

不同冻结方法对大黄鱼冻藏期间品质的影响

唐佳楣¹, 廖媛媛¹, 汤海青², 欧昌荣^{1*}

(1. 宁波大学 食品与药学学院, 浙江 宁波 315832; 2. 浙江医药高等专科学校 食品学院, 浙江 宁波 315100)

摘要: 为研究冻结速率对大黄鱼冻藏期间品质的影响, 采用冰箱慢速冻结、酒精浸渍速冻、液氮浸渍速冻方法处理新鲜大黄鱼, 以 pH 值、汁液损失率、TVB-N 值、盐溶性蛋白提取率、质构等指标研究鱼肉冻藏过程中的理化特性变化, 并通过扫描电镜研究其组织微结构的变化。结果显示, 随着冻藏时间的延长, 慢冻组和酒精速冻组样品 pH 值先下降后上升, 液氮速冻组样品的 pH 值趋于平缓; 3 组样品 TVB-N 值均逐渐上升, 但液氮速冻组的 TVB-N 值较小, 且上升速率最缓慢, 冻藏 210 d 时, 慢冻组、酒精速冻组、液氮速冻组的 TVB-N 值分别达到 27.79, 25.024, 21.57 mg·dg⁻¹; 盐溶性蛋白提取率和硬度、弹性、胶黏性、凝聚性、回复性降低, 液氮速冻组的值下降程度较小; 扫描电镜观察发现贮藏过程中大黄鱼的肌肉纤维损伤程度逐渐增大, 而液氮浸渍速冻对大黄鱼肌肉纤维的损伤最小。与慢速冻结样品相比, 虽然速冻组样品(液氮速冻组、酒精速冻组)有较大的汁液损失率, 但其更有利于延缓大黄鱼蛋白质变性和降解, 保持样品质构特性, 且液氮浸渍速冻优于酒精浸渍速冻。本研究可为进一步改进水产品的速冻技术提供参考依据。

关键词: 大黄鱼; 冻结速率; 液氮浸渍速冻; 理化特性; 组织微结构

中图分类号: S983

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2019) 06-0035-08

大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)属石首鱼科、黄鱼属, 俗称黄瓜鱼、黄花鱼、黄鱼, 其肉质细腻、味道鲜美, 富含蛋白质、脂肪、微量元素及无机盐等^[1], 在我国渔业经济中占据重要地位^[2]。随着国内需求量及出口量的增加, 大黄鱼养殖技术不断突破, 2016 年统计数据表明, 大黄鱼年产量已达 16.55 万吨, 已成为目前我国规模最大的海水养殖鱼类之一^[3]。

目前大黄鱼主要以冰鲜和冷冻品销售为主^[4]。冰藏保鲜使用范围虽广, 但其产品货架期短, 只适于短期保藏, 无法满足市场需求。冻藏保鲜是目前使用较广泛的一种水产品保鲜方法, 它不仅可延长水产品货架期, 而且能够有效抑制微生物和内源酶的作用, 最大程度地保持食品的风味和营养价值^[5-7]。研究表明, 冻结速率是影响冻品品质的主要因素^[8]。一般认为冻结速度越快, 产品通过

最大冰晶生成带的时间越短, 冰晶对肌肉组织的破坏程度越低, 可以在长期贮藏过程中较好地保持样品的品质, 样品解冻后与新鲜状态越接近^[9-10]。彭欢欢等^[11]在研究冻结速率对河蟹品质影响时发现, 冻结速率较快时样品品质较好。但超低温速冻也会致使部分产品肌肉出现撕裂, 同时在细胞内外形成大块冰晶体, 从而使得贮藏期间或解冻后产品品质发生劣变。Boonsumrej 等^[12]在研究冻结速率对斑节对虾的影响时发现, 冻结速率过快时, 汁液流失率较大。可见不同冻结速率对贮藏后期大黄鱼品质的变化可能产生不一致的结果, 值得进一步研究。

本实验旨在通过研究不同冻结速率处理的大黄鱼冻藏期间品质变化, 探索冻藏过程中保持大黄鱼品质的最佳冻结技术, 以期为其他类似水产品的速冻贮藏提供理论参考。

收稿日期: 2018-12-14。

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(31501519); 浙江省公益研究项目(GN18C200033); 宁波市科技局农业重大择优委托项目(2012C10024); 宁波市科技局富民项目(2017C10029); 鄞县富民强县专项(20170013)。

第一作者: 唐佳楣(1993-), 女, 浙江宁波人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 水产品贮藏与保鲜。E-mail: tangjiamei0621@163.com

*通信作者: 欧昌荣(1974-), 男, 湖北天门人, 教授, 主要研究方向: 水产品加工贮藏。E-mail: ouchangrong@nbu.edu.cn

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

同批次的养殖鲜活大黄鱼 72 尾, 尾重(750±50) g, 均购自宁波市水产批发市场, 充氧后 30 min 内运至实验室, 冰击致死, 去内脏, 用流动水清洗表面杂质, 整条冻结。后续实验中, 在设定时间点取鱼体背部肌肉进行相关指标测定。每个取样点各取 3 尾进行实验。牛血清蛋白购自美国 Sigma 公司; 无水乙醇、磷酸二氢钠等均为分析纯。

1.2 仪器与设备

DC8015 低温恒温槽, 上海方瑞仪器有限公司; YNY-10-50 液氮生物容器, 四川西亚机理厂; TA-XT plus 质构仪, 英国 Stable Micro System 公司; Cary 100 紫外/可见分光光度计, 美国瓦里安中国有限公司; TM3000 台式扫描电子显微镜, 株式会社日立制作所。

1.3 试验方法

1.3.1 冻结方法

将大黄鱼随机分成 3 组并分别处理。慢速冻结(普通慢冻组): 样品蒸煮袋真空包装, 置于(-40±2) °C 冰箱中冻结 10 h; 酒精浸渍速冻(酒精速冻组): 样品用蒸煮袋真空包装, 置于超低温酒精为冷冻介质的低温恒温槽((-70±2) °C)中, 快速冻结 11.58 min; 液氮浸渍速冻(液氮速冻组): 将样品蒸煮袋真空包装浸没于盛有液氮的容器中, 速冻 1.25 min; 均使其样品中心温度降至 -40 °C, 将样品取出, 放置于 -20 °C 冰箱中。分别于 0, 15, 30, 45, 75, 105, 150, 210 d 取出, 并于 4 °C 冰箱中解冻 6 h 后进行各项指标的测定^[13]。每组设置 3 个平行样品。

1.3.2 pH 的测定

按 GB/T5009.237-2016《食品 pH 值的测定》中的方法进行测定^[14]。

1.3.3 汁液损失率的测定

参考 Feng 等^[15]的方法。准确称取 2 g 鱼肉置于带滤纸筒的离心管内, 离心(1 000 r·min⁻¹, 4 °C, 10 min)后称重。汁液损失率=(离心前质量-离心后质量)/离心前质量×100%。

1.3.4 TVB-N 的测定

按 GB/T5009.228-2016《食品中挥发性盐基氮的测定》中的半微量定氮法进行测定^[16]。

1.3.5 盐溶性蛋白的提取及含量测定

参考 Benjakul 等^[17]方法并稍作修改。称取鱼肉样品 2.00 g, 加入 20 mL 预先冷却 KCl 溶液(0.6 mol·L⁻¹, pH 7.0), 均质 4 min, 离心(12 000 r·min⁻¹, 4 °C, 30 min), 收集上清液, 并加入 2 倍体积的冷却蒸馏水漂洗, 离心, 收集沉淀, 加入等体积冷却的 KCl 溶液(1.2 mol·L⁻¹, pH 7.0), 静置 30 min, 离心(9 000 r·min⁻¹, 4 °C, 30 min), 收集上清液, 即为盐溶性蛋白。用双缩脲法测定蛋白浓度。盐溶性蛋白提取率为单位质量样品含有的盐溶性蛋白与单位质量样品的比值。

1.3.6 质构的测定

参考 Tolasa 等^[18]的方法并略作修改。取 2 cm×2 cm×2 cm 的鱼块, 吸除表面水分后, 采用 TPA 模式进行测定。

1.3.7 组织微结构的观察

参考 Wang 等^[10]的方法。将解冻后的样品切成 1 mm³左右的小块, 放入 2.5%的戊二醛溶液中于 4 °C 下固定。经漂洗、洗脱、干燥、粘样和镀膜, 于 TM3000 型日立扫描电子显微镜观察。

1.4 数据统计分析

采用 SAS 8.0 中 one-way ANOVA 的 Duncan's Multiple Range Test 模型进行统计学分析, 差异显著性水平 $P<0.05$, 使用 Origin Pro 8.5 作图。

2 结果与分析

2.1 冻藏过程中 pH 的变化

不同冻结速率处理的大黄鱼在冻藏过程中其鱼肉 pH 值的变化如图 1 所示, 慢冻组和酒精速冻组样品的 pH 值均先降后升, 液氮速冻组的 pH 值则一直下降。本实验冻藏 105 d 期间, 样品 pH 值呈

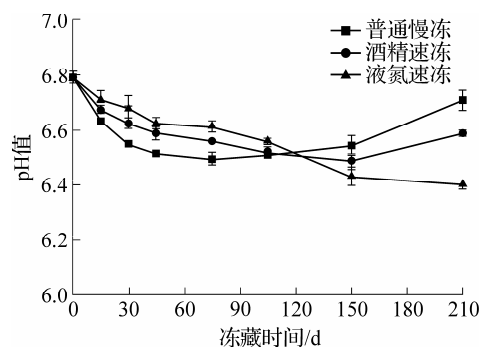


图 1 冻结速率对冻藏期间大黄鱼 pH 值的影响

下降趋势, 而液氮速冻组样品的 pH 值与慢冻组和酒精速冻组样品相比较高。随着冻藏时间的延长, 慢冻组和酒精速冻组、液氮速冻组样品 pH 值分别在冻藏 75, 105, 150 d 开始上升, 液氮速冻组样品的 pH 值在冻藏 150 d 后趋于平缓, 说明液氮速冻能够抑制样品 pH 值的上升。

2.2 冻藏过程中汁液损失率的变化

不同冻结速率处理的大黄鱼在冻藏过程中其汁液损失率的变化如图 2 所示。经过不同冻结方式处理后, 由图可见, 样品汁液损失率随冻藏时间的延长逐渐升高。液氮速冻组样品的汁液损失率相对较高, 酒精速冻组次之, 慢冻组样品的汁液损失率最低。

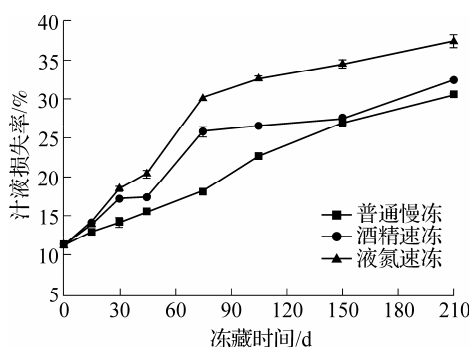


图2 冻结速率的对冻藏期间大黄鱼汁液损失的影响

2.3 冻藏过程中 TVB-N 的变化

不同冻结速率处理的大黄鱼在冻藏过程中其 TVB-N 变化如图 3 所示。由图可见, 大黄鱼初始的 TVB-N 值为 $8.55 \text{ mg} \cdot \text{dg}^{-1}$, 随着冻藏时间的延长, TVB-N 值均逐渐升高, 冻藏 210 d 时, 慢冻组、酒精速冻组、液氮速冻组的 TVB-N 值分别为 27.79, 25.02, $21.57 \text{ mg} \cdot \text{dg}^{-1}$ 。而贮藏过程中, 液氮速冻组样品 TVB-N 值均较低, 酒精速冻组次之, 慢冻组样品 TVB-N 值较高, 说明液氮速冻处理能抑制样品

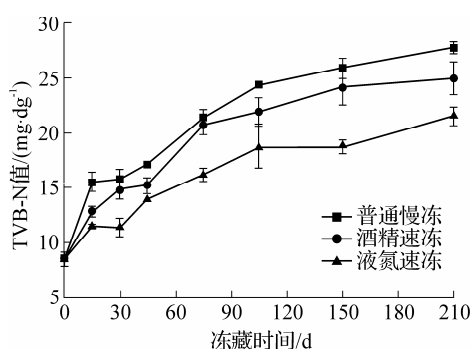


图3 不同冻结速率的大黄鱼 TVB-N 值的变化

TVB-N 的增加。

2.4 冻藏过程中盐溶性蛋白提取率的变化

不同冻结速率处理的大黄鱼在冻藏过程中, 其鱼肉盐溶性蛋白提取率的变化如图 4 所示。由图可见, 盐溶性蛋白提取率前期降低速度较快, 随后呈缓慢下降趋势。这可能是因为肌肉在冻结过程中, 由于肌肉中部分结合水形成冰晶析出, 蛋白分子间通过非共价键形成超大分子的凝集, 导致肌原纤维蛋白发生变性, 表现为盐溶性蛋白的提取率下降^[19]。但液氮速冻处理的样品盐溶性蛋白提取率下降速率较缓慢, 可能是由于速冻过程中细胞内形成的冰晶细小, 冻藏过程中蛋白质分子聚集、变性的程度相对较低^[20]。

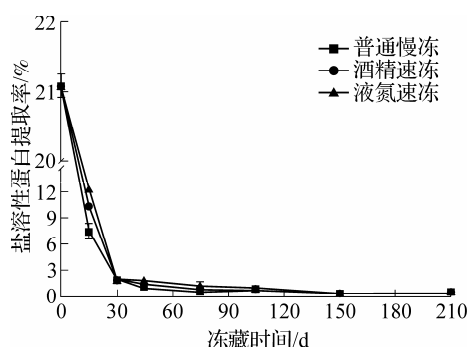


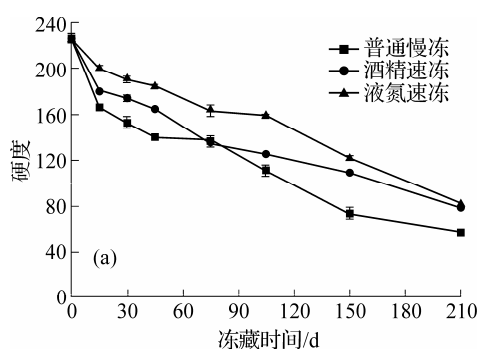
图4 不同冻结速率的大黄鱼盐溶性蛋白提取率的变化

2.5 冻藏过程中质构的变化

不同冻结速率处理的大黄鱼在冻藏过程中鱼肉质构的变化如图 5 所示。由图 5(a)~(e)可见, 随着冻藏时间延长, 不同处理组样品的硬度、弹性、胶黏性、凝聚性和回复性整体均呈下降趋势。3 种冻结速率处理的样品中, 液氮速冻组样品的质构特性较好, 酒精速冻组次之, 慢冻组样品质构特性较差。

2.6 冻藏过程中肌肉组织微结构的变化

不同冻结速率处理的大黄鱼在冻藏过程中其



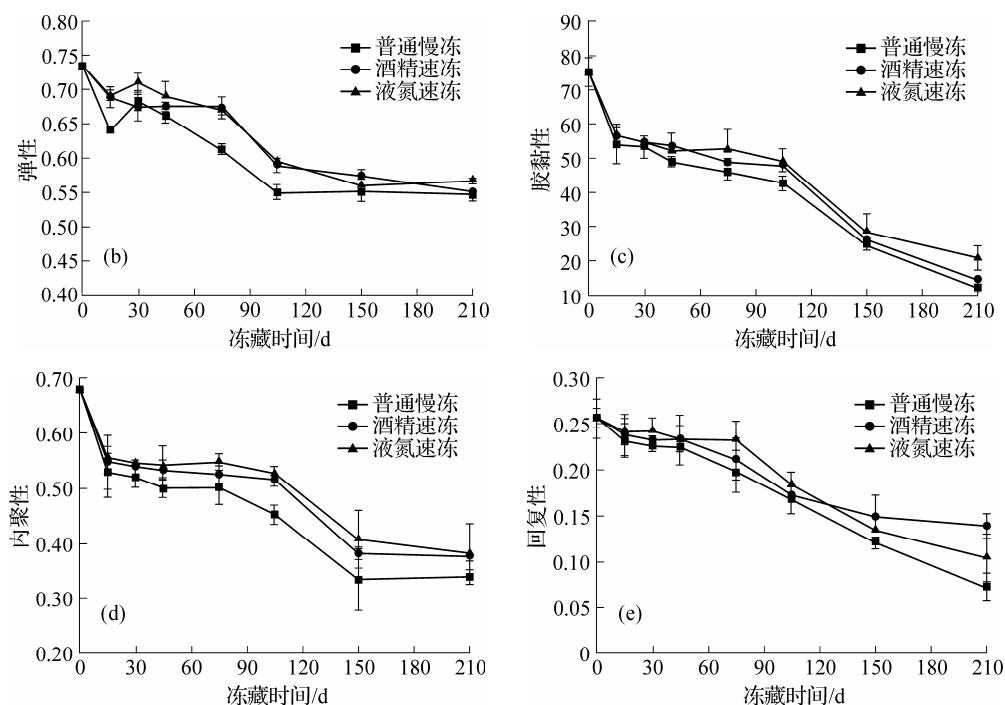


图5 不同冻结速率的对大黄鱼质构的影响

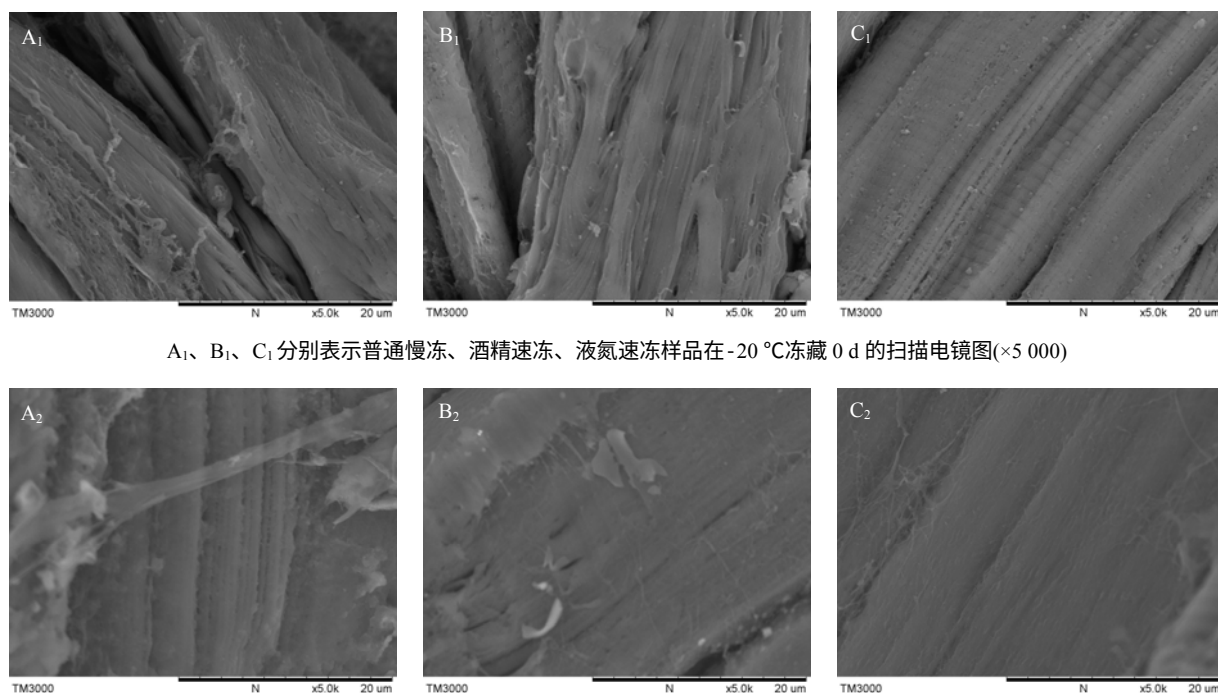
A₁、B₁、C₁分别表示普通慢冻、酒精速冻、液氮速冻样品在-20℃冻藏0 d的扫描电镜图(×5 000)A₂、B₂、C₂分别表示普通慢冻、酒精速冻、液氮速冻样品在-20℃冻藏150 d的扫描电镜图(×5 000)

图6 不同冻结方式的大黄鱼组织微结构的变化

鱼肉组织微结构的变化如图6所示。由图可见,冻藏初期,液氮速冻组的样品肌原纤维排列整齐、条理清晰,肌节结构完整,酒精速冻处理组肌节结构较完整,肌原纤维出现破裂,慢冻组样品肌肉粗糙,

排列错乱,肌原纤维破裂程度较严重。随着冻藏时间的延长,鱼肉肌肉纤维都有一定变形,出现胶凝状况,粗丝和细丝凌乱交错,而液氮速冻组的样品纤维排列相对较平整。

3 讨论

一般而言,动物呼吸停止时,组织呼吸转变成无氧糖酵解途径,体内糖原开始分解并产生乳酸,使肌肉的 pH 值下降;随着冻藏时间的延长,糖原耗尽,蛋白质等在内源酶和微生物的作用下逐渐分解,并产生氨及胺类等碱性物质,使肌肉 pH 值上升^[21]。本实验冻藏前期,液氮处理组样品的 pH 值与慢冻组和酒精组样品相比较,说明液氮速冻可以延缓大黄鱼糖原分解速率。随着冻藏时间的延长,慢冻组和酒精速冻组样品 pH 值均有所上升,而液氮速冻组样品 pH 值趋于平缓,说明液氮速冻有利于延缓大黄鱼蛋白质降解。崔珺^[22]在研究不同冻结方式对带鱼品质的影响时发现,液氮速冻样品的 pH 值前期较慢冻组高,而后期相对较低,屠冰心等^[23]在研究低温速冻处理对大黄鱼冻藏品质的影响中发现 pH 值先下降后上升,刘小莉等^[24]在研究液氮速冻处理对河蟹贮藏品质的影响中发现 pH 值变化趋势最为平缓,本文结果趋势与其一致。杨利艳等^[25]在研究速冻方式对贮藏期间凡纳滨对虾 pH 值的影响时,也认为液氮速冻可以延缓蛋白质降解。

汁液损失率是衡量鱼肉持水性的一个重要参数,影响持水力变化的因素主要有冻结温度、贮藏温度、pH、包装等^[26]。从试验结果来看,冻结温度可能是影响持水力变化最重要的因素。一方面,冻结时冰晶的形成和冻藏过程中温度波动引起的冰晶增大会使得样品的细胞结构受到损伤;另一方面,样品在冻结时因冻结速度过快和挤压作用而造成的内外压力差和撕裂损伤等也会导致汁液损失率的增加,且撕裂损伤和内外压力差较冰晶增大造成的组织损伤对汁液流失影响更大^[27]。邓敏等^[28]在研究不同冻结方式对草鱼块品质的影响时,发现三元载冷剂浸渍冻结有较低的汁液损失率。Martinez 等^[29]在研究不同冻结速率对猪肉汁液损失影响时,发现冻结速率越快,汁液损失率越低。由于速冻时鱼肉细胞内形成的冰晶均匀细小,对细胞的损伤程度较小,汁液损失率较低^[26]。本文结果与邓敏等^[28]以及 Martinez 等^[29]研究结果不一致,造成结果差异的原因可能包括两个方面:一是因为液氮冻结温度极低,且冻结速度过快,导致样品

肌肉产生较大的断裂损伤,且贮藏温度与冻结介质温度差别较大,使得汁液损失率较高;二是冻结时所产生的内外压力差对细胞造成比冰晶更大的破坏,使得水分在离心力作用下更容易丧失,导致汁液损失率较高^[11]。Boonsumrej 等^[12]在研究冻结速率对斑节对虾汁液损失的影响时,发现低温速冻造成的撕裂,使得样品的水分在离心作用下更容易丧失。

TVB-N 值反映了蛋白质在微生物和内源酶作用下分解产生挥发性氨和胺类化合物的程度,是评价水产品鲜度的重要指标,其含量越低则新鲜度越高^[30]。于刚等^[31]在研究不同冻结方式对金枪鱼 TVB-N 的影响时,发现冻藏过程中液氮冻结样品的 TVB-N 值较低。胡亚芹等^[30]在研究不同冻结方式对带鱼 TVB-N 的变化时也发现液氮冻结样品与空气冻结样品相比,TVB-N 值较低。张登科等^[32]在研究液氮冷冻处理对养殖大黄鱼 TVB-N 影响时,同样表明液氮组样品对比普通组平均增长速度更慢。冻结过程中冷冻介质与鱼肉初始温差较大,冻结时进行剧烈的热交换导致较多微生物死亡,从而减少冻藏过程中的微生物数量,降低冻藏过程中鱼肉腐败速率^[33]。TVB-N 值与 pH 值的结果均说明,液氮浸渍速冻可以延缓蛋白质的降解速率,对大黄鱼品质有较好的保持作用。

盐溶性蛋白提取率在一定程度上可以反映肌原纤维蛋白的变性程度^[34]。研究表明,冻结速率越快,蛋白质变性程度越低,其蛋白质提取率下降越慢^[20]。欧阳杰等^[35]在研究浸渍速冻对大黄鱼盐溶性蛋白溶解度变化影响时,发现速冻温度越低,其盐溶性下降越缓慢。欧阳杰等^[36]在研究速冻方式对鲍鱼品质的影响时,发现液氮速冻的鲍鱼盐溶性蛋白溶解度下降较为缓慢,说明速冻能抑制蛋白质的变性,防止盐溶性蛋白的降低。此外,快速冻结样品的盐溶性蛋白提取率下降程度较小,也可能是巯基氧化形成的二硫键导致肌球蛋白重链的聚合^[37]。戴志远等^[38]在研究不同介质低温速冻对养殖大黄鱼冻藏生化指标的影响时,发现液体速冻样的蛋白氧化程度低于气体速冻样;赵谋明等^[39]在研究循环流体浸渍速冻对鲳鱼贮藏品质的影响时,发现速冻组样品的肌原纤维蛋白氧化程度远小于慢冻组,认为速冻对延缓鱼肉肌原纤

维蛋白氧化具有一定的作用。本试验结果可能与上述因素的共同作用有关。

质构特性是反映肉质变化的重要指标。冻结时,冰晶的出现导致部分细胞出现破裂,样品在冻藏期间持水力下降;同时低温导致蛋白质变性,肌肉组织变得松弛,使得肌肉细胞间结合力下降,致使样品的硬度、弹性、回复性、凝聚性和胶黏性等指标下降^[40]。此外在冻藏期间,蛋白质的变性导致非极性疏水基团暴露,也会造成凝聚性和胶黏性的降低。鱼肉的质地特性受水分、脂肪、蛋白质含量的影响,冻藏过程中,鱼肉水分逐渐散失,脂肪逐渐氧化,蛋白质逐渐分解,继而导致弹性和回复性等指标下降^[41]。样品经过液氮浸渍速冻处理后,细胞内形成的冰晶小,对肌肉的机械损伤较小;同时由于液氮冻结时温度较低,蛋白质变性程度较小,因此样品表现出较好的质构特性。欧阳杰等^[35]指出,这与浸渍过程中大黄鱼盐溶性蛋白变性少,肌肉间的结合力较大,持水力较好有关。此结果与盐溶性蛋白提取率所得结果的趋势一致,说明速冻处理对大黄鱼品质保持有积极效应。Fagan 等^[42]指出,低温能够减缓弹性等指标的下降速率,从而维持马鲛鱼和蛙鱼的品质。倪明龙等^[43]也得出直接浸渍冻结与空气鼓风式冻结相比,更有利于草鱼块冻藏过程中质构特性的保持。

肌肉组织微结构是决定肌肉品质特性的重要因素。不同速率冻结对大黄鱼肌肉组织结构影响极大,冰晶引起的纤维变化较明显;冻结速率越快,通过最大冰晶生成带的时间越短,形成的冰晶相对较小。随着冻藏时间的延长,温度波动等因素引起冰晶持续增大,不规则冰晶相继增多,肌纤维被破坏,组织受冰晶影响,出现不同程度的损伤组织液外泄。当肌肉组织出现凝胶状况时,粗丝和细丝交错,可能是冻藏期间细胞的破坏引起肌原纤维于内部结缔组织的降解^[44]。液氮速冻使得大黄鱼肌肉内部产生的冰晶小,对肌肉组织损伤较小,更好地保持鱼肉组织的完整性;同时液氮速冻可以有效抑制鱼肉蛋白质的冷冻变性,使样品保持较好的品质^[30],这可能也是贮藏过程中快速冻结的样品肌肉弹性和回复性下降速率较缓慢的原因之一。邹聪聪等^[45]在研究快速冷冻对大黄鱼肌原纤维超微结构的影响中发现冻藏温度越低,冰晶的

增长速度越慢,一定程度上降低了冰晶对细胞和组织的损伤程度。而张志广^[46]认为大黄鱼的中心温度达到 -18°C 后,体内冰晶成长基本定型,温度波动基本不对冰晶的生长构成影响,这与本文试验结果不一致。

4 结论

大黄鱼经过不同速率冻结后,随着冻藏时间的延长,pH值、TVB-N值、盐溶性蛋白提取率和质构特性的变化均表明液氮速冻处理的大黄鱼总体品质最好,酒精浸渍处理的样品次之。液氮冻结速率较快,在后期贮藏过程中,可以延缓样品蛋白质降解、抑制蛋白质冷冻变性、保持肌肉的弹性和硬度等特性,且冻藏过程中肌肉纤维越平整、光滑,这与感官品质测定结果相一致;但液氮速冻样品汁液流失较大,产品的保水性较低,说明冻结速率过快时也可能带来不利影响,在研究水产品速冻技术时,如何更好地保持冻品的品质还值得进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 杨华,陆森超,刘丽君,等.超高压处理对养殖大黄鱼保鲜效果的影响[J].食品科学,2014,35(24):331-336.
- [2] 赵亚运,张玉,曹明月,等.大黄鱼 microRNA 荧光定量 PCR 中内参基因的选择与评价[J].核农学报,2017,31(7):1299-1309.
- [3] 农业部渔业渔政管理局.2017 中国渔业统计年鉴[M].中国农业出版社,2017:157.
- [4] 傅丽丽,林敏,高原,等.电子束辐照对三文鱼品质的影响研究[J].核农学报,2017,31(8):1521-1527.
- [5] Kiani H, Sun D W. Water crystallization and its importance to freezing of foods: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2011, 22(8):407-426.
- [6] Crane D P, Killourhy C C, Clapsadl M D. Effects of three frozen storage methods on wet weight of fish[J]. Fisheries Research, 2016, 175:142-147.
- [7] Kurozawa L E, Barbin D F, Hubinger M D. Implications of Non-equilibrium States and Glass Transitions in Frozen and Dried Fish and Meat Products[M]//Anono. Non-equilibrium States and Glass Transitions in Foods. London: Woodhead Publishing, 2017:325-348.
- [8] Wagner J R, Añon M C. Effect of freezing rate on the denaturation of myofibrillar proteins[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 20(6):735-

- 744.
- [9] Ngapo T M, Babare I H, Reynolds J, et al. Freezing rate and frozen storage effects on the ultrastructure of samples of pork[J]. *Meat Science*, 1999, 53(3):159-168.
- [10] Wang Z Y, Xu W W, Ning K, et al. Microstructural, protein denaturation and water holding properties of lamb under pulse vacuum brining[J]. *Meat Science*, 2016, 113: 132-138.
- [11] 彭欢欢, 刘小莉, 黄鸿兵, 等. 冻结速率对河蟹肌肉生化特性的影响[J]. *食品科学*, 2017, 38(13):113-117.
- [12] 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.
- [13] 廖媛媛. 不同冻结方式对大黄鱼品质影响的研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2014.
- [14] 5009.237-2016 GB/T. 食品 pH 值的测定[S].
- [15] Feng X, Ng V K, Mikš M H, et al. Effects of fish gelatin and tea polyphenol coating on the spoilage and degradation of myofibril in fish fillet during cold storage [J]. *Food & Bioprocess Technology*, 2017, 10:89-102.
- [16] 5009.228-2016 GB/T. 食品中挥发性盐基氮的测定[S].
- [17] Benjakul S, Bauer F. Physicochemical and enzymatic changes of cod muscle proteins subjected to different freeze-thaw cycles[J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2000, 80(8):1143-1150.
- [18] Tolasa S, Cakli S, Cadun A, et al. Effect of soy protein isolate and wheat fiber on the texture and freeze-thaw stability of lean fish mince[J]. *Journal of Animal & Veterinary Advances*, 2012, 10(23):3179-3187.
- [19] Luckett C R, Kuttappan V A, Johnson L G, et al. Comparison of three instrumental methods for predicting sensory texture attributes of poultry deli meat[J]. *Journal of Sensory Studies*, 2014, 29(3):171-181.
- [20] 郭园园, 孔保华. 冷冻贮藏引起的鱼肉蛋白质变性及其物理化学特性的变化[J]. *食品科学*, 2011, 32(7):335-340.
- [21] Periago M J, Ayala M D, Lopezalbors O, et al. Muscle cellularity and flesh quality of wild and farmed sea bass, *Dicentrarchus labrax* L[J]. *Aquaculture*, 2005, 249(1): 175-188.
- [22] 崔珺. 速冻方式和贮藏温度对带鱼品质影响的研究[D]. 舟山: 浙江海洋学院, 2011.
- [23] 屠冰心, 姜永江, 刘永固. 低温速冻处理对养殖大黄鱼冻藏品质的影响[J]. *渔业科学进展*, 2014, 35(1):55-59.
- [24] 刘小莉, 彭欢欢, 葛达娥, 等. 不同冻结储藏方式对河蟹感官品质的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(8):1938-1943.
- [25] 杨利艳, 曹文红, 章超桦, 等. 冷冻方式对凡纳滨对虾品质特性的影响[J]. *食品与机械*, 2011, 27(5):149-152.
- [26] 李雨露, 刘丽萍. 提高肉制品保水性方法的研究进展 [J]. *食品工业科技*, 2012, 33(20):398-400.
- [27] Ngapo T M, Babare I H, Reynolds J, et al. Freezing and thawing rate effects on drip loss from samples of pork[J]. *Meat Science*, 1999, 53(3):149-158.
- [28] 邓敏, 朱志伟. 不同冻结方式对草鱼块品质特性的影响[J]. *现代食品科技*, 2013, 29(1):55-58.
- [29] Martinez O, Salmerón J, Guillén M D, et al. Textural and physicochemical changes in salmon (*Salmo salar*) treated with commercial liquid smoke flavourings[J]. *Food Chemistry*, 2007, 100(2):498-503.
- [30] 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, 30(2):23-30.
- [31] 于刚, 杨少玲, 张慧, 等. 不同冻结方式对黄鳍金枪鱼品质变化的比较研究[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(10): 325-329.
- [32] 张登科, 陈姣, 吴林洁, 等. 液氮冷冻处理对养殖大黄鱼保鲜品质及菌群结构的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(14):252-257.
- [33] Lakshmisha I P, Ravishankar C N, Ninan G, et al. Effect of freezing time on the quality of Indian mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) during frozen storage[J]. *Journal of Food Science*, 2008, 73(7):345-353.
- [34] 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.
- [35] 欧阳杰, 谈佳玉, 沈建, 等. 浸渍冻结大黄鱼贮藏期间品质变化研究[J]. *南方水产科学*, 2013, 9(6):72-77.
- [36] 欧阳杰, 谈佳玉, 沈建. 速冻方式与温度对鲍鱼品质的影响[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(6):214-218.
- [37] Stadtman E R. Protein oxidation and aging[J]. *Science*, 1992, 257(5074):1220-1224.
- [38] 戴志远, 张志广, 王宏海, 等. 不同介质低温速冻对养殖大黄鱼冻藏生化指标的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2009(11):160-163.
- [39] 赵谋明, 郑筠, 董怡, 等. 循环流体浸渍速冻工艺对鲮鱼贮藏品质的影响[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(12): 178-185.
- [40] 阮征, 李汴生, 朱志伟, 等. 不同冻结速率对脆肉鲩鱼片冻结特性的影响研究[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(2): 250-254.
- [41] Badii F, Howell N K. Changes in the texture and structure of cod and haddock fillets during frozen storage[J]. *Food Hydrocolloids*, 2002, 16(4):313-319.

- [42] Fagan J D, Gormley T R, Mhuirheartaigh M U. Effect of freeze-chilling, in comparison with fresh, chilling and freezing, on some quality parameters of raw whiting, mackerel and salmon portions[J]. LWT-Food Science and Technology, 2003, 36:647-655.
- [43] 倪明龙, 朱志伟, 曾庆孝. 直接浸渍冻结草鱼块冻藏过程中品质变化研究[J]. 食品科学, 2010(20):448-452.
- [44] 向迎春, 黄佳奇, 栾兰兰. 冻结方式对凡纳滨对虾贮藏中组织冰晶及品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(5):280-286.
- [45] 邹聪聪, 卢蓓, 张石天, 等. 快速冷冻对大黄鱼、鲳鱼肌原纤维超微结构的影响[J]. 水产科技情报, 2017, 44(5):276-279.
- [46] 张志广. 冷冻对养殖大黄鱼品质影响的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2010.

Effect of different freezing rates on the quality of *Pseudosciaena crocea* during frozen storage

TANG Jiangmei¹, LIAO Yuanyuan¹, TANG Haiqing², OU Changrong^{1*}

(1.College of Food and Pharmaceutical Sciences, Ningbo University, Ningbo 315832, China;

2.Faculty of Food Science, Zhejiang Pharmaceutical College, Ningbo 315100, China)

Abstract: The effect of freezing rate on the quality of *Pseudosciaena crocea* during frozen storage was examined in the current study. Fresh *Pseudosciaena crocea* were treated by three freezing methods including slow freezing, ethanol immersion freezing and liquid nitrogen immersion freezing. The indices including pH value, drip loss, TVB-N value and texture, combined with scanning electron microscopy (SEM) to investigate the change of physiochemical properties and tissue microstructure of fish flesh. The results showed that the pH value of samples treated by both slow freezing and ethanol immersion freezing decreased initially and gradually increased. Finally, a sustained decline was observed in that of *Pseudosciaena crocea* by liquid nitrogen immersion freezing. Slow change in the latter was observed in that of *Pseudosciaena crocea* by liquid nitrogen immersion freezing. The TVB-N value of *Pseudosciaena crocea* frozen by three different methods increased with the prolonging of the storage time, while the sample treated by liquid nitrogen freezing remained the lowest value. The value were 27.79, 25.024, 21.57 mg·dg⁻¹, respectively. The content of soluble protein and texture properties of samples treated by three different freezing methods decreased during storage. In contrast, a relatively high value of protein solubility and texture properties were remained in *Pseudosciaena crocea* treated by liquid nitrogen freezing. Meanwhile, SEM profiles revealed that varying degrees of damage occurred on the muscle fibers of *Pseudosciaena crocea* treated by three different freezing methods. Minimum damage was observed on samples treated by liquid nitrogen immersion freezing. In summary, a relative higher drip loss was evident in quick freezing samples. Increased freezing rate, delayed the *Pseudosciaena crocea* denaturation and degradation of the proteins. The texture characteristics remain unaltered. Furthermore, liquid nitrogen immersion freezing produced optimal results, compared with other two freezing methods. The current study highlights the potential of developing better approach for quick freezing of aquatic products.

Key words: *Pseudosciaena crocea*; freezing rate; liquid nitrogen immersion freezing; physiochemical properties; tissue microstructure

(责任编辑 章践立)