

文章编号: 1674-5566(2013)03-0466-09

漂洗方式对低盐罗非鱼鱼糜凝胶性能的影响

钱娟^{1,2}, 王继宏^{1,2}, 田鑫^{1,2}, 李燕^{1,2}

(1. 上海海洋大学 食品学院, 上海 201306; 2. 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306)

摘要: 以低盐罗非鱼鱼糜为原料, 研究了不同漂洗方式对鱼糜凝胶特性的影响。结果表明: 漂洗对低盐罗非鱼鱼糜的品质有较大影响。传统漂洗方式下的鱼糜凝胶具有最大凝胶强度, 碱盐水洗和未漂洗鱼糜凝胶的强度分别次之, TCA可溶性肽的含量和鱼糜凝胶的蛋白溶解率则依次增大。聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE)图谱显示传统漂洗方式制备的鱼糜拥有较宽的肌球蛋白重链和肌动蛋白谱带, 且拥有更加致密、均一的超微结构。因此, 传统漂洗方式的应用可以显著提高低盐罗非鱼鱼糜凝胶制品的品质。

研究亮点: 低盐食品的发展前景被普遍看好, 然而未漂洗的低盐淡水鱼鱼糜的凝胶品质较差。分析比较传统漂洗和碱盐水洗方式对低盐罗非鱼鱼糜凝胶性能的影响, 对于低值淡水鱼鱼糜制品的开发具有很好的指导作用。

关键词: 漂洗; 凝胶; 鱼糜; 罗非鱼; 低盐

中图分类号: S 985.1

文献标志码: A

鱼糜制品由于蛋白含量高、食用方便、味美等优点, 现成为国际市场较受欢迎的产品。我国盛产淡水鱼, 国内外研究学者普遍认为鱼糜及其制品的加工是中国淡水鱼加工的一个重要发展方向^[1]。而我国的罗非鱼产量高, 肉质鲜美, 营养价值丰富, 素有“白肉三文鱼”、“21世纪鱼”的美称^[2], 且由于罗非鱼鱼糜凝胶性能比较强, 用其生产鱼糜将是解决目前鱼糜制品原料不足的最有效途径。很多科学家对罗非鱼鱼糜产生了浓厚的兴趣, 研究了各种添加剂^[3-4]、各种加热手段、漂洗方式及预处理^[5-6]等对罗非鱼鱼糜凝胶性能的影响, 以期利用低值经济鱼制成各具特色与风味的食品。

在鱼糜制备中, 通常添加质量分数为2%~3%的食盐, 使肌球蛋白溶解, 促进肌球蛋白分子之间的相互作用, 形成高质量凝胶。食盐量添加小于2%时, 鱼糜蛋白不容易充分溶解、展开和相互作用, 导致低盐鱼糜凝胶制品强度低、持水性差、口感粗糙。但是现代消费者更加注重健康, 特别是对老年人来说, 降低盐的摄入能够预防和控制高血压, 低盐鱼糜产品具有更好的市场前景^[7-8]。

漂洗是鱼糜类制品加工中的一个重要环节, 它不但可除去鱼肉中的血液、有色物质及腥臭成分, 还可以除去部分水溶性蛋白, 使肌原纤维蛋白的浓度相对提高, 从而可以改进鱼糜凝胶的形成能力^[9-10]。在食品加工和生产过程中, 常用漂洗的方法改善鱼糜的凝胶强度和白度。研究表明, 鱼糜制品的凝胶强度受漂洗工艺中漂洗液的pH、钙离子浓度及漂洗工艺参数等因素的影响^[11-13]。不同的漂洗方式对鱼糜凝胶的品质有重要的影响。研究漂洗方式对鱼糜凝胶特性的影响, 有助于选择合理的漂洗条件来生产出优质的鱼糜产品。

本文以罗非鱼为原料, 研究不同漂洗方式对低盐罗非鱼鱼糜凝胶性能的影响, 期为高质量的低盐罗非鱼鱼糜制品的开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

罗非鱼购于上海市浦东新区古棕路菜市场。

收稿日期: 2012-12-09 修回日期: 2013-03-08

基金项目: 上海市科学技术委员会工程中心建设(11DZ2280300); 上海市教育委员会重点学科建设项目(J50704)

作者简介: 钱娟(1987—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品加工。E-mail: tiaqianworld@gmail.com

通信作者: 李燕, E-mail: liyan@shou.edu.cn

1.2 实验试剂和仪器

试剂:氯化钠,碳酸氢钠,三羟基氨基甲烷(Tris),十二烷基硫酸钠,尿素, β -巯基乙醇,三氯乙酸,乙酸异戊酯等(均为分析纯),25%戊二醛(FEM),所有试剂均购于国药集团化学试剂有限公司。

仪器:SevenEasy pH 酸度计(Mettler Toledo 公司),CR-400 色差计(日本 Konika-Minolta 公司),TA.XT Plus 物性测试仪(英国 SMS 公司),T6 新世纪紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司),DYY-6C 电泳仪(北京六一仪器厂),S-3400N 扫描电子显微镜(日立公司),FJ-200 型高速分散均质机(上海标本模型厂),方成 SS250-E 料理搅拌机(佛山沃尔姆斯电器有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 鱼糜制备

将新鲜罗非鱼去内脏去骨去皮,用孔径为 5 mm 的绞肉机将鱼肉绞碎,得到未漂洗鱼糜。向鱼糜中加入抗冻剂(4%蔗糖和 4%山梨醇),以每 500 g 分装于塑料聚乙烯袋中,并于 -50 °C 冰箱中储存。

将未漂洗鱼糜用 5 倍体积去离子水漂洗 10 min,再静置 10 min,用两层纱布过滤。重复漂洗两遍,第 3 次改用 0.5% 的氯化钠溶液漂洗,由此得到传统漂洗鱼糜。向鱼糜中加入抗冻剂(4%蔗糖和 4%山梨醇),以每份 500 g 分装于聚乙烯袋中,并于 -50 °C 冰箱中储存。

将未漂洗鱼糜用 5 倍体积的 0.2% 碳酸氢钠、0.15% 的氯化钠混合溶液(pH 8.6)漂洗 10 min,再静置 10 min,用两层纱布过滤。重复漂洗两遍,第 3 次改用 0.5% 的氯化钠溶液漂洗。由此得到碱盐水洗鱼糜。向鱼糜中加入抗冻剂(4%蔗糖和 4%山梨醇),以每份 500 g 分装于聚乙烯袋中,并于 -50 °C 冰箱中储存。

1.3.2 凝胶的制备

将鱼糜从冰箱中取出,自来水下冲洗 1 h 左右,调节水分含量为 80%,加入 1.5% 的氯化钠,用搅拌机擂溃 2 min。为防止过热,每 30 秒停 30 s,并控制鱼肉温度在 10 °C 以下。将擂溃好的鱼糜填塞入 10 mL 的小烧杯(直径 20 mm)中,40 °C 静置(凝胶化)30 min,再 90 °C 加热 20 min,此为 Kamaboko 鱼糜凝胶;60 °C 静置(凝胶化)30 min,

再 90 °C 加热 20 min,此为 Modori 鱼糜凝胶^[14]。将填塞好的鱼糜直接于 90 °C 下加热 20 min,即得到直接加热鱼糜凝胶。加热后的凝胶立即于冰水中冷却并于冰箱中放置过夜,再进行分析。

1.4 指标测定

1.4.1 凝胶强度的测定

样品切成高 25 mm,直径为 20 mm 的圆柱体,选用 P/0.5(直径为 5 mm 的柱形探头),测压模式为压缩力模式,测前速度为 2 mm/s,测试速度 1 mm/s,恢复速度 10 mm/s,压缩变形 8 mm,感应元 10 g。测试过程中第一个峰的最大力即为破段强度,对应的压缩距离即为凹陷深度,每组实验重复 5 次。

1.4.2 质构特性测试

样品切成高 25 mm,直径为 20 mm 的圆柱体,选用 P/6 柱形探头进行质构分析,测试模式为 TPA(texture profile analysis),测前速度 2 mm/s,测试速度 1 mm/s,恢复速度 1 mm/s,压缩变形 5 mm,两次下压间隔时间为 5 s,负载类型为 auto-5 g,每组实验重复 5 次。

1.4.3 白度的测定

仪器采用标准白板校正,用色差计测定凝胶的 L^* 、 a^* 、 b^* 值。 L^* 表示明度; $a^*(+)$ 表示偏红, $a^*(-)$ 表示偏绿; $b^*(+)$ 表示偏黄, $b^*(-)$ 表示偏蓝。白度 W_h 的计算公式如下^[15]:

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

1.4.4 水分持有力的测定

选取鱼糜凝胶的中间部分,切成长、宽约为 10 mm、10 mm,重约 1 g 的薄片,置于 4 层定量滤纸中间,在其上方施加 5 kg 的力,并保持 2 min,然后去掉鱼糜称重。

$$W = \frac{X(\%) - \frac{m(g)}{m_0(g)} \times 100}{x(\%)} \quad (2)$$

式中: W 为水分持有力; X 为水分含量; m 为可表达水分; m_0 为样品重量。

1.4.5 TCA 可溶性肽含量的测定

2 g 鱼糜凝胶溶解于 18 mL 5% TCA 溶液中,11 000 r/min 均质 2 min,均质后于 4 °C 静置 1 h,然后 8 500 r/min 离心 5 min。上清液用 Lowry 法测定 TCA-可溶性肽浓度,含量用 mmol/g 表示。

1.4.6 蛋白溶解率的测定

鱼糜凝胶的蛋白溶解率测定方法按照 BENJACKUL^[10] 的进行。2 g 鱼糜凝胶溶解于 20

mL的20 mmol/L Tris-HCl(含1% SDS,2% β -巯基乙醇和8 mol/L 尿素) pH 8.0 缓冲液中,于10 000 r/min 下均质1 min,室温下用磁力搅拌器搅拌4 h,煮沸2 min,然后12 000 r/min 离心30 min,取上清液5 mL,加入50% (m/V)的冷TCA溶液2.5 mL,混合液于4 °C 放置过夜,然后10 000 r/min 离心20 min,沉淀物用10% TCA 冲洗并溶解在0.5 mol/L NaOH 溶液中。蛋白浓度用Lowry 法测定。溶解度表示为样品在溶剂中的蛋白含量占总蛋白的百分比。总蛋白含量为凝胶直接溶解于0.5 mol/L NaOH 溶液中的浓度。

1.4.7 巯基含量的测定

肌原纤维蛋白的提取按照文献[16]的方法进行,并按照文献[17]的方法进行巯基含量的测定。0.5 mL 浓度为4 mg/mL 的肌原纤维蛋白加入到4.5 mL 0.2 mol/L 的Tris-HCl 缓冲液中(pH 6.8,含有8 mol/L 尿素,2% SDS 和10 mmol/L EDTA)。向上述混合液加入0.5 mL 0.1% 5,5'-二硫代双(2-硝基)苯甲酸(DTNB),于40 °C 下保温25 min,在412 nm 波长处测定吸光度值。空白为不加样品的0.6 mol/L pH 7.0 的KCl 溶液。巯基含量的计算按照以下公式:

$$y = \frac{A \times D}{\varepsilon \times \rho} \quad (3)$$

式中: y 为SH 含量(mol/g); A 为412 nm 波长处测的吸光值; D 为稀释倍数; ε 为摩尔吸光系数13 600 L/(mol · cm); ρ 为蛋白质的质量浓度(mg/mL)。

1.4.8 聚丙烯酰胺凝胶电泳

27 mL 5% 的SDS 溶液加入到3 g 样品中,11 000 r/min 均质2 min,均质液在85 °C 水浴中

放置1 h,样品在8 000 r/min 下离心20 min,去除一些不溶性物质,并用Lowry 法测定样品浓度。样品与上样溶解液1:1 混合,上样量为20 μ g。分离胶浓度为10%,浓缩胶浓度为4%。电流恒定为15 mA。用0.025% 考马斯亮蓝R₂₅₀、50% 甲醇和9% 冰乙酸染色,并用脱色液(5% 甲醇和7.5% 冰乙酸)脱色。

1.4.9 鱼糜凝胶微观结构的观察

将制备的样品切成2~3 mm、厚1 mm 左右的小块,用2.5% 戊二醛溶液进行固定,置于冰箱冷藏过夜,再用pH 7.3 的磷酸缓冲液清洗3 遍,然后用30%、50%、70%、80%、90%、95% 和100% 的乙醇溶液对样品进行梯度洗脱,乙酸异戊酯置换乙醇。最后将处理好的样品进行冷冻干燥,离子溅射仪喷金后,用扫描电镜观察,加速电压为20 kV。

1.4.10 统计方法

所有实验重复3~5 次,采用Excel 2010 进行数据分析,并用Sigma 12.0 绘图。

2 结果与分析

2.1 漂洗方式对鱼糜凝胶质构特性的影响

凝胶强度是鱼糜制品很重要的性质,是决定鱼糜品质优劣的主要因素之一。由图1 可知,Kamaboko 凝胶具有最高破断强度和凹陷深度,直接加热鱼糜凝胶和Modori 凝胶分别次之。由表1 又可知,漂洗后的鱼糜凝胶硬度、弹性和咀嚼性都有不同程度增加,凝聚性和回复性变化不大。碱盐水漂洗后的鱼糜凝胶的强度的增加比传统漂洗鱼糜凝胶的少。

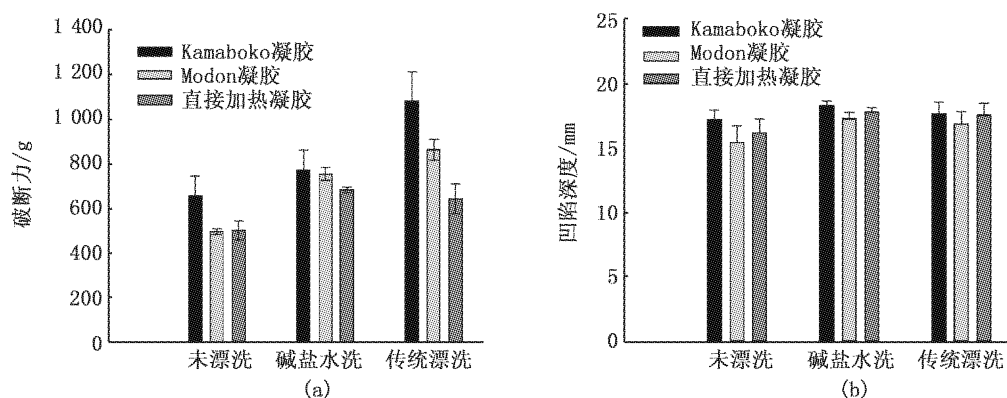


图1 不同漂洗方式下低盐罗非鱼鱼糜凝胶的破断强度(a)和凹陷深度(b)

Fig.1 Breaking force of different low-salt setting gels of tilapia surimi by different washing processes

鱼糜凝胶的能力取决于蛋白质的自溶性,蛋白分子之间的交联程度、聚集程度以及微观结构^[18]。Kamaboko 凝胶直接越过了蛋白酶活最高的区域而直接加热成型,减少了直接加热方式中蛋白酶对蛋白网络的降解作用。40 ℃凝胶化提高了鱼糜凝胶的特性^[19],而 60 ℃凝胶化的鱼糜凝胶则呈现了凝胶劣化的现象。

另外,与未漂洗鱼糜相比,传统漂洗方式下的低盐罗非鱼鱼糜凝胶具有较好的凝胶能力。肌纤维蛋白是形成鱼糜弹性的主要因素,漂洗后鱼糜有效的浓缩了肌纤维蛋白,从而提高了鱼糜凝胶的质量。然而碱盐水漂洗后的鱼糜凝胶具有稍差的凝胶强度、硬度和弹性。这可能是因为

罗非鱼鱼糜凝胶化的最适 pH 范围为 7.0 ~ 7.5,而实验中,经传统漂洗方式后的鱼糜 pH 为 7.0 ± 0.1,而碱盐水漂洗后的鱼糜 pH 为 8。用中性漂洗液对鱼糜进行漂洗,盐溶性蛋白质含量最高^[20],凝胶强度好,偏酸偏碱都会使盐溶性蛋白含量下降,不利于鱼糜的凝胶化。另外,碱盐水漂洗的过程可能激活了部分蛋白酶,导致其对鱼糜蛋白的水解,破坏凝胶结构,从而造成凝胶强度比未洗鱼糜还稍弱些。有研究表明鱼肉凝胶化的最适 pH 为 7,pH 大于 7 时,鱼肉肌球蛋白重链的凝胶化能力随着 pH 的增长而下降,在 pH 为 8 时(加热温度增长速度为 1 ℃/min),鱼肉肌球蛋白重链几乎不能形成凝胶^[21]。

表 1 不同加热手段和漂洗方式下的低盐鱼糜凝胶的质构特性

Tab.1 Texture profile analysis (TPA) of the low-salt heat-set gels by different washing processes

凝胶类型	漂洗条件	硬度	弹性	内聚性	咀嚼性	回复性
Kamaboko 凝胶	未漂洗	163.89 ± 5.67	1.05 ± 0.16	0.83 ± 0	229.36 ± 15.71	0.54 ± 0
	碱盐水洗	172.53 ± 9.17	1.31 ± 0.19	0.91 ± 0	221.91 ± 14.49	0.71 ± 0.01
	传统水洗	283.22 ± 15.80	0.99 ± 0.02	0.87 ± 0.01	245.61 ± 30.23	0.63 ± 0.01
Modori 凝胶	未漂洗	144.29 ± 15.45	1.05 ± 0.22	0.82 ± 0	130.75 ± 20.46	0.65 ± 0.02
	碱盐水洗	157.98 ± 12.00	1.17 ± 0.27	0.87 ± 0.02	205.49 ± 24.98	0.52 ± 0.01
	传统水洗	188.25 ± 25.59	1.05 ± 0.14	0.84 ± 0.04	202.37 ± 18.45	0.55 ± 0.08
直接加热凝胶	未漂洗	152.66 ± 5.86	0.98 ± 0.03	0.81 ± 0.05	135.49 ± 15.61	0.65 ± 0.06
	碱盐水洗	165.99 ± 7.70	1.02 ± 0.09	0.86 ± 0.07	193.38 ± 25.53	0.49 ± 0.09
	传统水洗	200.28 ± 7.13	1.12 ± 0.38	0.85 ± 0.02	159.91 ± 16.35	0.59 ± 0.01

注:表中数据为平均值 ± 标准差($P < 0.05$)。

2.2 漂洗和加热条件对鱼糜凝胶白度的影响

白度是评价鱼糜指标的另一个重要因素。由表 2 可知,漂洗后的鱼糜凝胶的白度均有不同程度的提高,因为漂洗可以除去鱼肉中存在的有色物质。未漂洗鱼糜因为含有色素,血红蛋白等, a^* 值及 b^* 值偏大。而传统漂洗鱼糜具有较好的亮度,呈现较好的白度;碱盐水漂洗鱼糜亮度较差,白度略小,两种方式下 a^* 值 b^* 值均减小,说明漂洗能一定程度地去除血红蛋白等有色

物质。RAWDKUEN 等^[22]指出传统漂洗方式下的鱼糜凝胶比酸或碱处理方式下的鱼糜凝胶拥有较好的白度。Modori 凝胶和直接加热凝胶的白度普遍优于 Kamaboko 凝胶。较高的白度可能是由于加热方式的不同,及在凝胶过程中血红素蛋白的变化;较低的白度值可能是因为在碱盐水漂洗过程中血红素蛋白的氧化和变性^[22]。该实验结果表明加热方式对鱼糜凝胶的白度影响不大,这与 CHAIJAN 等^[14]的研究结果一致。

表 2 不同加热和漂洗方式对低盐鱼糜凝胶白度的影响

Tab.2 Whiteness of different low-salt heat-set surimi gels by different washing processes

	Kamaboko 凝胶			Modori 凝胶			直接加热凝胶		
	未漂洗	传统漂洗	碱盐水洗	未漂洗	传统漂洗	碱盐水洗	未漂洗	传统漂洗	碱盐水洗
L^*	77.57 ± 0.99	80.32 ± 0.97	76.65 ± 1.28	77.15 ± 1.34	81.34 ± 0.92	79.42 ± 0.51	79.49 ± 0.82	81.98 ± 1.02	78.06 ± 0.66
a^*	-1.98 ± 0.22	-2.33 ± 0.19	-2.46 ± 0.05	-2.09 ± 0.10	-2.43 ± 0.10	-2.32 ± 0.13	-1.96 ± 0.25	-2.35 ± 0.08	-2.48 ± 0.13
b^*	7.53 ± 0.28	1.78 ± 0.56	0.85 ± 0.67	7.83 ± 0.31	1.40 ± 0.55	1.07 ± 0.52	8.99 ± 0.16	1.96 ± 0.55	1.06 ± 0.77
白度	76.26 ± 1.02	80.09 ± 0.94	76.50 ± 1.25	75.74 ± 1.24	81.11 ± 0.90	79.25 ± 0.53	77.52 ± 0.70	81.72 ± 1.00	77.89 ± 0.66

注:表中数据为平均值 ± 标准差($P < 0.05$)。

2.3 漂洗和加热条件对鱼糜凝胶水分的影响

水分持有力是鱼糜凝胶保留凝胶中水分的能力,一般而言,凝胶强度高时凝胶的水分持有力也大,主要是因为水分被包容于凝胶中,不易被挤出^[23]。BENJAKUL 等^[24]研究也发现鱼糜凝胶中的肌纤维蛋白在蛋白酶的作用下,降解成小肽,形成脆弱的网状结构,从而不能很好地保留水分。实验中(图 2),各种低盐罗非鱼鱼糜凝胶的水分持有力都比较高,其中传统漂洗方式下的鱼糜凝胶水分持有力最高,碱盐水漂洗下的鱼糜凝胶的水分持有力稍差,这可能是在该种漂洗方式下鱼糜具有较高的 pH 值的原因造成的。在肉制品中 pH 的增加能够增加水分的滞留即水分含量高,但是水分子之间的结合力却是很弱的,在机械作用力下也容易挤压出来^[25]。

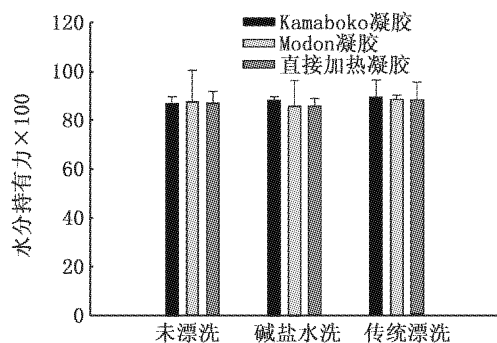


图 2 不同加热和漂洗方式下低盐罗非鱼鱼糜凝胶的水分持有力

Fig. 2 Water holding capacity of low-salt gels of unwashed tilapia mince and surimi from different washing processes with and without heat-set

2.4 漂洗方式对鱼糜凝胶蛋白 TCA-可溶性肽含量(蛋白质降解)的影响

在热诱导的凝胶化中,内源性蛋白酶会引起蛋白的降解^[26]。不同鱼糜凝胶中的蛋白的降解程度是以 TCA-可溶性肽的含量来考量的,其含量越多,说明蛋白质的降解程度越大^[14]。传统漂洗鱼糜凝胶 TCA-可溶性肽含量最小,低于未漂洗和碱盐水漂洗后鱼糜凝胶的 TCA 可溶性肽含量(图 3),说明清水漂洗可有效抑制鱼糜中蛋白质的降解。碱盐水漂洗鱼糜凝胶中的 TCA 可溶性肽含量比未漂洗鱼糜的略低。这与碱盐水漂洗凝胶具有低于传统漂洗鱼糜而高于未漂洗鱼糜的凝胶强度的实验结果一致。Modori 鱼糜凝胶中 TCA 可溶性肽含量最大。因为 60 °C 时,鱼糜中的内

源蛋白酶活性最强,降解肌球蛋白,发生鱼糜凝胶劣化现象。90 °C 直接加热鱼糜凝胶的 TCA-可溶性肽含量高于 Kamaboko 凝胶,低于 Modori 凝胶的 TCA-可溶性肽含量,这是因为加热过程中,通过 60 °C 时,在蛋白酶的作用下发生部分水解,故导致直接加热鱼糜凝胶的 TCA-可溶性肽含量略高。

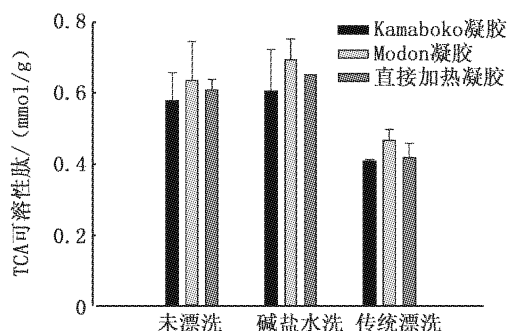


图 3 漂洗方式对低盐鱼糜凝胶中 TCA-可溶性肽的影响

Fig. 3 TCA-soluble peptide content of low-salt gels of unwashed tilapia mince and surimi from different washing processes with and without heat-set

2.5 漂洗方式对鱼糜凝胶蛋白溶解率的影响

鱼糜中存在的谷氨酰胺转氨酶(TGase)可以催化肌球蛋白重链(MHC)分子间形成 ϵ -(γ -Glu)-Lys 非二硫共价键^[27],MHC 交联便形成更高分子质量蛋白质聚合物,有利于鱼糜凝胶网络结构的形成。含有 SDS、尿素和 β -巯基乙醇的混合溶液能够断裂鱼糜凝胶中除了非二硫共价键[尤其是 ϵ -(γ -Glu)-Lys]以外的所有化学键,因此,由此化学试剂测得的溶解率的高低可以反映出非二硫共价键的多少。由图 4 知,Kamaboko 凝胶具有最小的蛋白溶解率,直接加热凝胶次之,Modori 凝胶具有最大的蛋白溶解率。说明在 Kamaboko 凝胶中形成的 ϵ -(γ -Glu)-Lys 非二硫共价键最多,这些非二硫共价键是参与鱼糜凝胶网络结构的主要化学作用之一,故 Kamaboko 鱼糜凝胶特性最好;Modori 凝胶形成的 ϵ -(γ -Glu)-Lys 非二硫共价键最少,蛋白酶降解程度最大,凝胶发生劣化。

2.6 巯基含量的变化

传统漂洗、未漂洗及碱盐水漂洗后的鱼糜蛋白中巯基的含量依次降低,分别为 7.3×10^{-5} mol/g、 6.9×10^{-5} mol/g 和 6.3×10^{-5} mol/g。

表明传统漂洗方法能够提高巯基含量,而碱盐水漂洗方法降低了巯基的含量。巯基总含量的增加可能是由于漂洗过程中蛋白发生了部分变性,从而导致埋藏在分子内部的巯基暴露出来,进而在加热过程中发生氧化,生成一系列二硫键,对凝胶强度的提高起重要作用^[14];巯基总含量的降低是由于巯基被氧化成了二硫键或与二硫键发生了交换^[28],进而改变蛋白的天然构象,导致蛋白变性。

2.7 SDS-PAGE 凝胶电泳

加热和漂洗方式对蛋白组成的影响如图 5 所示。肌球蛋白重链(MHC)是肌纤维蛋白中主要贡献凝胶能力的蛋白,因此 MHC 含量提高,鱼糜凝胶能力就会提高(图 1)。经过漂洗后的鱼糜,其 MHC 和肌动蛋白(actin)带宽明显加宽,并且 66.2 ku 到 43 ku 之间的蛋白几乎消失。在传统漂洗鱼糜的蛋白图谱中,其 MHC 和 actin 条带要比碱盐水洗鱼糜的蛋白条带宽和颜色深,表

明传统漂洗方式能有效的去除一些干扰性的蛋白,如肌浆蛋白,从而相对地浓缩了肌纤维蛋白如 MHC 和 actin;而碱盐水漂洗方式下盐溶性蛋白的溶解度较好,损失也多。肌钙蛋白和原肌球蛋白则无明显变化。

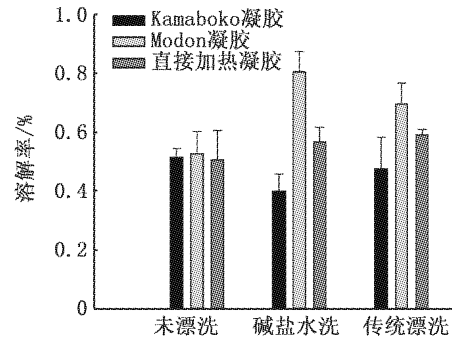


图 4 漂洗方式对低盐鱼糜凝胶蛋白溶解率的影响
Fig. 4 Solubility of low-salt tilapia surimi gels from different washing processes and by different heating methods

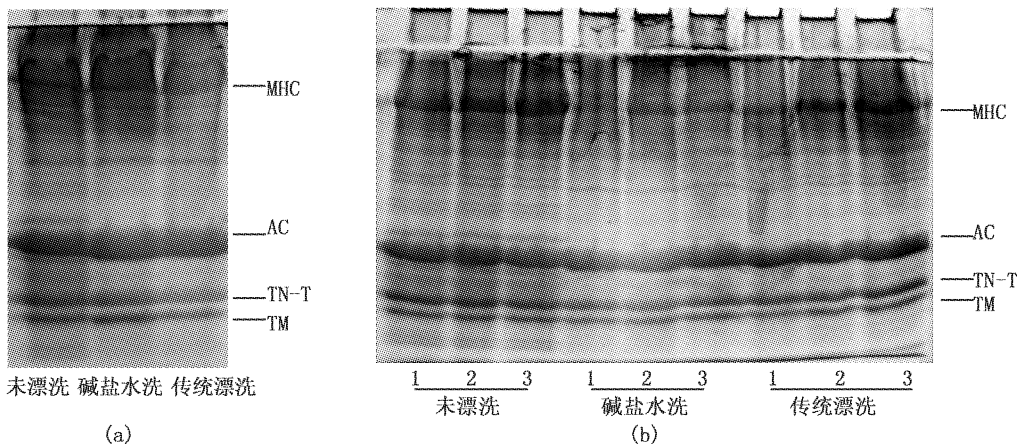


图 5 不同漂洗方式下罗非鱼鱼糜(a)和低盐鱼糜凝胶(b)的聚丙烯酰胺凝胶电泳图谱
Fig. 5 SDS-PAGE patterns of proteins in surimi (a) and low-salt gels (b) from unwashed tilapia mince and surimi from different washing processes

MHC. 肌球蛋白重链; AC. 肌动蛋白; TN-T. 肌钙蛋白; TM. 原肌球蛋白; 1. kamaboko 凝胶; 2. Modori 凝胶; 3. 直接加热凝胶。

各种处理后的鱼糜凝胶的带宽明显小于其鱼糜样的 MHC 带宽。这是由于鱼糜经不同方式加热后 MHC 发生了聚合或者是由对热稳定的蛋白酶引发的降解^[29-30]。Kamaboko 鱼糜凝胶和直接加热鱼糜凝胶具有较好的凝胶能力,表明 MHC 分子之间相互交联,形成凝胶的三维网络结构。Modori 凝胶的 MHC 被降解成小分子蛋白,导致 MHC 条带变窄,凝胶强度变弱。碱盐水洗鱼糜凝胶因为内源性蛋白酶的作用,三种加热方式下的

鱼糜凝胶 MHC 均变浅变窄,部分蛋白条带消失。Actin 的图谱几乎不变,说明 actin 比 MHC 更稳定。三种凝胶的蛋白图谱中,未漂洗鱼糜凝胶的肌球蛋白重链最宽,说明未漂洗鱼糜在低盐浓度下肌纤维蛋白不能充分溶出,从而不能形成较好的凝胶特性。

2.8 漂洗方式对鱼糜凝胶微观结构的影响

凝胶的质构特性和凝胶强度的大小与凝胶网络的形态结构是相关的^[25]。图 6 显示,经传统

方式漂洗、40 ℃凝胶化的低盐罗非鱼鱼糜形成了致密的三维网络结构;碱盐水漂洗和未漂洗的鱼糜凝胶结构较疏松,呈现大小不一的孔洞。因此,传统方式漂洗后的罗非鱼鱼糜的凝胶特性要优于碱盐水漂洗和未漂洗的鱼糜。在碱盐水漂洗方式下,因为部分内源性蛋白酶的活性较高,漂洗过程、凝胶化及加热过程中,鱼糜蛋白结构都可能受到破坏,故碱盐水漂洗后的罗非鱼鱼糜网络结构较粗糙,甚至出现孔洞,局部有蛋白聚集团状。传统漂洗方式下的鱼糜凝胶受蛋白

酶的水解作用影响较小,故传统漂洗方式下的鱼糜凝胶结构的网孔较均匀。

Kamaboko 凝胶结构比较均一、致密,因为在 40 ℃凝胶化阶段肌球蛋白分子充分交联。Modori 凝胶发生凝胶劣化,故 Modori 凝胶的网络结构出现较大的空洞,同时形成的凝胶质地变脆,导致鱼糜凝胶的破断强度、凹陷度和凝胶强度又会降低。90 ℃直接加热的低盐罗非鱼鱼糜凝胶结构也较为粗糙,主要是因为鱼糜未经过低温凝胶化。

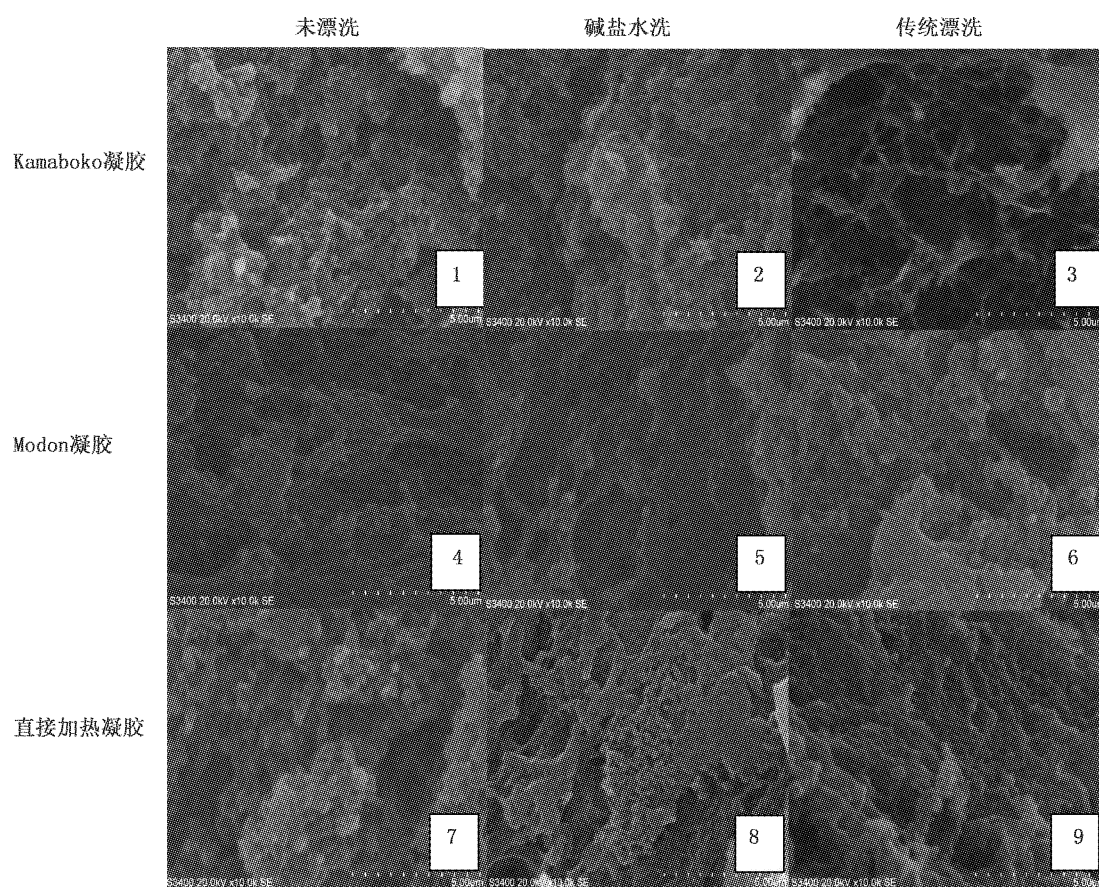


图 6 不同漂洗处理和加热条件下低盐罗非鱼鱼糜凝胶的微观结构图

Fig. 6 Microstructure of low-salt tilapia surimi gel by different washing processes and in different heating conditions (Bar = 5 μm)

3 结论

漂洗方式影响低盐罗非鱼鱼糜的凝胶性能。传统漂洗方式对凝胶劣化有一定抑制作用,可形成较理想的凝胶品质;碱盐水洗则提高了鱼糜蛋白的 pH,在去除杂质蛋白的同时,也可能造成盐溶性蛋白损失,并可促进内源性蛋白酶的酶

活、导致部分蛋白变性,不利于凝胶网络的形成,其鱼糜凝胶的品质低于传统漂洗方式的。而张崑等^[5]发现漂洗可以提高罗非鱼鱼糜的持水力,凝胶强度和白度,且随着漂洗次数的增加而增加,但盐洗鱼糜的凝胶性能高于水洗样品。结果的差异可能是由于实验中鱼糜的加盐量和漂洗液的不同造成的,漂洗液的 pH 对低盐鱼糜的凝

胶形成能力影响较大。TREVINO 和 MORRISSEY^[31]也指出在中性 pH 下,1.5% 的低盐鱼糜有最大凝胶强度,并且随着 pH 的升高,凝胶强度降低。

总之,在食品生产中,根据需要运用漂洗方式,将罗非鱼开发成方便食用、健康美味、质优价廉的鱼糜及鱼糜制品,能充分迎合现代人的口味、营养和保健需求,不仅经济环保,更提高了原料的附加值,具有重大的现实意义和广阔的发展前景。

参考文献:

- [1] 汪之和,朱孔辉,施文正,等. 鳊鱼鱼糜蛋白质结构与凝胶特性的关系[J]. 水产学报, 2010, 34(5): 814-819.
- [2] 张俊杰,段蕊. 浅谈淡水鱼的综合加工[J]. 渔业现代化, 2004(1): 36-38.
- [3] 周蕊,曾庆孝,朱志伟,等. 淀粉对罗非鱼鱼糜凝胶品质的影响[J]. 现代食品科技, 2008, 24(8): 759-762, 772.
- [4] 赖燕娜,傅亮,赖雄伟,等. 咸鸭蛋蛋清对罗非鱼鱼糜凝胶品质的影响[J]. 食品工业科技, 2012(1): 82-84, 87.
- [5] 张崑,陶红丽,曾庆孝,等. 不同漂洗处理对罗非鱼浆的影响[J]. 现代食品科技, 2007, 23(10): 50-52, 61.
- [6] 张崑,曾庆孝,王卫,等. 漂洗和氧化剂对罗非鱼鱼糜凝胶性能的影响[J]. 成都大学学报:自然科学版, 2009, 28(4): 287-290.
- [7] FU X J, HAYAT K, LI Z H, et al. Effect of microwave heating on the low-salt gel from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) surimi [J]. Food Hydrocolloids, 2012, 27(2): 301-308.
- [8] URESTI R M, TELLEZ-LUIS S J, RAMIREZ J A, et al. Use of dairy proteins and microbial transglutaminase to obtain low-salt fish products from filleting waste from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) [J]. Food Chemistry, 2004, 86(2): 257-262.
- [9] 刘茹,钱曼,雷跃磊,等. 漂洗方式对鲢鱼鱼糜凝胶劣化性能的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(21): 89-93.
- [10] BALANCE A K, BENJAKUL S. Effect of oxidised tannic acid on the gel properties of mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) mince and surimi prepared by different washing processes [J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(7): 1693-1701.
- [11] LIN T M, PARK J W. Extraction of proteins from pacific whiting mince at various washing conditions [J]. Journal of Food Science, 1996, 61(2): 432-438.
- [12] RAMIREZ J A, RODRIGUEZ-SOSA R, MORALES O G, et al. Preparation of surimi gels from striped mullet (*Mugil cephalus*) using an optimal level of calcium chloride [J]. Food Chemistry, 2003, 82(3): 417-423.
- [13] MORALES O G, RAMIREZ J A, Vivanco D I, et al. Surimi of fish species from the Gulf of Mexico: evaluation of the setting phenomenon [J]. Food Chemistry, 2001, 75(1): 43-48.
- [14] CHAIJAN M, PANPIPAT W, BENJAKUL S. Physicochemical properties and gel-forming ability of surimi from three species of mackerel caught in Southern Thailand [J]. Food Chemistry, 2010, 121(1): 85-92.
- [15] PARK J W. Functional protein additives in surimi gels [J]. Journal of Food Science, 1994, 59(3): 525-527.
- [16] BENJAKUL S, SEYMOUR T A, MORRISSEY M T, et al. Physicochemical changes in pacific whiting muscle proteins during iced storage [J]. Journal of Food Science, 1997, 62(4): 729-733.
- [17] PHATCHARAT S, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W. Effects of washing with oxidising agents on the gel-forming ability and physicochemical properties of surimi produced from bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*) [J]. Food Chemistry, 2006, 98(3): 431-439.
- [18] XU Y, XIA W, YANG F, et al. Physical and chemical changes of silver carp sausages during fermentation with *Pediococcus pentosaceus* [J]. Food Chemistry, 2010, 122(3): 633-637.
- [19] BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, CHANTARASUWAN C. Effect of high-temperature setting on gelling characteristic of surimi from some tropical fish [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2004, 39(6): 671-680.
- [20] 张松,彭增起,周光宏. 漂洗和抗冻剂在冷冻鱼糜生产中的应用研究 [J]. 肉类研究, 2007(1): 29-33.
- [21] LIU R, ZHAO S, LIU Y, et al. Effect of pH on the gel properties and secondary structure of fish myosin [J]. Food Chemistry, 2010, 121(1): 196-202.
- [22] RAWDKUEN S, SAI-UT S, KHAMSORN S, et al. Biochemical and gelling properties of tilapia surimi and protein recovered using an acid-alkaline process [J]. Food Chemistry, 2009, 112(1): 112-119.
- [23] CHAIJAN M, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, et al. Physicochemical properties, gel-forming ability and myoglobin content of sardine (*Sardinella gibbosa*) and mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) surimi produced by conventional method and alkaline solubilisation process [J]. European Food Research and Technology, 2006, 222(1/2): 58-63.
- [24] BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, SRIVILAI C. Porcine plasma protein as proteinase inhibitor in bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*) muscle and surimi [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2001, 81(10): 1039-1046.
- [25] YANG T S, FRONING G W. Selected washing processes affect thermal gelation properties and microstructure of mechanically deboned chicken meat [J]. Journal of Food

- Science, 1992, 57(2): 325–329.
- [26] VISESSANGUAN W, MENINO A R, KIM S M, et al. Cathepsin L: a predominant heat-activated proteinase in arrowtooth flounder muscle [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(5): 2633–2640.
- [27] KUMAZAWA Y, NUMAZAWA T, SEGURO K, et al. Suppression of surimi gel setting by transglutaminase inhibitors [J]. *Journal of Food Science*, 1995, 60(4): 715–717.
- [28] HAYAKAWA S, NAKAI S. Contribution of hydrophobicity, net charge and sulfhydryl groups to thermal properties of ovalbumin [J]. *Canadian Institute of Food Science and Technology*, 1985, 18(4).
- [29] CAO M, SHAO W, LI Y, et al. Identifica of a myofibril-bound serine proteinase in the skeletal muscle of silver carp [J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2004, 28(5): 373–386.
- [30] LIU H, YIN L, ZHANG N, et al. Isolation of cathepsin B from the muscle of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and comparison of cathepsins B and L actions on surimi gel softening [J]. *Food Chemistry*, 2008, 110(2): 310–318.
- [31] TREVINO B, MORRISSEY M. The effect of pH on salted and no-salt surimi gels [C]// *Proceedings of the 15th Annual Conference: Tropical and Subtropical Fisheries Technological Conference of the Americas*, in 2nd Joint Meeting with Atlantic Fisheries Technology Conference. Gainesville Florida: Florida Sea Grant Program, 1990: 430–434.

Gel properties of low-salt tilapia surimi prepared by different washing processes

QIAN Juan^{1,2}, WANG Ji-hong^{1,2}, TIAN Xin^{1,2}, LI Yan^{1,2}

(1. *College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*; 2. *Shanghai Engineering Research Center of Aquatic-Product Processing and Preservation, Shanghai 201306, China*)

Abstract: The gelation properties of low-salt tilapia surimi produced by different washing processes were investigated. The result showed that washing had great effects on the gelling properties of low-salt tilapia surimi. The highest gel strength was obtained by conventional washing treatment, followed by alkaline-saline washing method and the unwashed method, respectively. The higher gel-forming ability was generally associated with both the lowered TCA-soluble peptide content and the protein solubility of all kinds of surimi gels. The SDS-polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) revealed the higher myosin heavy chain (MHC) band intensity in conventional washing process. Microstructure of gels that received washing treatments showed more compacted network structure than the unwashed one. Therefore, the application of conventional water washing treatment could effectively improve the properties of low-salt gel products from tilapia.

Key words: washing; gelation; surimi; tilapia; low salt