

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240129005

4 种鱼糜加工漂洗液回收蛋白对罗非鱼 鱼糜凝胶特性与质构的影响

陈庆全^{1*}, 曾庆祝², 朱梓宁¹

(1. 邓老金方药业科技集团有限公司, 广州 510000; 2. 广州大学化学化工学院, 广州 510000)

摘 要: **目的** 探究 4 种回收水溶性蛋白对罗非鱼鱼糜凝胶特性及质构的影响。**方法** 分别将等电点沉降法回收蛋白、海藻酸钠单一絮凝剂回收蛋白、壳聚糖单一絮凝剂回收蛋白和海藻酸钠-壳聚糖复合絮凝剂沉降回收蛋白以 0%、5%、10%、15%、20% 掺入罗非鱼鱼糜制备鱼肠, 比较各样品在凝胶强度与全质构分析(texture profile analysis, TPA)参数上的差异, 包括硬度、胶着性、咀嚼性、内聚性与弹性。**结果** 4 种回收蛋白替代会对凝胶强度产生不利影响, 通过等电点沉降法回收的蛋白对凝胶强度的影响最大, 凝胶强度持续下降, 最低达 1708 g·mm; 以复合絮凝剂回收蛋白的掺入对原凝胶强度的影响最小, 通过替代 5% 鱼糜, 凝胶强度降为 3833 g·mm。当用壳聚糖单一絮凝剂回收蛋白掺入 5% 时, 与原鱼糜制品的 TPA 参数最接近, 表现为硬度 2505 g, 胶着性 1788 g, 咀嚼性 192.3 mJ, 且内聚性和弹性也没有表现出明显差异。**结论** 这 4 种回收蛋白均以 5% 的添加量替代罗非鱼鱼糜时, 制品凝胶强度在企业的可接受线性范围内, 综合凝胶强度与 TPA 参数, 以壳聚糖单一絮凝剂回收的蛋白替代产生的影响最小, 可为回收鱼糜蛋白这一资源的研究与再利用技术开发提供参考依据。

关键词: 鱼糜加工漂洗液; 回收蛋白; 凝胶强度; 全质构分析

Effects of 4 kinds of recovered protein from surimi processing rinse on gel properties and texture of tilapia surimi

CHEN Qing-Quan¹, ZENG Qing-Zhu², ZHU Zi-Ning¹

(1. TengLouKimFong Pharmaceutical Technology Group Co., Ltd., Guangzhou 510000, China; 2. College of Chemistry and Chemical Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510000, China)

ABSTRACT: Objective To explore the effects of 4 kinds of recovered water-soluble proteins on the gel properties and texture of tilapia surimi. **Methods** The protein recovered by the single sodium alginate flocculant, the protein recovered by the single chitosan flocculant and the protein recovered by sodium alginate-chitosan composite flocculant were mixed into tilapia surimi with 0%, 5%, 10%, 15% and 20% respectively to prepare fish intestine. The gel strength and texture profile analysis (TPA) parameters, including hardness, adhesiveness, chewiness, cohesiveness and springiness, were compared. **Results** The 4 kinds of recovered proteins had an adverse effect on the gel strength regardless of the amount of substitution. The protein recovered by the isoelectric point sedimentation method had the greatest influence on the gel strength, and the gel strength continuously decreased, reaching a minimum of 1708 g·mm. The incorporation of the protein recovered by the composite flocculant had the least effect on the strength of the original

*通信作者: 陈庆全, 硕士, 工程师, 主要研究方向为农副产品综合利用。E-mail: Chenqq3940@163.com

*Corresponding author: CHEN Qing-Quan, Master, Engineer, TengLouKimFong Pharmaceutical Technology Group Co., Ltd., Guangzhou 510000, China. E-mail: Chenqq3940@163.com

gel, and by replacing the 5% surimi, the gel strength reduced to 3833 g·mm. When the protein recovered by chitosan single flocculant was mixed with 5%, the surimi product was closest to the TPA parameter of the original surimi product, showing hardness of 2505 g, adhesiveness of 1788 g, chewiness of 192.3 mJ, and cohesiveness and springiness also did not show significant differences. **Conclusion** The final gel strength of these 4 recovered proteins in replacing the tilapia surimi with 5% of the added amount is within the acceptable linear range of the enterprise. Based on the gel strength and TPA parameters, the protein substitution recovered by chitosan single flocculant has the least influence, which can provide reference for the research and reuse technology development of surimi protein recovery.

KEY WORDS: surimi processing rinse; recovered protein; gel strength; texture profile analysis

0 引言

鱼糜是将鱼经过漂洗、精滤、脱水、擂溃或斩拌、成型、加热和冷却等工艺加工而成,其中漂洗为关键工艺之一,其必须经过2次或2次以上的漂洗才能去除阻碍鱼糜凝胶形成和影响鱼糜感官品质的杂质,漂洗可提高鱼糜的凝胶强度和白度^[1]。漂洗废水中一般含有0.5%~2.5%的蛋白质,是值得回收利用的高价值蛋白资源。近年来,多数针对鱼糜加工漂洗液这一资源的探索及研究只停留在回收工艺上,或者是分析不同回收方法回收蛋白的理化特性差异^[1-3],甚少着力于回收蛋白后期的应用处理手段与分析。基于此,本项目前期已通过等电点沉降法^[1]、以海藻酸钠为单一絮凝剂絮凝法^[2-3]、以壳聚糖为单一絮凝剂絮凝法^[2-3]和以海藻酸钠-壳聚糖为复合絮凝剂絮凝法^[2-3]共4种不同方法回收了鱼糜加工漂洗液中的蛋白质。为了研究回收蛋白的实际应用价值,本研究以鱼糜制品——鱼肠为例^[4],通过凝胶特性分析,考查回收蛋白添加对鱼肠的凝胶强度的影响,获得回收蛋白的最适宜添加量,再利用凝胶全质构分析(texture profile analysis, TPA)分析回收蛋白添加前后鱼肠质构参数的变化,为回收鱼糜蛋白这一资源的研究与再利用技术开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

罗非鱼(广州陆仕水产企业有限公司);罗非鱼鱼糜加工漂洗液、等电点沉降法回收的鱼糜漂洗液中的蛋白质($T=30^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=5.5$ 条件下蛋白含量 40.17%, 分子量 42.7~120.2 kDa)^[1]、以海藻酸钠为单一絮凝剂回收的鱼糜漂洗液中的蛋白质($\text{pH}=4.0$, $T=30^{\circ}\text{C}$, $t=30\text{ min}$, $c=0.96\text{ mg/mL}$ 条件下蛋白含量 59.58%, 分子量 8.3~120.2 kDa)^[2-3]、以壳聚糖为单一絮凝剂回收的鱼糜漂洗液中的蛋白质($\text{pH}=7.0$, $T=30^{\circ}\text{C}$, $t=90\text{ min}$, $c=2.13\text{ mg/mL}$ 条件下蛋白含量 47.28%, 分子量 52.5~120.2 kDa)^[2-3]、以海藻酸钠-壳聚糖为复合絮凝剂絮凝沉降回收的鱼糜漂洗液中的蛋白质($\text{pH}=6.5$, $T=35^{\circ}\text{C}$, $t=30\text{ min}$, $c=1.03\text{ mg/mL}$ 条件下蛋白含量 43.13%,

分子量 23.0~120.2 kDa)^[2-3](实验室制备);食盐(广东省盐业集团有限公司);无水氯化钙、柠檬酸(分析纯,江苏科洛吉健康科技有限公司);无水碳酸钠(分析纯,荆州市联达新材料有限公司);碳酸氢钠(分析纯,天津市大茂化学试剂厂);柠檬酸钠(分析纯,江苏科洛吉健康科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

CT3-10000 质构仪(美国博勒飞公司);TJ12H 台式绞肉机(上海登捷机械设备有限公司);FE28pH 计[梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司];HH-6S 数显恒温水浴锅(上海高致精密仪器有限公司);JJ-1A 精密增力电动搅拌机(武汉格莱莫检测设备有限公司);AUW220d 电子天平[精度 0.001 g, 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司];RJ-DL-5A 离心机(常州恒隆仪器有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 回收蛋白质凝胶强度的测定

鱼肉蛋白凝胶强度的高低是决定鱼糜制品质量优劣的关键因素,直接影响着鱼糜制品的组织特性、弹性、持水性、黏聚性及产品得率等^[5-6]。漂洗是鱼糜制品加工过程中的常用方法,通过漂洗工艺可除去影响鱼肉的诸多因子^[7-8],达到增强凝胶强度与鱼糜制品稳定性的目的。此外,还可以通过在鱼肉蛋白凝胶化之前添加凝胶强度增强剂提高凝胶强度^[7-9]。

(1)凝胶的制备

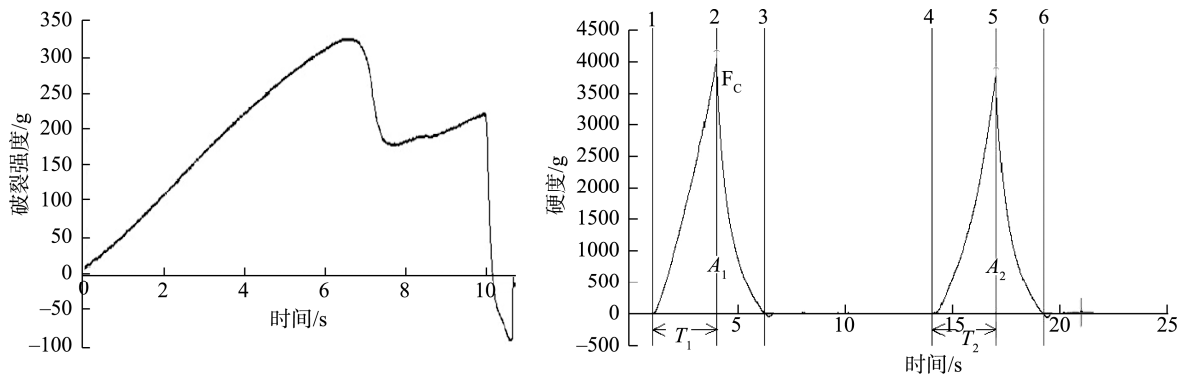
原料罗非鱼→预处理→清洗→采肉→搅碎→漂洗→离心→加入适量(0%、5%、10%、15%、20%)回收水溶性蛋白,一次共擂溃 600 g→加食盐量 3%,即 18 g→擂溃,水分含量控制为 82%,温度 14.0°C →静置排气,凝胶化→灌肠,先用手工灌肠的方式将擂溃好的新鲜罗非鱼鱼糜挤压进入塑料肠衣,然后用清水冲洗鱼肠表面→一段 40°C 加热 1 h,二段 90°C 沸水中加热 30 min 后冰浴冷却 30 min→鱼糜凝胶样品,即鱼肠→ 4°C 冰箱放置过夜→次日恢复室温待测^[10-11]。

(2)凝胶强度的测定

采用 CT3-10000 质构仪测量凝胶强度。依照项目合作企业处理鱼糜的方式处理待测样品,参照步骤(1)凝胶制备

方法制备鱼肠, 质构仪的使用条件也参照企业要求^[12-13], 以达到样品与空白样品之间的比较。鱼糜凝胶切为高 30 mm, 直径为 20 mm 的圆柱状。质构仪参数: 直径 5.0 mm TA50 球形探头, 采用破裂模式, 破断速率为 1.0 mm/s, 触发点

负载 5 g, 循环一次^[14-15]。记录破断强度和凹陷度, 穿刺曲线上的第一峰值为破裂强度, 其对应距离为凹陷深度, 见图 1。凝胶强度($\text{g}\cdot\text{mm}$)为破裂强度(g)与凹陷深度(mm)乘积^[16-17], 每组实验 6 个平行, 结果取其平均值^[10]。



注: F_c 表示第一循环硬度; T_2 表示第二次压缩过程中达到最大压力值时所经历的时间, T_1 表示第一次压缩过程中达到最大压力值时所经历的时间; A_2 表示第二次压缩过程曲线与 X 轴所围成的面积, A_1 表示第一次压缩过程曲线与 X 轴所围成的面积值。

图 1 质构试验穿刺曲线及 TPA 物性测试示意图

Fig.1 Puncture curve of texture test and schematic diagram of TPA physical property test

1.3.2 回收蛋白质凝胶 TPA 的测定

凝胶强度和 TPA 是评价鱼糜制品质构优劣的两个重要指标。凝胶的制备参考实验 1.3.1。

TPA 的测定: 将鱼糜制品鱼肠均切成长度为 30 mm, 直径为 20 mm 的圆柱体, 采用 CT3-10000 质构仪测定样品的硬度、弹性、内聚性、胶着性、咀嚼性等指标^[7,18], 见图 1, 其中: 硬度: 第一次压缩过程中的最大峰值, 单位为 g; 弹性: 第二次压缩过程中达到最大压力值时所经历的时间/第一次压缩过程中达到最大压力值时所经历的时间^[19], 即为 T_2/T_1 ; 内聚性: 第二次压缩过程曲线与 X 轴所围成的面积/第一次压缩过程曲线与 X 轴所围成的面积值^[20-21], 即为 A_2/A_1 ; 胶着性: 硬度 $\times$ 内聚性; 咀嚼性: 硬度 $\times$ 弹性 $\times$ 粘聚性, 单位为 mJ。质构仪测试的参数: TA16 探头, 模式 TPA 质构分析, 测试速度 1.0 mm/s, 触发点负载 5 g^[7,22], 下压距离 12 mm, 循环两次。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2019、Origin 8.0 软件对数据进行标准偏差和组间显著性分析, 结果采用平均值 $\pm$ 标准偏差形式, 并通过 t 检验确定结果的组间差异显著性水平($P<0.05$ 或 $P>0.05$), 差异显著表示方法采用标记字母法^[23-24]。

2 结果与分析

2.1 回收蛋白质对鱼肠凝胶强度的影响

2.1.1 等电点沉降回收蛋白不同添加量对鱼糜制品破裂强度与凹陷深度的影响

等电点沉降法回收蛋白添加量对鱼糜制品破裂强度

与凹陷深度的影响结果如表 1。等电点沉降法回收蛋白的掺入对鱼糜制品的破裂强度和凹陷深度有显著性差异($P<0.05$), 而添加量对凹陷深度影响不显著($P>0.05$)。以 5%添加量表现出最佳凝胶强度, 为 2970 $\text{g}\cdot\text{mm}$, 随着其代替鱼糜的量的增加, 凝胶强度持续下降, 当替代量至 20%时, 凝胶强度最低达 1708 $\text{g}\cdot\text{mm}$, 与 YUDONG 等^[25]和付庆^[26]的研究结果相一致, 肌原纤维于胶凝过程中, 酸碱的处理使其发生明显变化, 表现为鱼糜制品凝胶强度明显降低。酸法等电点沉淀过程中肌肉蛋白发生了剧烈的蛋白变性现象, 导致包括肌球蛋白发生了不可逆变性, 此法所得的酸处理蛋白的添加削弱了鱼糜制品的凝胶能力, 导致破裂强度的持续下降; 但即使 20%的添加量也并没有严重影响凝胶致密的空间网络结构束缚游离水的能力, 从而维持了水平的凹陷深度, 就整体而言, 凝胶强度还是明显降低。

表 1 等电点沉降法回收蛋白添加量对鱼糜制品破裂强度与凹陷深度的影响

Table 1 Effects of the amounts of recovered protein regulated by pH on rupture strength and rupture distance of surimi products

添加量	破裂强度/g	凹陷深度/mm	凝胶强度/($\text{g}\cdot\text{mm}$)
空白	584 $\pm$ 68 ^a	8.95 $\pm$ 0.72 ^a	5087 $\pm$ 31 ^a
5%	422 $\pm$ 46 ^b	7.14 $\pm$ 0.66 ^b	2970 $\pm$ 59 ^b
10%	416 $\pm$ 43 ^c	7.14 $\pm$ 0.67 ^b	2879 $\pm$ 47 ^c
15%	330 $\pm$ 51 ^d	7.05 $\pm$ 0.83 ^b	2413 $\pm$ 40 ^d
20%	283 $\pm$ 42 ^e	6.12 $\pm$ 1.17 ^b	1708 $\pm$ 38 ^e

注: 同列不同小写字母表示组间有显著差异($P<0.05$), 下同。

2.1.2 海藻酸钠单一絮凝回收蛋白添加量对鱼糜制品破裂强度与凹陷深度的影响

海藻酸钠单一絮凝回收的蛋白添加量对鱼糜制品破裂强度与凹陷深度的影响结果如表 2。海藻酸钠单一絮凝回收蛋白的掺入对鱼糜制品的破裂强度和凹陷深度有显著性差异($P<0.05$), 而添加量对凹陷深度影响不显著($P>0.05$)。以 5%添加量表现出最佳凝胶强度为 3421 g·mm, 随着其代替鱼糜的量的增加, 凝胶强度持续下降, 当替代量至 20%时凝胶强度最低达 1933 g·mm, 已有研究表明, 海藻酸钠具有与多价金属离子相互作用, 干扰了鱼糜蛋白凝胶的形成, 影响凝胶体的理化性质^[4], 触变性 with 溶胀性的下降致使凝胶强度的持续降低。

表 2 海藻酸钠单一絮凝回收蛋白添加量对鱼糜制品破裂强度与凹陷深度的影响

Table 2 Effects of different amounts of protein recovered by sodium alginate single flocculation on rupture strength and rupture distance of surimi products

添加量	破裂强度/g	凹陷深度/mm	凝胶强度/(g·mm)
空白	584±68 ^a	8.95±0.72 ^a	5087±31 ^a
5%	428±46 ^b	7.73±0.36 ^b	3421±17 ^b
10%	360±46 ^c	6.84±0.68 ^b	2459±53 ^c
15%	333±78 ^d	6.63±0.52 ^b	2446±26 ^d
20%	305±30 ^c	6.18±0.36 ^b	1933±35 ^c

2.1.3 壳聚糖单一絮凝回收蛋白添加量对鱼糜制品破裂强度与凹陷深度的影响

壳聚糖单一絮凝回收蛋白添加量对鱼糜制品破裂强度与凹陷深度的影响结果如表 3。壳聚糖单一絮凝回收蛋白的掺入对鱼糜制品的破裂强度有显著影响, 随添加量的增加, 破裂强度显著降低($P<0.05$), 回收蛋白的掺入也会使凹陷深度显著降低($P<0.05$), 但各添加量之间并未表现出显著差异($P>0.05$)。以 5%添加量表现出最佳凝胶强度为 3342 g·mm, 随着其代替鱼糜的量的增加, 凝胶强度持续下降, 当替代量至 20%时凝胶强度最低最低达 1928 g·mm, 这可能是因为多糖浓度较高时会发生热力学不相容的现象, 多糖会与鱼糜凝胶中的蛋白出现相分离, 分为多糖相和蛋白相, 最终导致鱼糜凝胶凝胶强度下降^[27]。

表 3 壳聚糖单一絮凝回收蛋白不同添加量对鱼糜制品破裂强度与凹陷深度的影响

Table 3 Effects of different amounts of protein recovered by chitosan single flocculation on rupture strength and rupture distance of surimi products

添加量	破裂强度/g	凹陷深度/mm	凝胶强度/(g·mm)
空白	584±68 ^a	8.95±0.72 ^a	5087±31 ^a
5%	454±21 ^b	7.89±1.29 ^b	3342±22 ^b
10%	394±29 ^c	7.25±0.36 ^b	2721±43 ^c
15%	380±23 ^d	6.92±0.34 ^b	2471±19 ^d
20%	304±40 ^c	6.08±0.21 ^b	1928±28 ^c

2.1.4 海藻酸钠-壳聚糖复合絮凝回收蛋白不同添加量对鱼糜制品破裂强度与凹陷深度的影响

海藻酸钠-壳聚糖为复合絮凝剂回收蛋白添加量对鱼糜制品破裂强度与凹陷深度的影响结果如表 4。类似地, 鱼糜制品的破裂强度随海藻酸钠-壳聚糖复合絮凝回收蛋白添加量的增加而显著降低($P<0.05$), 而对其凹陷深度几乎无影响, 但当添加量达 20%时, 凹陷深度出现显著降低($P<0.05$)。以 5%添加量表现出最佳凝胶强度为 3833 g·mm, 随着其代替鱼糜的量的增加, 凝胶强度存在显著下降趋势, 当替代量至 20%时, 凝胶强度最低达 2192 g·mm, 海藻酸钠作为亲水胶体, 能促进肌动蛋白与肌球蛋白交联形成三维网络结构, 截留水分, 再由 D-氨基葡萄糖组成的阳离子碱性多糖聚合物——壳聚糖与水分子作用后具有黏度, 从而维持水平的凹陷深度^[28]; 但两者结合形成的复合体系中由于蛋白质间的疏水相互作用, 降低了蛋白间过度聚集导致破裂强度明显下降, 就整体而言, 体现在鱼糜制品凝胶强度的降低。

表 4 海藻酸钠-壳聚糖复合絮凝回收蛋白不同添加量对鱼糜制品破裂强度与凹陷深度的影响

Table 4 Effects of different amounts of protein recovered by sodium alginate and chitosan composite flocculation on the rupture strength and rupture distance of surimi products

添加量	破裂强度/g	凹陷深度/mm	凝胶强度/(g·mm)
空白	584±68 ^a	8.95±0.72 ^a	5087±31 ^a
5%	527±112 ^b	8.44±0.29 ^a	3833±17 ^b
10%	374±35 ^c	8.26±0.52 ^a	3212±42 ^c
15%	373±34 ^c	7.58±0.50 ^a	2882±28 ^c
20%	319±19 ^d	6.24±0.42 ^b	2192±21 ^d

2.1.5 不同回收方法回收的蛋白质凝胶强度的比较

由表 1~4 可知, 4 种回收蛋白的掺入均可使鱼糜制品的凝胶强度显著降低($P<0.05$)。纯新鲜罗非鱼鱼糜制成的鱼肠其凝胶强度可达 5087 g·mm, 各种不同来源的回收蛋白无论添加量高低均对其凝胶强度产生了不利影响。在单一絮凝剂回收蛋白替代部分鱼糜的研究中, 虽然凝胶强度随着其代替鱼糜量的增加而不断下降, 但以壳聚糖为单一絮凝剂回收与以海藻酸钠为单一絮凝剂回收相比, 前者的加入对凝胶强度的影响较为稳定, 可能是因为壳聚糖作为絮凝剂的同时也可以显著改善产品的质构和品质, 这跟张茜等^[29]的研究成果相一致, 根据红外光谱推测, 随着适量壳聚糖的加入, 壳聚糖和蛋白质之间会形成氢键, 氢键的形成有助于改善蛋白质的凝胶结构^[30]。

4 种回收蛋白中, 以复合絮凝剂回收蛋白的掺入对原凝胶强度的影响最小, 通过替代 5%鱼糜, 凝胶强度降为 3833 g·mm, 而分别以海藻酸钠为单一絮凝剂回收蛋白和壳聚糖为单一絮凝剂回收蛋白掺入 5%时, 凝胶强度降分

别为 3421 g·mm 和 3342 g·mm, 均显著低于罗非鱼鱼糜制品空白的凝胶强度。鱼糜的凝胶强度随着 4 种回收蛋白的从掺入都呈现出显著下降的趋势, 因此最佳添加量都以 5% 为宜。

2.2 对回收蛋白质应用 TPA 分析

2.2.1 等电点沉降回收蛋白不同添加量对鱼糜制品 TPA 的影响

等电点沉降法回收的蛋白添加量对鱼糜制品 TPA 的影响结果如表 5。pH 调节回收蛋白的掺入对鱼糜制品的 TPA 参数中的硬度、胶着性和咀嚼性有显著影响($P<0.05$), 而对其内聚性和弹性则没有表现出明显影响。随着回收蛋白代替量的增加, TPA 参数(硬度、内聚性、弹性、胶着性和咀嚼性)都呈下降趋势, 说明 pH 调节回收蛋白代替部分鱼糜对罗非鱼鱼糜品质并无改善作用, 反而会降低其品质, 这与前述凝胶强度分析一致, 蛋白在等电点处发生变性, 肌原纤维结构被破坏, 导致其凝胶的质构特性发生明显变化; 酸处理引起的巯基氧化程度更高, 凝胶形成过程中酸处理蛋白形成二硫键的能力减弱, 故而导致硬度、胶着性和咀嚼性降低^[25-26]。

2.2.2 海藻酸钠单一絮凝回收蛋白不同添加量对鱼糜制品 TPA 的影响

海藻酸钠单一絮凝回收的蛋白添加量对鱼糜制品 TPA 的影响结果如表 6。海藻酸钠单一絮凝回收蛋白的掺入对鱼糜制品的 TPA 参数中的硬度、胶着性和咀嚼性有

显著影响($P<0.05$), 而对其内聚性和弹性的影响并不显著($P>0.05$)。随着回收蛋白代替鱼糜的量的增加, TPA 参数(硬度、内聚性、弹性、胶着性和咀嚼性)都呈下降趋势, 说明海藻酸钠单一絮凝回收蛋白代替部分鱼糜也会降低罗非鱼鱼糜品质, 这与前述凝胶强度分析一致, 海藻酸钠等膳食纤维可能会破坏蛋白质-蛋白质或者脂肪-蛋白质之间形成的凝胶网络, 进而降低肉糜制品的凝胶强度和 TPA 参数^[4]。

2.2.3 壳聚糖单一絮凝回收蛋白不同添加量对鱼糜制品 TPA 的影响

壳聚糖单一絮凝回收的蛋白添加量对鱼糜制品 TPA 的影响结果如表 7。壳聚糖单一絮凝回收蛋白的掺入对鱼糜制品的 TPA 参数中的硬度、胶着性和咀嚼性有显著影响($P<0.05$), 而对其内聚性和弹性几乎无影响。类似地, 壳聚糖单一絮凝回收蛋白的掺入对 TPA 参数也存在不利影响, 其中回收蛋白掺入量为 5% 时对鱼糜制品的 TPA 参数产生的不利影响最低, 表现为硬度 2505 g, 胶着性 1788 g, 咀嚼性 192.3 mJ, 而内聚性和弹性则没有表现出显著改变。即使以 20% 的量代替鱼糜时, 其硬度、胶着性、弹性、胶着性和咀嚼性有所上升, 这可能是因为壳聚糖作为絮凝剂的同时也可以显著改善产品的质构和品质, 壳聚糖和蛋白质之间形成的氢键有助于提高鱼糜制品的凝胶强度, 在全质构分析上就体现为硬度、胶着性和咀嚼性的保留, 但仍未对制品的 TPA 参数有改善作用^[31-32]。

表 5 pH 调节回收蛋白不同添加量对鱼糜制品 TPA 的影响
Table 5 Effects of different amounts of protein recovered by pH regulation on TPA of surimi products

实验组	指标				
	硬度/g	内聚性	弹性/mm	胶着性/g	咀嚼性/mJ
空白	2651±118 ^a	0.73±0.02 ^a	11.07±0.15 ^a	1939±68 ^a	210.5±9.2 ^a
添加量 5%	2474±78 ^b	0.69±0.03 ^a	11.04±0.08 ^a	1715±41 ^b	185.6±4.9 ^b
添加量 10%	2405±84 ^c	0.69±0.04 ^a	11.02±0.26 ^a	1651±76 ^c	178.5±10.0 ^c
添加量 15%	2104±22 ^d	0.69±0.04 ^a	10.92±0.05 ^a	1456±83 ^d	156.0±9.3 ^d
添加量 20%	1918±53 ^c	0.58±0.05 ^b	11.09±0.17 ^a	1117±63 ^c	121.3±5.0 ^c

表 6 海藻酸钠单一絮凝回收蛋白不同添加量对鱼糜制品 TPA 的影响
Table 6 Effects of different amounts of protein recovered by sodium alginate single flocculation on TPA of surimi products

实验组	指标				
	硬度/g	内聚性	弹性/mm	胶着性/g	咀嚼性/mJ
空白	2651±118 ^a	0.73±0.02 ^a	11.07±0.15 ^a	1939±68 ^a	210.5±9.2 ^a
添加量 5%	2343±63 ^b	0.71±0.04 ^a	11.00±0.08 ^a	1660±39 ^b	179.1±4.1 ^b
添加量 10%	2148±61 ^c	0.71±0.03 ^a	10.97±0.09 ^a	1522±71 ^c	163.7±7.4 ^c
添加量 15%	2147±53 ^c	0.68±0.04 ^a	11.00±0.13 ^a	1461±98 ^d	157.6±9.9 ^d
添加量 20%	1961±67 ^d	0.63±0.06 ^a	10.77±0.35 ^a	1232±135 ^c	130.4±18.0 ^c

2.2.4 海藻酸钠-壳聚糖复合絮凝回收蛋白不同添加量对鱼糜制品 TPA 的影响

海藻酸钠-壳聚糖为复合絮凝剂回收蛋白添加量对鱼糜制品 TPA 的影响结果如表 8。海藻酸钠-壳聚糖复合絮凝回收蛋白的掺入对鱼糜制品的 TPA 参数中的硬度、胶着性和咀嚼性有显著影响($P<0.05$), 而对其内聚性和弹性则没有表现出显著影响($P>0.05$)。同样地, 回收蛋白

的加入对 TPA 参数产生不利影响, 即使以复合絮凝剂回收蛋白以 20% 的量代替鱼糜时其硬度、胶着性、弹性、胶着性和咀嚼性有所上升, 但仍未对制品的 TPA 参数有改善作用^[31]。复合絮凝剂中虽然也有壳聚糖, 但是壳聚糖与海藻酸钠间的静电吸附增加了溶液浊度^[33-34], 从而降低了壳聚糖与鱼糜蛋白间的吸附架桥作用, 表现为 TPA 参数的降低。

表 7 壳聚糖单一絮凝回收蛋白不同添加量对鱼糜制品 TPA 的影响
Table 7 Effects of different amounts of protein recovered by chitosan single flocculation on TPA of surimi products

实验组	指标				
	硬度/g	内聚性	弹性/mm	胶着性/g	咀嚼性/mJ
空白	2651±118 ^a	0.73±0.02 ^a	11.07±0.15 ^a	1939±68 ^a	210.5±9.2 ^a
添加量 5%	2505±154 ^b	0.72±0.04 ^a	10.96±0.20 ^a	1788±150 ^b	192.3±18.0 ^b
添加量 10%	2183±89 ^c	0.67±0.03 ^a	11.06±0.18 ^a	1454±110 ^d	157.8±12.0 ^d
添加量 15%	2042±60 ^c	0.62±0.05 ^a	10.96±0.35 ^a	1255±89 ^e	135.0±12.5 ^e
添加量 20%	2134±92 ^d	0.72±0.02 ^b	10.99±0.08 ^a	1527±75 ^c	164.5±9.2 ^c

表 8 海藻酸钠-壳聚糖复合絮凝回收蛋白不同添加量对鱼糜制品 TPA 的影响
Table 8 Effects of different amounts of protein recovered by sodium alginate and chitosan composite flocculation on TPA of surimi products

实验组	指标				
	硬度/g	内聚性	弹性/mm	胶着性/g	咀嚼性/mJ
空白	2651±118 ^a	0.73±0.02 ^a	11.07±0.15 ^a	1939±68 ^a	210.5±9.2 ^a
添加量 5%	2019±153 ^b	0.68±0.04 ^a	10.84±0.09 ^a	1367±125 ^b	145.3±13.0 ^d
添加量 10%	1996±75 ^d	0.73±0.03 ^a	11.00±0 ^a	1455±1 ^c	156.9±0 ^b
添加量 15%	1880±150 ^c	0.67±0.02 ^a	10.93±0.13 ^a	1261±83 ^e	135.0±7.9 ^e
添加量 20%	2002±64 ^c	0.70±0.02 ^a	10.82±0.16 ^a	1395±43 ^d	148.1±5.3 ^c

3 讨论与结论

本研究分析了 4 种回收蛋白对鱼糜制品凝胶强度的影响, 发现 4 种回收蛋白的掺入均可使鱼糜制品的凝胶强度随其替代量的增大而逐渐降低, 相同替代量条件下, 以复合絮凝剂回收的蛋白掺入对原凝胶强度的影响最小, 5% 添加量时, 鱼糜凝胶强度降为 3833 g·mm。事实上, 鱼的种类以及鱼肉的新鲜程度均会对鱼糜制品的凝胶强度产生影响^[35], 例如, 以沙丁鱼作为鱼糜制品的原料来源时, 其空白的凝胶强度为 3368.66 g·mm^[10], 明显低于本研究中的空表组的罗非鱼鱼糜制品。所以, 企业鱼糜制品的凝胶强度一般设置有可接受范围, 各回收蛋白以 5% 的量替代罗非鱼鱼糜时其最终的凝胶强度在企业的可接受线性范围内。另外, 综合 4 种回收蛋白对鱼糜制品凝胶强度和全质

构的影响结果显示, 壳聚糖单一絮凝剂回收蛋白掺入量为 5% 时对鱼糜制品的 TPA 参数产生的不利影响最低, 表现为硬度 2505 g, 胶着性 1788 g, 咀嚼性 192.3 mJ, 且内聚性和弹性也没有表现出较明显的显著差异。说明相对于硬度, 胶着性和咀嚼性, 对鱼糜制品的内聚性和弹性产生的不利影响微乎其微, 所以当以 5% 的量替代罗非鱼鱼糜时其最终的 TPA 参数在企业的可接受线性范围内。虽然不同回收方法得到的蛋白以相同比例加入鱼糜制品对凝胶强度与全质构分析的影响表现出一致性, 但对 TPA 的影响机制研究还不够深入, 未来还需要继续摸索更加有效的回收方法, 使其回收的蛋白在掺入鱼糜制品中能同时具备最佳的凝胶强度与全质构参数, 进而拓展到其他鱼类品种的研究场景当中。综上所述, 本研究为罗非鱼鱼糜加工漂洗液再利用提供了一个新的应用技术思路。

参考文献

- [1] 付湘晋, 许时婴, 王璋, 等. 酸碱提取鲢鱼蛋白功能特性的研究[J]. 食品工业科技, 2008, (4): 116–118.
- FU XJ, XU SY, WANG Z, *et al.* Research on the functional properties of acid and alkali extracted protein of silver carp [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2008, (4): 116–118.
- [2] 陈庆全, 曾庆祝, 李红良. 鱼糜加工漂洗液蛋白质回收工艺研究[J]. 现代食品, 2018, (24): 147–154.
- CHEN QQ, ZENG QZ, LI HL. Study on protein recovery process of rinse solution in Surimi processing [J]. *Mod Food*, 2018, (24): 147–154.
- [3] 陈庆全, 曾庆祝, 朱梓宁. 鱼糜加工漂洗液蛋白质理化特性分析[J]. 现代食品, 2023, 29 (23): 200–204, 209.
- CHEN QQ, ZENG QZ, ZHU ZN. Protein physicochemical properties analysis of rinse solution for surimi processing [J]. *Mod Food*, 2023, 29(23): 200–204, 209.
- [4] 邵明栓, 陆剑锋, 林琳, 等. 白鲢鱼糜漂洗液中蛋白质的回收再利用[J]. 食品工业科技, 2011, 32 (4): 78–80, 84.
- SHAO MS, LU JF, LIN L, *et al.* Recycle utilization of proteins from washings of *Hypophthalmichthys molitrix* surimi [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2011, 32(4): 78–80, 84.
- [5] 劳敏军, 付莹莹, 冉刚, 等. 漂洗对蓝圆鲈鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(12): 3803–3810.
- LAO MJ, FU YY, RAN G, *et al.* Effects of rinsing on the gelation characteristics of *Decapterus maruadsi* surimi [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(12): 3803–3810.
- [6] 秦小明, 蒙健宗, 宁恩创, 等. 海藻糖在冷冻罗非鱼鱼糜中的抗冻作用研究[J]. 食品工业科技, 2007, (7): 79–81.
- QIN XM, MENG JZ, NING ENC, *et al.* Study on the antifreeze effect of trehalose in frozen tilapia surimi [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2007, (7): 79–81.
- [7] 张茜. 壳聚糖对淡水鱼糜凝胶特性的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
- ZHANG Q. Effect of chitosan on the gelling properties of fresh water surimi fish surimi [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.
- [8] 叶月华. 低盐罗非鱼糜凝胶品质及体外消化特性的研究[D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2022.
- YE YH. Study on the gel quality and *in vitro* digestion characteristics of low-salt tilapia surimi [D]. Guangzhou: Zhongkai University of Agriculture, 2022.
- [9] 袁悦. 新型冷冻罗非鱼鱼糜抗冻剂的筛选与作用机理研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.
- YUAN Y. A novel cryoprotectants selection and its mechanism study of cryoprotectants for frozen nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) surimi [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019.
- [10] 刘军. 罗非鱼鱼糜及其复合鱼糜加工工艺的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2013.
- LIU J. Study on the processing technology of tilapia surimi and compound surimi [D]. Nanning: Guangxi University, 2013.
- [11] 连喜军, 柴春祥. 鱼糜加工工艺[J]. 水产品技术, 2007, (4): 55–56.
- LIAN XJ, CHAI CX. Surimi processing technology [J]. *Fisheries Technol*, 2007, (4): 55–56.
- [12] CHANG Z, LEI C, MINXIN L, *et al.* Effect of cellulose on gel properties of heat-induced low-salt surimi gels: Physicochemical characteristics, water distribution and microstructure [J]. *Food Chem: X*, 2023, 19: 100820–100820.
- [13] ZHAO YD, LI JJ, WEI GP, *et al.* Fortification of surimi gels by tuning the synergetic effect of multiple enzyme-related factors [J]. *Food Hydrocolloid*, 2023. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2023.108895
- [14] SHUANG L, SONGYI L, PENGFEI J, *et al.* Insight into the gel properties of antarctic krill and pacific white shrimp surimi gels and the feasibility of polysaccharides as texture enhancers of antarctic krill surimi gels [J]. *Foods*, 2022, 11(16): 2517–2517.
- [15] 杨超, 李铭傲, 赵钰莹, 等. 不同冷冻策略下木薯淀粉对龙头鱼鱼糜凝胶品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(16): 42–49.
- YANG C, LI MAO, ZHAO YM, *et al.* Effects of cassava starch on gel quality of *Harpodon nehereus* surimi under different freezing strategies [J]. *J Food Saf Qual*, 2023, 14(16): 42–49.
- [16] 刘泽宇, 刘焱, 罗灿, 等. 茶多酚对草鱼鱼肉蛋白质流变学特性的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(6): 50–58.
- LIU ZY, LIU Y, LUO C, *et al.* Effects of tea polyphenols on grass carp rheological characteristics [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2015, 31(6): 50–58.
- [17] GENG M, TIAN W, JIANRONG L, *et al.* Phase separation affects the rheological properties of starch dough fortified with fish actomyosin [J]. *RSC Adv*, 2021, 11(16): 9303–9314.
- [18] 张彬. 低钠盐白鲢鱼糜制品的制备及其凝胶特性的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.
- ZHANG B. Preparation of low sodium surimi product and research on its gel properties from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2012.
- [19] PEI ZS, WANG HB, XIA GH, *et al.* Emulsion gel stabilized by tilapia myofibrillar protein: Application in lipid-enhanced surimi preparation [J]. *Food Chem*, 2023, 403: 134424.
- [20] 崔艳飞, 赵改名, 王玉芬, 等. 斩拌速度和时间对乳化型香肠质构的影响[J]. 食品科技, 2010, 35(7): 176–181.
- CUI YF, ZHAO GM, WANG YF, *et al.* Optimization of chopping processing on emulsion sausage texture [J]. *Food Sci Technol*, 2010, 35(7): 176–181.
- [21] YANXUE C, JIHUI W, SHAN X, *et al.* The interaction study of soluble pectin fiber and surimi protein network from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) based on a new prediction model [J]. *Food Chem*, 2023, 403: 134429.
- [22] 韦金娜, 龙琳, 朱宝生, 等. 不同发酵工艺对火龙果富硒面包品质的影响[J]. 农产品加工, 2020, (6): 29–33, 38.
- WEI JN, LONG L, ZHU BS, *et al.* Effects of different fermentation technologies on the quality of pitaya selenium-rich bread [J]. *Farm Prod*

- Process, 2020, (6): 29–33, 38.
- [23] 施亚芳. 鱼糜漂洗液蛋白质回收研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
SHI YF. Research on the recovery of protein from surimi wash water [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.
- [24] 盛金凤. 熏制即食罗非鱼产品的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2012.
SHENG JF. Study on instant smoked Tilapia [D]. Nanning: Guangxi University, 2012.
- [25] YUDONG W, YUXIN T, JINGWEN S, *et al.* Physicochemical properties of grass carp surimi as affected by pH and NaCl concentration during washing [J]. *Int J Food Prop*, 2023, 26(1): 952–962.
- [26] 付庆. 酸碱处理对于鲢鱼鱼糜品质的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
FU Q. The effects of acid and alkali treatment on the properties of surimi from silver carp [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.
- [27] ZHANG HM, XIONG YT, AMR M. Effect of yeast β -glucan on gel properties, spatial structure and sensory characteristics of silver carp surimi [J]. *Food Hydrocolloid*, 2019, 88: 256–264.
- [28] 叶月华, 钱敏, 刘晓艳, 等. 不同外源物质对淡水鱼鱼糜热诱导凝胶特性增效作用的研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(12): 285–293.
YE YH, QIAN M, LIU XY, *et al.* The enhancement of different exogenous substances on thermal-induced gel properties of fresh water fish surimi [J]. *Food Ferment Ind*, 2021, 47(12): 285–293.
- [29] 张茜, 夏文水. 壳聚糖对鲢鱼糜凝胶特性的影响[J]. *水产学报*, 2010, (3): 342–348.
ZHANG Q, XIA WS. Effects of chitosan on the gelling properties of silver carp surimi [J]. *J Fish China*, 2010, (3): 342–348.
- [30] 许永安, 吴靖娜, 苏捷, 等. 壳聚糖絮凝法回收鱼糜漂洗水中水溶性蛋白质的工艺研究[J]. *南方水产科学*, 2011, (3): 1–7.
XU YAN, WU JN, SU J, *et al.* Technology of recovering soluble protein from surimi washings by chitosan flocculating method [J]. *South China Fish Sci*, 2011, (3): 1–7.
- [31] ZHAO YD, PIAO XY, ZHENG B, *et al.* Enhancement of surimi gel properties through the synergetic effect of fucoidan and oligochitosan [J]. *Food Hydrocolloid*, 2023, 140: 108626.
- [32] XIAO L, XIN SL, WEI ZL, *et al.* Effect of chitosan nanoparticles loaded with curcumin on the quality of *Schizothorax prenanti* surimi [J]. *Food Biosci*, 2021, 42: 101178.
- [33] 张育新, 康勇. 絮凝剂的研究现状及发展趋势[J]. *化工进展*, 2002, 21(11): 799–804.
ZHANG YX, KANG Y. Review of present status and development of flocculation agents [J]. *Chem Ind Eng Prog*, 2002, 21(11): 799–804.
- [34] 朱艳彬, 马放, 杨基先, 等. 絮凝剂复配与复合型絮凝剂研究[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2010, (8): 1254–1258.
ZHU YB, MA F, YANG JX, *et al.* Combination effect of flocculants for water treatment and development of compound flocculants [J]. *J Harbin Technol Ins*, 2010, (8): 1254–1258.
- [35] 盛倩茹, 王娟. 解冻方式对冷冻鱼丸理化与质构性质的影响[J/OL]. *现代食品科技*: 1–10. [2024-02-02]. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.1.1410>
SHENG QR, WANG J. Effects of thawing methods on physicochemical and textural properties of frozen fish balls [J/OL]. *Mod Food Sci Technol*: 1–10. [2024-02-02]. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.1.1410>

(责任编辑: 郑丽 韩晓红)

作者简介



陈庆全, 硕士, 工程师, 主要研究方向为农副产品综合利用。
E-mail: Chenqq3940@163.com