丸的硬度最小, 与油炸鱼丸多孔结构趋势一致。因此, 油炸鱼丸的硬度取决于其内部结构, 组织结构越疏松, 孔隙率越高, 则硬度越低, 可能是因为添加蛋清粉促进了油炸鱼丸多孔结构的形成, 从而降低油炸鱼丸的硬度。

### 2.3 对油炸鱼丸吸水率的影响

由图 2 可知, 随着蛋清粉添加的增大, 油炸鱼丸的吸

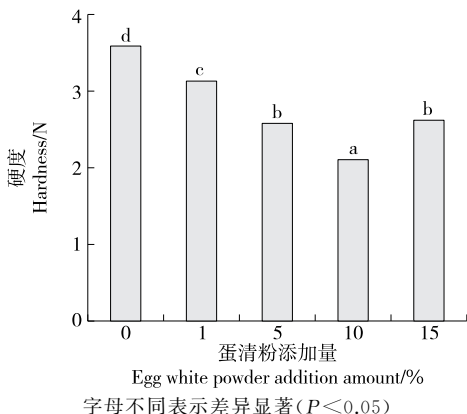
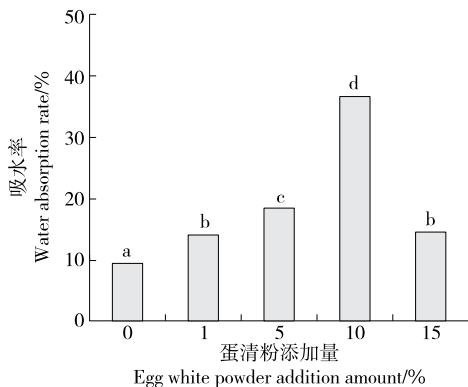


图 1 蛋清粉对油炸鱼丸硬度的影响

Figure 1 Effects of egg white powder on hardness of fried fish balls



字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )

图 2 蛋清粉对油炸鱼丸的吸水率的影响

Figure 2 Effects of egg white powder on water absorption characteristics of fried fish balls

水率先升高后降低, 其中添加 10.0% 蛋清粉的油炸鱼丸吸水率最高, 与油炸鱼丸多孔结构趋势一致, 表明油炸鱼丸的吸水率与其孔隙率呈正相关关系, 较高孔隙率为水分提供了更多的迁移通道和储存空间。蒸煮过程中, 高吸水性油炸鱼丸能很好地吸附汤汁, 给予消费者独特的爆汁口感。因此, 蛋清粉的添加有利于改善油炸鱼丸的食用品质, 其中添加 10.0% 蛋清粉油炸鱼丸的食用品质最佳。

### 2.4 对鱼糜动态流变学性质的影响

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  $G''$ , 表明鱼糜凝胶属于弹性凝胶。当温度  $< 50$  °C 时, 鱼糜的储能模量  $G'$  和耗能模量  $G''$  均随温度的升高而逐渐下降, 在 50 °C 时达最低值, 表明鲢鱼鱼糜成胶温度为 50 °C, 且蛋清粉的添加并未显著改变鱼糜的成胶温度。添加蛋清粉后, 鱼糜的  $G'$  和  $G''$  均增大, 表明添加蛋清粉可显著提高鱼糜的凝胶强度。当蛋清粉添加量为 1.0%~10.0% 时, 鱼糜的  $G'$  和  $G''$  均随蛋清粉添加量的增加而增加; 当蛋清粉添加量为 10.0% 时, 75~95 °C 下鱼糜的  $G'$  和  $G''$  均达最大值, 当蛋清粉添加量为 15.0% 时, 鱼糜的  $G'$  和  $G''$  下降, 说明在高温条件下添加 15.0% 蛋清粉鱼糜的凝胶强度低于添加 10.0% 蛋清粉鱼糜的, 可能是当蛋清粉添加量为 15.0% 时, 蛋清粉与鱼糜竞争水分, 导致鱼糜初始水分降低, 从而减弱了鱼糜的凝胶强度<sup>[17]</sup>。这与油炸鱼丸内部结构趋势一致, 表明油炸鱼丸孔隙率与鱼糜凝胶强度呈正相关关系, 即鱼糜的凝胶强度越大, 高温条件下越有利于稳定油炸鱼丸的孔洞结构, 其孔洞结构也越大。

### 2.5 对鱼糜蛋白起泡特性的影响

由图 4 可知, 添加蛋清粉可降低鱼糜的起泡性, 提高鱼糜的泡沫稳定性。鱼糜泡沫稳定性的增加可能是由于蛋清粉的添加提高了鱼糜的黏度, 较高黏度会减缓液体

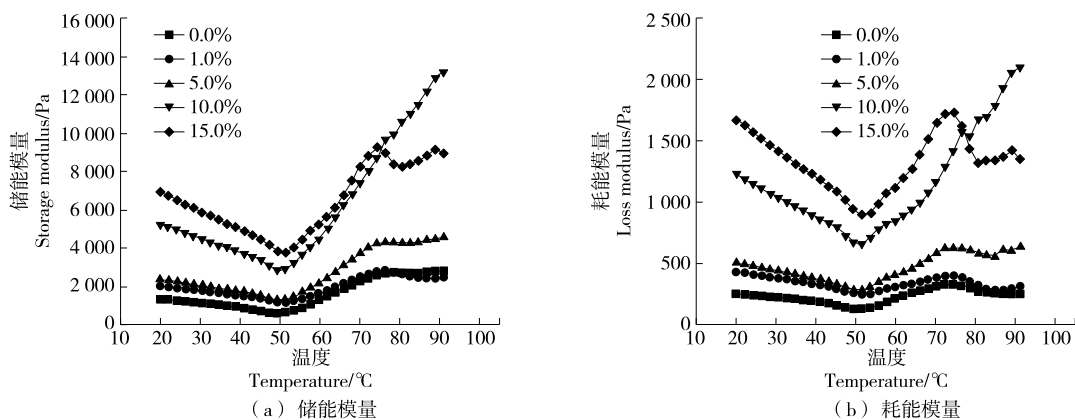
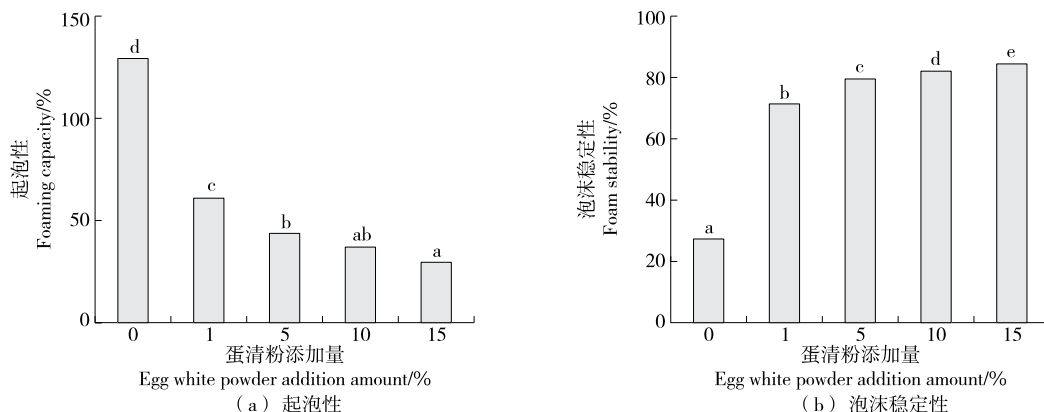


图 3 蛋清粉对鱼糜动态流变学性质的影响

Figure 3 Effects of egg white powder on dynamic rheological properties of surimi



字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

图 4 蛋清粉对鱼糜起泡性和泡沫稳定性的影响

Figure 4 Effects of egg white powder on foamability and foam stability of surimi

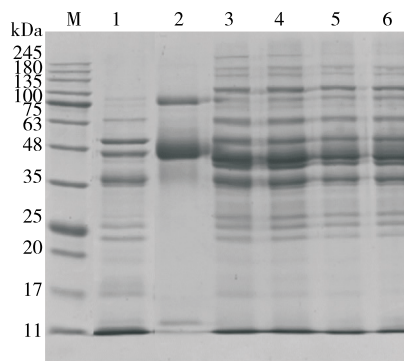
的排放,有利于维持蛋白的泡沫稳定性<sup>[18]</sup>。泡沫稳定性结果与油炸鱼丸孔洞结构趋势一致,表明油炸鱼丸的孔隙率与泡沫稳定性呈正相关关系,即泡沫稳定性越强,鱼糜在油炸过程中形成的泡沫越稳定,越有利于油炸鱼丸形成孔洞结构。

### 2.6 SDS-PAGE 凝胶电泳

由图 5 可知,鲢鱼鱼糜蛋白谱带主要有肌钙蛋白(52 kDa)、肌动蛋白(43 kDa)及其他微弱的蛋白条带<sup>[17]</sup>。蛋清粉主要有两个蛋白条带,分别为卵清蛋白(43 kDa)和伴清蛋白(77.9 kDa)。因此,添加蛋清粉后,鱼糜中 43,77.9 kDa 蛋白条带加深。与鱼糜蛋白条带相比,添加蛋清粉的鱼糜出现了分子量 100 kDa 以上的新条带,表明蛋清蛋白可能与鱼糜蛋白发生交联从而产生了大分子量的新蛋白条带。蛋白质的交联可能会提高鱼糜的凝胶性和泡沫稳定性,从而提高油炸鱼丸的孔隙率、改善其食用品质。

### 3 结论

试验表明,随着蛋清粉添加量的升高,油炸鱼丸孔隙



M. Maker 1. 鲢鱼鱼糜 2. 蛋清粉 3~6. 蛋清粉添加量分别为 1.0%, 5.0%, 10.0%, 15.0% 的鱼糜

图 5 添加不同蛋清粉的鱼糜 SDS-PAGE 电泳图

Figure 5 SDS-PAGE profile of surimi with different additions of egg white powder

率和吸水率先升高后降低,硬度先降低后升高,其中添加 10.0% 蛋清粉的效果最佳,表明蛋清粉的添加可改善油炸鱼丸的食用品质。此外,SDS-PAGE 分析表明蛋清蛋白和鱼糜蛋白可能会发生交联形成聚合物,进而有利于提

高鱼糜的凝胶性和泡沫稳定性,且油炸鱼丸的孔隙率与鱼糜的凝胶性、泡沫稳定性呈正比。综上,蛋清粉的添加提高了鱼糜的凝胶性和泡沫稳定性,从而增加鱼糜在油炸过程中孔洞结构的稳定性、提高油炸鲢鱼鱼丸的孔隙率和爆汁口感、改善其食用品质,有利于鲢鱼的高值化利用。研究的不足之处在于未系统地研究油炸工艺对鱼糜油炸特性的影响及其机制,未来可进一步研究漂洗方式、油炸温度、油炸时间等工艺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 X Y. Research and application of quality characteristics of mushroom fish balls[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2017: 1-3.
- [2] 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 L H, CHEN X, CAI Q Q, et al. Research progress on freezing denaturation law and regulation methods of surimi protein[J]. Food & Machinery, 2020, 36(8): 1-8.
- [3] 刘芳芳, 林婉玲, 李来好, 等. 鱼糜凝胶形成方法及其凝胶特性影响因素的研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(8): 292-296, 303.  
LIU F F, LIN W L, LI L H, et al. Research progress on the formation method of surimi gel and the influencing factors of gel properties[J]. Food Industry Science and Technology, 2019, 40(8): 292-296, 303.
- [4] 仪淑敏, 马兴胜, 励建荣, 等. 聚丙烯酸钠与面筋蛋白相结合对鲢鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 16(4): 43-50.  
YI S M, MA X S, LI J R, et al. Effect of the combination of sodium polyacrylate and gluten on the gel properties of silver carp surimi[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(4): 43-50.
- [5] CHANG C, NIU F, SU Y, et al. Characteristics and emulsifying properties of acid and acid-heat induced egg white protein[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 54: 342-350.
- [6] 邹婕, 王琪, 马美湖, 等. 高场强超声对蛋清液起泡特性的影响[J]. 中国食品学报, 2022, 22(1): 163-171.  
ZOU J, WANG Q, MA M H, et al. Effect of high field intensity ultrasound on foaming characteristics of egg white liquid[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(1): 163-171.
- [7] XIONG W, DENG Q, LI J, et al. Ovalbumin-carboxymethylcellulose complex coacervates stabilized high internal phase emulsions: Comparison of the effects of pH and polysaccharide charge density[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 98: 105282.
- [8] CAMPO-DEAÑO L, TOVAR C. The effect of egg albumen on the viscoelasticity of crab sticks made from Alaska Pollock and Pacific Whiting surimi[J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(7): 1 641-1 646.
- [9] 陈海华, 薛长湖. 不同添加物对鲤鱼鱼糜蛋白凝胶品质改良的研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(10): 79-84.  
CHEN H H, XUE C H. Study on quality improvement of carp surimi protein gel with different additives [J]. Food and Fermentation Industry, 2008, 34(10): 79-84.
- [10] 周阳, 胥伟, 陈季旺, 等. 蛋清蛋白粉与大豆分离蛋白粉对鱼丸品质的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(4): 299-302.  
ZHOU Y, XU W, CHEN J W, et al. Effects of egg white protein powder and soybean protein isolate powder on the quality of fish balls[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(4): 299-302.
- [11] 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.
- [12] 王希希, 林超, 李向红, 等. 工艺条件对蛋清鲢鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(12): 22-25.  
WANG X X, LIN C, LI X H, et al. Effects of process conditions on the gel properties of egg white silver carp surimi[J]. Food & Machinery, 2016, 32(12): 22-25.
- [13] 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: 12-13.  
XU Z J. Research and application of quality characteristics of sweet potato fish balls[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2017: 22-23.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. Analytical Biochemistry, 1976, 72(1): 248-254.
- [17] 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 J W, JIANG Q X, XU Y S, et al. Effect of curdlan on gel properties of high-temperature sterilization on surimi[J]. Food & Machinery, 2018, 34(4): 37-41, 98.
- [18] XIONG X, HO M T, BHANDARI B, et al. Foaming properties of milk protein dispersions at different protein content and casein to whey protein ratios [J]. International Dairy Journal, 2020, 109: 104758.