

有机酸种类和浓度对酸渍鱼糜凝胶性质的影响*

郑温翔¹ 翁武银¹ 张舒婷¹ 大迫一史²

(1. 集美大学生物工程学院 厦门 361021; 2. 东京海洋大学食品生产科 东京 108-8477)

提要 采用酸渍的方法制备鲢鱼鱼糜凝胶, 研究醋酸、柠檬酸、酒石酸等有机酸的浓度对酸渍鱼糜凝胶性质的影响。结果发现, 醋酸浸渍制备的鱼糜凝胶其 TPA 参数最高, 甚至超过传统的加热鱼糜凝胶。其中利用 3% 醋酸制备的鱼糜凝胶 pH 为 4.3, 色泽比加热鱼糜凝胶白, 但持水性能较差。SDS-PAGE 分析结果显示, 制备的酸渍鱼糜凝胶的主要蛋白组分与加热鱼糜凝胶类似。酸渍鱼糜凝胶经体外模拟胃肠液二相消化后, 发现 90% 以上的蛋白可以被消化。本研究结果表明, 利用酸渍方法可以制备新型的淡水鱼糜制品。

关键词 有机酸; 酸渍鱼糜凝胶; 鲢鱼鱼糜; 凝胶性质

中图分类号 TS254

我国淡水鱼资源丰富, 2011 年养殖产量已经达到 2.2×10^7 t, 但由于淡水鱼加工技术研究相对滞后, 淡水鱼不仅加工比例低, 而且产品以冷冻食品为主, 精深加工产品比例相对较少(农业部渔业局, 2012), 因此利用淡水鱼研发新产品, 提高经济效益一直是淡水渔业可持续发展关注的焦点。

随着经济的发展, 具有较高营养价值的鱼糜制品在我国日益受到消费者青睐, 目前年产量已突破 1×10^6 t (农业部渔业局, 2012)。通常, 鳕鱼等海水鱼是生产优质鱼糜的主要原料(汪之和等, 2001; Martín-Sánchez *et al.*, 2009), 但利用价格低廉、原料丰富的淡水鱼制备鱼糜已经成为我国的特色。然而, 淡水鱼由于采肉率低, 土腥味重, 而且相对海水鱼更难凝胶化(张茜等, 2010), 导致淡水鱼糜还无法得到大量的应用。另一方面, 传统鱼糜制品的加工工艺需要蒸、煮、烤、炸等高温加热, 而且产品流通需要低温冷冻保藏(励建荣等, 2011), 能源损耗高。在高压诱导、酶诱导和酸诱导等鱼糜制品新型制备技术中(Totosaus *et al.*, 2002), 酸诱导凝胶主要利用酸促使蛋白分子变性伸展, 再通过分子间的相互作用重新聚集形成凝胶(Venugopal, 2003)。Venugopal 等(1994)在研究盐酸和

多种有机酸对鲨鱼肌原纤维蛋白粘度的影响时, 发现醋酸和乳酸可以使鲨鱼肌原纤维蛋白的粘度增加, 促进凝胶的形成, 而盐的存在会起阻碍作用。但是, 日本学者却发现对经过盐渍的鱼糜采用酸渍的方法替代高温加热可以获得鲑鱼鱼糜凝胶、鳕鱼鱼糜凝胶(Abe *et al.*, 2009; Techaratanakrai *et al.*, 2011)。然而, 关于有机酸对酸诱导淡水鱼糜凝胶性质的影响却鲜见报道。

因此, 本研究以鲢鱼鱼糜为原料, 以传统加热鱼糜凝胶作为对照, 考察了不同有机酸浸渍对鱼糜凝胶性质的影响, 以及酸渍鱼糜凝胶的体外消化特性, 为利用淡水鱼研发新型鱼糜制品提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

冷冻鲢鱼鱼糜(AA 级)由福建安井食品有限公司提供, 其中蛋白质含量为 $13.18\% \pm 0.10\%$, 水分含量为 $76.68\% \pm 0.05\%$, 灰分含量为 $0.68\% \pm 0.02\%$; 胃蛋白酶购于国药集团化学试剂有限公司; 胰蛋白酶购自美国 Amresco 公司; DC 蛋白试剂盒购自美国 Bio-Rad 公司; 醋酸、柠檬酸、酒石酸等试剂均为分

* 福建省高校新世纪优秀人才支持计划, JA11143 号; 厦门市科技计划项目, 3502Z20123025 号。郑温翔, 硕士研究生, E-mail: wxzheng1988@163.com

通讯作者: 翁武银, 博士, 副教授, E-mail: wwymail@jmu.edu.cn

收稿日期: 2013-01-19, 收修改稿日期: 2013-03-10

析纯。

1.2 仪器与设备

Testo 206 pH2 便携式 pH 计, 德国德图集团公司; TMS-PRO 质构仪, 美国 Food Technology 公司; UV-2600A 型紫外分光光度计, 上海元析仪器有限公司; WSC-S 测色色差计, 上海精密科学仪器有限公司; FA25 高剪切分散乳化机, 上海弗鲁克流体机械制造有限公司。

1.3 方法

1.3.1 鱼糜凝胶的制备 将 4℃ 下解冻的冷冻鱼糜加蒸馏水调整水分含量至 80%, 于冰冷条件下空擂 10min 后, 加入总质量 3% 的 NaCl 继续擂溃 15min, 然后将擂溃好的鱼浆装入不锈钢容器(30 × 30mm)中, 在 30℃ 下保温 1h 制备成凝胶化的鱼糜。加热鱼糜凝胶是将凝胶化的鱼糜于 90℃ 下水浴 15min 制备而成, 而酸渍鱼糜凝胶是将凝胶化的鱼糜按鱼糜重量与酸溶液体积为 1:4 (W/V) 的比例浸泡于一定浓度的酸溶液中, 在 4℃ 下浸泡 24h 制备而成, 然后再放置 4℃ 冰箱中平衡 72h 供以下实验用。

1.3.2 鱼糜凝胶 pH 的测定 利用 Testo 206 pH2 便携式 pH 计测定鱼糜凝胶表面 pH 和内部 pH。其中距离鱼糜凝胶表面约 5mm 处的 pH 为鱼糜凝胶表面 pH, 鱼糜凝胶中心部位的 pH 值为内部 pH。

1.3.3 鱼糜凝胶质构的测定 利用 TMS-PRO 质构仪在室温下测定鱼糜凝胶 TPA, 采用直径为 38mm 的圆柱形探头, 测试速度为 60mm/min, 压缩变形量为 30%, 感应力最大值为 100N。

1.3.4 鱼糜凝胶色度的测定 利用 WSC-S 测色色差计测定鱼糜凝胶的颜色, 鱼糜凝胶的颜色参数分别为 L^* (明度)、 a^* (绿-红)、 b^* (蓝-黄), 其中标准白板的参数为 $L^*=91.86$, $a^*=-0.88$, $b^*=1.42$ 。

1.3.5 鱼糜凝胶持水性的测定 鱼糜凝胶持水性根据 Uresti 等(2003)的方法进行测定, 将 3g 左右鱼糜凝胶用两层滤纸包裹, 置于离心管中离心(4℃, 1000 × g, 15min)后, 测定离心前后鱼糜凝胶的质量, 鱼糜凝胶持水率根据以下公式计算:

$$\text{持水率}(\%) = W_2/W_1 \times 100$$

式中, W_1 为离心前鱼糜凝胶的质量(g); W_2 为离心后鱼糜凝胶的质量(g)。

1.3.6 体外模拟胃肠液消化 体外模拟胃肠液消化参照 Garrett 等(1999)的方法进行测定, 并稍作修改。将 15g 鱼糜凝胶均质(13000r/min, 2min)溶解在含有 0.02% 叠氮钠的蒸馏水中, 用 1mol/L HCl 将鱼糜凝

胶水溶液的 pH 调整至 2.0, 加入胃蛋白酶(终浓度为 0.8mg/mL)在 37℃ 下消化酶解 60min, 然后利用 0.9mol/L NaHCO₃ 将溶液的 pH 调至 5.3, 加入胰蛋白酶(终浓度为 0.8mg/mL)后, 再用 1mol/L NaOH 将溶液的 pH 调至 7.5, 在 37℃ 下消化酶解 180min。在消化酶解过程中利用 Tricine-SDS-PAGE (Schagger, 2006)对消化样品进行分析。

1.3.7 体外消化率的测定 测定胃蛋白酶酶解 60min 以及胃蛋白酶酶解后再在胰蛋白酶下酶解 180min 的鱼糜凝胶的消化率, 作为鱼糜凝胶在模拟胃肠液中的消化特性。在鱼糜凝胶消化液中加入等体积的 20% 的三氯乙酸溶液, 静置 30min 后, 在 8000 × g (4℃)下离心 30min, 获得的未消化的蛋白(沉淀)利用 2mol/L NaOH 溶解, 根据 Lowry 法(Lowry *et al.*, 1951)测定其蛋白含量。鱼糜凝胶在体外模拟胃肠液中的消化率按下式计算:

$$\text{消化率}(\%) = (m_2 - m_1)/m_2 \times 100$$

式中, m_1 为未消化的蛋白质量(g); m_2 为鱼糜凝胶的总蛋白质量(g)。

1.3.8 电泳分析 鱼糜凝胶利用含有 2% SDS、8mol/L 尿素、20mmol/L Tris-HCl (pH 8.8)和 2% β-巯基乙醇的蛋白变性剂均质溶解后, 溶解的蛋白采用 Laemmli(1970)报道方法的进行 SDS-PAGE 分析。其中浓缩胶为 5%, 分离胶为 8%, 在 10mA 电流下进行电泳后, 用考马斯亮蓝 R-250 染色液染色, 最后用脱色液(甲醇-乙酸-水体积比为 30:10:60)脱色至背景完全透明。

鱼糜凝胶的模拟胃肠液消化液利用含有 2% SDS、8mol/L 尿素和 20mmol/L Tris-HCl (pH 8.8)的蛋白变性剂溶解后, 溶解的蛋白采用 Schagger(2006)报道方法的进行 Tricine-SDS-PAGE 分析。其中浓缩胶为 4%, 间隙胶为 10%, 分离胶为 16.5%, 电泳结束后, 按照 SDS-PAGE 中的方法进行染色和脱色。

1.3.9 数据统计与分析 所有数据采用 SPSS 17.0 软件(SPSS Inc, Chicago, IL, USA)分析, 用 ANOVA 进行方差分析, 显著性检验方法为邓肯多重检验, 检测限为 0.05。

2 结果与讨论

2.1 鱼糜凝胶的 pH

表 1 显示了利用不同有机酸浸渍制备的鲢鱼鱼糜凝胶 pH 的测定结果。由表可知, 传统加热鱼糜凝胶的 pH 为中性(6.82), 而酸渍鱼糜凝胶的 pH 为弱酸

性,并明显受到有机酸种类和浓度的影响。利用2%的醋酸浸渍制备的鱼糜凝胶其表面pH为4.51,比内部pH低0.16。随着醋酸浓度的提高,鱼糜凝胶的表面pH小幅下降,与内部的差距逐渐缩小。利用柠檬酸或酒石酸浸渍形成的鱼糜凝胶的pH变化趋势与醋酸类似,但在相同的酸浓度下,利用酒石酸制备的鱼糜凝胶其表面pH最低,而利用柠檬酸制备的鱼糜凝胶内外pH差距最大。Techaratanakrai等(2012)利用5%醋酸和5%柠檬酸浸渍制备鲑鱼鱼糜凝胶时也发现,利用柠檬酸制备的凝胶pH低于醋酸制备的凝胶。这可能是不同有机酸的酸性强弱及其在介质中扩散速率不同的缘故(Featherstone *et al*, 1981)。酒石酸在水中的解离常数最大酸性最强,因而利用其浸渍制备的鱼糜凝胶表面pH最低。

2.2 鱼糜凝胶的质构

质构分析(Texture Profile Analysis, TPA)是模拟人口腔的咀嚼运动,反映凝胶整体的质构特性(Lee *et*

表1 有机酸对酸渍鱼糜凝胶pH的影响

Tab.1 Effect of organic acids on pH of acid-induced surimi gels

鱼糜凝胶制备方式	酸浓度(%)	表面	内部
对照(加热)		6.82 ± 0.03 ^a	6.83 ± 0.02 ^a
醋酸浸渍	2	4.51 ± 0.04 ^b	4.67 ± 0.04 ^d
	3	4.26 ± 0.04 ^c	4.33 ± 0.05 ^e
	4	4.27 ± 0.05 ^c	4.36 ± 0.07 ^e
柠檬酸浸渍	2	4.09 ± 0.02 ^c	5.63 ± 0.18 ^b
	3	3.84 ± 0.02 ^d	5.19 ± 0.12 ^c
	4	3.69 ± 0.03 ^d	5.01 ± 0.11 ^c
酒石酸浸渍	2	3.83 ± 0.48 ^d	4.77 ± 0.33 ^d
	3	3.45 ± 0.02 ^e	4.70 ± 0.10 ^d
	4	3.40 ± 0.04 ^e	4.00 ± 0.14 ^f

注:数值不同上标字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同

表2 有机酸对酸渍鱼糜凝胶TPA参数的影响

Tab.2 Effect of organic acids on the TPA parameters of acid-induced surimi gels

鱼糜凝胶制备方式	酸浓度(%)	硬度(N)	聚集性	弹性(mm)	粘结性(N)	咀嚼性(mJ)
对照(加热)		28.99 ± 1.01 ^b	0.72 ± 0.01 ^b	8.17 ± 0.14 ^b	20.86 ± 0.58 ^b	170.43 ± 7.19 ^b
醋酸浸渍	2	34.31 ± 2.61 ^a	0.77 ± 0.01 ^a	8.73 ± 0.38 ^a	26.34 ± 2.09 ^a	229.47 ± 9.72 ^a
	3	35.70 ± 4.78 ^a	0.75 ± 0.00 ^a	8.59 ± 0.17 ^{ab}	26.80 ± 3.65 ^a	229.82 ± 27.16 ^a
	4	35.36 ± 3.09 ^a	0.75 ± 0.00 ^a	8.54 ± 0.27 ^{ab}	26.26 ± 2.23 ^a	223.95 ± 12.60 ^a
柠檬酸浸渍	2	20.86 ± 0.68 ^d	0.63 ± 0.03 ^c	8.23 ± 0.36 ^b	13.19 ± 0.83 ^d	108.69 ± 10.95 ^d
	3	24.29 ± 0.60 ^c	0.71 ± 0.02 ^b	8.74 ± 0.21 ^a	17.17 ± 0.31 ^c	149.98 ± 4.02 ^c
	4	25.75 ± 1.16 ^c	0.72 ± 0.00 ^b	8.80 ± 0.23 ^a	18.55 ± 0.73 ^{bc}	163.15 ± 2.11 ^b
酒石酸浸渍	2	19.57 ± 0.76 ^d	0.64 ± 0.03 ^c	8.45 ± 0.51 ^{ab}	12.60 ± 0.48 ^d	106.59 ± 10.02 ^d
	3	18.94 ± 2.69 ^d	0.73 ± 0.02 ^b	9.07 ± 0.34 ^a	13.89 ± 1.60 ^d	125.64 ± 10.01 ^d
	4	19.09 ± 3.55 ^d	0.73 ± 0.01 ^b	8.98 ± 0.27 ^a	14.13 ± 2.43 ^d	126.47 ± 18.03 ^d

al, 1989)。由表2可以发现,醋酸浸渍制备的鱼糜凝胶的硬度、聚集性、弹性、粘结性及咀嚼性等TPA参数不受酸浓度的影响,且均明显高于加热鱼糜凝胶。利用柠檬酸浸渍制备的鱼糜凝胶的TPA参数随着酸浓度增加出现一定程度的增加,当酸浓度提高到3%时除咀嚼性以外,其它TPA参数开始出现稳定。利用酒石酸浸渍制备鱼糜凝胶时,凝胶的聚集性的变化趋势与柠檬酸浸渍制备的鱼糜凝胶相似,其它TPA参数没有受到酸浓度的影响。然而,利用柠檬酸或者酒石酸浸渍形成的酸渍鱼糜凝胶其硬度、粘结性和咀嚼性都低于加热鱼糜制品,推测可能是由于这两种酸浸渍制备的鱼糜凝胶内外pH差异较大(表1),导致鱼糜蛋白变性伸展不一致,凝胶内部形成的网络结构不均匀。

2.3 鱼糜凝胶的色泽

表3显示了鱼糜凝胶色泽的测定结果。由表3可以看出,醋酸浸渍制备的鱼糜凝胶其 L^* 值明显低于加热鱼糜凝胶,而经柠檬酸或酒石酸浸渍制备的样品其 L^* 值接近加热鱼糜凝胶。无论采用哪种酸浸渍,酸浓度对鱼糜凝胶的 L^* 和 a^* 值的影响都不显著。然而,酸渍鱼糜凝胶的 b^* 值都比传统加热鱼糜凝胶低,表明酸渍鱼糜凝胶的颜色更白。在传统鱼糜制品加工工艺中,高温加热会引起鱼糜中的蛋白与糖之间发生美拉德反应(Shie *et al*, 1999; Chaijan *et al*, 2010),导致鱼糜凝胶的 b^* 值上升。但在低温酸性条件下,美拉德反应容易受到抑制,而且在有机酸浸渍过程中,鱼糜中的一些色素也可能溶出,结果使酸渍鱼糜凝胶的 b^* 值偏低。

2.4 鱼糜凝胶的水分含量和持水性能

持水性能是评价鱼糜制品品质的一个重要指标。

表 3 有机酸对酸渍鱼糜凝胶色泽的影响

Tab.3 Effect of organic acids on the color of acid-induced surimi gels

鱼糜凝胶制备方式	酸浓度 (%)	L^*	a^*	b^*
		(明度)	(绿-红)	(蓝-黄)
对照(加热)		64.84 ± 0.89^a	-2.85 ± 0.20^a	4.35 ± 0.46^a
	2	62.45 ± 0.18^b	-2.57 ± 0.10^{ab}	0.72 ± 0.15^b
醋酸浸渍	3	62.61 ± 0.47^b	-2.55 ± 0.07^b	0.44 ± 0.17^b
	4	63.14 ± 0.71^b	-2.63 ± 0.06^{ab}	0.57 ± 0.23^b
	2	64.02 ± 1.52^{ab}	-2.58 ± 0.21^{ab}	1.03 ± 0.36^{bc}
	3	63.96 ± 0.56^{ab}	-2.93 ± 0.11^a	1.30 ± 0.12^c
柠檬酸浸渍	4	63.78 ± 0.36^{ab}	-2.91 ± 0.33^{ab}	0.96 ± 0.05^c
	2	64.57 ± 0.63^{ab}	-2.95 ± 0.13^a	0.71 ± 0.11^b
	3	64.42 ± 0.60^{ab}	-2.85 ± 0.32^{ab}	0.92 ± 0.46^{bc}
	4	64.77 ± 0.38^{ab}	-3.04 ± 0.10^a	1.08 ± 0.20^c

由表 4 可以看出, 酸渍鱼糜凝胶的水分含量均在 80% 左右, 略高于加热鱼糜凝胶。另一方面, 无论采用哪种酸浸渍, 制备的鱼糜凝胶其持水性能都低于加热鱼糜凝胶, 其中醋酸浸渍制备的鱼糜凝胶的持水性能最差。通常, 加热鱼糜凝胶的持水性能与凝胶强度存在正相关关系(Rawdkuen *et al.*, 2008; Chaijan *et al.*, 2010; 黄玉平等, 2012)。然而在本研究中酸渍鱼糜凝胶的持水性能(表 4)与凝胶硬度(表 2)并没有发现类似的关系。这主要是鱼糜蛋白内部的疏水基团随 pH 的下降会逐渐暴露出来(Riebroy *et al.*, 2009), 疏水相互作用在酸渍鱼糜凝胶中起主导作用, 结果导致酸诱导鱼糜凝胶中的蛋白分子结合水分子的能力下降(Visessanguan *et al.*, 2004; Riebroy *et al.*, 2008)。

表 4 有机酸对酸渍鱼糜凝胶水分含量和持水性的影响

Tab.4 Effect of organic acids on the moisture content and water holding capacity of acid-induced surimi gels

鱼糜凝胶制备方式	酸浓度 (%)	水分含量 (%)	持水性 (%)
对照(加热)		78.82 ± 0.05^e	90.46 ± 0.85^a
	2	80.22 ± 0.17^{bc}	70.86 ± 1.68^d
醋酸浸渍	3	79.67 ± 0.27^d	74.31 ± 2.47^c
	4	79.34 ± 0.16^d	77.22 ± 1.07^c
	2	80.24 ± 0.28^{bc}	80.90 ± 0.55^b
	3	80.37 ± 0.12^b	81.22 ± 2.68^b
柠檬酸浸渍	4	80.08 ± 0.33^c	83.59 ± 1.66^b
	2	80.84 ± 0.19^a	83.20 ± 0.25^b
	3	80.83 ± 0.08^a	82.19 ± 1.75^b
	4	80.48 ± 0.08^b	83.17 ± 0.86^b

2.5 SDS-PAGE

利用 SDS-PAGE 对鱼糜凝胶中的蛋白组分进行分析(图 1)。由图 1 可知, 加热鱼糜凝胶中的蛋白成分主要有肌球蛋白重链(MHC)、肌动蛋白(AC)、原肌球蛋白(TM)以及一些未能进入 SDS-PAGE 分离胶的高分子聚合物。酸渍鱼糜凝胶中的蛋白主要组分与加热鱼糜凝胶基本相同, 但在酸渍鱼糜凝胶中 MHC 和 AC 出现轻微的降解, 这可能与鱼糜中存在内源性酸性蛋白酶有关(Weng *et al.*, 2007)。有研究报道显示, 鳕鱼(Niwa *et al.*, 1992)和金线鱼(Chawla *et al.*, 1996)等海水鱼糜在酸性条件下 MHC 容易发生降解, 在制备酸渍鱼糜时需要通过添加卵清蛋白等蛋白酶抑制剂提高凝胶强度(Abe *et al.*, 2009)。然而, 本研究利用醋酸制备的酸渍鱼糜凝胶的硬度已经超过传统加热鱼糜凝胶(表 2), 而且酸渍鱼糜凝胶中 MHC 和 AC 的降解并不明显, 表明制备酸渍鱼糜凝胶时不需要添加卵清蛋白等蛋白酶抑制剂。

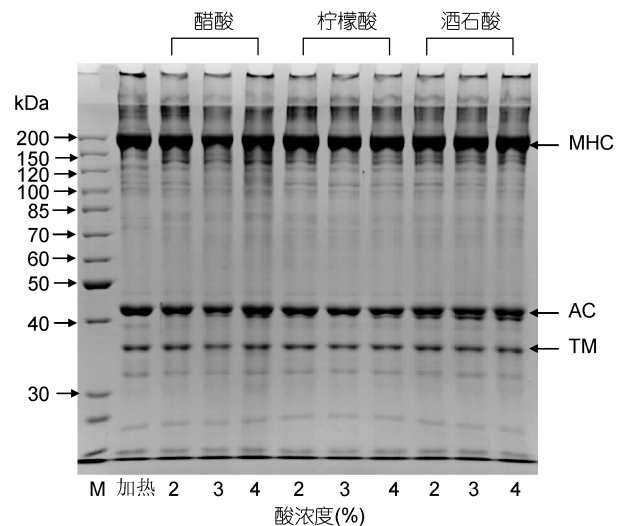


图 1 鱼糜凝胶的 SDS-PAGE 图谱

Fig.1 SDS-PAGE patterns of surimi gels

M: 标准蛋白

2.6 鱼糜凝胶的体外模拟胃肠液二相消化

为了了解酸渍鱼糜凝胶在人体内的消化性, 本研究选取了 3% 的有机酸浸渍制备的鱼糜凝胶进行体外模拟胃肠液二相消化实验, 并与加热鱼糜凝胶进行比较分析(表 5)。由表 5 可以看出, 经胃蛋白酶消化 60min 后, 加热鱼糜凝胶的消化率略高于酸渍鱼糜凝胶。然而, 经胰蛋白酶继续消化 180min 后, 酸渍鱼糜凝胶的蛋白消化率超过了加热鱼糜凝胶, 说明酸渍鱼糜凝胶中的蛋白可以被人体消化。

表 5 鱼糜凝胶体外模拟消化率
Tab. 5 *In vitro* digestibility of surimi gels

鱼糜凝胶制备方式	消化率(%)	
	胃蛋白酶	胃蛋白酶+胰蛋白酶
对照组(加热)	69.41 ± 0.07 ^a	87.51 ± 0.69 ^c
3%醋酸浸渍	64.17 ± 0.28 ^b	90.45 ± 0.51 ^b
3%柠檬酸浸渍	64.57 ± 0.28 ^b	92.11 ± 0.18 ^a
3%酒石酸浸渍	64.17 ± 0.42 ^b	93.16 ± 0.46 ^a

Tricine-SDS-PAGE 图谱显示了鱼糜凝胶在体外模拟胃肠液消化过程中蛋白组分的变化(图 2)。由图 2a 可以发现, 加热鱼糜凝胶经胃蛋白酶消化 30min 后 MHC 基本上被降解, 表明 MHC 容易被胃蛋白酶消化酶解。但经胃蛋白酶消化 60min 后, 在电泳图谱上仍有少量较高分子量的蛋白条带, 类似于 Nagai 等(2007)报道的加热鱼糜凝胶在胃蛋白酶下消化的结果。而利用胰蛋白酶继续消化 30min 后, 电泳图谱上已经看不到蛋白条带, 表明加热鱼糜凝胶蛋白被完全消化。另一方面, 酸渍鱼糜凝胶经胃蛋白酶消化 60min 后, 在其电泳图谱上还可以清晰地观察到 150kDa 和 80kDa 等分子量较大的蛋白条带(图 2b、c、

d), 表明胃蛋白酶对酸渍鱼糜凝胶的降解能力明显不如加热鱼糜凝胶。这可能是由于加热鱼糜凝胶中蛋白完全变性, 更易被胃蛋白酶消化酶解, 类似于周志红等(2006)报道的高温加热处理后的大豆蛋白更容易被胃蛋白酶消化酶解的现象。然而, 酸渍鱼糜凝胶经过胃蛋白酶消化后再利用胰蛋白酶进行消化时, 发现蛋白降解效果与加热鱼糜凝胶相似, 而且消化得到的游离氨基酸组成基本一致(数据未显示), 表明低温制备的酸渍鱼糜凝胶作为一种新型鱼糜制品其蛋白也能够被人体消化吸收。

3 结论

利用有机酸浸渍的方法可以使盐渍的鲢鱼鱼糜形成凝胶, 但酸渍鱼糜凝胶的性质受浸渍所用有机酸的种类和浓度的影响。利用醋酸浸渍制备的鱼糜凝胶其质构明显优于柠檬酸和酒石酸, 而且比传统的加热鱼糜凝胶还要好。另一方面, 酸渍鱼糜凝胶的持水性能都比加热鱼糜凝胶差, 其中利用醋酸浸渍制备的鱼糜凝胶持水性能最差。酸渍鱼糜凝胶的色泽都比加热鱼糜凝胶白。在体外模拟消化中, 虽然酸渍鱼

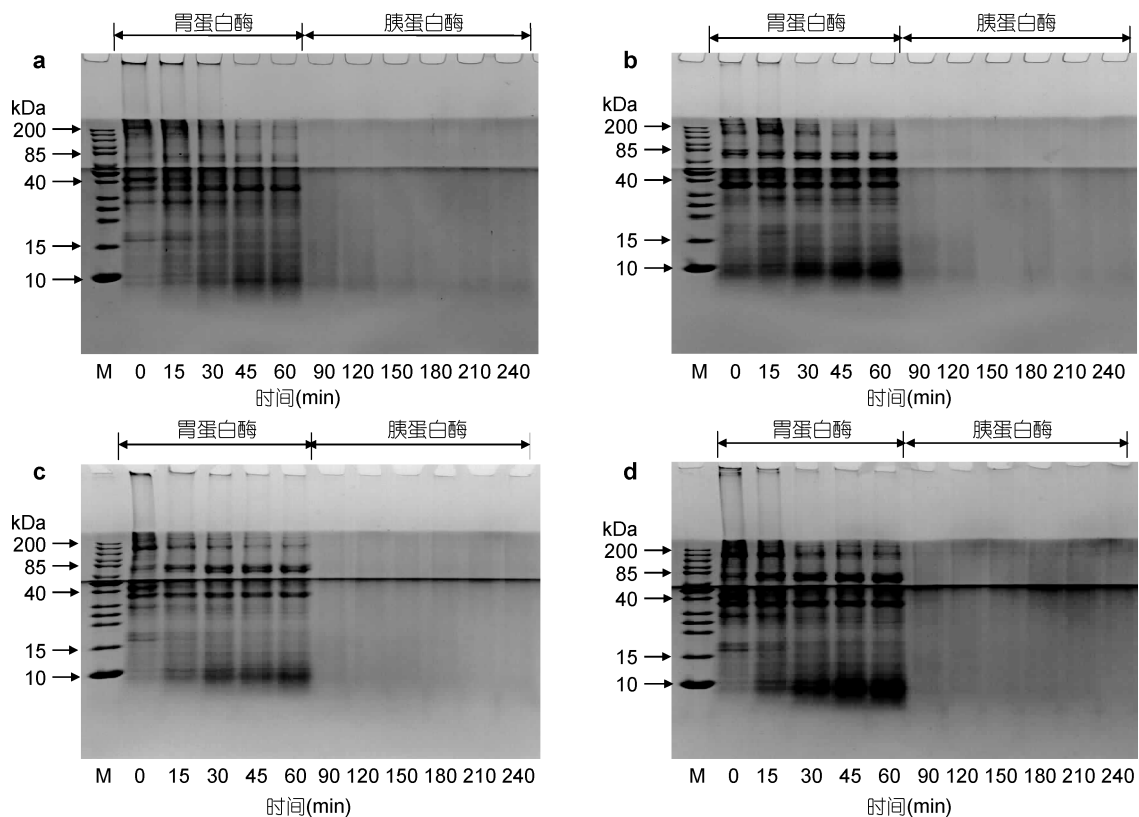


图 2 鱼糜凝胶体外模拟消化的 Tricine-SDS-PAGE 图谱

Fig.2 Tricine-SDS-PAGE patterns of surimi gels *in vitro* digestion

M: 标准蛋白; a、b、c、d 分别表示加热鱼糜凝胶、醋酸酸渍鱼糜凝胶、柠檬酸酸渍鱼糜凝胶和酒石酸酸渍鱼糜凝胶

糜凝胶蛋白不易被胃蛋白酶消化酶解, 但与加热鱼糜凝胶类似, 易被胰蛋白酶消化酶解, 可以被人体消化吸收。因此, 利用酸渍的方法可以替代传统加工工艺研发新型淡水鱼糜制品。

参 考 文 献

- 农业部渔业局, 2012. 中国渔业年鉴. 北京: 中国农业出版社, 1—327
- 励建荣, 刘永吉, 朱军莉等, 2011. 真空、空气和气调包装对冷藏鱼糜制品品质的影响. 水产学报, 35(3): 446—455
- 汪之和, 陈明洲, 顾红梅等, 2001. 漂洗工艺和抗冻剂对几种西非鱼鱼糜凝胶特性和色泽的影响. 中国水产科学, 8(2): 80—84
- 张茜, 夏文水, 2010. 壳聚糖对鲢鱼糜凝胶特性的影响. 水产学报, 34(3): 342—348
- 周志红, 唐传核, 杨晓泉, 2006. 大豆蛋白的体外模拟消化过程及热处理的影响. 食品科学, 27(1): 37—40
- 黄玉平, 翁武银, 张希春等, 2012. 鱼皮明胶蛋白对淡水鱼糜凝胶特性的影响. 中国食品学报, 12(11): 51—58
- Abe S, Weng W Y, Tanaka M *et al*, 2009. Effect of egg white and setting on the gelation of vinegar cured kamaboko. Nippon Suisan Gakkaishi, 75(4): 695—700 (in Japanese)
- Chaijan M, Panpipat W, Benjakul S, 2010. Physicochemical properties and gel-forming ability of surimi from three species of mackerel caught in Southern Thailand. Food Chemistry, 121(1): 85—92
- Chawla S P, Venugopal V, Nair P M, 1996. Gelation of proteins from washed muscle of threadfin bream (*Nemipterus japonicus*) under mild acidic conditions. Journal of Food Science, 61(2): 362—367
- Featherstone J D B, Rodgers B E, 1981. Effect of acetic, lactic and other organic acids on the formation of artificial carious lesions. Caries Research, 15(5): 377—385
- Garrett D A, Failla M L, Sarama R J, 1999. Development of an *in vitro* digestion method to assess carotenoid bioavailability from meals. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47(10): 4301—4309
- Laemmli U K, 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T₄. Nature, 227(5259): 680—685
- Lee C M, Chung K H, 1989. Analysis of surimi gel properties by compression and penetration tests. Journal of Texture Studies, 20(3): 363—377
- Lowry O H, Rosebrough N J, Farr A L *et al*, 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. Journal of Biological Chemistry, 193(1): 256—275
- Martín-Sánchez A M, Navarro C, Pérez-Álvarez J A *et al*, 2009. Alternative for efficient and sustainable production of surimi: a review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 8(4): 359—374
- Nagai T, Suzuki N, Tanoue Y *et al*, 2007. Physical properties of kamaboko derived from walleye pollack (*Theragra chalcogramma*) surimi and functional properties of its enzymatic hydrolysates. Journal of Food, Agriculture and Environment, 5(1): 76—81
- Niwa E, Ueno S, Kanoh S, 1992. Mechanism for the gelation of unheated surimi by vinegar curing. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 56(1): 58—61
- Rawdkuen S, Benjakul S, 2008. Whey protein concentrate: autolysis inhibition and effects on the gel properties of surimi prepared from tropical fish. Food Chemistry, 106(3): 1077—1084
- Riebroy S, Benjakul S, Visessanguan W, 2008. Properties and acceptability of Som-fug, a Thai fermented fish mince, inoculated with lactic acid bacteria starters. LWT-Food Science and Technology, 41(4): 569—580
- Riebroy S, Benjakul S, Visessanguan W *et al*, 2009. Acid-induced gelation of natural actomyosin from Atlantic cod (*Gadus morhua*) and burbot (*Lota lota*). Food Hydrocolloids, 23(1): 26—39
- Schagger H, 2006. Tricine-SDS-PAGE. Nature Protocols, 1(1): 16—22
- Shie J S, Park J W, 1999. Physical characteristics of surimi seafood as affected by thermal processing conditions. Journal of Food Science, 64(2): 287—290
- Techaratanakrai B, Nishida M, Igarashi Y *et al*, 2011. Effect of setting conditions on mechanical properties of acid-induced kamaboko gel from squid *Todarodes pacificus* mantle muscle meat. Fisheries Science, 77(3): 439—446
- Techaratanakrai B, Okazaki E, Osako K, 2012. Effect of organic salts on setting gels and their corresponding acid on kamaboko gels prepared from squid *Todarodes pacificus* mantle muscle. Fisheries Science, 78(3): 707—715
- Totosaus A, Montejano J G, Salazar J A *et al*, 2002. A review of physical and chemical protein-gel induction. International Journal of Food Science & Technology, 37(6): 589—601
- Uresti R M, López-Arias N, González-Cabriales J J *et al*, 2003. Use of amidated low methoxyl pectin to produce fish restructured products. Food Hydrocolloids, 17(2): 171—176
- Venugopal V, 2003. Gel formation of fish structural proteins under mild acidic conditions: comparison with conventional surimi gelation and applications. Fishery Technology, 40(2): 61—70
- Venugopal V, Doke S N, Nair P M, 1994. Gelation of shark myofibrillar proteins by weak organic acids. Food Chemistry, 50(2): 185—190
- Visessanguan W, Benjakul S, Riebroy S *et al*, 2004. Changes in composition and functional properties of proteins and their contributions to Nham characteristics. Meat Science, 66(3): 579—588
- Weng W Y, Hamaguchi P Y, Osako K *et al*, 2007. Effect of endogenous acid proteinases on the properties of edible films prepared from Alaska pollack surimi. Food Chemistry, 105(3): 996—1002

TYPE AND CONCENTRATION OF ORGANIC ACIDS AFFECT THE PROPERTIES OF ACID-INDUCED SURIMI GELS

ZHENG Wen-Xiang¹, WENG Wu-Yin¹, ZHANG Shu-Ting¹, OSAKO Kazufumi²

(1. College of Biological Engineering, Jimei University, Xiamen, 361021; 2. Department of Food Science and Technology, Tokyo University of Marine Science and Technology, Tokyo, 108-8477, Japan)

Abstract Traditional surimi-based products are usually prepared through a heating process, which often causes high-energy consumption and production cost. Acid-induced surimi gels as a new preparation technique were prepared from silver carp surimi by soaking in acetic acid, citric acid or tartaric acid in this study, and effect of concentration of organic acids on the properties of surimi gels was also investigated. Of the organic acid-induced and heat-induced surimi gels, the acetic acid-induced surimi gels had the highest TPA (Texture Profile Analysis) parameters. The pH of the surimi gel induced by 3% acetic acid was 4.3, in whiter color but poorer water-holding ability than thermally-treated one. Nevertheless, the protein subunits were observed similar in SDS-PAGE pattern for both gels. Furthermore, the results of *in vitro* digestion of surimi gels showed that 90% of proteins of acid-induced gels could be digested with combined action of pepsin and trypsin. Therefore, we concluded that acid-induced surimi product could be prepared from freshwater surimi by soaking in organic acids.

Key words organic acids; acid-induced surimi gels; silver carp surimi; gel properties