

不同冻结方式对红虾肌肉品质的影响

江杨阳^{1,2}, 杨水兵², 余海霞², 姚洁玉^{1,2}, 邵颖¹, 陈士国¹, 胡亚芹^{1,2}

(1. 浙江大学食品与营养系, 浙江省农产品加工技术研究重点实验室, 馥莉食品研究院, 浙江杭州 310058)

(2. 浙江大学舟山海洋研究中心, 浙江舟山 316021)

摘要: 为寻找更好的冷冻方法, 提高红虾品质, 采用液氮喷淋冻结、平板冻结两种方式处理新鲜红虾样品。结合贮藏期间红虾的理化指标 (TVB-N、TBA、Ca²⁺-ATPase 活性、持水性和盐溶性蛋白含量)、感官品质和电镜扫描图, 研究不同冻结方式对红虾品质的影响。结果表明: 随着贮藏时间的延长, 两种方式处理红虾的 TVB-N、TBA 值逐渐增大, 但液氮冻结增加较慢。贮藏至 176 d 时, 液氮冻结和平板冻结组虾肉的 TVB-N 值分别为 20.50 mg/100 g 和 27.30 mg/100 g, TBA 值则分别为 0.74 mg/100 g 和 0.97 mg/100 g, 说明液氮能有效抑制 TVB-N、TBA 值的增加; 且红虾的 Ca²⁺-ATPase 活性、持水性、盐溶性蛋白含量、感官品质评价均呈现下降的趋势, 液氮处理的红虾下降最慢; 观察电镜扫描图发现, 液氮冻结对红虾的肌肉纤维损伤小。综上, 液氮冻结对虾肉冻藏品质维持的效果较好。

关键词: 液氮冻结; 平板冻结; 红虾; 品质

文章编号: 1673-9078(2017)10-142-148

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.10.021

Effects of Different Freezing Methods on the Quality of Red Shrimp

JIANG Yang-yang^{1,2}, YANG Shui-bing², YU Hai-xia², YAO Jie-yu^{1,2}, SHAO Ying¹, CHEN Shi-guo¹, HU Ya-qin^{1,2}

(1. Department of Food Science and Nutrition, Zhejiang Key Laboratory for Agro-Food Processing, Fuli Institute of Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China) (2. Ocean Research Center of Zhoushan, Zhejiang University, Zhoushan 316021, China)

Abstract: To improve the quality of the red shrimp (*Solenocera melanth*), the shrimp samples were frozen by the liquid nitrogen spray and the conventional plate-freezing. The effects of different frozen methods on the quality of red shrimp during frozen periods were investigated by physiochemical indexes, such as total volatile basic nitrogen (TVB-N), thiobarbituric acid (TBA), Ca²⁺-ATPase activity, water holding capacity, and salt soluble protein content. The sensory scores and scanning electron microscopy (SEM) were used to compare the freezing effect as well. The results showed that TVB-N and TBA values of red shrimps gradually increased with the prolongation of storage time, but the freezing of liquid nitrogen increased slowly. After 176 d storage, the TVB-N values treated by liquid nitrogen frozen was 20.50 mg/100 g, while plate frozen reached 27.30 mg/100 g. The TBA values reached 0.74 mg/100 g, 0.97 mg/100 g, respectively, suggesting that liquid nitrogen frozen could effectively suppress the increase of TVB-N and TBA; meanwhile, the Ca²⁺-ATPase activity, water holding capacity, salt soluble protein content and sensory indexes of red shrimp showed a decreasing trend, while that by liquid nitrogen decreased slowly; besides, the SEM profiles revealed that myofibril of red shrimp slightly damaged by the liquid nitrogen compared with that by plate-freezing method. In conclusion, the liquid nitrogen froze showed better effects than plate frozen on the quality of red shrimp.

Key words: liquid nitrogen frozen; plate frozen; red shrimp; quality

红虾 (*Solenocera melanth*) 又称中华管鞭虾, 主要分布于我国东海、黄海南部及南海, 是浙江近海资源的优势品种。有研究指出, 红虾中富含的虾青素具有较强的抗氧化、抗癌抑癌、增强免疫和预防心血管

收稿日期: 2017-04-25

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31671918); 舟山市重大科技专项计划 (2014C11004); 十三五重点专项 (SQ2017YFNC010025)

作者简介: 江杨阳 (1992-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水产品加工

通讯作者: 胡亚芹 (1972-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 水产品加工与贮藏

疾病等生物保健效果^[1]。此外红虾含有丰富的蛋白质、矿物质 (如钙、磷、铁和碘等), 容易消化吸收且肉质肥嫩鲜美^[2], 既无骨刺, 又无鱼腥味, 老小皆宜, 故备受消费者青睐。

由于虾本身富含高蛋白和高水分, 为微生物的生长繁殖创造有利的条件。且其肌肉组织较松软, 组织蛋白酶的活性较强, 在死后储存期间极易发生生物化学、微生物或物理变化, 导致其死后僵硬期短, 自溶作用迅速, 因此其鲜度下降快, 产品保质期有限^[3]。此外, 在虾体内酚氧化酶的作用下, 虾中的单酚类化

合物经过一系列的氧化转变,最终形成黑色聚合物,导致虾体黑变,严重影响虾的感官品质,降低虾的商品价值^[4]。目前,国内外对各种虾的保鲜有一些相关研究,如生物保鲜剂、超高压处理、冰温或气调保鲜等,虽然这些技术对抑制虾的腐败及黑变起到一定作用,但实际应用效果不佳。目前,红虾的消费供应仍然高度依赖冷冻保鲜,故寻找最适冻藏方式对红虾的商业化发展至关重要。

液氮是无色、无味、微溶于水且易流动的透明液体,化学性质稳定,是一种理想的载冷剂。早在 50 年代,美国开始研究液氮速冻技术在食品工业中应用,并于 1960 年将这项技术正式应用于速冻食品。该技术具有冻结速度快、耗时短、冻结食品品质好和无污染等优点,是一种绿色加工技术,同时享有“魔法冻结”的美誉^[5,6]。目前,液氮速冻技术已在国内逐步开始应用于水产品及其他食品的保鲜,然而其对红虾品质影响的研究尚未见报道。

本研究选取舟山新鲜红虾为原料,经过液氮喷淋冻结、-40℃平板冻结 2 种不同冻结方式处理后,贮藏在-18℃,以 Ca²⁺-ATPase 酶活、盐溶性蛋白、TBA 和 TVBN 值等为评价指标,观察这两种冻结方式对红虾肌肉蛋白质生化特性的变化规律的影响,同时结合电镜扫描图观察虾肉的微观组织变化。结果可为红虾物流保鲜加工提供重要理论技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

体表无损伤新鲜舟山红虾,购于浙江省舟山市水产码头,加冰 30 min 内运回实验室后立即进行低温处理。

1.2 主要的仪器设备

高速组织捣碎机(DS-1),上海标本;电子天平(BS223 S),北京赛多利斯;紫外分光光度计(UV-2550),日本岛津;电热恒温水浴锅(DKS-12),嘉兴市中新医疗;漩涡混合器(G2-38B),海门市其林贝尔仪器制造;液氮喷淋装置,浙江大学舟山海洋中心自备;平板速冻装置,浙江舟山兴业集团公司提供;-18℃冰箱(BC/BD-629HAN)青岛海尔;MODEL UB200i 显微镜,重庆奥普光电技术有限公司;石蜡切片(YD202A),浙江益迪医疗;生物组织摊片机(YD-A),浙江省益迪医疗;生物组织烤片机(YD-B),浙江益迪医疗。

1.3 实验方法

1.3.1 冻结方法

液氮速冻:样品冲洗沥水,入液氮喷淋装置,使虾中心温度达到-40℃。取出镀冰衣,分装封口。

平板速冻:样品冲洗沥水,入平板速冻装置至虾中心温度降到-20℃,取出镀冰衣,分装封口。

以上 2 种预冻处理的样品都放置在-18℃冷库中冻藏,定期进行实验指标测定。

1.3.2 红虾的前处理

将上述 1.3.1 中两种冻结方式处理的样品随机分成 3 组。一组红虾用流动水解冻 30 min 后,去壳,取腹部肌肉,绞碎后置于保鲜袋中,测定 TVB-N、TBA、Ca²⁺-ATPase 酶活、持水性和盐溶性蛋白等指标;另一组红虾解冻后,作为感官评定测定的样品;最后一组切成 3 mm×3 mm×6 mm 的薄片,作为扫描电镜的样品,用于分析红虾的微观组织结构。

1.3.3 硫代巴比妥酸值(TBA)测定

通过测定硫代巴比妥酸的方法^[7]测定红虾的 TBA 值。称量 10 g 研碎的虾肉,加入 50 mL、7.5%的三氯乙酸(含 0.1% EDTA)后振荡,双层滤纸过滤两次,取 5 mL 上清液加入 5 mL 0.02 mol/L TBA 溶液,水浴锅(90℃)中保存 40 min 后冷却 1 h,进行离心(1600 r/min×5 min),取上清液,加入 5 mL 氯仿静置分层,再取分层后的上清液,分别在 532 nm 和 600 nm 波长处测定并记录吸光值,按以下公式计算 TBA 值。

$$TBA(\text{mg}/100\text{g})=(A_{532}-A_{600})/155\times(1/10)\times 72.6\times 100$$

1.3.4 挥发性盐基氮(TVB-N)的测定

TVB-N 的测定参照 Chang 等人^[8]及 GB/T 5009.44-2003《肉与肉制品卫生标准的分析方法》中半微量定氮法测定。

1.3.5 肌原纤维的提取

参考丁玉庭等人^[9]的方法。取绞碎的虾肉约 2 g,放入研钵中边研边加入 20 mL 预冷的高离子盐溶液(0.1 mol/L KCl+0.01 mol/L Na₂CO₃+0.04 mol/L NaHCO₃),研磨 15 min。然后加入 10 倍冰水(虾肉质量)稀释,震荡均匀,离心(4000 r/min×10 min),倒去上层清液,取出沉淀物,重复上述操作三次,得到肌原纤维沉淀物,定容至 100 mL,所得的肌原纤维悬浊液供 Ca²⁺-ATPase 活性、蛋白质含量测定用。

1.3.6 Ca²⁺-ATPase 活性的测定

主要参考胡亚芹等人^[10]的方法。Ca²⁺-ATPase 活性计算公式如下:

$$\text{活性}=\text{A}-\text{B}/t\text{-酶蛋白质量}$$

式中: A, 1 mL 反应液生成的磷酸量(μmol); B, 空白值(μmol); t , 反应时间(min); 酶蛋白量, 1 mL 反应液所含的酶量(mg)。

1.3.7 感官评价

在贮藏期间, 选取 5 位经过专业培训的人员组成评定小组, 对虾品质进行评分 (标准见下表)。每克红虾加 5 mL 的水, 不加任何调味料, 沸水煮熟 10 min。不同冻结方式处理的红虾按照滋味、气味、外观与组

织弹性进行感官品质评定, 采用加权平均法。由于外观及气味对红虾感官评价影响更明显易见, 故将气味系数和外观系数定为 0.3, 而滋味系数和组织弹性系数定为 0.2。

其中满分为 10 分, 8~10 分为一级鲜度, 5~7 分为二级鲜度, 5 分以下则表明样品不再适合食用。最后, 以分数的平均值为综合感官评定结果。红虾感官评价如表 1 所示。

表 1 红虾感官评定表

Table 1 Sensory evaluation of red shrimp

指标	一级鲜度 (8~10 分)	二级鲜度 (5~7 分)	不宜食用 (5 分以下)
滋味	鲜味浓	鲜味较浓	鲜味不明显
气味	香味浓	香味较浓	香味不明显
外观	虾壳呈鲜艳的红色	壳关节尾部轻微黑斑	体表出现大面积黑斑
弹性	富有弹性	弹性较好	弹性稍差

1.3.8 持水率测定^[11]

取 2 g 左右的样品, 捣碎, 放入装有定量滤纸 5 mL 的离心试管中, 事先称好滤纸和离心管的重量并做好记录, 5000 r/min 离心 10 min; 离心后记录滤纸的重量, 持水率的计算公式如下:

$$\text{持水率}(\%) = \frac{(\text{样品重} \times \text{样品水分含量} - \text{滤纸增加水分含量})}{\text{样品重} \times \text{样品水分含量}} \times 100$$

1.3.9 盐溶性蛋白含量的测定

参考李里特^[12]等人的方法。取两份虾肉, 每份 2 g, 分别加入高离子磷酸缓冲溶液和低离子磷酸缓冲液后, 进行搅拌、震荡、静置和离心等步骤后, 取两者的上清液, 加入 15% 三氯乙酸使蛋白质沉淀, 静置后加再入 NaOH 溶解蛋白质。再分别以高、低磷酸盐缓冲液定容到 50 mL, 最后用双缩脲试剂测定蛋白质含量。盐溶性蛋白含量为高盐溶液中蛋白质含量减去低盐溶液中蛋白质含量。

1.3.10 扫描电镜的样品处理

参照纪蓉等人^[13]的方法。

1.4 数据处理

测定及分析结果采用 Excel 和 Origin 8.5 软件进行处理, 不同处理间的比较采用 t 检验法, 显著性 $p < 0.05$ 。

2 结果与讨论

2.1 不同冻结方式对红虾硫代巴比妥酸 (TBA) 的影响

TBA 值是判断脂肪氧化的重要指标, 其值反映脂质氧化期间形成的丙二醛 (MDA) 的水平, 与水产品

的腐败程度紧密相关^[14,15]。一般而言, TBA 越大, 产品氧化程度就越高。脂肪氧化和水解过程中生成一些酚类和酮类物质, 产生不愉快的气味, 是引起红虾品质劣变的重要原因之一。

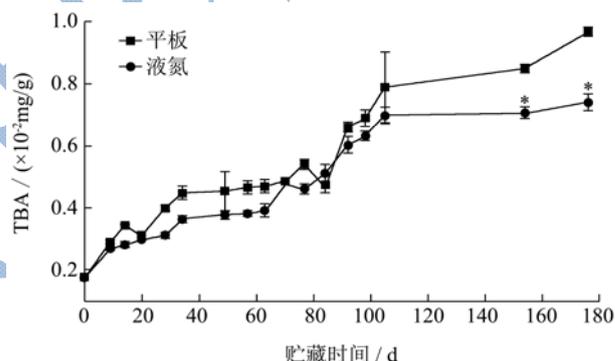


图 1 不同冻结方式红虾 TBA 的变化

Fig.1 The changes of TBA value in red shrimp by different frozen methods

通常, 当 TBA 值 ≥ 0.50 mg/kg 时, 人们就能感受到氧化异味; 而当 TBA 值超出 2.00 mg/kg 时, 表明肌肉严重变质, 不能再食用^[16,17]。如图 1 所示, 经过不同冻结方式处理的红虾, 随着贮藏时间的延长, 其 TBA 值均呈现明显的上升趋势。贮藏 63 d 时, 液氮冻结、平板冻结 TBA 分别从最初的 0.18 mg/100 g 增加到 0.39 mg/100 g、0.47 mg/100 g, 到最后贮藏 176 d 时增加至 0.74 mg/100 g 和 0.97 mg/100 g。整个储存期间, 液氮速冻红虾的 TBA 值始终最小, 表明液氮冻结能更有效抑制红虾的脂肪氧化。这可能是由于冻结过程中冰晶体形成所致, 冻结速率不同导致晶体大小有所差异, 相应对虾肉细胞造成的机械损伤程度也不同。与平板冻结相比, 液氮冻结对虾肉的机械损伤较小, 暴露在空气中的损伤面积小, 故对应的 TBA 值

也小,有效减少脂肪氧化。

2.2 不同冻结方式对红虾挥发性盐基氮

(TVB-N) 的影响

挥发性盐基氮(TVB-N)反映由内源性蛋白水解酶和细菌作用降解蛋白质和非蛋白质产生的具有挥发性的胺类物质^[18],是评价水产品新鲜度的重要指标,也是评价水产品鲜度的最常用、最有效方法。根据中华人民共和国《鲜冻动物性水产品卫生标准》GB 10136-2015 规定: TVB-N(mg/100 g)≤30.00 mg/100 g 均为合格品。

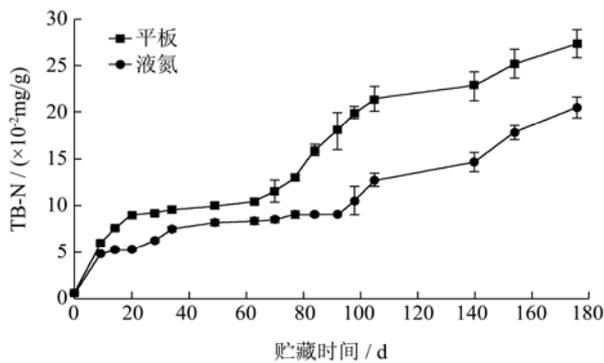


图2 不同冻结方式对红虾 TVB-N 的变化

Fig.2 The changes of TVB-N value in red shrimp by different frozen methods

由图2可知新鲜红虾的 TVB-N 值为 0.55 mg/100 g。随着时间的延长,二种冻结方式下,红虾的 TVB-N 值均呈上升趋势,且平板冻结方式上升的速率明显高于液氮冻结。液氮冻结、平板冻结在前 34 d 分别增加 6.88 mg/100 g 和 9.03 mg/100 g,在后期至 154 d 时达到 17.80、25.20 mg/100 g,此时红虾仍为合格品,但液氮冻结组有相对较好的鲜度。

由图2还可以看出,随着贮藏时间的延长,两种方式的 TVB-N 值的增长速率均上升。这可能是由于前期磷酸一腺苷 (AMP) 和脱氨作用释放出氨态氮,使 TVB-N 值增加,但是在这个过程中,二甲胺 (TMA) 和三甲胺 (DMA) 产生的量不大,故 TVB-N 值上升较为缓慢。而在后期,除前期作用外,由于微生物活动加强,脱氨反应加剧,导致 TVB-N 值增长迅速^[19,20]。

2.3 不同冻结方式对红虾 Ca²⁺-ATPase 的影响

Ca²⁺-ATPase 酶主要来源在红虾的肌球蛋白头部,因完整的肌球蛋白产生任何微结构变化,必然会导致 Ca²⁺-ATPase 活性的降低。现已广泛用于评价肌球蛋白完整性^[21]。其活性数值大小与其品质成正性相关,即活性越高,品质越好。

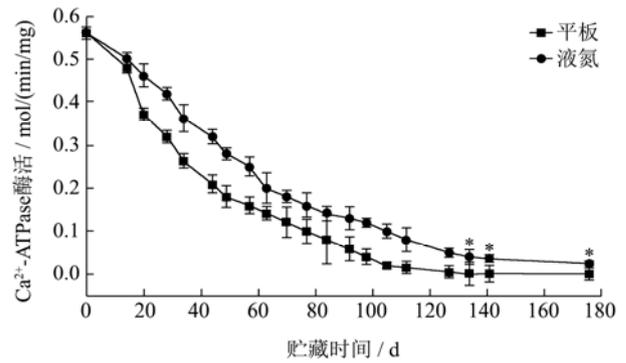


图3 不同冻结方式红虾 Ca²⁺-ATPase 活性的变化

Fig.3 The changes of Ca²⁺-ATPase enzyme activity in red shrimp by different frozen methods

由图3看出, Ca²⁺-ATPase 活性呈现不断下降趋势。两组红虾的 Ca²⁺-ATPase 活性均在前期急剧下降,后期缓慢下降。且对应的活性分别从第 0 d 0.56 μmol/(min·mg) 急剧下降到第 63 d 时的 0.20 μmol/(min·mg)、0.14 μmol/(min·mg)。至 176 d 时,其活性接近于零,这可能是由于肌球蛋白的球状头部的构象发生变化以及蛋白质的凝聚造成的;此外,Reza 等^[22]研究发现蛋白质通过蛋白质-蛋白质相互作用的重排也会导致 Ca²⁺-ATP 酶活性降低。液氮冻结组的 Ca²⁺-ATPase 活性下降速度比平板组慢,说明液氮冻结过程中,虾肉中形成的冰晶小,对肌肉组织破坏小且冻结过程中析出的 Ca²⁺少,使 Ca²⁺-ATP 酶的活性得到保持,从而维持肌动球蛋白的完整性,有效减缓红虾的蛋白变性^[23]。

2.4 不同冻结方式对红虾持水性的影响

肉及肉制品的持水性与其外观、质构和贮藏稳定性密切相关,是评价其品质的重要参数之一。冻结过程中,虾肉体内的水分逐渐减少,转化成冰晶。由于冰晶体膨胀作用,严重破坏虾肉组织结构,进而促使蛋白质变性。

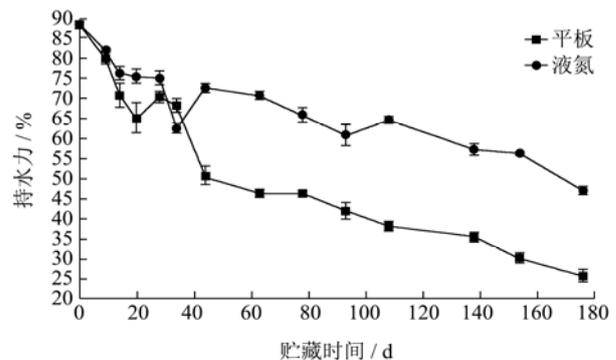


图4 不同冻结方式对红虾持水性的变化

Fig.4 The changes of water holding capacity in red shrimp by different frozen methods

由图 4 可知,随着冻藏时间的延长,红虾肌肉持水性总体降低且液氮处理组的持水性较高于平板处理组。Boonsumrej^[24]认为冻结过程中,水产品持水性下降主要有两个方面的原因:一是由于在此过程中,肌肉组织遭到机械破坏,破坏细胞膜或扩大细胞间隙,导致细胞内液和外液的流出,持水性下降;二是由于蛋白质结构发生变化,使蛋白质分子不能重新与融化的冰晶结合。但在贮藏中途两组红虾的持水性均有小幅度的增加,这可能是由于蛋白质发生冷冻变性,使亲水性氨基酸暴露于蛋白质的外部,导致红虾持水性增加^[25]。

2.5 不同冻结方式对红虾感官评价的影响

感官评价是对红虾品质变化的一个综合性评估,反映消费者对红虾的接受程度。图 5 是对打分结果的统计。

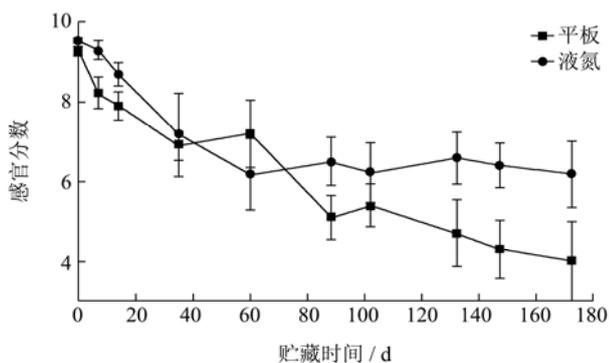


图 5 不同冻结方法对红虾感官品质的变化

Fig.5 The changes of sensory quality in red shrimp by different frozen methods

由图 5 可知,随着时间的延长,红虾感官综合评分总体呈现下降的趋势,但在前 14 d 的评分略有下降,而在此后下降幅度增大。这可能是由于贮藏时间的延长,蛋白质开始发生变性,且其自身内源酶(组织蛋白酶和丝氨酸蛋白酶等)的相互作用以及微生物的大量繁殖、活动等,导致红虾虾体变软、色泽变差,甚至出现黑斑,感官品质逐渐降低,得分下降。此外,液氮冻结、平板冻结的红虾综合评分,从初期的 9.54 和 9.32 分别下降到第 172 d 的 6.20 和 4.02,说明液氮冻结组在贮藏 172 d 后的感官品质仍然相对较好,可以食用。总体来说,液氮冻结的红虾品质优于平板冻结。

2.6 不同冻结方式对红虾盐溶性蛋白含量的影响

肌原纤维蛋白因其可以用高浓度的盐溶液提取,

故也称之为盐溶性蛋白。盐溶性蛋白占肌肉总蛋白含量的 60~75%,是构成有担负特殊收缩功能的肌原纤维蛋白的主要成分。因肌原纤维主要由肌动球蛋白构成,而盐溶性含量可以体现肌动球蛋白性质的变化,故其含量可以反映肌原纤维的变性程度^[26]。蛋白质的变性导致盐溶性蛋白含量的降低。

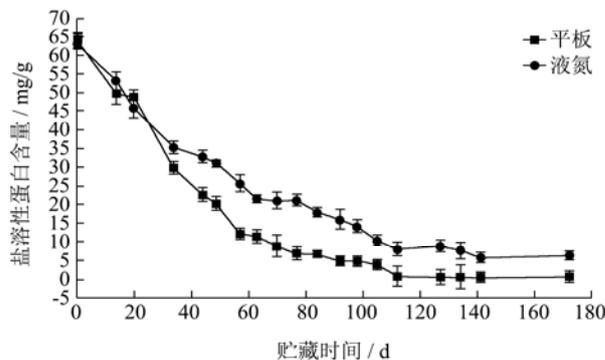


图 6 不同冻结方式对红虾盐溶性蛋白含量的变化

Fig.6 The changes of salt soluble protein content in red shrimp by different frozen methods

红虾经过不同冻结处理后冻藏,其盐溶性蛋白含量的变化如图 6 所示。随着贮藏时间的延长,盐溶性蛋白含量呈下降趋势。这可能是由于巯基氧化形成的二硫键导致盐溶性蛋白含量下降;冰晶破坏肌原纤维结构,盐溶性蛋白含量在解冻后流失;蛋白变性后转变为碱性蛋白等^[27,28]。

由图 6 可知,在前 34 d 贮藏过程中,两种冷冻方式下的盐溶性蛋白含量变化相近。平板冻结处理的红虾在冻藏过程中盐溶性蛋白含量一直呈快速下降趋势,尤其是在前 34 d 的冻藏期内,其含量迅速从第 0 d 的 64.22 mg/g 下降到第 34 d 的 29.59 mg/g;液氮冻结处理的红虾盐溶性蛋白含量从第 0 d 的 63.09 mg/g 下降至第 34 d 的 35.22 mg/g。液氮组在贮藏第 172 d 的盐溶性蛋白含量仍高于平板组。由此可说明液氮冻结能在一定程度上抑制蛋白的变性,防止盐溶性蛋白的降低。

2.7 不同冻结方式对红虾肌肉组织结构的影响

图 7 是不同冻结方式下,红虾肉的微观扫描电镜图。从图中可知,第 0 d 时,液氮冻结的虾肉肌纤维排列整齐,且纤维之间没有明显可见的间隙;而平板对照组中,纤维排列之间有细微可见的间隙。

在第 60 d 时,液氮虾肉纤维结构仍较平整光滑,而平板冻结虾肉切面的肌肉表面粗糙,纤维之间有明、较大间隙,甚至纤维结构有明显断裂现象。断裂

现象可能是由于胞内冰晶破坏纤维所致。Bremner 等人^[29]认为由于肌原纤维和内部结缔组织在冻藏过程中发生降解,迫使肌原纤维与肌节分离所致,其间隙变大。

液氮冻结虾的微观结构较平板冻结更整齐、致密。这也从微观上解释液氮冻结虾的品质好于平板冻结的原因,即液氮处理条件下,形成的冰晶体细小,对肌肉细胞组织的损伤小。

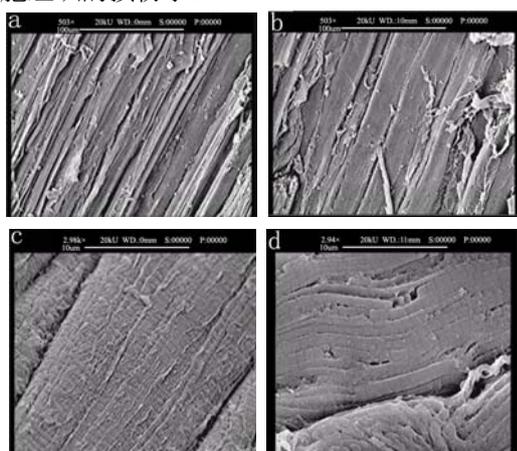


图7 不同冻结方式对红虾肌肉纤维结构切片

Fig.7 Muscle fiber structure slices of red shrimp by different frozen methods

3 结论

经液氮冻结处理的红虾品质优于平板冻结。液氮冻结红虾的 TVB-N 和 TBA 值随时间增加速度较为缓慢,在贮藏 78 d 后,TVB-N \leq 13.00 mg/100 g, TBA 仅为 0.24 mg/100 g,样品还处于一级鲜度,说明液氮冻结能延缓 TVB-N 和 TBA 值的上升。同时液氮处理红虾的 Ca²⁺-ATPase 活性、持水性、盐溶性蛋白含量、感官品质评价下降的速率均小于平板冻结,说明液氮能较为有效抑制蛋白质冷冻变性,维持红虾鲜度。电镜扫描图从微观上说明液氮处理得到红虾的肌原纤维结构更整齐、有序;微观结果验证宏观结果的准确性。综上可以得出液氮冻结的红虾品质较平板冻结更具优势。本研究结果为红虾在冷冻保藏过程中的品质保证提供切实可行的方案。

参考文献

[1] 陶姝颖,明建.虾青素的功能特性及其在功能食品中的应用研究进展[J].食品工业,2012,8:110-115
TAO Shu-ying, MING Jian. Research advance on the functional characteristics of astaxanthin and its application in functional food [J]. The Food Industry, 2012, 8: 110-115

[2] 袁鹏翔,霍健聪,邓尚贵,等.GC-MS 探究不同蒸煮时间对红

虾的营养和风味的影响[J].食品工业,2015,6:215-219

YUAN Peng-xiang, HUO Jian-cong, DENG Shang-gui, et al. Effect of GC-MS on different steaming time on nutrition and flavor of red shrimp [J]. The Food Industry, 2015, 6: 215-219

[3] Hsu W H, Lai Y J, Wu S C. Effects of the anti-microbial peptide pardaxin plus sodium erythorbate dissolved in different gels on the quality of Pacific white shrimp under refrigerated storage [J]. Food Control, 2017, 73: 712-719

[4] 钱韻芳,谢晶,吴文惠.虾类保藏过程中酚氧化酶促黑变作用机理及其抑制方法的研究进展[J].食品工业科技,2012,33(22):400-405

QIAN Yun-fang, XIE Jing, WU Wen-hui. Research progress in melanosis mechanism of shrimp products induced by phenoloxiade and the use of anti-melanosis techniques during preservation [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(22): 400-405

[5] 余保宁.液氮冻结应用于冰淇淋工业化生产[J].现代食品科技,2011,27(1):96-100

YU Bao-ning. Industrial application of liquid nitrogen freezing technology in production of ice cream [J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(1): 96-100

[6] 余世锋.液氮速冻技术在食品中应用的研究进展[J].食品工业,2013,1:150-153

YU Shi-feng. Research progress of the application of liquid nitrogen quick freezing technology in foods [J]. The Food Industry, 2013, 1: 150-153

[7] 王小军,袁文鹏,孟秀梅,等.板鸭贮藏过程中微生物及理化性质变化研究[J].食品工业科技,2008,10:240-243

WANG Xiao-jun, YUAN Wen-peng, MENG Xiu-mei, et al. Study on the changes of microorganism, physical and Chemical properties of salted duck during storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2008, 10: 240-243

[8] Chang H C and Wong R X. Textural and biochemical properties of cobia (*Rachycentron canadum*) sashimi tenderised with the ultrasonic water bath [J]. Food Chemistry, 2012, 132(3): 1340-1345

[9] 丁玉庭,何晋浙,朱旭东,等.黑豚肌肉的蛋白质组成及肌原纤维蛋白质的冷藏稳定性研究[J].食品科学,1999,20(10):12-16

DING Yu-ting, HE Jin-zhe, ZHU Xu-dong, et al. Study on the protein composition and the stability of myofibrillar protein during the cold storage of black dolphins [J]. Food Science, 1999, 20(10): 12-16

[10] 胡亚芹,胡庆兰,杨水兵,等.不同冻结方式对带鱼品质影响的研究[J].现代食品科技,2014,2:23-30

- HU Ya-qin, HU Qing-lan, YANG Shui-bing, et al. Effects of different freezing methods on the quality of *Trichiurus haumela* [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 2: 23-30
- [11] 刘美华. 大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)微冻保鲜的研究[D]. 福州:福建农林大学,2004
- LIU Mei-hua. Studies on large yellow croaker in partial freezing [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2004
- [12] 李里特,罗永康. 水产食品安全标准化生产[M].北京:中国农业大学出版社,2006
- LI Li-te, LUO Yong-kang. Standardized production of aquatic food safety [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2006.
- [13] 纪蓉,江海,胡亚芹,等. γ -聚谷氨酸对带鱼鱼糜凝胶特性的影响[J].中国食品学报,2012,12(4):90-99
- JI Rong, JIANG Hai, HU Ya-qin, et al. Effects of γ -polyglutamic acid on the gellation properties of hairtail (*Trichiurus haumela*) surimi [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2012, 12(4): 90-99
- [14] Cai L, Wu X, Dong Z, et al. Physicochemical responses and quality changes of red sea bream (*Pagrosomus major*) to gum arabic coating enriched with ergothioneine treatment during refrigerated storage [J]. Food Chemistry, 2014, 160(11): 82-89
- [15] Khazaei N, Esmaili M, Emam-Djomeh Z. Effect of active edible coatings made by basil seed gum and thymol on oil uptake and oxidation in shrimp during deep-fat frying [J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 137: 249-254
- [16] 霍晓娜,李兴民,刘毅,等.猪腿肉脂肪酸组成及脂肪氧化的研究[J].食品科学,2006,27(1):101-104
- HUO Xiao-na, LI Xing-min, LIU Yi, et al. Study on relationship between fatty acids composition and oxidative stability of chilled pork [J]. Food Science, 2006, 27(1): 101-104
- [17] 王文娟,汪水平,李代金,等.不同贮藏温度齐口裂腹鱼肌肉品质的变化及货架期预测[J].食品科学,2014,35(14): 229-233
- WANG Wen-juan, WANG Shui-ping, LI Dai-jin, et al. Quality changes and shelf life prediction of *Scizothorax prenanti* muscle at different storage temperatures [J]. Food Science, 2014, 35(14): 229-233
- [18] 赵立,陈军,郭振,等.冷冻处理的熟制虾肉在保鲜条件下的货架期[J].食品科技,2012,4:128-133
- ZHAO Li, CHEN Jun, GUO Zhen, et al. Shelf life of cooked crayfish meat treated with freezing under keeping-fresh storage [J]. Food Science, 2012, 4: 128-133
- [19] Sakaguchi M, Kawai A, Murata M. Changes in free amino acid contents in juvenile mackerel *Scomber japonicus* muscle during ice storage [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1984, 50(2): 323-329
- [20] Murata M, Sakaguchi M. Changes in contents of free amino acids, trimethylamine, and nonprotein nitrogen of oyster during ice storage [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1986, 52(11): 1975-1980
- [21] 刘会省,迟海,杨宪时,等.冻结方式对南极磷虾品质的影响[J].现代食品科技,2013,7:1601-1605
- LIU Hui-sheng, CHI Hai, YANG Xian-shi, et al. Effects of freezing methods on the quality of antarctic krill (*Euphausia Superba*) [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 7: 1601-1605
- [22] Reza M S, Bapary M A J, Ahasan C T, et al. Shelf life of several marine fish species of Bangladesh during ice storage [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2009, 44(8): 1485-1494
- [23] 林婉玲,杨贤庆,侯彩玲,等.浸渍冻结对凡纳滨对虾冻藏过程中品质的影响[J].食品科学,2014,35(10):223-229
- LIN Wan-ling, YANG Xian-qing, HOU Cai-ling, et al. Effect of immersion chilling and freezing on quality of *Litopenaeus vannamei* during frozen storage [J]. Food Science, 2014, 35(10): 223-229
- [24] Boonsumrej S, Chaiwanichsiri S, Tantratian S, et al. Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(1): 292-299
- [25] García-Sifuentes C O, Pacheco-Aguilar R, Scheuren-Acevedo S M, et al. Effect of ante-mortem hypoxia on the physicochemical and functional properties of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) muscle stored on ice [J]. Food Science and Technology International, 2013, 19(3): 261-269
- [26] 胡玥,杨水兵,余海霞,等.微冻保鲜方法对带鱼品质及组织结构的影响[J].食品科学,2016,37(18):290-297
- HU Yue, YANG Shui-bing, YU Hai-xia, et al. Effect of superchilling on the quality and muscle tissue structure of *Trichiurus haumela* [J]. Food Science, 2016, 37(18): 290-297
- [27] Somjit K, Ruttanapornwareesakul Y, Hara K, et al. The cryoprotectant effect of shrimp chitin and shrimp chitin hydrolysate on denaturation and unfrozen water of lizardfish surimi during frozen storage [J]. Food Research International,

2005, 38(4): 345-355

- [28] 杨金生,林琳,夏松养,等.超低温冻藏对金枪鱼肉质构及生化特性机理研究[J].海洋与湖沼,2015,46(4):828-832

YANG Jin-sheng, LIN Lin, XIA Song-yang, et al. Mechanism study of texture and biochemical characteristics of tuna during ultralow temperature storage [J]. Oceanologia

et Limnologia Sinica, 2015, 46(4): 828-832

- [29] Bremner H A, Hallett I C. Muscle fiber-connective tissue junctions in the fish blue grenadier (*Macrurus novaezelandiae*). A scanning electron microscope study [J]. Journal of Food Science, 1985, 50(4): 975-980

现代食品科技