

添加谷朊粉和 TG 酶的低钠盐鲢鱼糜制品的冻融稳定性研究

梁文雨, 杨玥, 洪惠*

(中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

摘要:对漂洗和非漂洗的低钠盐替代鲢(*Ctenopharyngodon idella*)鱼糜进行反复冻融,为添加谷朊粉和 TG 酶的低钠盐鱼糜制品在冷冻贮藏过程中的品质控制提供理论依据。在实际生产中通常采用冷冻的方式贮藏鱼糜制品,但反复冻融破坏了鱼糜凝胶的内部结构,严重影响了鱼糜凝胶的品质。本研究在低钠盐鲢鱼糜的基础上,添加了 0.05% (w/w) TG 酶和 4% (w/w) 谷朊粉,通过检测白度、持水性、凝胶强度、质构(TPA)、微观结构以及硫代巴比妥酸值(TBA)等指标来比较漂洗和非漂洗鱼糜凝胶在冻融过程中各项指标变化规律的差异性。结果显示,反复冻融显著降低了添加谷朊粉和 TG 酶的低钠盐替代鲢鱼糜明胶的品质特性。随着冻融的次数增多,鲢鱼糜制品的脂肪氧化程度增加,品质劣化,而谷朊粉和 TG 酶的添加对漂洗处理的低钠盐鱼糜制品的脂肪氧化抑制作用较明显。因此,本研究可为添加谷朊粉和 TG 酶的低钠盐鱼糜制品的冷冻贮藏提供理论参考。[中国渔业质量与标准,2021,11(6):01-07]

关键词:鲢;鱼糜制品;TG 酶;谷朊粉;冻融稳定性

中图分类号:TS254.1

文献标志码:A

文章编号:2095-1833(2021)06-0001-08

鱼糜是由去骨鱼肉经洗涤和脱水制得的稳定的肌原纤维蛋白浓缩物,常被用作生产各种高附加值产品的中间原料^[1]。鱼糜制品是把生鲜鱼糜或冷冻鱼糜通过斩拌、加热使之凝胶化的一种精深加工水产食品,具有独特的质构和营养价值,深受广大消费者的喜爱。鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)生长快、色泽白、抗病性较强、产量高、价格便宜、优质蛋白丰富(15~18 g/100 g),且随着海洋鱼类捕获量急剧下降,鲢已成为淡水鱼糜制品加工的主要原料^[1-2]。白鲢是常见的淡水鱼之一,2020 年白鲢的全国水产养殖产量约为 381.29 万 t(占总淡水鱼养殖产量的 7.3%),仅次于草鱼(*Ctenopharyngodon idella*),中国的白鲢主要以鲜销为主,经济价值不高。白鲢制成鱼糜制品是提高其附加值的主要渠道,但鲢鱼糜的凝胶形成能力差且风味不佳,严重影响了其商业价值。为了进一步加工利用白鲢,提高其食用价值,改善白鲢鱼糜的凝胶特性至关重要。

在鱼糜制品加工过程中,食盐可以使盐溶性蛋白质溶出形成溶胶,加热后赋予鱼糜制品弹性^[3-4],同时还具有缓解腥味和抑制微生物生长的作用^[5-6]。但随着生活水平的提高,健康饮食也成为人们选择食

品的重要考量。在鱼糜制品生产中,食盐(即氯化钠)的添加量一般为 2%~3%,超过人的合适口味 0.8%~1.2%。相关研究指出过多的摄入钠盐会导致体重、钠交换、钾钙排泄量、细胞外液、肾脏负担和血容量的增加,从而引起高血压、动脉硬化、骨质疏松等疾病^[7]。单纯降低盐分可能会导致鱼糜凝胶强度与持水性的急剧下降,因此在降低钠盐添加量的同时,找到合适的钠盐替代物及替代比例,保证鱼糜制品的风味、口感、持水性以及凝胶强度至关重要。

在低钠盐替代鱼糜加工过程中,还可以通过外源添加物的加入来改善鱼糜制品的品质特性,常见的外源添加物有可溶性胶、淀粉、多糖和多酚类物质、非肌肉蛋白(例如大豆分离蛋白、面筋蛋白、乳清蛋白等)、酶和无机盐等。谷氨酰胺转氨酶(TG 酶)是一种连接酶,通过作用于鱼糜的低温凝胶化过程来改善鱼糜的凝胶特性^[8]。Mengxue 等^[9]分别对鲢鱼糜进行加 TG 酶和不加 TG 酶的处理,发现不添加 TG 酶时,蛋白质的破断力会随着冻融循环次数的增加而显著降低;加入 0.4% 的 TG 酶后,通过刺激非二硫共价键的形成,增强蛋白质交联,其破断力、凝胶强度和解冻水含量明显增加。谷朊粉是一种常见的功能性营

收稿日期:2021-10-19;接收日期:2021-11-26

资助项目:国家重点研发计划(2018YFD0901002)

第一作者:梁文雨(1998-),硕士研究生,研究方向为食品加工与安全,E-mail:liangwycu118@163.com

通信作者:洪惠,副教授,研究方向为水产品加工与贮藏,E-mail:honghuicau@126.com

养素、增味剂和食品添加剂,广泛应用于面粉制品、肉制品、乳制品、冷饮和粉末油等食品中^[10]。张煜等^[11]向小麦面粉与马铃薯全粉混合粉中添加了不同比例的谷氨酰胺转氨酶与谷朊粉,并研究了混合粉的粉质特性、动态流变和糊化特性。结果表明,在一定的范围内,添加谷朊粉可以减少 TG 酶对混合面团粉质性能的不利影响,并改善面团的动态流变和糊化特性。熊添等^[12]发现谷朊粉的添加影响了新鲜和熟制的干马铃薯面粉的混合面粉的蒸煮、结构、储藏和其他定型特征,10%~15%的谷朊粉添加量可以改善其品质的一致性。

而冷冻鱼糜在后续储存、运输、加工和消费环节中,都会发生不同程度的温度波动从而导致鱼糜蛋白冻融循环过程反复,虽然冷冻储存可以抑制大多数微生物的生长繁殖,降低酶的活力,并延长保质期^[13],但反复冻融可能导致鱼糜产品的品质劣变,例如新鲜度下降、蛋白质变性(包括蛋白质溶液的溶解度、酶活性和粘度的降低^[14-15]和凝胶的劣化等。而实验室前期的研究表明反复冻融循环中的温度波动越严重,重结晶现象越严重,从而导致细胞结构的严重破坏,脂肪氧化、质构劣变和色泽劣变加剧,蛋白质的理化性质破坏等,降低鱼糜的食用性。因此,研究冻融循环过程中鱼糜产品质量的变化机理并提出对策,是未来鱼糜行业发展的重要举措。

本研究以漂洗和非漂洗鱼糜为原料,探讨了添加谷朊粉和 TG 酶制备的鱼糜凝胶冻融稳定性变化规律,考察了谷朊粉和 TG 酶等外源物对鱼糜凝胶的作用效果,同时横向对比分析了不同漂洗处理的鱼糜原料在外源物添加量相同时的变化差异性,为开发维持鱼糜在冻融过程中稳定性添加剂配方提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 原料和试剂

新鲜鲢购于北京健翔桥农贸市场,谷朊粉购于河南蜜丹儿商贸有限公司,TG 酶(食品级)购于泰兴市东圣生物科技有限公司,食盐购于美廉美超市,氯化钾(食品级)和肌苷酸二钠(IMP)购于优宝嘉食品旗舰店。

其他试剂:三氯乙酸(分析纯),购于上海麦克林生化科技有限公司;二甲基羟基甲苯(BHT)(分析纯),购于天津市津科精细化工研究所;无水乙醇(分

析纯),购自北京化工厂;硫代巴比妥酸(TBA)(分析纯),购于 Sigma-Aldrich 公司。

1.1.2 仪器

台式高速冷冻离心机(长沙平凡仪器仪表有限公司);紫外分光光度计(上海精宏实验设备有限公司);绞肉机(九阳股份有限公司);质构仪(广州市博勒飞质构仪技术服务有限公司);色度仪(深圳三恩驰科技有限公司);场发射扫描电镜(日本日立公司);食品加工机(德龙博朗家电有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 鱼糜凝胶的制备

从-80℃冰箱中分别取适量经处理的漂洗鱼糜(RW组)和非漂洗鱼糜(NR组),于常温下解冻至半解冻状态。随后切成小块分别放入绞肉机中斩拌2 min。基于0.05%(w/w)TG酶,4%(w/w)谷朊粉、0.7%(w/w)KCl,0.1%(w/w)IMP,1.2%(w/w)NaCl等添加物的比例,加入冰水调节两种鱼糜最终水分含量相同,将混合物放入食品加工机中以5~6档的转速擂溃10 min,以溶解肌原纤维蛋白。擂溃后将鱼糜装入50 mL离心管中,离心(3 500 rpm/min,5 min,4℃)排去鱼糜中的气泡。整个过程温度保持在10℃以下,以防止蛋白质变性。鱼糜样品分两步加热:45℃加热20 min,90℃加热30 min。最后,将获得的凝胶用冰水冷却,然后在4℃下保存。

1.2.2 冻融循环处理

将冷却后的鱼糜凝胶放置于-20℃中冷冻贮藏,每隔3 d将样品转移至4℃冰箱中解冻12 h,每次取5个样品进行相关指标测定,剩余样品继续放入-20℃冰箱冻藏,循环5次,测定第0次、第3次和第5次的相关质量指标。

1.2.3 凝胶白度的测定

参考 Marchetti 等^[16]的方法稍作修改。将鱼糜凝胶从4℃冰箱中取出,切成直径10 mm,高10 mm的圆柱体,用色差仪对凝胶样品的亮度值 L^* ,红绿值 a^* ,黄蓝值 b^* 进行测定,每组样品设置6个平行,按公式(1)计算白度值:

$$\text{白度值} = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2} \quad \text{式(1)}$$

1.2.4 凝胶持水性测定

参考 Cao 等^[17]的方法稍作修改。将鱼糜凝胶从4℃冰箱中取出,切成厚度为5 mm的薄片,准确称量3.0 g记为 M_1 ,用3层滤纸将样品包裹好,放入50 mL离心管中,离心15 min(7 500 rpm/min,4℃)后,取出

称重记为 M_2 , 每组样品 6 个平行, 按公式(2) 计算持水性:

$$\text{持水性}(\%) = M_2/M_1 \times 100 \quad \text{式(2)}$$

1.2.5 凝胶强度的测定

参照 Uma 等^[18]的方法, 并进行一些调整。将鱼糜凝胶切成直径 10 mm、高 10 mm 的圆柱体。使用直径为 5 mm 的球形探针(TA50)在 TA-XT2i 质构分析仪上测定凝胶性质, 包括破断力(breaking force, g)和凹陷深度(deformation, mm)。其中, 破断力是穿孔曲线上的第一个最高峰; 凹陷深度是负荷对应的破断距离(breaking distance, mm); 凝胶强度(gel strength, g·mm)是破断力和凹陷深度的乘积。参数设置: 测试速率 0.50 mm/s、压缩形变 50%、触发驱动力 7 g。使用测得的断裂力和变形距离按公式(3) 计算凝胶强度^[19]。每组样品测定 10 个平行。

$$\text{凝胶强度}/(\text{g} \cdot \text{mm}) = \text{破断强度}/\text{g} \times \text{凹陷深度}/\text{mm} \quad \text{式(3)}$$

1.2.6 凝胶 TPA 分析

参照 Huang 等^[20]的方法并稍作修改。样品的制备与凝胶强度测试相同。室温下选择质构仪的 TPA 分析模式。质构特性: 方形探针(TA3/100), 速度为 1.00 mm/s, 触发力 5.0 g, 形变 40%, 循环 2 次。软件自动分析得出弹性、内聚性、硬度、胶着性和咀嚼性等相关数据。硬度: 第一次压缩时最大压缩时的阻力; 弹性是指在去除凹陷力后样品恢复到原始形状的能力; 内聚性是样品在破裂之前可以恢复凹陷的程度; 咀嚼性表示咀嚼固体样品至吞咽稳定状态所需的能量; 胶着性是将半固体食物分离到吞咽前状态所需的能量^[21]。

1.2.7 硫代巴比妥酸值分析

称取 2 g 搅碎的样品鱼肉于 50 mL 离心管中, 加入 16 mL 5% (w/v) 三氯乙酸溶液与 100 μL 的 2 g/L BHT 乙醇溶液, 使用分散均质机于 13 000 rpm/min 档位下高速匀浆 2 min, 常温下 5 000 rpm/min 离心 3 min。取 5 mL 上清液, 加入 1 mL 0.01 mol/L 的 TBARS 溶液, 用振荡器混匀后沸水浴 40 min。空白对照用 5 mL 去离子水代替样品上清液。将经过沸水浴反应的样品置于冷水中冷却 5 min 后, 于 450、532 和 600 nm 下测定吸光值。TBARS 通过样品中丙二醛(MDA)的浓度($\mu\text{mol/L}$)表示, 其计算公式(4) 如下:

$$\text{硫代巴比妥酸反应物}(\mu\text{mol/L}) = 6.45 \times (A_{532} - A_{600}) - 0.56 \times A_{450} \quad \text{式(4)}$$

其中: A_{532} 表示样品溶液在 532 nm 处的吸光值; A_{600} 表示样品溶液在 600 nm 处的吸光值; A_{450} 表示样品溶液在 450 nm 处的吸光值。

1.2.9 扫描电镜观察

将鱼糜凝胶切成 1 mm 厚的小片, 并在 4 $^{\circ}\text{C}$ 下浸入 2.5% (v/v) 的戊二醛中固定 12 h。固定完全后, 将凝胶用磷酸盐缓冲液洗涤 3 次, 然后在 30%、50%、70%、80% 及 90% 的梯度乙醇中依次脱水 15 min, 最后用无水乙醇洗涤 2 次, 每次 10 min。将洗涤后的样品放在离心管中, 然后放入真空干燥器中干燥过夜。将制备的样品在青铜短管上溅射镀金。通过场发射扫描电镜在 15.0 kV 的加速电压下观察鱼糜凝胶的微观结构^[22]。

2 结果与分析

2.1 反复冻融对漂洗和非漂洗鱼糜凝胶白度的影响

白度是鱼糜凝胶品质特性重要的表征指标之一。表 1 显示了添加 4% 谷朊粉和 0.05% 的 TG 酶的低盐替代鱼糜在整个冻融循环过程中, 非漂洗鱼糜和漂洗鱼糜的 L^* 值(亮度)、 a^* 值(红绿值)、 b^* 值(黄蓝值)、白度均存在显著差异($P < 0.05$), 非漂洗鱼糜的 L^* 值均大于漂洗鱼糜, 这可能是由于鱼糜在漂洗过程中洗去了部分色素物质, 导致亮度变暗。白度的变化与 L^* 值的变化类似, 但非漂洗鱼糜的白度普遍高于漂洗鱼糜的白度, 这可能是由于在漂洗过后造成蛋白氧化, 氧化产物与蛋白质的氨基酸侧链发生的非酶褐变引起的^[23]。

由表 1 可知, 随着冻融次数的增加, 无论是漂洗还是非漂洗鱼糜, 白度值都降低, 且冻融次数越多, 白度值下降的幅度越明显。漂洗鱼糜对于冻融循环的敏感性大于非漂洗鱼糜, 推测原因是多次漂洗加速了冻藏鱼糜的蛋白氧化, 也可能是由于脂肪氧化引起色素蛋白与肌肉蛋白交联, 在肌原纤维蛋白提取过程中由于冻结使蛋白质发生不同程度的变性, 蛋白质分子间相互作用, 色素蛋白去除不完全而保留在肌原纤维蛋白中^[24]。

2.2 反复冻融对漂洗和非漂洗鱼糜凝胶持水性的影响

持水性考察的是鱼糜凝胶在冻融循环过程中保留水分的能力, 是衡量贮藏过程中品质变化的重要指

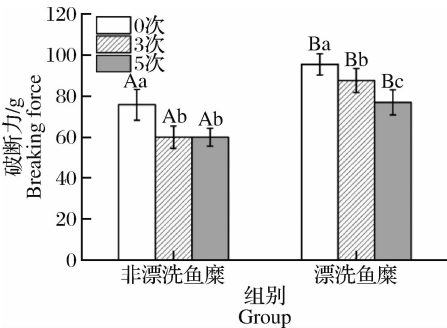
标。由图 1 可知,在整个冻融循环过程中,漂洗鱼糜和非漂洗鱼糜凝胶的持水能力具有显著性差异($P < 0.05$),且漂洗鱼糜的持水能力均高于非漂洗鱼糜。这可能是由于通过漂洗除去部分杂质并改善凝胶特性,促进大分子的凝胶网络结构的形成,导致保留水分的能力增加^[25]。

同时,漂洗鱼糜凝胶和非漂洗鱼糜凝胶在整个冻融循环过程中具有相同的变化趋势,随着冻融次数的增加,持水性显著下降($P < 0.05$),凝胶在经历 3 个冻融循环后,持水性迅速下降,而经历 5 个冻融循环后,下降的速度放缓。由此可推断随着冻融次数的不断增加,持水性可能会下降并逐渐趋于稳定,变化幅度最大的阶段是在初始阶段的冻融循环。

表 1 反复冻融对漂洗和非漂洗鱼糜凝胶白度的影响

Tab.1 Effect of repeated freeze – thawing on the whiteness of rinsed and non – rinsed surimi gel		冻融次数 Freeze-thawing times		
参数 Parameter	原料 Material	0 次	3 次	5 次
L^*	非漂洗鱼糜	81.84 ± 0.06 ^{Ab}	80.90 ± 0.42 ^{Aa}	78.37 ± 0.30 ^{Ac}
	漂洗鱼糜	81.04 ± 0.13 ^{Ac}	73.90 ± 0.66 ^{Ba}	75.43 ± 0.31 ^{Bb}
a^*	非漂洗鱼糜	-2.19 ± 0.32 ^{Ab}	-2.16 ± 0.07 ^{Aa}	-2.19 ± 0.10 ^{Ab}
	漂洗鱼糜	-1.79 ± 0.08 ^{Ba}	-2.45 ± 0.17 ^{Bc}	-2.35 ± 0.07 ^{Ab}
b^*	非漂洗鱼糜	7.19 ± 0.32 ^{Aa}	4.42 ± 0.53 ^{Ab}	4.31 ± 0.14 ^{Ab}
	漂洗鱼糜	7.48 ± 0.12 ^{Aa}	6.61 ± 0.26 ^{Bb}	6.64 ± 0.36 ^{Bb}
白度	非漂洗鱼糜	80.34 ± 0.10 ^{Aa}	80.27 ± 0.51 ^{Aa}	79.37 ± 0.09 ^{Ab}
	漂洗鱼糜	79.54 ± 0.10 ^{Aa}	76.97 ± 0.63 ^{Bb}	74.44 ± 0.24 ^{Bc}

注:数值以平均值±标准差表示;同列中标有不同大写字母表示不同处理的鱼糜组(漂洗和非漂洗)差异显著($P < 0.05$),同行中标有不同小写字母表示冻融循环次数差异显著($P < 0.05$)。下同。



2.3 反复冻融对漂洗和非漂洗鱼糜凝胶强度的影响

凝胶强度是反映鱼糜凝胶特性的重要指标。由图 2 可知,在整个冻融循环过程中,非漂洗鱼糜和漂洗鱼糜的凝胶强度、破断力均存在显著性差异($P < 0.05$),且漂洗鱼糜的破断力、凝胶强度均明显高于非漂洗鱼糜,这可能是由于漂洗在一定程度上起到了浓缩肌原纤维蛋白的作用,同时可以除去鱼糜中部分内源性组织蛋白酶,有效防止鱼糜凝胶的劣化,使凝胶强度增强^[26]。且随着冻融次数的增加,破断力和凝胶强度的变化基本一致,都呈现出逐渐下降的趋势,不同的冻融次数之间也存在显著性差异($P < 0.05$)。

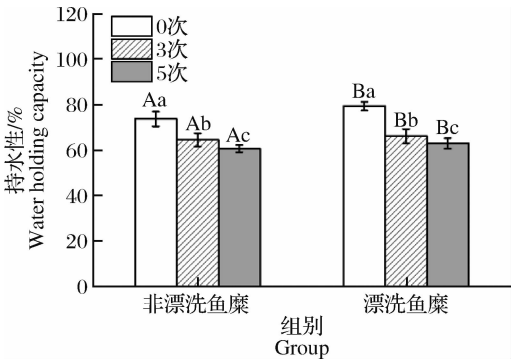


图 1 反复冻融对漂洗和非漂洗鱼糜凝胶持水性的影响
注:图中标有不同大写字母表示不同处理的鱼糜组(漂洗和非漂洗)差异显著($P < 0.05$),标有不同小写字母表示冻融循环次数差异显著($P < 0.05$)。下同。

Fig.1 Effect of repeated freeze – thawing on the water holding capacity of rinsed and non – rinsed surimi gel

Note: The different capital letters in the figure indicated that the surimi groups (rinsed and non – rinsed) of different treatments presented significant difference ($P < 0.05$), and the different lowercase letters indicated that the numbers of freeze – thawing cycles were significantly different ($P < 0.05$).

The same below.

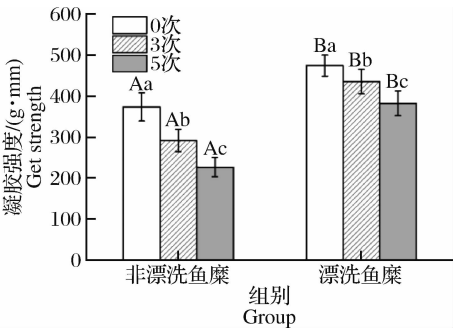


图 2 反复冻融对漂洗和非漂洗鱼糜凝胶破断力 (A) 和凝胶强度 (B) 的影响

Fig.2 Effect of repeated freeze-thawing on the breaking force (A) and gel strength (B) of rinsed and non-rinsed surimi gel

2.4 反复冻融对漂洗和非漂洗鱼糜凝胶质构特性的影响

质构分析主要考察硬度、弹性、胶着性、内聚性和咀嚼性。由表 2 可知,在整个冻融循环过程中漂洗鱼糜的硬度、胶着性、内聚性和咀嚼性均显著 ($P < 0.05$) 高于非漂洗鱼糜。在冻融开始阶段,非漂洗鱼糜的弹性显著 ($P < 0.05$) 大于漂洗鱼糜。但反复冻融 3 次和 5 次后,漂洗和非漂洗鱼糜凝胶的弹性无显著性差异。

此外,随着冻融次数的增加,漂洗和非漂洗鱼糜凝胶的各项指标中均呈现出显著下降 ($P < 0.05$) 的趋势,同时漂洗鱼糜的咀嚼性、胶着性及硬度下降速度快于非漂洗鱼糜,而内聚性和弹性的下降速度慢于非漂洗鱼糜,这可能是由于两种不同处理的鱼糜在外源物的加入后,内部结构特性发生的不同变化引起的。

表 2 反复冻融对漂洗和非漂洗鱼糜凝胶质构特性的影响
Tab.2 Effect of repeated freeze-thawing on the texture analysis of rinsed and non-rinsed surimi gel

参数 Parameter	原料 Material	冻融次数 Freeze-thawing times		
		0 次	3 次	5 次
硬度	非漂洗鱼糜	165.40 ± 29.37 ^{Aa}	114.60 ± 17.58 ^{Ab}	91.63 ± 15.22 ^{Ac}
	漂洗鱼糜	218.14 ± 22.65 ^{Bb}	149.50 ± 19.65 ^{Bb}	132.17 ± 12.88 ^{Bc}
内聚性	非漂洗鱼糜	0.86 ± 0.09 ^{Aa}	0.81 ± 0.05 ^{Ab}	0.79 ± 0.03 ^{Ac}
	漂洗鱼糜	0.81 ± 0.05 ^{Bb}	0.79 ± 0.05 ^{Aa}	0.74 ± 0.04 ^{Bc}
弹性	非漂洗鱼糜	3.84 ± 0.13 ^{Aa}	3.64 ± 0.06 ^{Ab}	3.64 ± 0.04 ^{Ab}
	漂洗鱼糜	3.70 ± 0.10 ^{Aa}	3.64 ± 0.09 ^{Ab}	3.64 ± 0.05 ^{Ab}
胶着性	非漂洗鱼糜	106.60 ± 32.99 ^{Aa}	87.60 ± 13.24 ^{Ac}	78.34 ± 16.40 ^{Ac}
	漂洗鱼糜	176.00 ± 15.01 ^{Ba}	115.33 ± 13.12 ^{Bb}	113.83 ± 12.58 ^{Bb}
咀嚼性	非漂洗鱼糜	4.04 ± 1.24 ^{Aa}	3.10 ± 0.46 ^{Ac}	3.29 ± 0.70 ^{Ab}
	漂洗鱼糜	6.40 ± 0.62 ^{Bb}	4.20 ± 1.94 ^{Ba}	4.25 ± 0.75 ^{Ba}

2.5 反复冻融对漂洗和非漂洗鱼糜凝胶脂肪氧化的影响

由图 3 可知,在整个冻融循环过程中,非漂洗鱼糜和漂洗鱼糜的硫代巴比妥酸 (TBA) 值均存在显著性差异 ($P < 0.05$),且随着冻融次数的增加,漂洗和非漂洗鱼糜的 TBA 值都上升,这表明脂肪氧化正在进行,且随着冻融次数的增加,氧化速度逐渐减慢。反复冷冻和解冻会导致许多新冰晶的形成,破坏肌肉细胞的结构,肌肉纤维丢失,从而导致脂肪氧化的加速^[27]。其次,在冻藏过程中形成的冰晶

会引起细胞膜损伤并释放脂肪氧化前体,特别是游离的铁离子,这些游离铁离子可参与分子氧的电子转移反应,形成脂质过氧化阴离子(从而引起脂肪的氧化)^[28]。

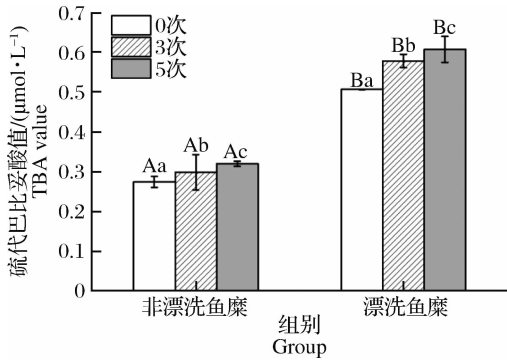


图 3 反复冻融对漂洗和非漂洗鱼糜凝胶硫代巴比妥酸 (TBA) 值的影响

Fig.3 The effect of repeated freeze-thawing on TBA value of rinsed and non – rinsed surimi gel

2.6 反复冻融对漂洗和非漂洗鱼糜凝胶微观结构的影响

微观结构是反映鱼糜凝胶特性变化的最直观的表征。由图 4 可知,在整个冻融过程中,漂洗鱼糜的微观结构比相同冻融次数下非漂洗鱼糜的凝胶网络结构更为规律,凝胶结构排列较紧密,具有较小的孔隙。对漂洗鱼糜和非漂洗鱼糜来说,随着冻融次数的增加,蛋白网络结构堆叠减少,凝胶结构变得松散,网络结构间的孔隙逐渐增多。但从图中可以发现,在相同冻融次数下,漂洗鱼糜的微观结构变化速度比非漂洗鱼糜慢,这说明相比于非漂洗鱼糜,漂洗鱼糜对于新配方的加入变化更加敏感。这也与 2.4 的凝胶强度结果相对应。

3 结论

本研究以低盐替代鱼糜配方为基础,探讨添加谷朊粉(4%)和 TG 酶(0.05%)对漂洗和非漂洗鱼糜制品冻融稳定性变化规律的影响,研究表明,随着冻融的次数增多,漂洗和非漂洗鱼糜的白度、凝胶强度和持水性均降低,硬度、胶着性及内聚性下降,咀嚼性先下降后上升,弹性下降后逐渐趋于稳定,TBA 值逐渐增大,凝胶的空间结构由致密逐渐变得松散,孔隙增多。而在整个冻融循环过程中,漂洗鱼糜的持水性、凝胶强度和 TBA 值都显著高于非漂洗鱼糜,白

度值变化规律相反,硬度、胶着性、内聚性、咀嚼性和弹性的变化幅度比非漂洗鱼糜大。

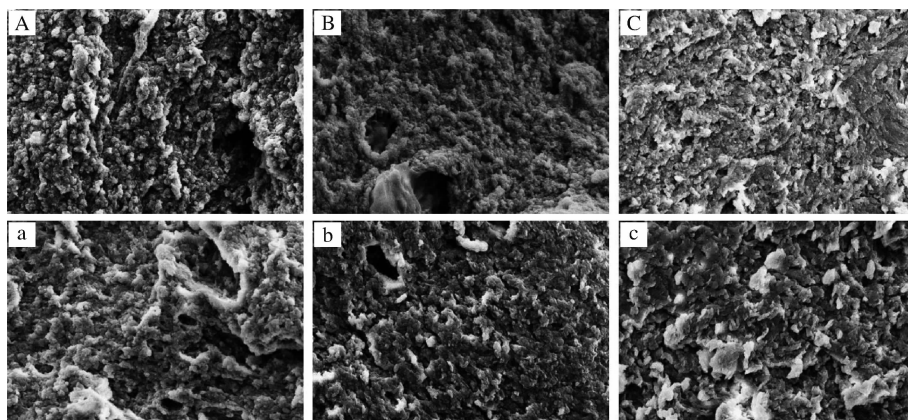


图4 反复冻融对漂洗和非漂洗鱼糜凝胶微观结构($\times 2\ 000$)的影响

注:图中 A~C 表示非漂洗鱼糜凝胶, a~c 表示漂洗鱼糜凝胶。

Fig. 4 The effect of repeated freeze – thawing on the microstructure of rinsed and non – rinsed surimi gel ($\times 2\ 000$)

Note: A – C in the figure represented non – rinsed surimi gel, and a – c represented rinsed surimi gel.

综合分析可知,反复冻融显著降低了低钠盐替代鲢鱼鱼糜制品的品质特性,同时谷朊粉和 TG 酶添加后,漂洗处理的低钠盐替代鲢鱼糜制品在凝胶特性和微观结构上的劣化幅度低于非漂洗鱼糜制品。

参考文献:

- [1] Hongbo M, Yi L, Cong W, et al. The interaction of starch-gums and their effect on gel properties and protein conformation of silver carp surimi[J]. Food Hydrocoll, 2021, 112(8): 106290.
- [2] Fu X, Lin Q, Xu S, et al. Effect of drying methods and antioxidants on the flavor and lipid oxidation of silver carp slices[J]. LWT-Food Sci Technol, 2015, 61(1): 251-257.
- [3] Marita R, Jukka V, Marika L, et al. Reducing the sodium content in meat products: The effect of the formulation in low-sodium ground meat patties[J]. Meat sci, 2005, 69(1): 53-60.
- [4] 孔保华, 李明清, 夏秀芳. 不同盐对鲤鱼肌原纤维蛋白结构和凝胶特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(3): 50-55.
- [5] Marita R, Eero P. Reducing sodium intake from meat products[J]. Meat sci, 2005, 70(3): 531-541.
- [6] 翁世兵, 林琳, 张静雅. 斩拌加盐量对白鲢鱼糜物理特性的影响[J]. 肉类工业, 2010(10): 25-28.
- [7] 杨裕华, 王际莘, 贺法宪. 摄盐量相关性疾病研究进展[J]. 中国老年学杂志, 2011, 31(15): 3003-3006.
- [8] 赵征, 李红, 敖海英. 谷氨酰胺转氨酶在鱼糜加工中的应用[J]. 食品研究与开发, 2003(1): 45-48.
- [9] Liang F, Lin L, He T, et al. Effect of transglutaminase on gel properties of surimi and precocious Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) meat [J]. Food Hydrocoll, 2020, 98(7): 105261.
- [10] Mahroug H, Benatallah L, Takács K, et al. Impact of Instant Controlled Pressure Drop (DIC) Treatment on Chemical, Functional and Immunological Properties of Wheat Gluten[J]. Arabian J Sci Eng, 2020, 45(2): 575-586.
- [11] 张煜, 窦博鑫, 刘丽宅. TGase 与谷朊粉添加对马铃薯全粉-小麦粉混合粉面团特性的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(2): 47-57.
- [12] 熊添, 何建军, 蔡芳. 谷朊粉对马铃薯热干面品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(2): 205-211.
- [13] 李金平. 冷藏时间和反复冻融对牛肉品质影响的研究 [D]. 南京:南京农业大学, 2009.
- [14] Benjakul S, Visessanguan W, Thongkaew C, et al. Comparative study on physicochemical changes of muscle proteins from some tropical fish during frozen storage[J]. Food Res Int, 2003, 36(8): 787-795.
- [15] Paredi M E, Pagano M R, Crupkin M. Biochemical and physicochemical properties of actomyosin and myofibrils from frozen stored flounder (*paralichthys patagonicus*) fillets[J]. J Food Biochem, 2010, 34(5): 983-997.
- [16] Marchetti L, Muzzio B, Cerrutti P, et al. Bacterial nanocellulose as novel additive in low-lipid low-sodium meat sausages. Effect on quality and stability [J]. Food Struct, 2017, 14(6): 52-59.
- [17] Cao H, Fan D, Jiao X, et al. Heating surimi products u-

- sing microwave combined with steam methods: Study on energy saving and quality [J]. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 2018, 47(3): 231-240.
- [18] Uma B, Bhargavi P M, R. K. M, et al. Quality characteristics of fortified silver carp surimi with soluble dietary fiber: Effect of apple pectin and konjac glucomannan [J]. *Int J Biol Macromol*, 2021, 175(1): 123-130.
- [19] Hongbo M, Bo Z, Cong W, et al. Effect of 6-gingerol on physicochemical properties of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) surimi fortified with perilla oil during refrigerated storage. [J]. *J sci food agric*, 2017, 97(14): 4807-4814.
- [20] Huang J, Ye B, Wang W, et al. Incorporation effect of inulin and microbial transglutaminase on the gel properties of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) surimi [J]. *J Food Meas Charact*, 2021, 15(1): 1-11.
- [21] Truong B Q, Buckow R, Nguyen M H, et al. Gelation of barramundi (*Lates calcarifer*) minced muscle as affected by pressure and thermal treatments at low salt concentration [J]. *J Sci Food Agric*, 2017, 97(11): 3781-3789.
- [22] Hu Y, Liu W, Yuan C, et al. Enhancement of the gelation properties of hairtail (*Trichiurus haumela*) muscle protein with curdlan and transglutaminase [J]. *Food Chem*, 2015, 176(12): 115-122.
- [23] 李银, 李侠, 张春晖, 等. 羟自由基导致肉类肌原纤维蛋白氧化和凝胶性降低 [J]. *农业工程学报*, 2013, 29(12): 286-292.
- [24] 李艳青. 蛋白质氧化对鲤鱼蛋白结构和功能性的影响及其控制技术 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013: 67-72.
- [25] 张问, 杨文鸽, 徐大伦. 漂洗工艺对鱼糜及其制品品质影响的研究进展 [J]. *核农学报*, 2015, 29(8): 1572-1576.
- [26] 唐淑玮, 高瑞昌, 赵元晖, 等. 鲟鱼鱼糜漂洗工艺优化及其对品质的影响 [J]. *渔业科学进展*, 2019, 40(1): 155-160.
- [27] 吴晓, 孙卫青, 杨华. 反复冻融对草鱼和鲤鱼冷冻鱼糜品质变化的影响 [J]. *食品科学*, 2012, 33(20): 323-327.
- [28] Sarma J, Reddy G V S, Srikar L N. Effect of frozen storage on lipids and functional properties of proteins of dressed Indian oil sardine (*Sardinella longiceps*) [J]. *Food Res Int*, 2000, 33(10): 815-820.

Study on freeze-thaw stability of low-sodium salt silver carp surimi products added with vital gluten and TG enzyme

LIANG Wenyu, YANG Yue, HONG Hui*

(College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: The repeated freeze-thawing on the rinsed and non-rinsed low-sodium salt silver carp surimi gels were studied to provide theoretical support for the quality control of low-sodium salt surimi products with addition of vital gluten and TG enzyme during frozen storage. Frozen storage was widely used for the preservation of surimi in practical production. However, repeated freeze-thawing may damage the internal structure of surimi gel and affect their quality. The indexes including whiteness, water holding capacity, gel strength, texture profile analysis (TPA), microstructure and thiobarbituric acid-reactive substances (TBA) were used to evaluate the effects of repeated freeze-thawing on the rinsed and non-rinsed low-sodium salt surimi gels added with vital gluten (4%, *w/w*) and TG enzyme (0.05%, *w/w*). The results showed that repeated freeze-thawing significantly reduced the quality of low-sodium salt silver carp surimi gels with addition of vital gluten and TG enzyme. With increase of freeze-thawing times, the fat oxidation degree of silver carp surimi products increased along with the deteriorated quality characteristics. The addition of vital gluten and TG enzyme possessed an obvious inhibitory effect on the fat oxidation of rinsed low-sodium salt surimi products. This study could provide theoretical reference for frozen storage of low-sodium salt surimi products added with vital gluten and TG enzyme. [Chinese Fishery Quality and Standards, 2021(6): 01-07]

Key words: silver carp; surimi products; TG enzyme; vital gluten; freeze-thaw stability

Corresponding author: HONG Hui, E-mail: honghuicau@126.com

(责任编辑:徐锦华)