DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201502009

脊尾白虾虾糜的制备及其抗冷冻变性工艺*

曹文红,赵子科,田申,陈良

(广东海洋大学 食品科技学院,广东省水产品加工与安全重点实验室,
水产品深加工广东普通高等学校重点实验室,广东 湛江,524088)

摘 要 以脊尾白虾为原料,研究虾糜漂洗工艺及其抗冷冻变性工艺。以凝胶强度和弹性为指标,探索不同漂洗条件对虾糜凝胶性能的影响,以凝胶强度和弹性的加权平均值为指标进行正交试验得出虾糜最佳的漂洗工艺为:漂洗时间7 min,料水比1∶9(g∶mL),漂洗液$CaCl_2$浓度0.7%。为研究冻藏对虾糜品质的影响,以海藻糖、乳酸钠、山梨糖醇、蔗糖等为抗冻剂,比较了添加不同抗冻剂时8周冻藏期间内虾糜的盐溶蛋白含量、Ca^{2+}-ATPase、总巯基含量、凝胶强度、pH值的变化规律。结果显示:不同抗冻剂均能较好地抑制脊尾白虾虾糜蛋白质的冷冻变性,海藻糖的抗冻效果优于另外两种抗冻剂。研究表明通过恰当的漂洗工艺及添加抗冷冻变性剂,脊尾白虾虾糜能在一定时期内保持较好的品质。

关键词 脊尾白虾;虾糜;漂洗;抗冻剂;凝胶弹性

脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)又名白虾、绒虾、迎春虾,是一种杂食性、广温、广盐分布的中型经济虾类,繁殖能力强,中国沿海均产,尤以黄渤海产量较多[1]。脊尾白虾肉质细嫩,滋味鲜美,深受广大消费者的喜爱。据不完全统计,中国脊尾白虾养殖面积目前达1万hm^2,其产量占中国东部沿海养殖虾类总量的1/3[2-3]。池养脊尾白虾经3个月左右生长即可性成熟,抱卵的个体最长为9 cm,最小为4.12 cm,平均质量约2.43 g[4-5]。目前关于脊尾白虾加工利用的研究资料极少,国内仅有唐琳等[6]研究利用电子鼻与色差仪建立了气味、颜色、气味结合颜色的3种新鲜等级预测模型来预测脊尾白虾的鲜度;徐年军等[7]运用感官分析和GC/MS技术研究了2种新型海洋风味素对养殖脊尾白虾的感官特征和海鲜风味的影响及在暂养过程中的吸收规律。

鱼糜制品是水产品食品中附加值较高的精深加工产品,营养价值高,携带、食用方便,深受人们喜爱。鱼糜制品种类繁多,可根据消费者的喜好,进行不同口味的调配,形状也可任意选择,产品形状、外观、滋味与原料鱼截然不同,极大丰富了消费者的餐桌、提高了原料的利用价值。目前鱼糜制品的原料主要是海水鱼[8]。在鱼糜原料鱼资源日渐枯竭的背景下,对我国丰富的虾资源特别是高产低值的海虾资源进行虾糜制品的开发研究,具有极为重要的意义。本研究以脊尾白虾为原料,探索了不同漂洗时间、料水比、漂洗液$CaCl_2$的浓度对虾糜凝胶性能的影响以及不同抗冻剂对脊尾白虾虾糜的抗冻效果。

1 材料与方法

1.1 原料与试剂

新鲜脊尾白虾:购自湛江湖光市场,加冰保鲜运至实验室立即进行手工去头去壳采肉处理。

1.2 主要仪器设备及试剂

TMS-PRO物性分析质构仪(美国FTC公司),高速分散均质FJ-200(上海五久自动化设备有限公司),FA2104A电子分析天平(上海天平仪器厂),CR22G高速冷冻离心机(日本Hitachi公司),HH.s21-6恒温水浴锅(上海跃进医疗器械厂),UV-2102紫外/可见分光光度计(尤尼柯仪器有限公公司),HR2864飞利浦三合一搅拌器(珠海经济特区飞利浦家庭电器有限公司),SIM-F140雪花制冰机(日本SANYO公司)。

福林酚试剂盒,购自北京鼎国生物技术有限公司,其他试剂盒或材料均为国产分析纯或食品级。

1.3 实验方法

1.3.1 凝胶化时间虾糜凝胶样品的制备

将前期采下的虾肉挑除肠线,用清水漂洗后将其切碎至适度大小颗粒,分成3份,清水漂洗2次,不断

第一作者:博士,教授(本文为通讯作者,E-mail:cchunlin@163.com)。

* 广东省科技计划(2012B020312005)
收稿日期:2014-09-05,改回日期:2014-11-18

搅拌，每次漂洗 7 min，用滤布把水分挤干，加 3% 食盐擂溃 5 min，然后进行灌肠，肠衣两端留一定的空隙后扎紧，放入水浴锅中，分别于 40 ℃下放置 1、1.5、2 h，再于 90 ℃下放置 30 min，取出样品放入常温水中冷却 10 min，再放置于 4 ℃的冰箱 12 h。取出样品，撕下肠衣，在空气中平衡 1 h 后测其凝胶强度和弹性。

1.3.2　洗虾糜凝胶样品的制备

将前期采下的虾肉挑除肠线，用清水清洗后将其切碎至适度大小颗粒，分成 3 组，每组 5 份，第 1 组每份加入 1∶5（g∶mL）的冰蒸馏水，于搅拌机下分别搅拌 5、7、9、11、13 min 中，中间过程须使漂洗水温保持在 0 ℃；第 2 组每份分别加入 1∶5、1∶7、1∶9、1∶11、1∶13（g∶mL）的冰蒸馏水，于搅拌机下搅拌 9 min，漂洗用水温度保持在 0 ℃；第 3 组每份加 1∶9（g∶mL）的冰蒸馏水漂洗 2 次，第 3 次采用 0.1%、0.3%、0.5%、0.7%、0.9% 的 $CaCl_2$ 溶液漂洗，每次搅 9 min，中间过程须使漂洗用水保持在 0 ℃。将漂洗过的虾肉糜用滤布拧干，加 3% 的食盐擂溃 5 min，然后进行灌肠，肠衣两端留一定的空隙后扎紧，放入水浴锅中，于 40 ℃下放置 2 h，其余同 1.3.2。

1.3.3　虾糜漂洗工艺的正交试验

结合单因素的试验结果，选择不同水平的料水比、漂洗时间、漂洗液氯化钙的浓度设计正交试验，以确定脊尾白虾的最佳漂洗工艺，因素水平表见表 1。

表 1　正交试验因素水平表

Table 1　Factors and levels of the orthogonal experiment

水平	因素		
	漂洗时间/min	料水比（g∶mL）	$CaCl_2$ 浓度/%
1	7	1∶7	0.3
2	9	1∶9	0.5
3	11	1∶11	0.7

1.3.4　冻藏虾糜样品的处理

用正交试验得出的最佳条件漂洗后的虾糜用滤布滤干水分之后，准确称量 4 份，1 份不添加任何抗冻剂作为对照，另 3 份分别添加 8% 海藻糖、8% 乳酸钠、8% 商业抗冻剂（4% 蔗糖 + 4% 山梨糖），将每份的样品与抗冻剂混匀后进行分装，每组分为 9 份包装于封口袋中，放置于 −18 ℃的冷库中冻藏，用于测定冻藏期间的各项指标。

1.3.5　冻藏虾糜 pH 值的测定

称取 10 g 解冻后的虾肉糜，放置于 100 mL KCl（0.1 mol/L）溶液的烧杯中，于 6 000 r/min 下匀浆 10 s，之后直接用 pH 计进行测定。

1.3.6　冻藏虾糜盐溶性蛋白的测定

称取 3 g 虾糜，加入 30 mL 0.1 mol/L 的磷酸盐缓冲液（pH = 7.5）后用高速匀浆机匀浆，4 ℃下搅拌提取 5 min，然后放置于 8 000 r/min 冷冻离心机中离心 10 min，除去上清液（重复 2 次），沉淀物加入 3 倍体积（g∶mL）的 0.1 mol/L pH 7.0 磷酸盐缓冲液（I = 1.0 NaCl、4 ℃预冷），4 ℃下提取 24 h，然后在 4 ℃下 10 000 r/min 离心 20 min，收集上清液即为盐溶性蛋白，取上清液稀释到合适的浓度，采用福林酚法进行测定，单位用 mg/g 表示。

1.3.7　冻藏虾糜盐溶性蛋白总巯基含量的测定

利用 5,5′-2-二硫代双（2-硝基苯甲酸）[5,5′-dithio-bis(2-nitroben-zoic acid)，DTNB] 和巯基反应生成 5-巯基-2-硝基苯甲酸（5-sulfhydryl-2-nitrobenzoic acid，TNB），其生成物在波长 410 ~ 420 nm 内具有强吸收[9]，根据被测蛋白的浓度和吸光度推算盐溶蛋白巯基含量[10]。

1.3.8　冻藏虾糜 Ca^{2+}-ATPase 活性的测定

肌动球蛋白中的 Ca^{2+}-ATPase 能将 ATP 分解为无机磷，Ca^{2+}-ATPase 酶活的大小可以用每小时每毫克肌动球蛋白生成的无机磷的量来表示。Ca^{2+}-ATPase 酶活的测定参考万建荣等人的方法[11]。

1.3.9　冻藏虾糜凝胶的测定

取出已制备好的虾糜肠，剥去肠衣在室温下平衡 1 h，将其切成高度为 25 mm 的小圆柱体，采用 TMS-PRO 型质构仪测定破断强度和破断距离。测试参数如下：起始力为 1 N，测试速度为 60 mm/min，形变量为 60%。弹性可直接从 TMS-PRO 型质构仪软件中读取。凝胶强度的计算公式如下：

凝胶强度 = 破断强度（g）× 破断距离（mm）

2　结果与讨论

2.1　漂洗工艺对虾糜凝胶性能的影响

2.1.1　凝胶化时间对虾糜凝胶性能的影响

由图 1 可知，随着凝胶化时间的延长，凝胶强度和弹性呈逐渐增加的趋势，加热时间为 1 h 时的凝胶强度为 1 260 g · mm，弹性为 3.2 mm，加热时间为 1.5 h 和加热时间 1 h 之间的凝胶强度有显著性差异（$P < 0.05$），加热 2 h 后凝胶强度比加热时间 1 h 提高了 36.5%，为 1 720 g · mm，弹性比原来提高了 76.6%，为 5.65 mm，原因可能是有较多的氢键在低温下形成，而时间延长则利于激活内源性转谷氨酰胺

酶(TGase),另外,其他的热变性作用、二硫键和疏水键的缓慢形成等因素也可能是凝胶强度增加的原因[12]。

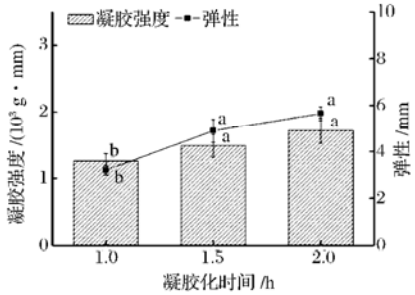

图1 凝胶化时间对虾糜凝胶性能的影响

Fig. 1 Effect of gel time on the gel properties of shrimp surimi

2.1.2 漂洗时间对虾糜凝胶性能的影响

漂洗是生产高质量鱼糜的关键步骤,其目的是除去鱼糜中阻碍凝胶网络形成的阻害因子,主要是水溶性肌浆蛋白[13]。

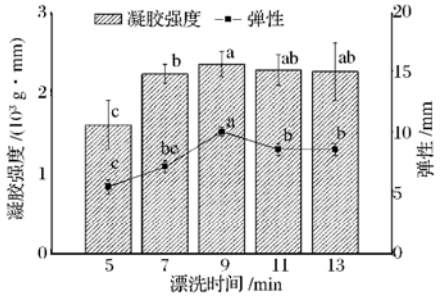

图2 漂洗时间对虾糜凝胶性能的影响

Fig. 2 Effect of washing time on gel properties of shrimp surimi

由图2可知,随着漂洗时间的增加,虾糜的凝胶强度呈先增加后下降的趋势。在漂洗时间为9 min时,虾糜的凝胶强度和弹性均达到最大值,分别为2 360 g·mm和10.2 mm,弹性指标要显著高于其他漂洗时间组别($P<0.05$),凝胶强度也要高于或显著高于其他漂洗时间组别。9 min后凝胶强度和弹性随着漂洗时间的延长而略有下降,但下降幅度不大,漂洗13 min后凝胶强度和弹性仅比漂洗9 min下降了8.5%和14.4%。可能的原因是漂洗时间为9 min时,虾肉糜中的水溶性蛋白大部分已经去除,并且具有凝胶形成作用的盐溶性蛋白得到最大程度的浓缩,随着漂洗时间的延长,虽然残余的水溶性蛋白被继续去除,但与此同时盐溶性蛋白的损失量也在增多。因此,漂洗9 min是制备具有较好凝胶强度虾糜制品的最佳时间。

2.1.3 漂洗用水量对虾糜凝胶性能的影响

一般而言,漂洗料水比越大,漂洗次数越多得到的虾糜质量越好,但同时会使原料和呈味物质的损失增多,最终造成产品的口感和风味下降,另外选择合适的料水比可以降低劳动强度和生产成本[14]。由图3可知,料水比为1∶5时得到的虾糜的凝胶强度和弹性的数值均较低,仅为2 000 g·mm和6.89 mm,料水比为1∶7、1∶9时凝胶强度要显著高于其他料水比的组别($P<0.05$)。当料水比为1∶9时两者数值达为2 600 g·mm和7.62 mm,之后随着漂洗用水的增多,两个数值均呈下降趋势,但下降幅度不如漂洗时间对其凝胶性能的影响。

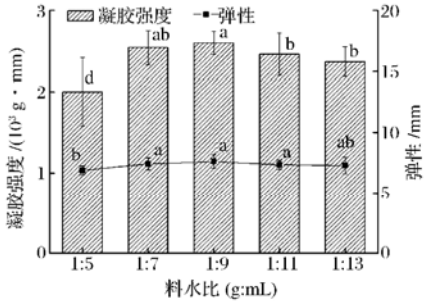

图3 料水比对虾糜凝胶性能的影响

Fig. 3 Effect of water ratio on gel properties of shrimp surimi

2.1.4 漂洗液氯化钙浓度对虾糜凝胶性能的影响

由图4可以看出,添加质量分数为0.1% $CaCl_2$比不添加$CaCl_2$的样品的凝胶强度提高了72.3%,弹性提高了53.1%,两者之间具有显著性差异($P<0.05$)。随着$CaCl_2$浓度的增加,虾糜的凝胶强度和弹性在$CaCl_2$质量分数为0.3%时达到最大值3 840 g·mm,之后呈下降趋势,这比邵懿采用0.3%的$CaCl_2$溶液漂洗冷冻竹荚鱼鱼糜得到的凝胶强度

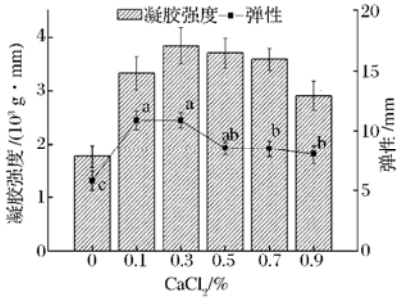

图4 $CaCl_2$浓度对虾糜凝胶性能的影响

Fig. 4 Effect of $CaCl_2$ concentration on gel properties of shrimp surimi

低[15]，可能是由于原料自身形成凝胶的差异造成的。$CaCl_2$ 能显著提高虾糜的凝胶强度和弹性是由于钙离子能增强 TGase 活性[16]，而 TGase 能催化谷氨酸氨基酸残基发生交联作用，形成分子架桥，所以钙盐影响虾糜凝胶能力主要是通过增强 TGase 活性促使虾糜蛋白形成交联网状结构[17]。

2.1.5　脊尾白虾漂洗工艺正交试验及结果

在单因素试验的基础上，选用漂洗时间、料水比、不同 $CaCl_2$ 浓度的漂洗液进行 3 因素 3 水平的正交试验，正交表选用 $L_9(3^4)$，结果见表 2。

表 2　虾糜漂洗工艺正交试验结果

Table 2　Orthogonal experiment results of rinsing process of shrimp surimi

试验号	漂洗时间/min	料水比(g:mL)	$CaCl_2$ 浓度/%	凝胶性能加权值
1	7	1:7	0.3	3.89
2	7	1:11	0.5	4.45
3	7	1:9	0.7	5.59
4	9	1:9	0.5	3.96
5	9	1:7	0.7	3.83
6	9	1:11	0.3	3.09
7	11	1:11	0.7	4.39
8	11	1:9	0.3	4.17
9	11	1:7	0.5	3.05
k_1	4.64	3.59	3.72	
k_2	3.62	4.57	3.82	
k_3	3.87	3.97	4.6	
R	1.02	0.99	0.89	

注：凝胶性能的加权值 = 凝胶强度 ×50% + 弹性 ×50%。

由表 2 可以看出，各因素对虾糜凝胶品质的影响程度的大小顺序为：漂洗时间 > 料水比 > $CaCl_2$ 浓度。漂洗时间对虾糜凝胶品质的影响最大，主要原因是随着漂洗时间的延长，虾肉中的水溶性蛋白等阻碍凝胶网络形成的凝胶阻害因子能被充分的除去。其次是料水比，漂洗用水增多能增加水溶性蛋白溶出的速度，但料水比过大会造成盐溶性蛋白的损失过多[18]，最终造成虾糜凝胶性能降低。当料水比为1:9时，漂洗能最大程度地去除肌浆蛋白，并且能使盐溶性蛋白得到最大程度的保留。肌原纤维蛋白的 pH 值约为 7.0 时带负电，带二价正电荷的 Ca^{2+} 能与蛋白质分子形成离子键结合形成蛋白质-钙-蛋白质交联结构。而高浓度的 $CaCl_2$ 会对虾糜凝胶的形成产生不利的影响，主要是因为高浓度的 Ca^{2+} 会使虾糜凝胶过度交联，从而使凝胶变脆，破裂强度降低，$CaCl_2$ 浓度为 0.7% 能使虾糜凝胶适度的交联，从而形成稳定的凝胶结构。因此，正交试验得出的虾糜最佳漂洗条件为：料水比为 1:9，漂洗液 $CaCl_2$ 浓度为 0.7%，漂洗时间 7 min，虾糜凝胶性能的加权值最高，为 5.59。

2.2　冻藏对脊尾白虾虾糜品质的影响规律

2.2.1　冻藏时间对凝胶强度的影响

由图 5 可知，随着储藏时间的延长，对照组和添加抗冻剂的虾糜凝胶强度都呈逐渐下降趋势，对照组下降的幅度最大，到第 8 周，对照组的凝胶强度下降到 2 180 g·mm，比最初下降了 41.9%，对照组第 2 周的虾糜凝胶强度已经低于日本陆地生产冷冻鱼糜的二级规格(3 500 g·mm)，其中在第 6 周下降幅度较大，下降幅度为 11.2%。而添加乳酸钠、海藻糖、蔗糖/山梨糖醇在冻藏 8 周后虾糜凝胶强度分别为 2 980、2 860、2 940 g·mm，比冻藏开始分别下降了 20.7%、23.7%、21.4%，添加抗冻剂的虾糜在第 3 周后下降到日本陆地生产冷冻鱼糜的二级规格以下。结果可以表明，脊尾白虾虾糜在 −18 ℃冻藏的过程中与凝胶形成相关的盐溶性蛋白发生了变性[19]，而添加乳酸钠、海藻糖、蔗糖/山梨糖醇等能减缓其变性的速度，因此与对照组相比，凝胶强度下降的较为缓慢，其中海藻糖和蔗糖/山梨糖醇的抗冻效果稍优于乳酸钠。

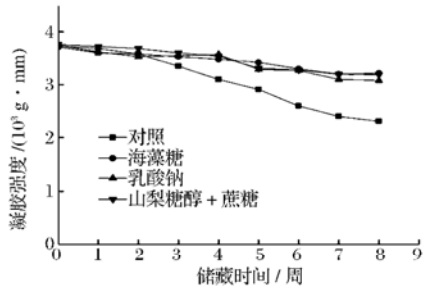

图 5　虾糜在冻藏期间的凝胶强度变化

Fig. 5　Gel strength property changes of shrimp surimi during frozen storage

2.2.2　冻藏时间对 pH 值的影响

当虾死后进行糖原酵解时生成丙酮酸，使得虾肉 pH 值下降，造成肌原纤维蛋白质发生变性[20]，肌原纤维蛋白质随着 pH 值的下降变性越严重。由图 6 可知，对照组和添加抗冻剂的虾糜 pH 均随储藏时间的延长而缓慢下降，添加乳酸钠抗冻剂的虾糜 pH 下降较为缓慢，从最初的 pH 6.9 下降到 pH 6.72，添加不同抗冻剂的冷冻虾糜最终 pH 值接近国内一些冷冻鱼糜生产公司 SSA 级标准，添加山梨糖醇/蔗糖、

海藻糖抗冻剂的虾糜 pH 值下降幅度略大于添加乳酸钠的虾糜，分别比最初下降了 4.1% 和 3.6%。对照组的下降幅度最大，为 7.0%。

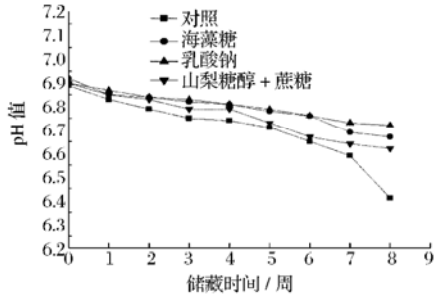

图 6 虾糜在冻藏期间的 pH 值变化

Fig. 6 pH changes of shrimp surimi during frozen storage

2.2.3 冻藏时间对 Ca^{2+}-ATP 酶活的影响

冷冻储藏过程中蛋白质的变性会引起相关酶活性发生改变，因此，肌原纤维蛋白的 Ca^{2+}-ATP 酶活常被广泛用作鱼肉蛋白冷冻变性的指标。从图 7 可以得出，对照组的虾糜 Ca^{2+}-ATP 酶活下降的速度较快，大致成直线下降的趋势，从最初的 1.85 μmolPi/(mg 蛋白·h) 下降到 1.37 μmolPi/(mg 蛋白·h)，这与 Ramiarez 的研究相一致[21]，而添加不同抗冻剂的虾糜 Ca^{2+}-ATP 酶活下降较为缓慢，并有变平缓的趋势，添加 3 种抗冻剂的虾糜 Ca^{2+}-ATP 酶活在 1.62 ~ 1.69 μmolPi/(mg 蛋白·h)，添加海藻糖、乳酸钠、山梨糖醇/蔗糖等 3 种抗冻剂的虾糜的 Ca^{2+}-ATP 酶活分别比最初下降了 9.8%、13.8%、9.1%，与对照样下降 25.9% 相比，这 3 种抗冻剂均能较好的减缓 Ca^{2+}-ATP 酶失活的速度。

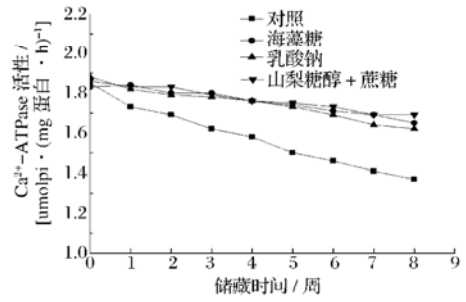

图 7 虾糜在冻藏期间的 Ca^{2+}-ATP 酶活变化

Fig. 7 Ca^{2+}-ATPase activity changes of shrimp surimi during frozen storage

2.2.4 冻藏时间对盐溶蛋白含量的影响

盐溶性蛋白在凝胶形成过程中起主要作用，但其在冻藏过程中由于在蛋白质之间形成二硫键、疏水键、氢键、盐键而发生聚集变性，导致其盐溶性下降，因此可以将盐溶性蛋白含量的变化作为虾糜冷冻变性的一个指标[22]。由图 8 可以得知，随着储藏时间的延长，所有样品的盐溶性蛋白含量都呈逐渐下降的趋势，但对照样下降的最为明显，冻藏 8 周后，对照样盐溶性蛋白含量从原来的 28.69 mg/g 下降到 19.64 mg/g，下降了 31.5%。添加海藻糖、乳酸钠、山梨糖醇/蔗糖 3 种抗冻剂的样品在冻藏 8 周后盐溶性蛋白含量依次为 23.61、23.37、23.59 mg/g，含量均比对照样高。以上说明，盐溶性蛋白在冻藏过程中发生了冷冻变性，而添加抗冻剂在一定程度上抑制了蛋白质的冷冻变性，3 种抗冻剂的抗冻效果差异不大。

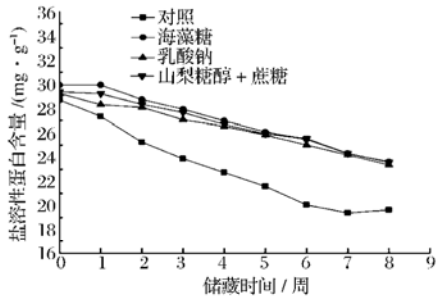

图 8 虾糜盐溶性蛋白含量在冻藏期间的变化

Fig. 8 Salt-soluble protein content changes of shrimp surimi during frozen storage

2.2.5 冻藏时间对盐溶蛋白巯基含量的影响

肌球蛋白分子中含有活性巯基，它们分布在肌球蛋白的头部，与 Ca^{2+}-ATP 酶活性密切相关，由于在储藏的过程中肌原纤维蛋白的冷冻变性，活性巯基被氧化形成二硫键[23]，因此巯基含量的减少可以作为肌原纤维蛋白冷冻变性的另一个指标。

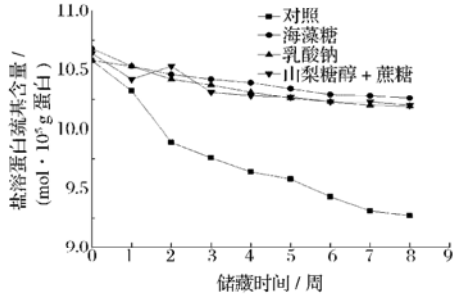

图 9 虾糜盐溶性蛋白巯基含量在冻藏期间的变化

Fig. 9 Sulfhydryl content change of salt-soluble protein of shrimp surimi during frozen storage

从图 9 可以看出，对照组的盐溶性蛋白的总巯基含量减少幅度最大，而添加抗冻剂的样品总巯基含量下降的比较缓慢。冻藏 8 周后，对照样和添加海藻

糖、乳酸钠、山梨糖醇/蔗糖的样品的总巯基含量分别比最初的样品下降了 12.4%、3.9%、3.7%、4.1%。海藻糖和乳酸钠的抗冻效果要优于山梨糖醇/蔗糖。

3 结论

以凝胶强度和弹性为指标，探索漂洗时间、料水比、不同 $CaCl_2$ 浓度对脊尾白虾虾糜凝胶性能的影响规律，并以 Ca^{2+}-ATPase 活性、盐溶性蛋白含量、盐溶蛋白巯基含量、凝胶强度、pH 值为指标，对添加海藻糖、乳酸钠、山梨糖醇/蔗糖 3 种抗冻剂的脊尾白虾虾糜抗冻效果进行研究，得到的主要结论如下：

(1) 在单因素试验的基础上，以凝胶性能的加权平均值为指标，通过正交试验得出影响虾糜凝胶品质的因素的大小顺序依次为：漂洗时间 > 料水比 > $CaCl_2$ 浓度，并优化得出最佳漂洗工艺为：漂洗时间为 7 min，料水比为 1∶9，漂洗液 $CaCl_2$ 浓度为 0.7%。

(2) 添加乳酸钠、海藻糖、蔗糖/山梨糖醇对防止脊尾白虾虾糜冷冻变性均有较好的效果。冻藏 8 周后凝胶强度、pH、Ca^{2+}-ATP 酶活、盐溶性蛋白含量、盐溶性蛋白总巯基含量有所下降，但下降幅度不大。添加海藻糖的虾糜在冻藏 8 周后，凝胶强度为 2 980 g·mm，pH 为 6.67，Ca^{2+}-ATP 酶活 1.65 μmolPi/(mg 蛋白·h)，盐溶性蛋白含量 23.61 mg/g，盐溶性蛋白巯基含量为 10.26 mol/10^5g 蛋白。海藻糖的抗冻效果总体上优于蔗糖/山梨糖醇和乳酸钠。

参 考 文 献

[1] 梁俊平. 脊尾白虾全人工繁育及繁殖相关基因的研究[D]. 青岛：中国海洋大学，2013.

[2] 梁俊平，李健，刘萍，等. 脊尾白虾生物学特性与人工繁育的研究进展[J]. 中国农学通报，2012，28(17)：109－116.

[3] 李明云. 池养脊尾白虾的繁殖、生长及其最大持续轮捕量的初步探讨[J]. 水产学报，1994，18(2)：85－92.

[4] 徐加涛，徐国成，于斌，等. 脊尾白虾繁殖生物学及人工育苗生产技术[J]. 中国水产，2007，34(4)：52－55.

[5] 徐君义. 浙江乐清湾脊尾白虾的繁殖和世代的初步研究[J]. 动物学杂志，1990，25(6)：3－7.

[6] 唐琳，屠康，潘磊庆，等. 基于气味与颜色的脊尾白虾新鲜度评价[J]. 农业工程学报，2011，27(9)：344－348.

[7] 徐年军，严小军，徐继林，等. 新型风味素对养殖脊尾白虾海鲜风味的影响[J]. 水产学报，2005，29(4)：507－511.

[8] 励建荣，陆海霞，傅玉颖，等. 鱼糜制品凝胶特性研究进展[J]. 食品工业科技，2008，29(11)：291－295.

[9] 刘欣荣，洪维伟，邓意辉. 4，4′-二吡啶基二硫法测定巯基化壳聚糖中的巯基含量[J]. 沈阳药科大学学报，2013，30(2)：120－125.

[10] 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.

[11] 万建荣. 水产食品化学分析手册[M]. 上海：上海科学技术出版社，1993：145－149.

[12] 何阳春，洪咏平. 鱼糜制品弹性与鱼肉凝胶特性研究进展[J]. 水产科学，2004，23(6)：41－43.

[13] 刘书成. 水产食品加工学[M]. 郑州：郑州大学出版社，2011：233－234.

[14] 陈海华，薛长湖. 钙盐溶液漂洗对竹荚鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品与机械，2009，25(5)：5－9.

[15] 邵懿，薛勇，薛长湖，等. 解冻方式及漂洗方法对冷冻竹荚鱼鱼糜品质的影响[J]. 食品与发酵工业，2007，33(12)：83－87.

[16] 周爱梅，潘珂，黄文华，等. 几种添加剂对鳙鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品科学，2004，25(8)：50－54.

[17] LIN T M，Park J A E W，Morrissey M T. Recovered protein and reconditioned water from surimi processing waste[J]. Journal of Food Science，1995，60(1)：4－9.

[18] 孔保华，耿欣，高兴华，等. 不同漂洗方法对鲢鱼肉保水性及蛋白质含量的影响[J]. 肉类研究，1999，13(1)：1－6.

[19] Kauzmann W. Some factors in the interpretation of protein denaturation[J]. Protein Chemistry，1959，14：1－63.

[20] Donald G A M A C，Lanier T C. Actomyosin stabilization to freeze-thaw and heat denaturation by lactate salts[J]. Journal of Food Science，1994，59(1)：101－105.

[21] Ramiarez J A，Martian - Polo M O，Bandman E. Fish myosin aggregation as affected by freezing and initial physical state[J]. Journal of Food Science，2000，65(4)：556－560.

[22] 周爱梅，刘欣. 冷冻鱼糜蛋白在冻藏中的物理化学变化及其影响因素[J]. 食品科学，2003，24(3)：153－157.

[23] Jiang S T，Hwang D C，Chen C S. Denaturation and change in sulfhydryl group of actomyosin from milkfish (*Chanos chanos*) during storage at －20℃[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry，1988，36(3)：433－437.

Technology of shrimp surimi preparation from *Exopalaemon carinicauda* and its anti-freeze denaturation

CAO Wen-hong, ZHAO Zi-ke, TIAN Shen, CHEN Liang

(College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Guangdong Provincial Key Laboratory of Aquatic Product Processing and Safety, Key Laboratory of Advanced Processing of Aquatic Products of Guangdong Higher Education Institution, Zhanjiang 524088, China)

ABSTRACT This paper studied the rinsing technology and anti-freeze denaturation technology of shrimp surimi made from *Exopalaemon carinicauda*. The effect of different rinsing conditions on gel strength and elasticity of the minced shrimp were determined and estimated. With the weighted value of the gel strength and elasticity as the indexes, the rinsing process technology was optimized with an orthogonal trial. The optimal conditions were: rinsing time 7 min, shrimp meat: water ratio 1∶9, $CaCl_2$ concentration 0.7%. In order to understand the influence of frozen storage on the quality of the rinsed shrimp meat, trehalose, sodium lactate, sorbitol and sucrose were used as cryoprotectants, salt-soluble protein content, Ca^{2+}-ATPase activity, total sulfhydryl content, gel strength and pH of the rinsed shrimp meat were determined and compared during a storage of 8 weeks. The results indicated that all cryoprotectants showed good anti-freeze denaturation activity on rinsed shrimp meat as compared to the control samples. The trehalose added samples had better anti-frozen effect than other cryoprotectants added samples. The results of this research show that shrimp surimi of *Exopalaemon carinicauda* can remain better qualities after a relatively long time storage.

Key words *Exopalaemon carinicauda*; shimp surimi; rinsing; cryoprotectant; gel elasticity