

施咏淇, 王攀, 周思瑞, 等. 芋头粉对白鲢鱼糜制品品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(24): 63–71. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020100

SHI Yongqi, WANG Pan, ZHOU Sirui, et al. Effects of Taro Powder on Quality of Silver Carp Surimi Products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(24): 63–71. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020100

· 研究与探讨 ·

芋头粉对白鲢鱼糜制品品质的影响

施咏淇, 王攀, 周思瑞, 郑赵敏*, 邹航, 赵尚龙, 张恩来, 姚春霞, 谭志国
(湖北经济学院烹饪与营养学系, 湖北武汉 430205)

摘要:为改善白鲢鱼糜制品的凝胶特性及风味品质, 本文以冷冻白鲢鱼糜为研究对象, 研究了不同芋头粉添加量(0、0.1%、0.25%、0.5%、1%、1.5% (w/w))对白鲢鱼糜制品持水性、蒸煮损失率、白度值、水分分布、凝胶性能、感官品质及气味特征的影响。结果表明, 随着芋头粉添加量的增加, 鱼糜制品的持水性、硬度、咀嚼性和凝胶强度均呈现先增大后减小的趋势, 而蒸煮损失率则表现为先减小后增大的趋势, 且当芋头粉的添加量为0.25%时, 鱼糜制品的持水性、硬度、咀嚼性及凝胶强度均增加到最大值, 分别为78.61%、1815.65±23.47 g、1446.85±70.28 g和831.19 g·cm, 蒸煮损失率降低到最小值, 为13.42%。当芋头粉添加量在0.1%~0.25%时, 越来越多的芋头粉吸水溶胀, 填充于鱼糜蛋白的网络结构中束缚住更多的水分, 使鱼糜制品中结合水和不易流动水不断增加, 最终使得鱼糜制品的凝胶特性增强, 但当芋头粉的添加量大于0.25%时, 过多的芋头粉反而会阻碍鱼糜蛋白的交联, 导致自由水增加, 使鱼糜制品的凝胶特性减弱。感官评价和电子鼻分析表明, 当芋头粉在最适添加量0.25%时, 还可以改善鱼糜制品的风味品质。本研究为高质量鱼糜制品的生产提供了理论依据。

关键词:芋头粉, 白鲢, 鱼糜制品, 持水性, 凝胶特性, 风味品质

中图分类号: TS254.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)24-0063-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020100

本文网刊:



Effects of Taro Powder on Quality of Silver Carp Surimi Products

SHI Yongqi, WANG Pan, ZHOU Sirui, ZHENG Zhaomin*, ZOU Hang, ZHAO Shanglong, ZHANG Enlai, YAO Chunxia, TAN Zhiguo

(Department of Cuisine and Nutrition, Hubei University of Economics, Wuhan 430205, China)

Abstract: In order to improve the gel properties and flavor quality of silver carp surimi products, frozen silver carp surimi was studied, where the effects of different amounts of taro powder (0, 0.1%, 0.25%, 0.5%, 1%, 1.5% (w/w)) on the water-holding capacity, cooking loss rate, whiteness, moisture distribution, gel properties, sensory quality and odor characteristics of silver carp surimi products were mainly investigated. The results showed that as the additive amount of taro powder increased, the water-holding capacity, hardness, chewiness and gel strength of the surimi products were increased first and then decreased, while the cooking loss rate was decreased first and then increased. When the additive amount of taro powder was 0.25%, the water-holding capacity, hardness, chewiness and gel strength of surimi products were all increased to the maximum values of 78.61%, 1815.65±23.47 g, 1446.85±70.28 g and 831.19 g·cm, respectively, while the cooking loss rate was decreased to the minimum value of 13.42%. When the additive amount of taro powder was 0.1%~0.25%, more taro powder was absorbing water and swelled, and filled in the network structure of surimi protein to lock more water, so that the bound water and immobile water in surimi products were increased continuously, and the gel properties of surimi products were enhanced ultimately. However, when the additive amount of taro powder was greater than 0.25%, too much taro powder would hinder the cross-linking of surimi protein, leading to the increase of free water and the gel properties weakening of surimi products. The sensory evaluation and electronic nose analysis showed that the flavor quality of surimi products could be improved when the optimal amount of taro powder was 0.25%. This study provides a theoretical basis for

收稿日期: 2023-02-13

基金项目: 湖北省自然科学基金(2021CFB013); 湖北省教育厅科学研究计划项目(Q20222201); 大学生创新创业训练计划项目(S202211600005); 博士科研启动基金(XJ19BS29)。

作者简介: 施咏淇(2002-), 女, 本科, 研究方向: 食品科学和水产品加工与贮藏, E-mail: 2283009035@qq.com。

* 通信作者: 郑赵敏(1991-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 食品科学和水产品加工与贮藏, E-mail: zzhaomin@hbue.edu.cn。

the production of high quality surimi products.

Key words: taro powder; silver carp; surimi products; water-holding capacity; gel properties; flavor quality

水产品及其加工业是我国国民经济的重要组成部分,据 2022 年中国渔业统计年鉴显示,2021 年,我国渔业产值为 15158.63 亿元,其中淡水养殖产值为 7473.75 亿元。鲢鱼作为中国四大淡水鱼之一,2021 年全国鲢鱼养殖产量为 383.66 万吨,相较于 2020 年增长了 0.6%^[1]。另据国家统计局数据显示,2021 年淡水产品产量为 3303.05 万吨,占水产品总产量的 49.37%^[2]。目前,市场上除了直接售卖鲜活的白鲢鱼外,越来越多的白鲢鱼被制成鱼糜制品,如鱼丸、鱼糕、鱼卷及鱼肠等,这些产品具有营养丰富、口感鲜嫩、制作方便等优点,拥有巨大的市场消费潜力^[3-4]。但白鲢鱼糜制品存在凝胶强度低、易发生凝胶劣化且腥味较重等品质问题,给消费者带来了不好的食用体验,也限制了其产业化发展。为改善白鲢鱼糜制品中出现的这些品质问题,常用方法即直接引入外源添加物(淀粉类、蛋白类、膳食纤维类等)改善其凝胶特性与风味品质。如王伶等^[5]在白鲢鱼糜制品中添加板栗粉,利用板栗粉的溶胀性提高鱼糜制品的凝胶强度,同时利用板栗粉的香味掩盖鱼糜本身的腥味进而改善鱼糜制品的风味品质;吴芳等^[6]在白鲢鱼糜制品中添加豆粕蛋白,利用豆粕蛋白与鱼糜蛋白的相互作用使鱼糜凝胶形成了更紧密的凝胶网络结构,从而改善了白鲢鱼糜的凝胶特性;Yin 等^[7]将豆渣膳食纤维添加到白鲢鱼糜中,经研究发现豆渣膳食纤维可以填充于鱼糜蛋白的网络空隙中,从而增强鱼糜的凝胶强度和质地。

芋头是一种营养价值丰富,老少皆宜的蔬菜兼粮食作物,我国的芋头主要产自珠江流域、长江流域、淮河流域等^[8]。新鲜的芋头含有丰富的淀粉、蛋白质、多糖、维生素、矿物质等,其中淀粉含量约为 11.77%,水分含量约为 83.21%,粗蛋白含量约为 1.75%~2.30%^[9-11]。芋头主要以鲜食为主,工业上也会对芋头进行加工,其中最主要的加工产品就是芋头粉^[12]。芋头粉含有芋头的营养价值,具有药食两用性,有宽肠胃、补脾胃、腹中癖块、消痞散结等作用,也具有抗氧化、降脂、控制体重和免疫调节等功效^[13-16]。目前,有关芋头粉在鱼糜制品的研究领域鲜有报道,仅裴志胜等^[17]研究了芋头添加物对金鲳鱼鱼糜凝胶的影响,论证了芋头原浆能够有效改善金鲳鱼鱼糜的持水性及凝胶性质。

因此,为改善白鲢鱼糜制品的凝胶特性及风味品质,并拓宽芋头产品深加工的应用范畴,本论文通过向白鲢鱼糜中添加芋头粉,研究芋头粉的添加量对白鲢鱼糜制品持水性、蒸煮损失率、白度值、水分分布、质构特性、感官评价及气味的影响规律,并确定最适添加量,以期生产高品质的白鲢鱼糜制品提供技术支持和理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

冷冻白鲢鱼糜 湖北洪湖市井力水产食品有限公司(AAA 级),储存于-20℃冰箱;芋头粉 扶风斯诺特生物科技有限公司;食盐 市售。

瑞利 DZQ-400-2D 单室真空包装机 上海鼎利轻工机械制造有限公司;食品料理机 博朗厨房电器有限公司;香肠打扣机 瑞安市特丰机械厂;GL16M 台式高速冷冻离心机 河南北弘实业有限公司;CP 224S 电子天平 德国 Sartorius 公司;DHS-10A 卤素水分快速测定仪 上海力辰仪器科技有限公司;HH-6 数显恒温水浴锅 常州国华电器有限公司;TA-XT Plus 型物性测试仪 英国 Stable Micro System 公司;NMI20-025V- I 核磁共振成像仪 苏州纽迈分析仪器股份有限公司;FOX4000 型电子鼻 法国 Alpha M.O.S 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 鱼糜凝胶的制备 冷冻白鲢鱼糜在 4℃冰箱解冻 12 h 后将鱼糜切成长宽高均约 2 cm 的小方块若干,用卤素水分快速测定仪测其水分含量,称量 6 份 150 g 的鱼糜分别放入料理机中,先低速空斩 30 s,加入称量好的冰水将鱼糜的含水量调整为 78%继续斩拌 90 s,然后加入质量分数为 2.5%的食盐斩拌 3 min,再分别加入质量分数为 0、0.1%、0.25%、0.5%、1%、1.5%的芋头粉斩拌 3 min。斩拌结束后将鱼糜转入裱花袋挤入 25 mm 塑料透明肠衣中,用卡扣机将两端封口包装好。然后将其放入 40℃的恒温水浴锅中煮制 60 min,90℃恒温水浴锅中煮制 30 min,在流水中冷却后放入 4℃冰箱冷藏。次日测定其持水性、蒸煮损失率、白度值、水分分布、凝胶性能、感官品质及气味特征等指标。

1.2.2 持水性的测定 参照 Zhang 等^[18]的方法,略作修改。将样品切成 2 mm 薄片状并称其重量(W_1 , g),用双层滤纸包裹,置于离心管中离心,离心转速为 4000 r/min,时间为 15 min,称取离心后样品的质量(W_2 , g)。每组样品测试 3 组平行,其持水性按下列公式计算:

$$\text{持水性}(\%) = \left(1 - \frac{W_1 - W_2}{78\%W_1}\right) \times 100 \quad \text{式(1)}$$

1.2.3 蒸煮损失率的测定 参照李艺等^[19]的方法,略作修改。将样品切成高 20 mm 的圆柱体,称重记为(W_1 , g),放入蒸煮袋中封口,置于 90℃恒温水浴锅中蒸煮 30 min,蒸煮后用滤纸吸干表面的水分,冷却至室温后称重记为(W_2 , g)。每组样品测试 3 组平行,其蒸煮损失率按下列公式计算:

$$\text{蒸煮损失率}(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad \text{式 (2)}$$

1.2.4 白度值的测定 参考 Mi 等^[20]的方法, 略作修改。将样品切成高度为 20 mm 的圆柱体, 用色差仪测定样品的亮度(L^* 值)、红度(a^* 值)和黄度(b^* 值)。每组样品测试 3 组平行, 其白度值 W (Whiteness) 按下列公式计算:

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{式 (3)}$$

1.2.5 水分分布的测定 参考 Yang 等^[21]的方法并稍加改动, 将样品切成约 20 mm 的圆柱体, 准确称取 9 g 样品, 然后用核磁膜将样品包好后放入核磁管里, 然后选择 CPMG 序列, 设置水分弛豫时间 T_2 测量参数: 采样频率 $SW=100$ kHz, 模拟增益 $RG1=20.0$ dp, $P_1=9.52$ μs , 数字增益 $DRG1=3$, 重复采样间隔时间 $TW=5500$ ms, 累加采样次数 $NS=8$, $P_2=18.00$ μs , 回波时间 $TE=0.50$ ms。每组样品扫描 3 次, 最后应用 MultiExp Inv Analysis 软件进行多指数拟合得到鱼糜的横向弛豫图谱。

1.2.6 凝胶性能的测定 参考 Mi 等^[20]的方法并稍加改动, 将样品切成 20 mm 的圆柱体, 运用 TA-XT Plus 质构分析仪对其进行质构分析(Texture profile analysis, TPA)的测定和穿刺性能的测定。

TPA 的测定: 采用 P/36R 探头对样品进行两次压缩实验, 实验参数: 探头 P/36R, 压缩比为 40%, 测前、测中、测后速度分别为 5、1、5 mm/s, 测定样品的硬度、弹性、内聚性、咀嚼性和回复性等指标。

穿刺性能的测定: 采用 P/0.25S 探头对样品进行一次压缩实验, 实验参数: 测前、测中、测后速度分别为 1、1、5 mm/s, 穿刺距离 15 mm。曲线上的第一个峰的值表示破断强度, 对应的压缩距离是破断距离。凝胶强度按下列公式计算:

$$\text{凝胶强度}(\text{g} \cdot \text{cm}) = \text{破断强度}(\text{g}) \times \text{破断距离}(\text{cm}) \quad \text{式 (4)}$$

1.2.7 感官评价 参考刘念等^[22]的方法并稍加改动, 鱼糜制品的感官评价由 8 名经过培训的烹饪与营养教育专业的同学(年龄 20~22 岁, 4 名女生, 4 名男生)按照表 1 的标准对样品的色泽、气味、滋味、组织状态和口感五个指标进行打分, 最后的结果以平均值 $\pm$ 偏差表示。

1.2.8 电子鼻分析的测定 参考刘念等^[22]的方法并稍加改动, 准确称取空白鱼肠样品 2 g, 切碎, 放入 10 mL 样品瓶, 拧紧密封; 准确称取 0.005 g 芋头粉于 10 mL 样品瓶中, 塞入棉花拧紧密封待用; 准确称取 2.005 g 加 0.25% 芋头粉的鱼肠样品, 切碎, 放入 10 mL 样品瓶, 拧紧密封。每个样品都设置 3 组平行。使用 FOX 4000 电子鼻进行测定。参数设置: 产生时间为 120 s, 顶空生产温度为 50 $^{\circ}\text{C}$, 振荡速度为

表 1 鱼糜制品感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standard of surimi products

指标	评分标准	分值(分)
色泽	颜色纯白	14~20
	颜色稍黄	7~13
	颜色灰黄	0~6
气味	基本无鱼腥味	14~20
	稍有鱼腥味	7~13
	鱼腥味较重	0~6
滋味	具有鱼肉特有的鲜味, 无异味	14~20
	鱼肉鲜味较淡, 略有异味	7~13
	无鱼肉鲜味, 有异味	0~6
口感	肉质细腻, 无沙粒感	14~20
	肉质较为细腻, 略有沙粒感	7~13
	口感粗糙, 沙粒感明显	0~6
组织状态	断面密实, 无大气孔, 有微小均匀的小气孔, 中指力压, 明显凹陷不破裂, 放手即可复原	14~20
	断面较密实, 无大气孔, 有少量小气孔, 中指力压, 凹陷而不破裂, 放手不能完全恢复原状	7~13
	断面较松软, 有大量不均匀气孔, 中指力压即破裂	0~6

500 r/min。总采集时间 120 s, 采集间隔时间 1 s, 采集延迟时间 300 s。注射量为 1.5 mL, 注射速度为 1.5 mL/s, 进样针温度为 60 $^{\circ}\text{C}$ 。载气为合成干空气, 流速为 150 mL/min。电子鼻各传感器、响应特性及对应的参考物质如表 2 所示^[23]。

表 2 电子鼻 18 根传感器对应的响应特性及参考物质

Table 2 Response characteristics and reference materials of 18 sensors of electronic nose

传感器代号	响应特性	参考物质
LY2/LG	氧化气体	氯、氟、氮氧化合物
LY2/G	毒气	氨、胺化合物
LY2/AA	有机化合物	乙醇、丙酮、氨
LY2/GH	毒气	氨、胺化合物
LY2/gCTL	毒气	硫化物
LY2/gCT	易燃气体	丙烷、丁烷
T30/1	有机化合物	极性化合物、氯化氢
P10/1	易燃气体	碳氢化合物
P10/2	易燃气体	非极性化合物、甲烷
P40/1	氧化气体	氟、氯
T70/2	芳香化合物	甲苯、二甲苯
PA/2	有机化合物、毒气	乙醇、氨、胺化合物
P30/1	易燃气体、有机化合物	碳氢化合物、氨、乙醇
P40/2	氧化气体	氯、硫化氢、氟化物
P30/2	有机化合物	乙醇、酮
T40/2	氧化气体	乙醇、酮
T40/1	氧化气体	氟
TA/2	有机化合物	乙醇

1.3 数据处理

数据采用 Origin 2016 及 GraphPad Prism 5 软件对数据进行绘图和统计, 使用 IBM SPSS Statistics 22 进行单因素方差分析(One-way-ANOVA), 当 $P<0.05$ 时, 表明有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 不同芋头粉添加量对鱼糜制品持水性的影响

图1为不同芋头粉添加量对鱼糜制品持水性的影响。据图1可知,鱼糜制品的持水性随芋头粉添加量的增加呈现先上升后下降的趋势,当芋头粉的添加量为0.25%时,鱼糜制品的持水性达到了最大值78.61%,比空白组增加了14.15%。水分是鱼糜制品中含量最高的组分,也是维持和改善鱼糜凝胶特性的重要因素^[18]。当芋头粉的添加量从0%增加到0.25%时,可以提高鱼糜制品的持水性。可能的原因有:首先,芋头粉中含有大量的淀粉,而淀粉具有溶胀性,吸水溶胀后可以结合鱼糜制品中更多的自由水,使水分更难析出^[19,24-25];其次,芋头粉吸水后在一定程度上提高了鱼糜蛋白的浓度,促进了鱼糜蛋白的交联;此外,鱼糜凝胶化过程中会形成三维水合蛋白凝胶网状结构^[26],越来越多的芋头粉颗粒能填充于鱼糜蛋白交联的空隙中^[27],使得凝胶网络结构逐渐变得均一致密,从而提高其持水性。但当芋头粉的添加量超过0.25%时,芋头粉可能无法完全吸水溶胀,且过多的芋头粉颗粒填充于鱼糜蛋白的空隙中,反而会阻碍鱼糜蛋白的交联,最终破坏了鱼糜蛋白的凝胶网络,导致其持水性反而呈现下降的趋势^[18,28]。

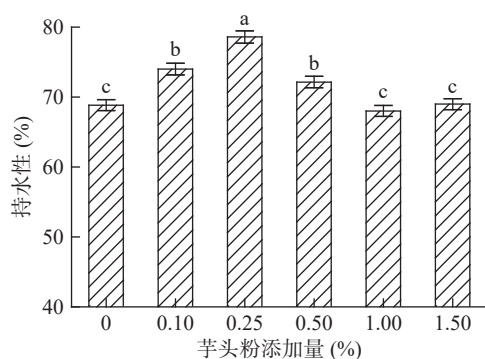


图1 不同芋头粉添加量对鱼糜制品持水性的影响

Fig.1 Effect of different additive amounts of taro powder on water-holding capacity of surimi products

注:不同字母表示不同组间有显著性差异($P<0.05$),相同字母表示无显著性差异($P>0.05$);图2~图3、图6同。

2.2 不同芋头粉添加量对鱼糜制品蒸煮损失率的影响

图2为不同芋头粉添加量对鱼糜制品蒸煮损失率的影响。据图2可知,鱼糜制品的蒸煮损失率随芋头粉添加量的增加总体呈现先下降后上升的趋势,当芋头粉的添加量为0.10%和0.25%时能显著降低鱼糜制品的蒸煮损失率($P<0.05$)。虽然当芋头粉的添加量为0.1%和0.25%时,两者之间无显著性差异($P>0.05$),但当芋头粉的添加量为0.25%时,鱼糜制品蒸煮损失率的平均值最低为13.42%,相比与空白对照组降低了12.26%。当芋头粉的添加量大于0.25%时,鱼糜制品的蒸煮损失率反而呈现上升的趋势。鱼糜制品的蒸煮损失率指样品在一定温度下蒸煮的过程中,鱼糜中含有的水分等渗透流出的比例,

与鱼糜制品的持水性相关联,一般持水性越高,蒸煮损失率越低,鱼糜制品流失水分的速度越缓慢^[29-30]。对比芋头粉对持水性和蒸煮损失率的影响可以看出,芋头粉对鱼糜制品蒸煮损失率的影响与其对持水性的影响结果相反,这也表明,适量芋头粉的增加可能会因为芋头粉的吸水溶胀性及填充效应而提高鱼糜制品的网络结构从而降低其蒸煮损失率,而芋头粉的过量增加可能会因为芋头粉的不完全吸水及阻碍鱼糜蛋白的交联而降低鱼糜制品的网络结构从而增加其蒸煮损失率^[27]。综合持水性和蒸煮损失率的数据可知,当芋头粉的添加量为0.25%时,鱼糜制品的品质可能最好。

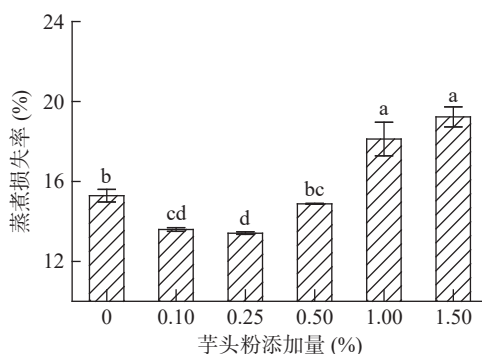


图2 不同芋头粉添加量对鱼糜制品蒸煮损失率的影响

Fig.2 Effect of different additive amounts of taro powder on cooking loss rate of surimi products

2.3 不同芋头粉添加量对鱼糜制品白度值的影响

白度能够反映产品的外观颜色,一般来说鱼糜制品白度值越大,越容易被消费者接受和购买。图3为不同芋头粉添加量对鱼糜制品白度值的影响。据图3可知,当芋头粉的添加量在0.10%~1.50%时,鱼糜制品的白度值和空白对照组之间没有显著性差异($P>0.05$)。新鲜的芋头呈白色,在加工制成芋头粉后,呈淡黄色,在添加量较少的情况下,不会对鱼糜的白度值产生影响,这也与感官评价中色泽的评分结果一致。

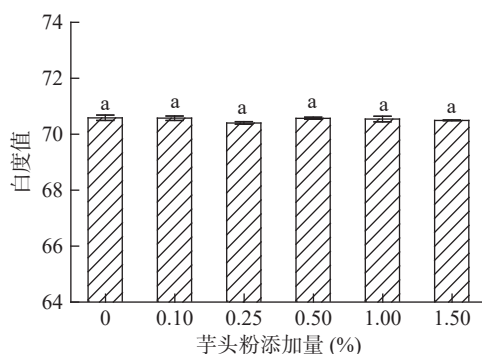


图3 不同芋头粉添加量对鱼糜制品白度值的影响

Fig.3 Effect of different additive amounts of taro powder on whiteness of surimi products

2.4 不同芋头粉添加量对鱼糜制品水分分布的影响

弛豫时间可以反应水分的自由度,弛豫时间越

长,说明水分越自由,弛豫时间越短,说明水分与底物之间相互结合越紧密^[21]。鱼糜凝胶横向弛豫时间 T_2 存在的 3 个峰,代表 3 种不同状态的水分, T_{21} (0.01~10 ms) 为结合水; T_{22} (100~300 ms) 为不易流动水,是截留在鱼糜三维网状结构中的水分,是鱼糜凝胶中最主要的水分,直接影响鱼糜制品的凝胶性能; T_{23} (300~10000 ms) 为自由水,表示鱼糜凝胶空间网络结构以外的水分^[31]。从图 4 可以看出,所有样品都含有 3 种不同状态的水,但当芋头粉的添加量为 0.25% 时,鱼糜制品中自由水的峰最小,结合水的峰最大。

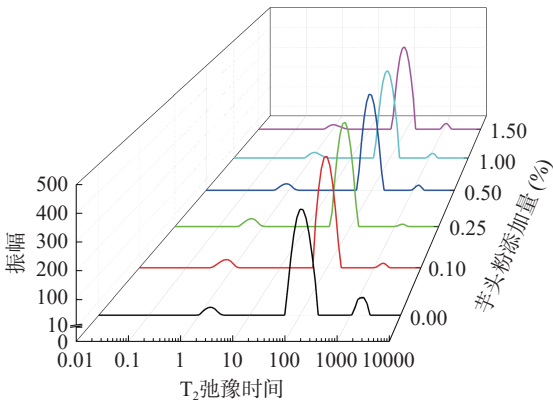


图 4 不同芋头粉添加量对鱼糜制品水分弛豫时间(T_2)的影响

Fig.4 Effect of different additive amounts of taro powder on T_2 relaxation time of surimi products

在鱼糜制品中,自由水的流动性最大,在离心过程中容易丢失。因此,当自由水含量较高时,鱼糜制品的持水性较小^[32]。如图 5 所示,空白鱼糜制品中自由水面积占比最大,这与持水性最低一致。随着芋头粉添加量的增加,自由水的面积占比先减小后增大,结合水的面积占比先增大后减小。当芋头粉添加量为 0.25% 时,自由水面积占比最小,结合水面积占比最大,这可能是由于在鱼糜制品凝胶网络结构形成过程中,芋头粉吸水溶胀并填充于网络结构中,使其束缚住更多的水分,导致结合水和不易流动水增多^[17],这与持水性和蒸煮损失率的测定结果相符。当芋头粉的添加量大于 0.25% 时,过量的芋头粉会阻碍鱼糜蛋白的交联,从而影响鱼糜制品凝胶网络的形成^[32],导致自由水反而增多。

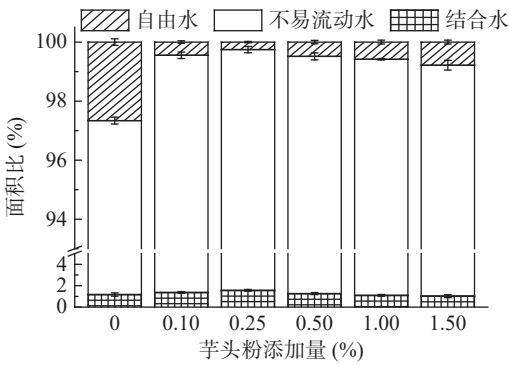


图 5 不同芋头粉添加量对鱼糜制品中 3 种状态水相对百分含量的影响

Fig.5 Effect of different additive amounts of taro powder on relative contents of three states of water in surimi products

2.5 不同芋头粉添加量对鱼糜制品质构特性的影响

鱼糜制品的质构特性一般从硬度、弹性、内聚性、咀嚼性和回复性五个参数进行分析。表 3 显示了不同芋头粉添加量对鱼糜制品 TPA 性能的影响。从表 3 中可以看出,芋头粉对鱼糜制品的硬度和咀嚼性的影响变化基本一致,随着芋头粉添加量的增加,鱼糜制品的硬度和咀嚼性都呈现先升后降的趋势。当芋头粉的添加量为 0.25% 时,鱼糜制品的硬度和咀嚼性都显著增加($P<0.05$),且达到最大值,分别为 1815.65 ± 23.47 g 和 1446.85 ± 70.28 g。鱼糜制品硬度和咀嚼性的增加表明压缩样品达到给定的形变需要更大的力,当芋头粉的添加量在 0.1%~0.25% 之间时,随着芋头粉的增加,越来越多芋头粉颗粒填充于鱼糜蛋白交联的空隙中,增强了鱼糜蛋白的网络结构,使得鱼糜制品的硬度和咀嚼性增大。然而,当芋头粉的添加量大于 0.25% 且继续增加时,鱼糜制品的硬度和咀嚼性反而有所降低,这可能是由于过量的芋头粉反而破坏了鱼糜蛋白的凝胶网络^[18]。这与米红波等^[28]报道的淀粉能提高白鲢鱼糜制品的硬度和咀嚼性的结果相一致。当芋头粉的添加量从 0% 增加到 1.5% 时,鱼糜制品的弹性和内聚性无显著性变化($P>0.05$),表明芋头粉的添加量虽然对白鲢鱼糜制品的硬度和咀嚼性有明显的影 响,但对其弹性和内聚性没有影响。当芋头粉的添加量为 1.5% 时,回复性反而出现了下降的趋势,说明当芋头粉的添加量低于 1.5% 时,不会对白鲢鱼糜制品的回复性产生影响。这与胡曼子等^[33]研究发现巴河藕粉的添加会降

表 3 不同芋头粉添加量对鱼糜制品 TPA 的影响

Table 3 Effect of different additive amounts of taro powder on TPA of surimi products

添加量(%)	硬度(g)	弹性	内聚性	咀嚼性(g)	回复性
0	1671.79±12.83 ^b	0.95±0.05 ^a	0.84±0.01 ^a	1190.15±82.97 ^{bc}	0.56±0.01 ^a
0.1	1710.31±151.89 ^b	0.96±0.01 ^a	0.84±0.01 ^a	1268.17±154.67 ^b	0.56±0.01 ^{ab}
0.25	1815.65±23.47 ^a	0.95±0.01 ^a	0.85±0.01 ^a	1446.85±70.28 ^a	0.56±0.00 ^a
0.5	1534.59±35.33 ^c	0.93±0.01 ^a	0.85±0.01 ^a	1219.35±39.16 ^{bc}	0.56±0.00 ^a
1.0	1551.74±41.91 ^c	0.95±0.01 ^a	0.84±0.01 ^a	1243.11±37.51 ^{bc}	0.56±0.00 ^{ab}
1.5	1454.33±33.82 ^c	0.95±0.01 ^a	0.84±0.01 ^a	1146.27±24.16 ^c	0.55±0.00 ^b

注: 同列不同字母表示有显著性差异($P<0.05$); 表 4 同。

低白鲢鱼糜制品回复性的结果一致。

2.6 不同芋头粉添加量对鱼糜制品凝胶强度的影响

鱼糜制品的凝胶特性决定鱼糜制品品质的优劣,也是鱼糜制品价格高低的重要影响因素^[34]。如图 6 所示,随着芋头粉添加量的增加,鱼糜制品的凝胶强度逐渐增大,且在芋头粉添加量为 0.25% 时,鱼糜制品的凝胶强度达到最大,推测此时凝胶淀粉含量最大^[11],而淀粉具有良好的吸水性,在保证鱼糜制品含水量不变的情况下,芋头粉能够吸收水分,进而使鱼肉蛋白水分含量减少,有效提高鱼肉蛋白的浓度,促进鱼糜凝胶网络的形成^[35];在加热过程中,芋头粉吸水膨胀,芋头粉颗粒填充到鱼肉蛋白的凝胶网络的间隙之中,有效增强了凝胶网络的结构^[36-37],从而使鱼糜制品的凝胶强度得到提高。但是添加过量芋头粉时,芋头粉会阻碍鱼糜蛋白的交联,从而影响鱼糜凝胶网络的形成^[28],进而使鱼糜制品的凝胶强度有所下降。

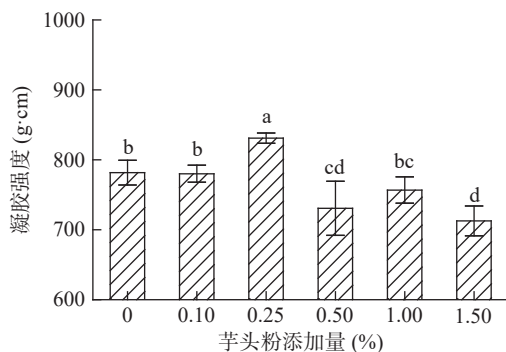


图 6 不同芋头粉添加量对鱼糜制品凝胶强度的影响

Fig.6 Effect of different additive amounts of taro powder on gel strength of surimi products

2.7 不同芋头粉添加量对鱼糜制品感官品质的影响

表 4 为不同添加量芋头粉对鱼糜凝胶感官品质的影响。由表 4 可知,鱼糜制品的色泽评分随着芋头粉含量的增加无显著变化($P>0.05$),这一结果与白度值的结果相匹配。鱼糜制品的气味评分随着芋头粉添加量的增加而增加,可能是由于添加了芋头粉之后,芋头粉浓郁的香味对于鱼糜的腥味有一定的掩盖作用。鱼糜制品组织状态的评分随着芋头粉添加量的增加先增加后减少,当芋头粉的添加量为 0.25% 时达到最高,这一结果与持水性、蒸煮损失率、质构特性和凝胶强度的趋势一致。芋头粉的添加对鱼糜

制品的滋味和口感无显著性影响($P>0.05$)。综上,在鱼糜制品中添加适量芋头粉可以改善鱼糜制品的气味和组织状态,进而改善鱼糜制品的感官品质。

2.8 芋头粉/鱼糜制品电子鼻分析

2.8.1 主要成分分析(PCA) 主要成分分析是一种降维处理数据的方法,将电子鼻传感器提取到的相关信息进行转换降维,将信息用散点图进行表达。判别指数是用来表示样品之间区分度大小的一种判断方法,其有效范围在 80~100,且值越高说明得到的数据效果越好^[38]。由图 7 可知判别指数达到了 85,说明样品之间的味道是可以区分的。图 7 显示,PC1 贡献率为 83.046%、PC2 贡献率为 8.74%,两个主成分的总贡献率为 91.786%,超过了 90%,说明主成分可以反应原始数据的信息^[38]。样品之间距离间隔越远则说明气味差异越明显,样品区域之间没有重叠说明 PCA 分析可以对样品进行有效的区分,数据的区分以 PC1 的贡献率为主,在 PC1 坐标轴上距离越远则差异越大,由图可见芋头粉的气味区间和添加了 0.25% 芋头粉的鱼糜制品的气味区间间隔有一定距离,说明两样品的气味有较大差异。空白样品和添加了 0.25% 芋头粉的鱼糜制品没有重叠部分,说明两个样品之间存在气味差异。

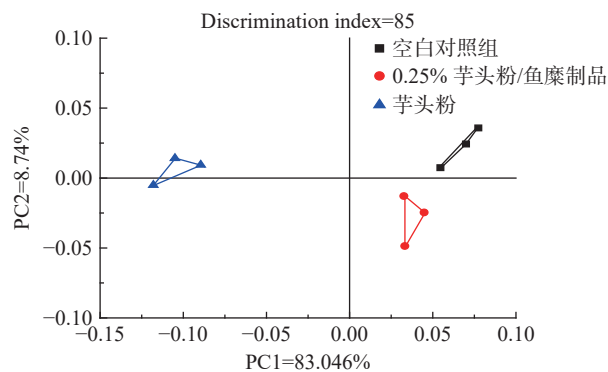


图 7 添加芋头粉前后鱼糜制品电子鼻响应信号主要成分分析图

Fig.7 PCA plot of electronic nose responses to surimi products with or without taro powder

2.8.2 判别因子分析(DFA) 判别因子分析是通过少数几个因子来描述多个因素之间的联系和差别。相对于 PCA, DFA 能够更好的体现出样品之间的差异。样品区域之间间隔越远则说明气味的差异越明显。如图 8 所示,DF1 的贡献率为 94.803%,DF2 的

表 4 不同芋头粉添加量对鱼糜制品感官品质的影响

Table 4 Effect of different additive amounts of taro powder on sensory quality of surimi products

添加量(%)	色泽	气味	滋味	口感	组织状态
0	17.05±0.26 ^a	9.43±0.34 ^f	12.03±0.76 ^a	13.74±1.40 ^a	14.33±0.39 ^b
0.1	16.88±0.39 ^a	10.64±0.39 ^e	12.44±0.74 ^a	14.41±1.04 ^a	16.62±1.04 ^a
0.25	16.74±1.04 ^a	11.39±1.04 ^d	13.03±0.79 ^a	14.88±0.70 ^a	16.75±0.70 ^a
0.5	16.98±0.70 ^a	11.92±0.70 ^c	12.87±0.64 ^a	14.63±1.01 ^a	13.66±1.01 ^c
1.0	17.13±1.01 ^a	12.44±1.01 ^b	12.67±0.76 ^a	14.23±1.02 ^a	13.26±0.37 ^d
1.5	17.09±0.24 ^a	12.85±0.12 ^a	12.36±0.80 ^a	13.75±1.18 ^a	13.04±0.36 ^d

贡献率为 $DF2=5.197\%$, 两个成分的总贡献率达到了 100% , 说明 DFA 也可以反应原始数据的信息, 且可以很好的区分添加了芋头粉的鱼糜制品与空白鱼糜制品。

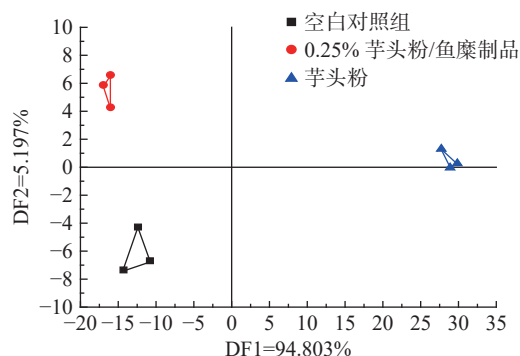


图 8 添加芋头粉前后鱼糜制品电子鼻响应信号判别因子分析图

Fig.8 DFA plot of electronic nose responses to surimi products with or without taro powder

2.8.3 不同样品的气味雷达图 通过电子鼻分析鱼糜制品的气味指纹绘制的图谱, 也叫做气味雷达图。雷达图能够很好地反映样品的气味对传感器探头的响应值大小。如图 9 所示, LY 型传感器对样品信号的响应值较低, 而 T 型和 P 型传感器则对样品有较高的响应值。传感器 P40/2、P30/1、P40/1、P10/1 对添加了 0.25% 芋头粉的鱼糜制品的响应值会高于空白对照组。P40/2 传感器的响应特性对应物质为氯、硫化氢、氟化物等; P30/1 传感器响应特性对应物质为碳氢化合物、氨、乙醇等; P40/1 传感器的响应特性对应物质为氟、氯等; P10/1 传感器的响应特性对应物质为碳氢化合物^[23]。因此添加了 0.25% 芋头粉的鱼糜制品中挥发性物质, 如氟化物、乙醇、氯、碳氢化合物等相较于空白对照组增多。PA/2 传感器的响应特性对应物质为乙醇、氨、胺化合物等, T70/2 传感器的响应特性对应为甲苯、二甲苯^[23]。传感器 PA/2、T70/2 对添加了 0.25% 芋头粉的鱼糜制品的

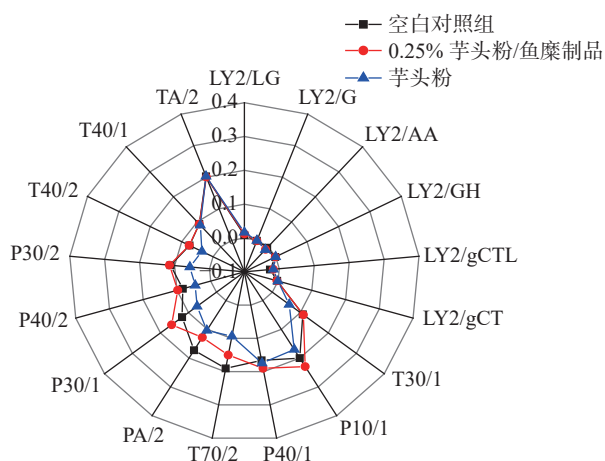


图 9 添加芋头粉前后鱼糜制品的气味雷达图谱

Fig.9 Radar diagram of electronic nose response to surimi products with or without taro powder

响应值会低于空白对照组, 说明添加了 0.25% 芋头粉的鱼糜制品中胺化合物、甲苯、二甲苯有所减少。

3 结论

在鱼糜制品中添加芋头粉能够影响鱼糜制品的持水性、蒸煮损失率、质构特性、凝胶强度等。当芋头粉的添加量为 0.25% 时, 鱼糜制品的持水性、硬度、咀嚼性、凝胶强度都有明显增加并且达到最大值, 且蒸煮损失率达到最低。感官评价中组织状态也在添加量达到 0.25% 时有明显提高; 感官评价中气味的评分也随着芋头粉添加量的增加而增大, 说明芋头粉的添加量能够改善鱼糜的风味。综上所述, 鱼糜制品中添加 0.25% 的芋头粉能够增强鱼糜制品的凝胶特性, 改善鱼糜制品的风味, 同时拓展芋头产品深加工应用的范畴。

参考文献

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2022. [Fisheries Administration of Ministry of Agriculture and Rural Affairs. China Fishery Statistical Yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2022.]
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 国家数据-2021 年度数据 [EB/OL], 2021. 中华人民共和国国家统计局, <https://data.stats.gov.cn/search.htm>. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. National data-2021 data [EB/OL], 2021. National Bureau of Statistics of the People's Republic of China, <https://data.stats.gov.cn/search.htm>.]
- [3] 严浩, 王玉栋, 钟武, 等. 外源蛋白对白鲢鱼糜肌原纤维蛋白结构及其结合特征腥味物质能力的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(2): 64-70. [YAN H, WANG Y D, ZHONG W, et al. Effect of external proteins on the structure of silver carp surimi myofibrillar protein and its capacity to bind to characteristic fishy-odor compounds[J]. Food Science, 2023, 44(2): 64-70.]
- [4] MONTO A R, LI M, WANG X, et al. Recent developments in maintaining gel properties of surimi products under reduced salt conditions and use of additives[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2022, 62: 8518-8533.
- [5] 王伶, 刘扬, 王颜悦, 等. 板栗粉添加量对鲢鱼鱼糜制品品质的影响[J]. 食品工业, 2021, 42(4): 43-47. [WANG L, LIU Y, WANG Y Y, et al. Effects of chinese chestnut powder contents on the quality of silver carp surimi products[J]. Food Industry, 2021, 42 (4): 43-47.]
- [6] 吴芳, 江舒, 胡曼子, 等. 豆粕蛋白对白鲢鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(18): 91-96. doi: 10.13386/j.issn 1002-0306.2022120015. [WU F, JIANG S, HU M Z, et al. Effect of soybean meal proteins on gel properties of silver carp surimi[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(18): 91-96. doi:10.13386/j.issn1002-0306.2022120015.]
- [7] YIN T, YAO R, ULLAH I, et al. Effects of nanosized okara dietary fiber on gelation properties of silver carp surimi[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 111: 111-116.
- [8] 李柏文, 宗义湘, 吴曼. 世界芋头生产贸易形势分析[J]. 中国蔬菜, 2022(6): 1-6. [LI B W, ZONG Y X, WU M. World taro production and trade situation analysis[J]. China Vegetables, 2022(6): 1-6.]
- [9] 韩笑, 张东旭, 王磊, 等. 芋头的营养成分及加工利用研究进展[J]. 中国果菜, 2018, 38(3): 9-13. [HAN X, ZHANG D X, WANG L, et al. Research progress on the nutrition components and

- processing and utilization of taro[J]. *China Fruit & Vegetable*, 2018, 38(3): 9-13.]
- [10] 魏秋羽, 张钟元, 李大婧, 等. 不同芋头品种真空微波干燥品质变化的比较[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(1): 235-241. [WEI Q Y, ZHANG Z Y, LI D J, et al. Quality changes in different varieties of taro treated by microwave vacuum drying[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(1): 235-241.]
- [11] 袁军, 陈龙, 孙文静, 等. 芋头淀粉提取工艺优化及淀粉特性研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(19): 252-256. [YUAN J, CHEN L, SUN W J, et al. Study on taro starch extraction and properties of taro starch[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(19): 252-256.]
- [12] 戴修纯, 罗燕羽, 黄绍力, 等. 广东省芋头产业现状与发展对策[J]. *广东农业科学*, 2021, 48(6): 126-135. [DAI X C, LUO Y Y, HUANG S L, et al. Present situation and development countermeasures of taro industry in guangdong province[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2021, 48(6): 126-135.]
- [13] 康庆, 林莹, 苏颖杰, 等. 芋头水溶性多糖的分离纯化及其对巨噬细胞免疫活性功能的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(19): 13-19. [KANG Q, LIN Y, SU Y J, et al. Isolation and purification of water-soluble polysaccharide from taro and its effect on immune activity of macrophages[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(19): 13-19.]
- [14] SINGLA D, SINGH A, DHULL S B, et al. Taro starch: Isolation, morphology, modification and novel applications concern-A review[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 163: 1283-1290.
- [15] ZHANG W T, HUANG G L. Preparation, structural characteristics, and application of taro polysaccharides in food[J]. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 2022, 102: 6193-6201.
- [16] PEREIRA P R, MATTOS É B A, CORREA A C N T F, et al. Anticancer and immunomodulatory benefits of taro (*Colocasia esculenta*) corms, an underexploited tuber crop[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2021, 22: 265.
- [17] 裴志胜, 薛长凤, 文攀, 等. 芋头添加物对金鲳鱼鱼糜凝胶的影响[J]. *肉类研究*, 2019, 33(11): 12-17. [PEI Z S, XUE C F, WEN P, et al. Effect of taro additives on gel properties of trachinotus ovatus surimi[J]. *Meat Research*, 2019, 33(11): 12-17.]
- [18] ZHANG H M, XIONG Y T, BAKRY A M, et al. Effect of yeast β -glucan on gel properties, spatial structure and sensory characteristics of silver carp surimi[J]. *Food hydrocolloids*, 2019, 88: 256-264.
- [19] 李艺, 谭宏渊, 王雨婷, 等. 茯苓全粉对白鲢鱼糜凝胶特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(2): 64-69. [LI Y, TAN H, WANG Y T, et al. Effect of *Poria cocos* full powder on surimi gel[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(2): 64-69.]
- [20] MI H B, LI Y, WANG C, et al. The interaction of starch-gums and their effect on gel properties and protein conformation of silver carp surimi[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 112: 106290.
- [21] YANG K, ZHOU Y H, GUO J J, et al. Low frequency magnetic field plus high pH promote the quality of pork myofibrillar protein gel: A novel study combined with low field NMR and Raman spectroscopy[J]. *Food Chemistry*, 2020, 326: 126896.
- [22] 刘念, 黄琪琳, 李沛, 等. 不同种类酵母抽提物对调理乌鳢鱼片风味及品质的影响[J]. *水产学报*, 2021, 45(7): 1089-1100. [LIU N, HUANG Q L, LI P, et al. Effect of yeast extracts on flavor and texture of seasoned snail head fish (*Channa argus*) fillets[J]. *Journal of fisheries of China*, 2021, 45(7): 1089-110.]
- [23] 周鸿宇, 刘欢, 熊善柏, 等. 臭氧气浮漂洗对鲢鱼糜挥发性成分的影 响[J]. *华中农业大学学报(自然科学版)*, 2022, 41(3): 229-235. [ZHOU H Y, LIU H, XIONG S B, et al. Effect of ozone gas on volatile components of silver carp[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2022, 41(3): 229-235.]
- [24] NAGAR C K, DASH S K, RAYAGURU K, et al. Isolation, characterization, modification and uses of taro starch: A review[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 192: 574-589.
- [25] 周阳, 胥伟, 陈季旺, 等. 小麦淀粉和马铃薯淀粉对鱼丸品质的影响[J]. *肉类研究*, 2018, 32(2): 29-33, 10. [ZHOU Y, XU W, CHEN J W, et al. Effect of wheat and potato starches on the quality of fish balls[J]. *Meat Research*, 2018, 32(2): 29-33, 10.]
- [26] ZHUANG X B, WANG L J, JIANG X P, et al. Insight into the mechanism of myofibrillar protein gel influenced by konjac glucomannan: Moisture stability and phase separation behavior[J]. *Food Chemistry*, 2021, 339: 127941.
- [27] 余永名, 马兴胜, 仪淑敏, 等. 豆类淀粉对鲢鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(1): 129-135. [YU Y M, MA X S, YI S M, et al. Effect of bean starches on the gel properties of silver carp surimi[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(1): 129-135.]
- [28] 米红波, 王聪, 苏情, 等. 变性淀粉对白鲢鱼鱼糜凝胶特性和蛋白构象的影响[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(1): 72-80. [MI H B, WANG C, SU Q, et al. Effect of degenerated starch on fish-millet gel properties and protein conformation in silver carp[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(1): 72-80.]
- [29] 宋春勇, 洪鹏志, 周春霞, 等. 负载白藜芦醇的红花籽油乳液对金线鱼鱼糜凝胶品质的影响[J]. *食品科学*, 2022, 43(24): 102-109. [SONG C Y, HONG P Z, ZHOU C X, et al. Effect of safflower seed oil emulsion loaded with resveratrol on the quality of the *Nemipterus virgatus* surimi gel[J]. *Food Science*, 2022, 43(24): 102-109.]
- [30] YANG S, TU Z C, WANG H, et al. Effects of coagulant promoter on the physical properties and microstructure of the mixed system of ultrafine fishbone and surimi[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 131: 109792.
- [31] 杨文鸽, 张问, 王小飞, 等. 用低场核磁共振研究盐溶液漂洗对带鱼鱼糜凝胶品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(7): 263-269. [YANG W G, ZHANG W, WANG X F, et al. Effect of salt solution rinse on properties of hairtail surimi gel by low-field nuclear magnetic resonance[J]. *Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(7): 263-269.]
- [32] 李睿智, 王崑, 仪淑敏, 等. 白鲢鱼鱼糜凝胶过程中水分及凝胶特性的变化[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(5): 91-97, 198. [LI R Z, WANG W, YI S M, et al. Changes in water and gel properties of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) surimi during gelation process[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(5): 91-97, 198.]
- [33] 胡曼子, 周雨琪, 罗忆芝, 等. 巴河莲藕粉对白鲢鱼糜制品品质的影响[J]. *食品科技*, 2021, 46(11): 136-141. [HU M Z, ZHOU Y Q, LUO Y Z, et al. Effect of bahe lotus root powder on quality of surimi products. *Food Science and Technology*, 2021, 46(11): 136-141.]
- [34] 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 affecting factors of gel prop-

erties[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(8): 292–296, 303.]

[35] XIE J L, GAN Q, CHEN H, et al. Effect of water chestnut powder on gel properties of silver carp surimi[J]. Agricultural Biotechnology, 2022, 11(6): 103–108.

[36] 王冬妮, 范馨茹, 祁立波, 等. 淀粉和蛋白类添加物对鱿鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 中国食品学报, 2018, 18(4): 65–71.

[WANG D N, FAN X R, QI L B, et al. Effect of starch and protein additives on gel properties of squid[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(4): 65–71.]

[37] LI X X, FAN M C, HUANG Q L, et al. Effect of micro- and

nano-starch on the gel properties, microstructure and water mobility of myofibrillar protein from grass carp[J]. Food Chemistry, 2022, 366: 130579.

[38] 曹伟峰, 张悦妍, 向情儒, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 和 GC-IMS 结合电子鼻分析真空冷却对酱牛肉风味的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(9): 341–348. [CAO W F, ZHANG Y Y, XIANG Q R, et al. Analysis of the effect of vacuum cooling on the flavor of sauce beef based on HS-SPME-GC-MS and GC-IMS combined with electronic nose[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(9): 341–348.]