

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. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040222

LI Yi, TAN Hongyuan, WANG Yuting, et al. Effect of *Poria cocos* Full Powder on Surimi Gel[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(2): 64–69. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040222

茯苓全粉对白鲢鱼糜凝胶特性的影响

李 艺, 谭宏渊, 王雨婷, 李林竹, 张宇轩, 王 芳, 吴 鹏*

(黄冈师范学院生物与农业资源学院, 经济林木种质改良与资源综合利用湖北省重点实验室,
大别山特色资源开发湖北省协同创新中心, 湖北黄冈 438000)

摘 要:以淡水鱼糜和茯苓全粉为研究对象, 在白鲢鱼糜中添加不同含量的茯苓全粉 (0、1%、2%、3%、4%、5%), 分析其对鱼糜持水性、蒸煮度、凝胶强度、白度值以及质构分析 (Texture profile analysis, TPA) 指标的影响。结果表明, 随着茯苓全粉添加量的增加, 鱼糜制品的持水性、蒸煮率、白度值等均呈现先增大后减小的趋势, 且与空白组相比, 茯苓全粉的加入能够明显提高鱼糜凝胶的凝胶强度、硬度、弹性以及咀嚼度。当茯苓全粉添加量为 2% 时, 白鲢鱼糜制品持水性最好为 80.73%, 凝胶强度最大为 642.886 g·cm, 蒸煮损失率最小为 6.94%, 白度值最大为 79.93, 硬度、弹性、内聚力、咀嚼度均达到最大值, 分别为 2299.245 g、0.973%、0.859 g、1838.410 g, 质构特性最好。本实验为淡水鱼糜制品的生产提供了理论依据。

关键词:鱼糜制品, 茯苓全粉, 凝胶特性, 品质

中图分类号: TS254.5⁺8

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)02-0064-06

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040222

本文网刊:



Effect of *Poria cocos* Full Powder on Surimi Gel

LI Yi, TAN Hongyuan, WANG Yuting, LI Linzhu, ZHANG Yuxuan, WANG Fang, WU Peng*

(College of Biological and Agricultural Resources, Huanggang Normal University, Hubei Key Laboratory of Economic Forest Germplasm Improvement and Resources Comprehensive Utilization, Hubei Collaborative Innovation Center for the Characteristic Resources Exploitation of Dabie Mountains, Huanggang 438000, China)

Abstract: Taking fresh water surimi and *Poria cocos* full powder as research subjects, different contents of *Poria cocos* full powder (0, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%) were added into the surimi of silver carp to analyze the effects of water retention, cooking degree, gel strength, whiteness value and texture profile analysis (TPA) index. The results showed that with the increasing of *Poria cocos* full powder, the water holding capacity, cooking rate and whiteness value of the surimi products all increased first and then decreased. Compared with the blank group, the addition of *Poria cocos* full powder could significantly improve the gel strength, hardness, elasticity and chewiness of surimi gel. When the *Poria cocos* full powder was 2%, the best water holding capacity of silver carp surimi products was 80.73%, the maximum gel strength was 642.886 g·cm, the minimum cooking loss rate was 6.94%, and the maximum whiteness value was 79.93. The hardness, elasticity, cohesion, and chewiness all reached the maximum, which were 2299.245 g, 0.973%, 0.859 g, and 1838.410 g, respectively, with the best textural properties. This experiment would provide a theoretical basis for the production of freshwater surimi products.

Key words: surimi products; *Poria cocos* full powder; gel properties; quality

鱼糜是鱼肉经过清洗、采肉、漂洗、脱水等工序制得的深加工鱼肉制品^[1]。以鱼糜作为原料, 将其进行加热、成型、冷却后变成具有弹性的凝胶体即为鱼糜制品^[2]。鱼糜制品具有高蛋白、低胆固醇、低脂肪、低盐、低热、口感嫩滑, 口味鲜美等特点^[3], 因此, 受到各年龄层消费者的喜爱, 有着广阔的发展前景。

近年来由于海水鱼的过度捕捞以及水产养殖业的蓬勃发展, 鱼糜加工的原料越来越多的拓展为淡水鱼, 但淡水鱼鱼糜普遍存在凝胶强度差、凝胶易劣化等问题^[2], 给消费者带来了不好的食用体验, 使其不能在高档鱼糜制品中应用^[4]。如今, 我国多采用添加淀粉的方式提高淡水鱼鱼糜品质, 但同时也造成了产

收稿日期: 2021-04-26

基金项目: 黄冈师范学院高级别培育项目 (04201711903)。

作者简介: 李艺 (2001-), 女, 本科, 研究方向: 食品生物技术和农产品加工与贮藏, E-mail: 2960761639@qq.com。

* 通信作者: 吴鹏 (1982-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品生物技术和农产品加工与贮藏, E-mail: 115479165@qq.com。

品单一、营养下降以及副产物增多等缺点^[4]。且随着国内休闲食品领域的快速发展,以及人们的消费欲望和消费能力的持续提高,大众对鱼糜制品的要求越来越高。因此,如何在有效改善淡水鱼鱼糜凝胶特性的同时增加其营养价值是目前我国鱼糜制品加工过程中需解决的问题。

茯苓系多孔菌科茯苓的干燥菌核,为国家药食同源中药材品种,位列中药“四君八珍”之首,味甘、淡,性质稳定,广泛存在于众多药方中,素有“十方九苓”之称。茯苓中含有酶、氨基酸、微量元素、麦角固醇、茯苓多糖以及卵磷脂等多种物质,对人体有较高的保健功能和药用价值;具有利水消肿、降血糖、抗肿瘤、健脾宁心、增强免疫力、抗癫痫、改善心脑血管功能等药理活性^[5-10]。

目前,茯苓全粉对淡水鱼糜凝胶特性的影响鲜有报道。在鱼糜制品中添加茯苓全粉,因茯苓全粉富含茯苓多糖且其含量高达 86.62%^[11],能有效改善鱼糜凝胶特性,同时丰富鱼糜制品的营养成分、增加其功效性。本研究在淡水鱼糜中加入不同含量的茯苓全粉,分析其对鱼糜持水性、蒸煮度、凝胶强度、白度值以及 TPA 指标的影响,以期在茯苓全粉在淡水鱼糜凝胶品质改善方面的应用以及鱼糜制品走向高端市场提供一定的理论支持。

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);茯苓、食盐 黄州黄商购物中心。

HH-6 数显恒温水浴锅 常州国华电器有限公司;CP413 电子天平 奥豪斯仪器(常州)有限公司;HR7625 食物调理机 中国香港飞利浦家庭电器有限公司;H/T18MM 台式高速离心机 湖南赫西仪器装备有限公司;HS153 卤素水分测定仪 METTLER TOLEDO 公司;TA-XT Plus 物性测试仪 美国 Texture Technologies 有限公司;CR-10 色差计 KONICA MINOLTA 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 鱼糜凝胶的制备方法 把冷冻鱼糜放置于 4 ℃ 的冰箱中半解冻 12 h 后将其切成长高宽均为 2 cm 左右的小方块。准确称取 6 份 200 g 的鱼糜,放入斩拌机中先低速空斩 30 s,再加入质量分数为 2.5% 的氯化钠,高速盐斩 30 s,然后分别加入 0、1%、2%、3%、4%、5%(按鱼糜质量计算)的茯苓全粉,同时加入冰水调节鱼糜含水量至 80%,最后以高速斩拌 30 s。在一系列斩拌的过程中温度要控制在 4~10 ℃。斩拌结束后将鱼糜溶胶灌入直径为 20 mm 的肠衣中,两端封口处理。随后将鱼肠放置于 40 ℃ 的水浴锅中煮制 60 min,然后迅速放入 90 ℃ 的水浴锅中煮制 30 min。加热结束后立即取出鱼糜凝胶样品并放入冰水中冷却 20 min。所有样品置于 4 ℃ 的冰

箱冷藏区中保存过夜,次日测定其各项指标^[12]。

1.2.2 鱼糜凝胶持水性的测定方法 采用离心法测定鱼糜凝胶的持水性。将鱼糜凝胶样品切成厚度为 5 mm 的厚薄片并称重(X_1),然后将其平摊在两层滤纸上并包裹好,放入 50 mL 离心管中以转速 5000 r/min,温度 4 ℃ 的条件离心 10 min,离心后取出样品并称重(X_2)。每组样品平行测量 3 组,结果取其平均值^[13]。

持水性 WHC(Water holding capacity)的计算式为:

$$\text{WHC}(\%) = \frac{X_2}{X_1} \times 100 \quad \text{式 (1)}$$

式中: X_1 表示离心前质量, g; X_2 表示离心后质量, g。

1.2.3 鱼糜凝胶蒸煮损失率的测定方法 将鱼糜凝胶样品切成厚度为 20 mm 的圆柱体并称重(G_1)。放入蒸煮袋中并封口,在 90 ℃ 的水浴锅中水浴加热 20 min 后取出样品将其表面水分轻轻擦干后称重(G_2)。每组样品平行测试 3 组,结果取其平均值^[14]。

蒸煮损失率的计算式为:

$$\text{蒸煮损失}(\%) = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \times 100 \quad \text{式 (2)}$$

式中: G_1 表示蒸煮前质量, g; G_2 表示蒸煮后质量, g。

1.2.4 鱼糜凝胶强度的测定方法 取出静置在 4 ℃ 条件下的鱼糜凝胶样品并平衡至室温后,切成厚度为 2 cm 的圆柱体,利用 TA-XT Plus 质构仪测定其凝胶强度。实验参数设置为:探头 P/0.25 s,触发力 5 g,测前速度 5 mm·s⁻¹,测中速度 1 mm/s,测后速度 5 mm/s,穿刺距离 15 mm。每个样品至少做 6 次平行试验,以保持其准确性。测试过程中的最大力即为破断强度(g),对应的压缩距离为破断距离(cm),凝胶强度为二者的乘积^[15]。

$$\text{凝胶强度}(\text{g} \cdot \text{cm}) = \text{破断强度}(\text{g}) \times \text{破断距离}(\text{cm}) \quad \text{式 (3)}$$

1.2.5 鱼肠白度测定 将鱼糜凝胶切成厚度为 5 mm 的圆柱体,在室温下利用 CR-10 色差计测定样品的 L^* 、 a^* 、 b^* 值^[16]。

白度 W(Whiteness)计算式为:

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{式 (4)}$$

式中: L^* 表示明度; a^* 正值表示偏红,负值表示偏绿; b^* 正值表示偏黄,负值表示偏蓝。

1.2.6 鱼糜凝胶 TPA 的测定方法 取出鱼糜凝胶样品并恢复至室温,将其切成厚度为 2 cm 的圆柱体,在 TA-XT Plus 质构仪下进行压缩测定,实验参数设置为:探头 P/36R,测前速度 5 mm/s,测中速度 1 mm/s,测后速度 5 mm/s,触发力 5 g,压缩比 40%。每个样品至少做 6 次平行试验。得到硬度、弹性、内聚性、

咀嚼性和回复性五项质构参数^[17]。

1.3 数据处理

采用 SPSS 软件对数据进行显著性分析, 显著性差异定义为 $P < 0.05$ 。图表均采用 GraphPad Prism 5 软件绘图, 所有数据均为 3 次重复试验数据的平均值。

2 结果与分析

2.1 不同茯苓全粉添加量对鱼糜持水性的影响

鱼糜持水性的大小表明了鱼糜中蛋白质结合水的能力, 反映了凝胶网络结构的强弱^[18]。其不仅影响鱼糜制品的口味、香味、多汁性、嫩度、颜色等食用品质, 还会直接影响鱼糜制品的成品率^[2]。持水性越高, 表明鱼糜凝胶的网络结构对水分子等物质的束缚能力越强, 蛋白质网络结构越致密, 弹性和凝胶强度越大^[19]。如图 1 所示, 除 1% 外, 其他不同添加量的茯苓全粉均能显著提高鱼糜制品的持水性 ($P < 0.05$)。当茯苓全粉添加量在 0~2% 的浓度范围内时, 鱼糜凝胶的持水性呈上升趋势, 当茯苓全粉添加量为 2% 时, 持水性达到最大值 80.73%, 与空白组相比提高了 26.72%, 当继续添加茯苓全粉至 5% 时, 凝胶的持水性呈下降趋势, 但与空白组相比仍提高了 21.56%。这是由于茯苓全粉中富含茯苓多糖, 加入适量的茯苓全粉, 其茯苓多糖会与蛋白质通过离子键、氢键、疏水键等分子间作用力形成密实、均匀的凝胶网络结构, 将水分子截留在凝胶网络中, 阻滞了水分子的迁移和渗出, 并且多糖颗粒在受热过程中其分子结构中的大量羟基通过氢键与水分子作用, 吸水溶胀, 对鱼糜基质施加压力, 使基质更加致密和坚固, 从而提高了鱼糜凝胶制品的持水性^[20-22]。当茯苓全粉的添加量过多或过少时, 其会与蛋白质形成疏松、不均匀的凝胶网络结构, 但仍会在一定程度上提高鱼糜凝胶制品的持水性^[23]。

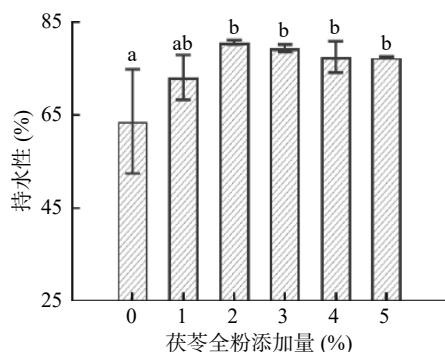


图1 不同茯苓全粉添加量对鱼糜持水性的影响

Fig.1 Effect of different amounts of *Poria cocos* powder on water retention of fish surimi

注: 不同小写字母表示不同处理组间差异显著 ($P < 0.05$), 相同小写字母表示差异不显著 ($P > 0.05$); 图 2~图 6、表 1 同。

2.2 不同茯苓全粉添加量对鱼糜蒸煮损失率的影响

茯苓全粉的添加量对鱼糜凝胶蒸煮损失率的影响如图 2 所示, 茯苓全粉的添加量在 2%~4% 时能显著降低鱼糜制品的蒸煮损失率 ($P < 0.05$)。当茯苓全

粉的添加量为 2% 时, 蒸煮损失率达到最小值 6.94%, 较空白组的蒸煮损失率降低了约 42.43%。但当增加茯苓全粉的添加量至 5% 时, 蒸煮损失率又呈现了增长趋势。符合蒸煮损失率的变化与持水性的结果相反^[24] 的结论, 其与持水性的作用机制一致。

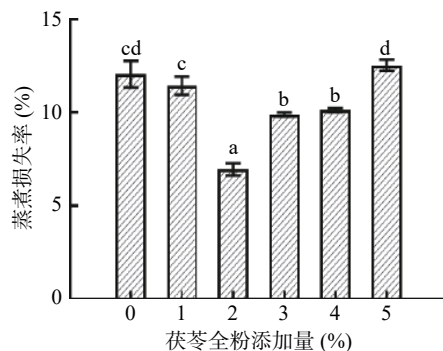


图2 不同茯苓全粉添加量对鱼糜蒸煮损失率的影响

Fig.2 Effect of different amounts of *Poria cocos* powder on the loss rate of fish surimi cooking

2.3 不同茯苓全粉添加量对鱼糜凝胶强度的影响

鱼糜制品的加工过程就是鱼糜凝胶化的过程, 因此鱼糜制品的凝胶强度是其重要品质特征, 也是影响鱼糜制品品质等级分布和价格高低的重要因素^[1]。鱼糜凝胶形成的紧密程度由鱼糜凝胶的破断力反映, 凹陷距离反映凝胶的结合性^[25], 凝胶强度定义为破断力与凹陷距离的乘积^[26]。如图 3 所示, 与空白组相比, 不同茯苓全粉添加量对白鲢鱼鱼糜凝胶强度都具有显著影响 ($P < 0.05$)。如图 3~图 5 所示, 随着茯苓全粉添加量的增加, 鱼糜的凝胶强度、破断力、凹陷距离均呈先增大后减小的趋势。当茯苓全粉添加量为 2% 时, 各指标均达到最大值, 此时鱼糜凝胶强度、破断强度和破断距离分别为 642.886 g·cm、516.784 g、1.244 cm, 与空白组相比, 各指标值均有增长, 其中凝胶强度增长了 262.234 g·cm。这是由于茯苓多糖本身具有亲水性, 还能够形成强大的网络交织, 和鱼糜肌原纤维蛋白形成的网络交织, 从而将水分子锁在网络里。且加热时, 茯苓全粉和鱼糜凝胶制

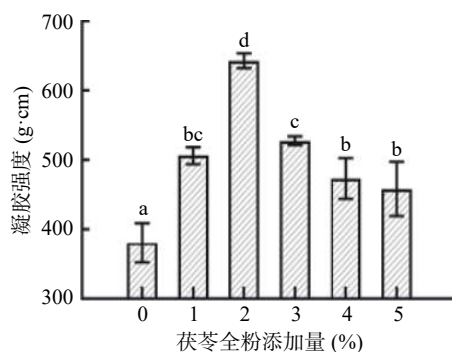


图3 不同茯苓全粉添加量对鱼糜凝胶强度的影响

Fig.3 Effect of different amounts of *Poria cocos* powder on the gel strength of surimi

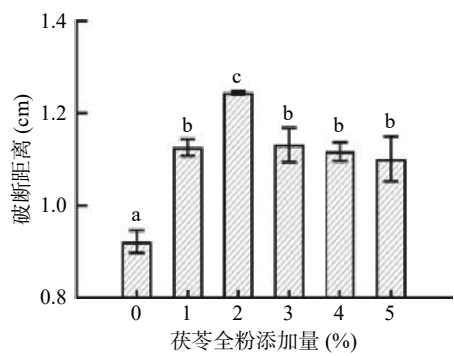


图 4 不同茯苓全粉添加量对鱼糜凝胶破断距离的影响

Fig.4 Effect of different amounts of *Poria cocos* powder on breaking distance of surimi gel

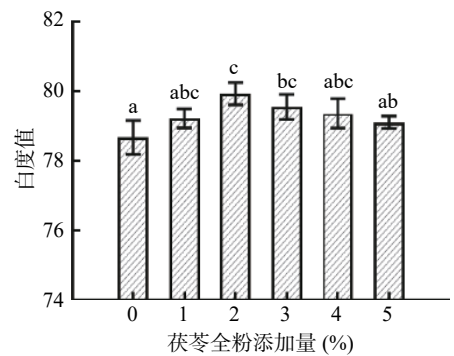


图 6 不同茯苓全粉添加量对鱼糜白度值的影响

Fig.6 Effect of different amount of *Poria cocos* powder on the whiteness of fish surimi

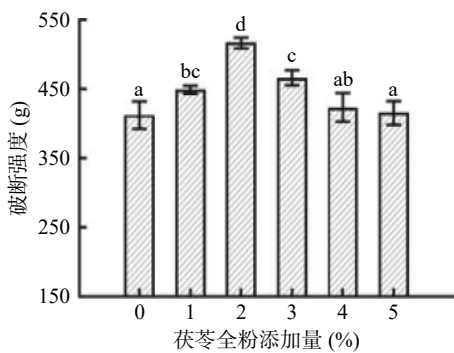


图 5 不同茯苓全粉添加量对鱼糜凝胶破断强度的影响

Fig.5 Effect of different amounts of *Poria cocos* powder on breaking strength of surimi gel

品中的蛋白质分子和胶体分子在水的作用下充分展开,蛋白质与蛋白质、蛋白质与多糖、多糖与多糖之间通过离子键、氢键、疏水键等分子作用力发生相互作用,形成致密而稳定的三维网状结构,从而使鱼糜的凝胶强度得以提高^[27]。

2.4 不同茯苓全粉添加量对鱼糜白度值的影响

白度值反映了鱼糜制品的色泽,是鱼糜制品的重要指标之一^[28]。鱼糜制作过程中,多采用漂洗除去血渍、腥味物质,从而改善鱼糜凝胶的白度^[29]。由图 6 可知,在本试验所设置的不同添加量条件下,鱼糜凝胶的亮度均会得以增加。茯苓全粉添加量在 0~5% 时,鱼糜凝胶的白度值呈现先升高后下降的趋势,当茯苓全粉添加量为 2% 时,鱼糜凝胶白度值有显著性增加($P<0.05$),且达到最大值 79.93,与空白组相比增加了 1.59%。这是由于鱼糜凝胶的色泽与外源添

加物的颜色和含量有关^[30],而茯苓全粉的颜色比鱼糜制品白,所以添加一定量的茯苓全粉后鱼糜的白度值会增加。

2.5 不同茯苓全粉添加量对鱼糜 TPA 的影响

由表 1 可知,不同茯苓全粉的添加量对鱼糜凝胶的回复力、硬度、内聚力、咀嚼度都有显著性影响($P<0.05$)。茯苓添加量在 1%~3% 时对鱼糜凝胶的弹性有显著性影响($P<0.05$)。随着茯苓全粉添加量的增加,鱼糜凝胶的硬度、弹性、内聚力、咀嚼度都呈现先升高后降低的变化趋势。与空白组相比,添加茯苓全粉会降低鱼糜凝胶的回复力。当茯苓全粉添加量为 2% 时,鱼糜凝胶的硬度、弹性、内聚力、咀嚼度均达到最大值,分别为 2299.245 g、0.973%、0.859 g、1838.410 g,较空白组分别提高了 69.27%、2.31%、0.70%、65.16%。

3 结论

茯苓全粉的添加量对鱼糜制品的持水性、蒸煮度、凝胶强度、白度值以及 TPA 指标均有一定程度上的影响。当茯苓全粉添加量为 2% 时,鱼糜制品的持水性、凝胶强度、白度值均有明显增加,且达到最大值,同时鱼糜凝胶的蒸煮损失率得以降低;硬度、弹性、内聚力、咀嚼度与空白组相比分别提高了 69.27%、2.31%、0.70%、65.16%。综合考虑,添加 2% 的茯苓全粉能够促进鱼糜形成良好的凝胶结构,改善鱼糜制品品质,同时为鱼糜制品进入高端市场以及提高茯苓的开发价值和经济效益提供了理论依据。

表 1 不同茯苓全粉添加量对鱼糜 TPA 的影响

Table 1 Effect of different amounts of *Poria cocos* powder on TPA of fish surimi

茯苓全粉添加量(%)	回复力(g)	硬度(g)	弹性(%)	内聚力(g)	咀嚼度(g)
0	0.590±0.001 ^f	1358.314±12.267 ^a	0.951±0.002 ^b	0.853±0.002 ^d	1113.092±14.127 ^a
1	0.577±0.002 ^e	2128.299±64.038 ^{bc}	0.962±0.002 ^c	0.847±0.002 ^c	1708.216±78.515 ^{bcd}
2	0.574±0.001 ^d	2299.245±66.299 ^c	0.973±0.003 ^d	0.859±0.003 ^e	1838.410±6.499 ^d
3	0.554±0.000 ^c	2098.830±69.540 ^b	0.587±0.003 ^c	0.843±0.003 ^b	1748.584±65.075 ^{cd}
4	0.537±0.000 ^b	2055.896±99.643 ^b	0.947±0.001 ^b	0.836±0.000 ^a	1647.805±58.067 ^{bc}
5	0.533±0.001 ^a	2051.886±159.390 ^b	0.940±0.004 ^a	0.836±0.004 ^a	1573.292±148.690 ^b

参考文献

- [1] 郭梦, 瑞赞, 马佩珍, 等. 鱼糜制品及其凝胶特性研究进展[J]. 中国水产, 2020(2): 83-85. [GUO M, RUI Y, MA L Z, et al. Research progress in surimi products and gel properties[J]. China Fisheries, 2020(2): 83-85.]
- [2] 薛茜, 王芳, 张龙涛. 水产制品凝胶的研究进展[J]. 食品工业, 2020, 41(2): 253-257. [XUE Q, WANF F, ZHANG L T. Research progress of aquatic product gels[J]. Food Industry, 2020, 41(2): 253-257.]
- [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 surimi gel formation methods and influencing factors of gel properties[J]. Food Industry Science and Technology, 2019, 40(8): 292-296, 303.]
- [4] 陈媚依. 鹧鸪茶提取物对鱼糜制品凝胶特性及保藏品质的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2020. [CHEN M Y. The effect of partridge tea extract on the gel properties and preservation quality of surimi products[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2020.]
- [5] 张年, 李兆星, 李娟, 等. 茯苓的化学成分与生物活性研究进展[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2019, 21(2): 220-233. [ZHANG N, LI Z X, LI J, et al. Research progress on the chemical constituents and biological activities of *Poria cocos*[J]. World Science and Technology-Modernization of Traditional Chinese Medicine, 2019, 21(2): 220-233.]
- [6] 马传贵, 张志秀. 茯苓的中医药研究现状与临床治疗进展[J]. 食用菌, 2020, 42(4): 4-8, 19. [MA C G, ZHANG Z X. Research status and clinical treatment progress of *Poria* in traditional Chinese medicine[J]. Edible Fungus, 2020, 42(4): 4-8, 19.]
- [7] 程玥, 丁泽贤, 张越, 等. 茯苓多糖及其衍生物的化学结构与药理作用研究进展[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(18): 4332-4340. [CHENG Y, DING Z X, ZHANG Y, et al. Research progress on the chemical structure and pharmacological effects of *Poria cocos* and its derivatives[J]. Chinese Journal of Chinese Materia Medica, 2020, 45(18): 4332-4340.]
- [8] CHAO C L, HUANG H W, SU M H, et al. The lanostane triterpenoids in *Poria cocos* play beneficial roles in immunoregulatory activity[J]. Life, 2021, 11(2): 111.
- [9] ZHOU X B, ZHANG Y X, JIANG Y Q, et al. *Poria cocos* polysaccharide attenuates damage of nervus in Alzheimer's disease rat model induced by D-galactose and aluminum trichloride[J]. Neuroreport, 2021, 32(8): 727-737.
- [10] LIU K, YIN Y, ZHANG J, et al. Polysaccharide PCP-I isolated from *Poria cocos* enhances the immunogenicity and protection of an anthrax protective antigen-based vaccine[J]. Human Vaccines & Immunotherapeutics, 2020, 16(7): 1699-1707.
- [11] 张超伟, 张钰, 苏珊, 等. 茯苓类药材本草学、化学成分和药理作用研究进展[J]. 湖北农业科学, 2021, 60(2): 9-14, 19. [ZHANG C W, ZHANG Y, SU S, et al. Research progress in herbal medicine, chemical components and pharmacological effects of *Poria* medicinal materials[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2021, 60(2): 9-14, 19.]
- [12] 熊光权, 叶丽秀, 何建君. 淡水鱼鱼香肠的研制[J]. 中国水产, 1998(3): 48-49. [XIONG G Q, YE L X, HE J J. Development of freshwater fish sausage[J]. China Fisheries, 1998(3): 48-49.]
- [13] 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. The effect of modified starch on the gel properties and protein conformation of silver carp surimi[J]. Chinese Journal of Food Science, 2021, 21(1): 72-80.]
- [14] 马瑶兰, 熊善柏, 尹涛, 等. 斩拌方式和氯化钠浓度对白鲢鱼糜品质特性的影响[J]. 现代食品科技, 2017, 33(8): 182-187. [MA Y L, XIONG S B, YIN T, et al. Effects of chopping method and sodium chloride concentration on the quality characteristics of silver carp surimi[J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(8): 182-187.]
- [15] POOWAKANJANA S, PARK J W. Biochemical characterisation of Alaska pollock, Pacific whiting, and threadfin bream surimi as affected by comminution conditions[J]. Food Chemistry, 2013, 138(1): 200-207.
- [16] 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 and surimi during gelling process[J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(5): 91-97, 198.]
- [17] 邓海萍, 陈奇, 李向红, 等. 不同电荷多糖添加物对鲢鱼鱼糜凝胶结构的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(3): 25-28, 39. [DENG H P, CHEN Q, LI X H, et al. The effect of polysaccharide additives with different charges on the gel structure of silver carp surimi[J]. Food and Machinery, 2014, 30(3): 25-28, 39.]
- [18] 姬颖. 鲢鱼/白鲢鱼混合鱼糜凝胶特性研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2020. [JI Y. Study on the characteristics of anchovy/silver carp mixed surimi gel[D]. Jinzhou: Bohai University, 2020.]
- [19] 徐安琪, 杨榕, 朱煜康, 等. 紫菜粉添加对鱿鱼鱼糜凝胶特性及其蛋白结构的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(2): 46-52. [XU A Q, YANG R, ZHU Y K, et al. The effect of laver powder on the gel properties and protein structure of squid surimi[J]. Food Science, 2021, 42(2): 46-52.]
- [20] 任晶晶, 王茜茜, 潘琼, 等. 植物多糖在低盐低脂肉制品中的应用[J]. 肉类研究, 2020, 34(9): 74-80. [REN J J, WANG Q Q, PAN Q, et al. Application of plant polysaccharides in low-salt and low-fat meat products[J]. Meat Research, 2020, 34(9): 74-80.]
- [21] 李安琪, 尚静, 李前进, 等. 基于蛋白质、多糖混合体系的食品凝胶结构设计策略[J]. 食品科学, 2021, 42(13): 344-352. [LI A Q, SHANG J, LI Q J, et al. Food gel structure design strategy based on protein and polysaccharide mixed system[J]. Food Science, 2021, 42(13): 344-352.]
- [22] ALIPOUR H J, REZAEI M, SHABANPOUR B, et al. Effects of sulfated polysaccharides from green alga *Ulva intestinalis* on physicochemical properties and microstructure of silver carp surimi[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 74(5): 87-96.
- [23] ZHANG H, Y XIONG, BAKR Y 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(5):

256-264.

[24] GUANG Q X, WEI C, LI X Y, et al. Effects of konjac glucomannan on physicochemical properties of myofibrillar protein and surimi gels from grass carp(*Ctenopharyngodon idella*)[J]. *Food Chemistry*, 2009, 116(2): 413-418.

[25] 尤娟, 姜雪英, 尹涛, 等. 葡聚糖及其糖基化修饰对白鲢鱼糜凝胶特性的影响[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(12): 69-75.

[YOU J, JIANG X Y, YIN T, et al. The effect of dextran and its glycosylation modification on the gel properties of silver carp surimi[J]. *Chinese Journal of Food Science*, 2019, 19(12): 69-75.]

[26] 米红波, 苏情, 王聪, 等. 亲水胶体在鱼糜制品中的应用研究进展[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(19): 328-332. [MI H H, SU Q, WANG C, et al. Research progress in the application of hydrocolloids in surimi products[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2018, 39(19): 328-332.]

[27] 于楠楠. 盐和多糖对鱼糜凝胶形成的影响与机制[D]. 无

锡: 江南大学, 2017. [YU N N. The effect and mechanism of salt and polysaccharides on the formation of surimi gel[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017.]

[28] LI K, KANG Z L, ZHAO Y Y, et al. Use of high-intensity ultrasound to improve functional properties of batter suspensions prepared from PSE-like chicken breast meat[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2014, 7(12): 3466-3477.

[29] SINGH A, BENJAKUL S, PRODPRAN T. Chitooligosaccharides from squid pen prepared using different enzymes: Characteristics and the effect on quality of surimi gel during refrigerated storage[J]. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2019, 1(1): 5.

[30] 崔国庭, 王缎, 贺健, 等. 魔芋葡甘露聚糖对草鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. *食品工业*, 2020, 41(1): 220-224. [CUI G T, WANG D, HE J, et al. The effect of konjac glucomannan on the gel properties of grass carp surimi[J]. *Food Industry*, 2020, 41(1): 220-224.]