液氮速冻对银鲳鱼品质及微观结构的影响

鲁珺[1,2]，余海霞[2]，杨水兵[2]，姜晴晴[1]，刘文娟[1]，董开成[1,2]，胡亚芹[1,2]

（1.浙江大学生物系统工程与食品科学学院,馥莉食品研究院，浙江省农产品加工技术研究重点实验室，浙江省食品加工技术与装备工程中心，浙江杭州 310029）（2.浙江大学舟山海洋研究中心，浙江舟山 316021）

摘要： 银鲳鱼经液氮喷淋方法（中心温度达-40 ℃，需 20 min）冻结后于-18 ℃进行冻结贮藏试验。作为对照，对大小相近的同批原料进行平板冻结（中心温度达-20 ℃，需 6 h）及冰柜冻结(中心温度达-18 ℃，需 20 h)处理，冻藏条件与液氮速冻样品相同。结果表明，液氮速冻、平板速冻、冰柜冻结的样品的 pH 值在第 105 天降至最低（6.42、6.35、6.11），冻藏 150 天后盐溶蛋白质浓度分别为 6.71、3.24、1.38 mg/g，Ca^{2+}-ATPase 活性分别为 1.73×10^{-3}、0.76×10^{-3}、0.56×10^{-3} μmol/(min·mg)。冻结温度愈低，K 值、TVBN 值增加愈小。TPA 图谱分析显示，硬度、弹性和回复性均随着冻藏时间的延长呈显著降低趋势($P<0.05$)；较低的冻结温度可使各指标数值变化趋缓。微观结构观察发现，贮藏 150 天的液氮组样品肌纤维间隙最小、细胞完整致密，与新鲜样品最为接近；液氮深冷速冻对银鲳冻藏品质维持效果最佳。

关键字： 液氮速冻；银鲳；K 值；TVBN 值；Ca^{2+}-ATPase 活性；质构分析；微观结构

文章篇号： 1673-9078(2015)4-210-216 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.4.034

Effects of Cryogenic Freezing by Liquid Nitrogen on the Quality and Microstructure of Silver Pomfret (*Pampus argenteus*)

LU Jun[1,2], YU Hai-xia[2], YANG Shui-bing[2], JIANG Qing-qing[2], LIU Wen-juan[2], DONG Kai-cheng[1,2], HU Ya-qin[1,2]

(1.Zhejiang University, College of Biosystems Engineering and Food Science, Fuli Institute of Food Science, Zhejiang Key Laboratory for Agro-Food Processing, Zhejiang R & D Center for Food Technology and Equipment, Hangzhou 310029, China) (2.Ocean Research Center of Zhoushan, Zhejiang University, Zhoushan 316021, China)

Abstract: Silver pomfret (*Pampus argenteus*) was pretreated with liquid nitrogen (LN2) by spray freezing (central point temperature of -40 ℃ in 20 min), followed by freezing storage at -18 ℃. For the control, samples with similar sizes in the same batch were pretreated by plate freezing (central point temperature of -20 ℃ in 6 h) or frozen directly using a freezer (central point temperature of -18 ℃ in 20 h). Control samples were subsequently stored at -18 ℃, similar to LN2 samples. The results showed that the pH values of the LN2-frozen samples, plate-frozen samples, and freezer-frozen samples reached minima at 6.42, 6.35, and 6.11, respectively, on the 105th day; the salt-soluble protein contents were 6.71, 3.24, and 1.38 mg/g, respectively, and the Ca^{2+}-ATPase activities were 1.73×10^{-3}, 0.76×10^{-3}, and 0.56×10^{-3} μmol/(min·mg), respectively. The increases in K values and total volatile base nitrogen were limited with lower prefreezing temperatures. Texture profile analysis (TPA) showed that the hardness, springiness, and resilience of frozen fish meat decreased significantly ($P<0.05$) with prolonged storage time. In contrast, a low prefreezing temperature may result in slower changes in these indices. Microstructure observations showed that LN2-frozen samples appeared the most similar to the fresh material, with a narrow gap between the myofibrils and excellent cell integration after storage for 150 days. The results indicated that the LN2 spray method was the best of the three tested methods for maintenance of the quality of silver pomfret.

Key words: liquid nitrogen cryogenic freezing; silver pomfret (*Pampus argenteus*); K value; total volatile base nitrogen value; Ca^{2+}-ATPase activity; texture profile analysis; microstructure

收稿日期：2014-08-20

基金项目：国家支撑计划项目（2012BAD38B09）；舟山市重大合作类项目（2013C51022）

作者简介：鲁珺(1990-)，女，在读硕士研究生，主要从事水产品加工方面的研究

通讯作者：胡亚芹(1972-)，女，副教授，博士生导师，主要从事水产品加工方面的研究

银鲳鱼(*Pampus argenteus*)，别名昌候鱼、平鱼，属于鲈形目，鲳科，是热带和亚热带的食用和观赏兼备的大型热带鱼类，主要分布于中国沿海、日本中部、朝鲜和印度东部。含有丰富的不饱和脂肪酸，微量元素硒和镁，但受捕捞季节、地理条件以及气候等多种因素的制约，在运输、贮藏、销售期间，易腐败变质，致使其品质下降。目前国内对于对银鲳鱼保鲜的研究集中在臭氧水处理，冰温保鲜或者壳聚糖涂膜等[1~2]等短期保鲜（1~2 月）方式上，对于超过 150 天以上长期保存方法的研究报道较少。

液氮是利用空气分离装置将空气中的氮气液化后的产物，它无色、无味，能实现低温深冷冻结，有利于实现冻结食品的部分玻璃化，因此能够极大提高冷冻食品的品质[3]。液氮速冻早期只应用于医学领域，因其价格昂贵及冷冻设备开发等问题在食品领域未有较大发展。近年来，空气分离技术的发展和人们对于食物品质的要求增高，使得液氮速冻在食品领域蓬勃发展。目前液氮速冻研究多集中在果蔬和小型水产品方面，如梨、青刀豆，鲍鱼和银鱼等[4~6]，但对鲜度品质极易变化的银鲳肉质影响研究尚未见报道。

本研究以舟山新鲜银鲳为原料，采用液氮喷淋冻结设备处理样品，以平板冻结、冰柜冻结样品作为对照，不同冻结样品均置于-18 ℃下贮藏。测定银鲳基本成分，以 pH 值、挥发性盐基氮（TVBN）值、K 值、盐溶性蛋白浓度、Ca^{2+}-ATP 酶活等为物理化学指标，结合鲳鱼肌肉质构特性参数，并采用光学显微镜观察其肌肉的微观组织结构变化，综合分析银鲳在低温贮藏期内物理化学指标、肌肉组织结构和品质的变化情况，从微观和宏观两个层面分析冷冻银鲳肌肉品质变化的内在原因，以获得不同冷冻方法下鲳鱼品质变化的理论基础及液氮处理对鲳鱼的冷冻保鲜效果影响。

1 材料与方法

1.1 原料和设备

1.1.1 实验原料

舟山冰鲜银鲳，购于浙江省舟山国际水产城舟渔活鲜码头，捕获于十二月上旬。选取新鲜、质量在 120~150 g 的鲳鱼，并保持在碎冰中运回实验室，以上过程不超过 30 min，流水洗去表面杂质，后进行不同的冻结处理。

1.1.2 主要仪器设备

高速组织捣碎机(DS-1)，上海标本模型厂制造；电子天平(BS223 S)，北京赛多利斯仪器系统有限公司；pH 计(EF20K)，上海梅特勒托利多仪器有限公司；紫外分光光度计(UV-2550)，日本岛津制作公司；电热恒温水浴锅(DKS-12)，嘉兴市中新医疗仪器有限公司；漩涡混合器(G2-38B)，海门市其林贝尔仪器制造有限公司；液氮喷淋装置 空气化工定制；平板速冻装置 由浙江舟山新业公司提供；-18 ℃冰箱(BC/BD-629HAN)，青岛海尔有限公司；超高效液相色谱仪(Alliance HPLC)，waters 公司；质构仪(TA-Xt2i)，英国 SMS 公司；带摄像头的显微镜（H-PTH-225BK），深圳市宏瑞新达科技有限公司；（MODEL UB200i），重庆澳普光电技术有限公司；石蜡切片机(YD202A)、生物组织摊片机机(YD-A)、生物组织烤片机(YD-B)，浙江省金华异迪医疗设备厂。

1.2 银鲳鱼的三种不同冻结预处理及冻结贮藏

液氮速冻（N.C）：样品冲洗沥水，入液氮喷淋装置（液氮-196 ℃），维持 20 min 使鲳鱼样品鱼体中心温度达到-40 ℃后完成冻结，分装封口，标记为 N 组；平板速冻（P.C）：样品冲洗沥水，入平板速冻装置（设备中心温度-30 ℃），维持 6 h 至鱼体中心温度降到-20 ℃后完成冻结，分装封口，标记为 P 组；冰柜冻结（B.C）：样品放入-18 ℃冰箱内，维持 20 h 至鱼体中心温度达到-18 ℃后完成冻结，分装封口，标记为 B 组。以上三种冻结处理的样品都放置在-18 ℃冷库中冻结贮藏，定期测定实验指标。

1.3 实验方法

每一种冻结方式处理的样品分成三组。一组隔水流水解冻 30 min 后，取背部肌肉，绞碎放入保鲜袋中，作为主成分、pH、TVBN、K 值、盐溶性蛋白、Ca^{2+}-ATPase 酶活测定的样品；另一组解冻后，切成 2 cm×2 cm×2 cm 的小块若干，进行质构特性测定；最后一组切成 3 mm×3 mm×6 mm 的薄片，作为组织切片的样品，用于微观组织结构分析。

1.3.1 主要成分测定

于冻结处理完成当天取 3 组样品，依据 AOAC(1997)和沈月新[7]的方法测定其中的水分，粗蛋白，脂肪，灰分含量。每组样品做 3 个平行。

1.3.2 pH 值测定

取绞碎的鱼体背部肌肉 10.00 g 于烧杯中，加入新鲜煮沸后已冷却的蒸馏水至 100 mL，均匀搅拌，静置 30 min，然后用 pH 计进行测定。

1.3.3 TVBN 值测定

TVBN 测定参照 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[8]。

1.3.4 K 值测定

参考张佳琪等人[9]的方法。

K 值计算公式：K(%)=(HxR+Hx)／(ATP+ADP+AMP+IMP+HxR+Hx)×100%

1.3.5 盐溶性蛋白浓度测定

参考沈月新[7]的方法测定。

1.3.6 Ca^{2+}-ATPase 酶活测定

参考 Yoshikawa[10]的方法测定。

1.3.7 质构特性测定

采用质构仪平行测定 12 次，样品为鱼背部肌肉，测定前将样品在室温（约 25 ℃）下放置 0.5 h，消除低温的影响。选用平底圆柱形探头，直径为 5 mm，测定时探头进入样品的速度为 1 mm/s，形变量为 50%，维持时间为 5 s，触发力为 5 g，返回速度为 1 mm/s，来回两次。

1.3.8 石蜡组织切片制作

参照 D Bahuaud[11]的方法。取样大小为 3 mm×3 mm×6 mm，3 mm×3 mm 为所需切面，作垂直于肌原纤维伸展方向的横切，于光学显微镜下观察肌肉组织微观结构图。观察倍数为 100 倍。

1.3.9 数据分析

所有实验至少重复 3 次，数据以平均值及方差表示。使用 Excel 2007、SPSS 16.0 软件以及方差分析（ANOVA）进行数据处理和显著性分析。$P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与讨论

2.1 银鲳鱼肌肉主成分分析

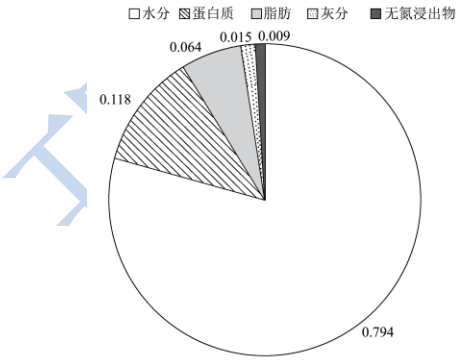


图 1 银鲳肌肉基本成分组成

Fig 1 The proximate composition of silver pomfret

银鲳鱼的主要成分测定结果如图 1 所示，银鲳的水分含量为 79.42±1.23%，蛋白质含量为 11.84±0.87%，脂肪含量为 6.42±0.65%，灰分含量为 1.53±0.15%。鲳鱼肌肉主成分随不同属种存在较大差异，甚至同一属的不同个体之间差异亦可能很大。这和赵峰[12]等人研究发现舟山银鲳粗蛋白含量较高，营养价值好的结果基本一致。因为银鲳鱼的蛋白质和氨基酸影响银鲳的品质和感官，因此选用一种合适的冷冻方法尽可能抑制其主要成分的变化，才能使冻品解冻后口感及鲜度不至有较大损失。

2.2 不同冻结方式对银鲳贮藏期 pH 值的影响

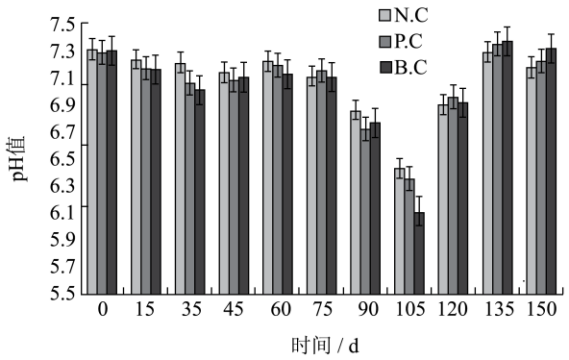


图 2 不同冻结方式对银鲳肌肉 pH 值的影响

Fig.2 Effects of freezing methods on the pH of silver pomfret meat

由图可知，三种冻结方式处理的鲳鱼，刚冻结完 pH 值相近，在前 105 天样品 pH 值持续降低，105 天时达到最低，N 组、P 组、B 组 pH 分别为 6.42、6.35、6.11；随后均急剧增大，至 150 天时分别达到 7.11、7.21、7.31。这是因为当水产动物停止呼吸时，体内的糖原就开始分解，产生乳酸，使肌肉的 pH 值下降；同时蛋白质在组织蛋白酶类和细菌作用下逐渐分解产生氨基酸和其它碱性物质，使得 pH 值升高。前期鱼体内蛋白分解程度小，后期糖原分解完毕，微生物增加，并且挥发性碱类物质大量产生。从图 2 中可以看出，N 组与其它两组相比 pH 变化较缓慢，这可能与不同冻结速率对鱼肉组织形态及蛋白质变性程度有关，也可能跟液氮深冷杀菌作用有关。

2.3 不同冻结方式对银鲳贮藏期间肌肉 TVBN 值的影响

挥发性盐基氮（TVBN）值和 K 值是水产品鲜度评价的重要指标，TVBN 值反映内源性酶和微生物的作用分解蛋白质及其非蛋白类物质产生的具有挥发性的氨、二甲胺和三甲胺等的程度，一般认为其含量越低则样品新鲜度越高。SC/T 3103-2010 鲜冻鲳鱼标准规定，鲳鱼的 TVB- N 值一级品≤18 mg/100 g，合格品≤30 mg/100 g[13]。

由图 3 可知，三组样品的 TVBN 值随时间延长均

显著增大（P<0.05），且 B 组上升的速率明显高于 N 组和 P 组（P<0.05）。前 15 d 三组的 TVBN 值略有增高，这可能跟冻结及贮藏环境及冻结前期内源蛋白酶的作用有关。之后 60 d 内 TVBN 值缓慢增加，60 d 后大幅增加，150 d 时 N 组、P 组、B 组的 TVBN 值达到 15.0 mg/100 g、20.36 mg/100 g、26.7 mg/100 g，分别比 0 天时增加了 13.91 mg/100 g、19.09 mg/100 g、22.97 mg/100 g，可能是因为后期微生物活动加强使得脱氨基反应剧烈[14]。N 组样品 TVBN 值最低，表明蛋白变性降解程度低，样品最新鲜；B 组样品品质最差，蛋白质降解程度最大。

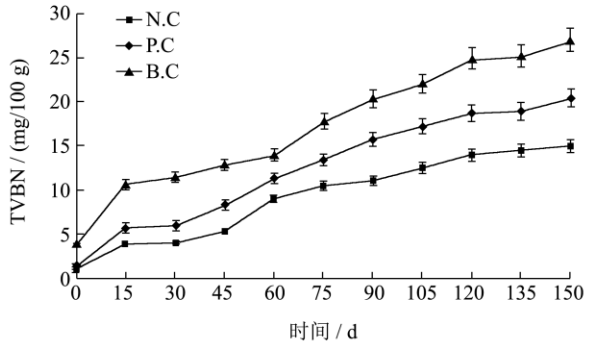


图 3 不同冻结方式对银鲳肌肉 TVBN 值的影响

Fig.3 Effects of freezing methods on the TVBN values of silver pomfret meat

2.4 不同冻结方式对银鲳贮藏期 K 值的影响

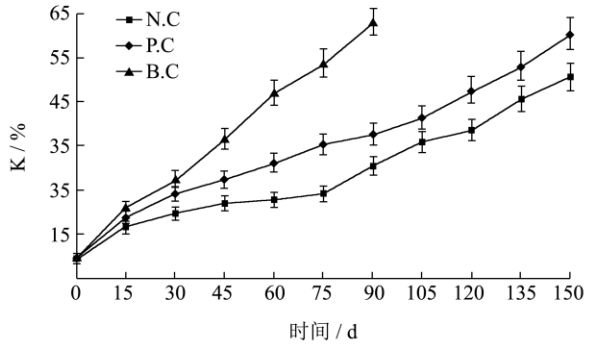


图 4 不同冻结方式对银鲳肌肉 K 值的影响

Fig.4 Effects of freezing methods on K values of silver pomfret meat

K 值与 TVBN 值协同表征水产品鲜度，TVBN 值一般反映微生物腐败情况，而 K 值更常用于综合反映生鲜肉和水产品的早期腐败情况。一般认为即杀鱼的 K 值在 10%以下，作为生鱼肉的新鲜鱼 K 值大约在 20%以下，20%~40%为 2 级鲜度，60%~80%为初期腐败鱼[15]。

图 5 中三组样品的 K 值在 0 d 均低于 20%，达到一级鲜度。N 组、P 组、B 组的 K 值在贮藏期间呈现持续上升的趋势，B 组样品的 K 值在 90 d 时已超过 60%，认为腐败不可食用，故不再测定该组样品 K 值。N 组和 P 组样品贮藏初期 K 值上升较缓，75 d 以后增加速率变大，150 d 时达到 56.69%，65.36%。可见 N 组样品的鲜度最佳，这可能是因为液氮速冻处理使细胞内生成的细小冰晶，降低机械损伤，细胞更完整从而抑制微生物生长。K 值与 TVBN 结果表明，贮藏后期鲳鱼样品的腐败和蛋白质分解情况更严重，但液氮速冻对银鲳的鲜度维持作用最好，同时鱼体营养成分较好，微生物繁殖少。

2.5 不同冻结方式对银鲳贮藏期间肌肉盐溶性蛋白浓度的影响

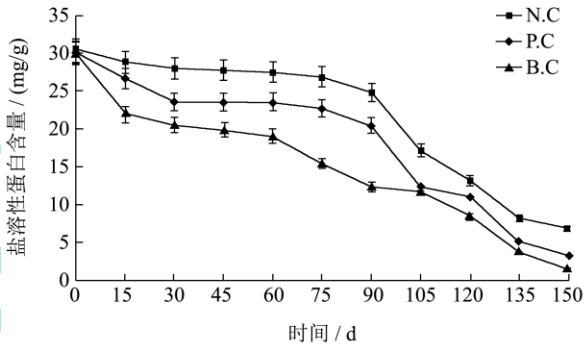


图 5 不同冻结方式对银鲳肌肉盐溶性蛋白浓度的影响

Fig.5 Effects of freezing methods on the sal-soluble protein contents of silver pomfret meat

引起冻藏过程中盐溶蛋白质溶解性下降的因素很多，主要有蛋白质的部分结合水形成冰晶导致蛋白析出，肌动球蛋白分子之间形成非共价键，疏水键和氢键进而形成不溶性凝集使肌动球蛋白溶出，而肌原纤维蛋白冷冻变性后所产生的蛋白在高离子强度下不易溶出也会导致冻藏过程中盐溶蛋白质溶出量的下降[16]。因此，盐溶蛋白浓度是反映鲳鱼蛋白质特性的重要指标之一。

如图 5 所示，N 组、P 组的盐溶蛋白质含量在前 90 d 呈现缓慢下降的趋势，较 0 d 分别下降了 11.40%，23.91%，之后迅速下降，至 150 d 时分别为 6.71，3.24 mg/g。B 组的盐溶蛋白质含量明显低于其余 2 组，并且下降幅度最快，在 60 d 时已经显示出了很大的降低趋势，至 150 d 时只有 1.38 mg/g，表明冰柜冻结的样品蛋白质变性和腐烂程度最高。这可能是因为缓慢冻结生成的大冰晶及其在贮藏中迁移生长对细胞微环境的破坏作用。盐溶蛋白含量结果与 TVBN 结果一致，充分说明液氮深冷速冻对于银鲳肌肉肌原纤维蛋白有较好的维持作用。

2.6 不同冻结方式对银鲳贮藏期 Ca^{2+}-ATPase 的影响

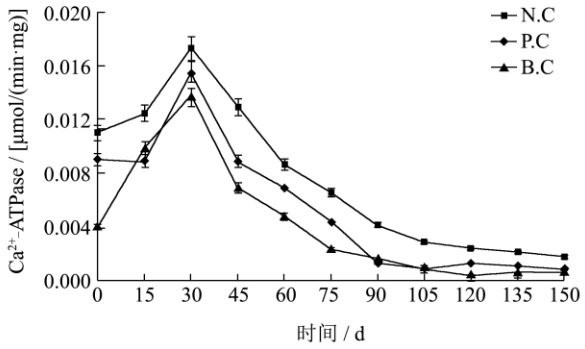


图 6 不同冻结方式对银鲳肌肉 Ca^{2+}-ATP 酶活特性的影响

Fig.6 Effects of freezing methods on the Ca^{2+}-ATPase activity of silver pomfret meat

鱼体中存在的肌球蛋白与肌动蛋白，它们在 ATP 作用下生成肌动球蛋白，而肌球蛋白的重要生物活性之一就是具有 Ca^{2+}-ATPase 活性。Ca^{2+}-ATPase 活性主要在肌球蛋白头部存在，其活性变化可以反映肌球蛋白头部的变性程度，是鱼肉在冷冻贮藏过程中蛋白质性质的一个重要指标。引起 Ca^{2+}-ATPase 活性下降的原因是多方面的，如 pH 值的下降、巯基氧化、温度等[17]，贮藏过程这些因素的变化也必然导致 Ca^{2+}ATPase 活性的下降。

同时，从图 6 中还可以发现，可能是因为液体速冻处理过的样品，冻结速率更快，体内冰晶颗粒较小，分布均匀，成长缓慢造成的，更好的保护了肌原纤维蛋白的空间结构。N 组、P 组、B 组的 Ca^{2+}-ATPase 活性差异较为显著，0 d时分别为 0.011，0.009，0.004 umol/min/mg，推测可能是因为 Ca^{2+}-ATPase 活性对于低温冻结非常敏感；随后三组样品活性增加，30 d 时达到最大，分别为 0.017、0.015、0.014 μmol/(min·mg)，这可能与在冻藏过程中酶发生了部分解聚作用，使得肌动蛋白和肌球蛋白结合比较强有关。30 d 后 N 组、P 组、B 组样品酶活下降，至 150 d 时分别降至 1.73×10^{-3}、0.76×10^{-3}、0.56×10^{-3} μmol/min/mg，Ca^{2+}-ATPase 活性几乎完全丧失。Ca^{2+}-ATPase 活性下降应该是冰晶作用及由此所带来的体系离子强度的升高导致肌球蛋白头部结构发生改变，酶功能区域消失。阴晓菲[18]，Benjakul[19]等人研究后发现冻藏期间鱼蟹类的 Ca^{2+}-ATPase 活性均在前 2~3 月下降较快，后期变化不大，这与本实验研究结果一致。N 组的 Ca^{2+}-ATPase 活性最高，可能是因为冻藏过程肌原纤维蛋白的空间结构破坏较小，肌原纤维蛋白更稳定，从而使其肌原纤维蛋白 Ca^{2+}-ATPase 活性较高。

2.7 不同冻结方式对银鲳肌肉贮藏期间的质构特性的影响比较

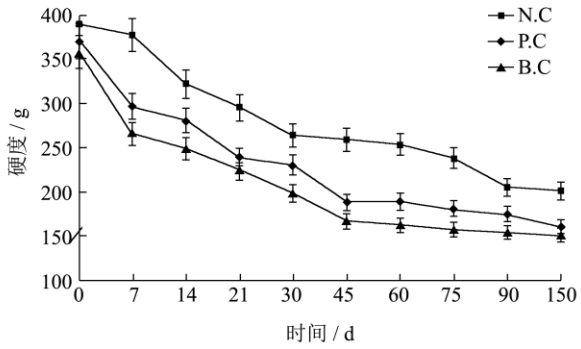


图 7 不同冻结方式对银鲳硬度的影响

Fig.7 Effects of freezing methods on the hardness of silver pomfret meat

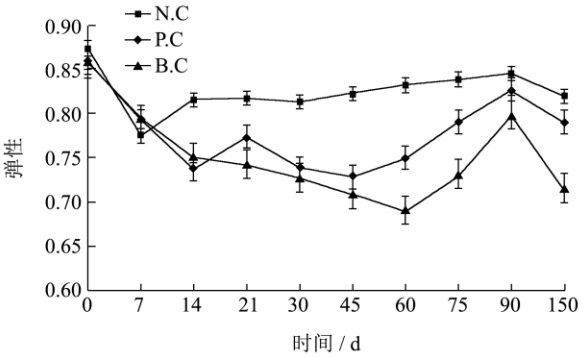


图 8 不同冻结方式对银鲳弹性的影响

Fig.8 Effects of freezing methods on the springiness of silver pomfret meat

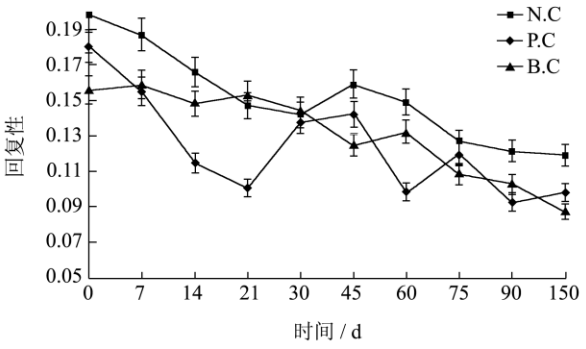


图 9 不同冻结方式对银鲳回复性的影响

Fig.9 Effects of freezing methods on the resilience of silver pomfret meat

硬度(hardness)表现为人体的触觉柔软或坚硬，使食品达到一定变形所需要的力，食品保持形状的内部结合力，冻藏期间硬度的降低主要是由于肌肉纤维的变形与蛋白质的凝聚促使肌肉蛋白丝从 Z 线与 M 线

上脱离[20]。回复性和弹性的变化与蛋白质的变性及肌肉持水性的变化有关。如图 7~9 可见，150 d 贮藏期内冷冻鲳鱼的硬度、弹性、回复性均呈现下降的趋势；并且冻结温度越低，硬度、弹性、回复性的值越高。

结果表明，N 组样品硬度和弹性显著高于其余 2 组。N 组、P 组、B 组的硬度分别从 0 天的 388.69、371.64、357.64 g 降至 150 d 时的 200.95、161.16、150.44 g。N 组的弹性在 90 d 内没有明显变化，同期其余两组样品的弹性呈现了先下降后回升的趋势。原因可能是肌肉经历僵硬期和发生解僵，也可能是肌肉中蛋白质发生降解或者交联增强了肌肉结构密度和弹性，随后蛋白质分解变质，弹性下降。90 d 后三组样品的弹性均表现出下降的趋势，这代表鱼肉品质的进一步劣化。N 组、P 组、B 组的回复性在贮藏期间分别下降了 39.89%、45.72%、44.18%，主要跟鱼肉中重要的酶反应和微生物作用破坏肌肉组织结构有关。戴志远[21]等人研究发现-50 ℃冷冻贮藏条件下大黄鱼的硬度、弹性、咀嚼性、胶黏性、凝聚性和恢复性这些参数均高于-18 ℃冷冻贮藏条件下的大黄鱼。结果表明，冻结速度越快，冻结温度越低，鱼肉的质构特性就越接近新鲜鱼片的质感，品质保持得越好，说明液氮速冻处理对水产品的感官品质保藏有着明显的积极效应。

2.8 不同冻结方式对银鲳肌肉贮藏期间的组织微观结构的影响比较

如图 10，新鲜鲳鱼肌纤维排列致密整齐，细胞完整，细胞间观察不到明显的间隙，并且观测不到明显的冰晶破坏痕迹。30 d、90 d、150 d 的样品微观组织结构图显示各组细胞均出现不同程度的破碎变形，或是细胞间隙变大，肌纤维与肌节分离。

冷冻过程中肌原纤维和内部结缔组织的降解会导致肌原纤维与肌节分离，肌原纤维间缝隙增大[22]。而冰晶大小和类型对细胞结构影响重大。30 d 时 N 组与 P 组样品微观结构均致密排列，接近于新鲜样，而 B 组有些细胞间出现了较大的细胞间隙，这应该是由于 B 组样品蛋白质降解变性最严重；90 d 时 N 组样品微观结构依旧良好，而 P 组样品部分细胞间隙变大，肌原纤维降解，B 组样品的细胞间隙更大并且有明显的细胞挤压变形；150 d 时 N 组细胞非常完整，只有少量的细胞边缘冰晶痕迹和稍增的细胞间隙；P 组样品的肌原纤维结缔组织降解明显，致使较大的细胞间隙，但细胞结构尚且完整；B 组样品不仅细胞间隙较大，而且大部分细胞均因为冰晶破坏作用破解，Z 线崩溃，纤维结构散乱。这可能是因为一方面液氮速冻生成的细小冰晶和部分玻璃化的状态对细胞结构具有保护作用，另一方面液氮冻结比平板冻结或冰柜冻结冻结温度低、速度快，相应抑制了蛋白质的降解变性，这也与之前盐溶性蛋白浓度和 Ca^{2+}-ATPase 活性的结论一致，充分说明液氮速冻对银鲳微观组织结构具有显著的保护作用，有理由相信液氮深冷速冻的样品具有更佳的感官品质和货架期品质。

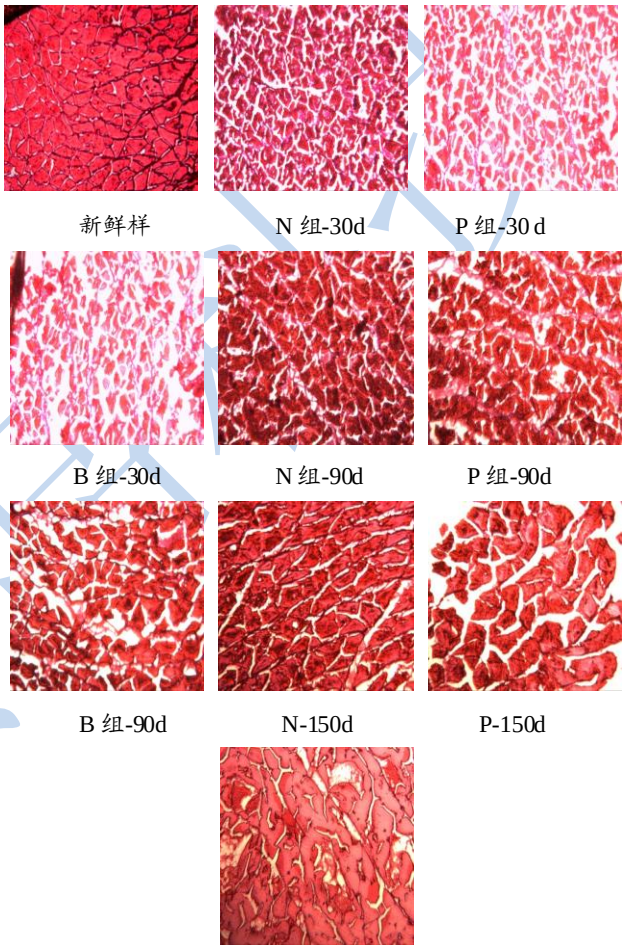


图 10 不同冻结方式贮藏下银鲳鱼微观组织结构的变化

Fig.10 Effects of pre-freezing methods on microstructure changes in silver pomfret

3 结论

液氮速冻样品的 pH 值，TVBN 值，K 值，盐溶性蛋白含量，Ca^{2+}-ATPase 活性等物性指标明显优于平板速冻和冰柜冻结，有效保持了银鲳的鲜度品质和蛋白质水平；其硬度，弹性和回复性变化也最为缓慢；微观组织观察显示，液氮速冻样品肌肉纤维组织最致密，非常接近于新鲜样品。原因很可能因为液氮速冻中，冷媒直接接触样品，且温度极低，所以样品冻结速度极快，而快速深度冻结在一定程度上可降低蛋白

质变性的速度，保护肌肉纤维组织结构。综上，液氮深冷速冻技术对舟山银鲳在冻藏期间的鲜度品质、蛋白质水平、质构特性和微结构都有极佳的保护作用，具有较好的应用潜力和推广价值。

参考文献

[1] 施建兵,谢晶,高志立,等.臭氧水浸渍后冰温贮藏提高鲳鱼块的保鲜品质[J].农业工程学报,2013,29(6):274-279
SHI Jian-bing, XIE Jing, GAO Zhi-li, et al. Effects of ozone water dipping and super-chilling on improving preservation quality of pomfret fillet [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(6): 274-279

[2] 张璟晶,唐劲松,王海波,等.溶菌酶、Nisin、壳聚糖复合保鲜剂对冰鲜银鲳保鲜效果的研究[J].食品工业科技，2014, 35(4):323-326
ZHANG Jing-jing, TANG Jin-song, WANG Hai-bo, et al. The combined use of lysozyme, nisin and chitosan for the preservation of iced pomfret [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(4): 323-326

[3] 王嵘,王仲礼.液氮在禽类食品速冻中的应用[J].肉类工业,2007,6:40-41

[4] 姜琼一.臭氧结合液氮冷冻结技术在鲍鱼加工中的应用研究[D].福建农林大学,2009

[5] 姜龙波,温升南,李燕杰,等.梨的液氮排氧打浆防褐变研究[J].食品科学,30(24):448-451
JIANG Long-bo, WEN Sheng-nan, LI Yan-jie, et al. Study on browning inhibition of pear juice by liquid nitrogen injection [J]. Food Chemistry, 30(24): 448-451

[6] 梁亚星,陶乐仁,习德成.基于液氮喷雾式食品流态化速冻机的青刀豆速冻实验研究[J].工程热物理学报,2006,z2:37-40
LIANG Ya-xing, TAO Le-ren, XI De-cheng, et al. Experimental analysis of fast freezing green beans on ln2-spraying fluidized freezer [J]. Journal of Engineering Thermopgysics, 2006, suppl.2: 37-40

[7] 沈月新,章超桦,薛长湖等.水产食品学[M].北京:中国农业出版社,2001

[8] 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

[9] 张佳琪.鱼肉中ATP关联化合物提取方法的改进及应用[D].杭州:浙江大学,2013

[10] Yoshikawa K. Changes of the solubility and ATPase aetivity of Carp myofibrils during frozen storage at different temperature [J]. Fisheries Science, 1995, 61(5): 804-812

[11] D Bahuaud, T Mørkøre, Ø Langsrud, K Sinnes,etal.Effects of-1.5C Super-chilling on quality of Atlantic salmon (Salmosalar)pre-rigor Fillets: Cathepsin activity, muscle histology, texture and liquid leakage [J]. Food Chemistry, 2008, 11(2): 329-339

[12] 赵峰,庄平,施兆鸿,等.银鲳4野生群体肌肉营养成分的比较分析与评价[J].动物学杂志,2009,44(5):117-123
ZHAO Feng, ZHUANG Ping, SHI Zhao-hong, et al. A comparative analysis and evaluation of nutritional components in muscle of pampus argenteus from four wild populations [J]. Chinese Journal of Zoology, 2009, 44(5): 117-123

[13] SC/T 3103-2010,鲜、冻鲳鱼[S]

[14] Michiyo M. Changes in free amino acid juvenile macherelscobmerjaponicus muscle during ice storage, trimethylamine and nonprotein nitrogen of oyster during ice storage [J]. Bulletin of the Japanese Society Scientific Fish, 1984, 50(2): 323-329

[15] NoguerasSB, CidSB, Nogués MTV, et al. Effects of previous frozen storage on chemical, microbiological and sensory changes during chilled storage of Mediterranean hake(Merlucciusmerluccius) after thawing [J]. European Food Research and Technology, 2007, 226: 287-293

[16] 夏杏洲,洪鹏志,钟灿桦,等.不同温度冻藏对军曹鱼片品质的影响[J].食品科学,2010,31(12):239-243
XIA Xing-zhou, HONG Peng-zhi, ZHONG Can-hua, et al. Effect of frozen storage temperature on the quality of rachycentron canadum fillets [J]. Food Chemistry, 2010, 31(12): 239-243

[17] 曾名勇,黄海,李八方.鳙肌肉蛋白质生化特性在冻藏过程中的变化[J].水产学报,2003,27(5):480-485
ZENG Ming-yong, HUANG Hai, LI Ba-fang. Change of biochemical properties of Aristichthys nobilis muscle protein during frozen-storage [J]. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(5): 480-485

[18] 阴晓菲,范鸿冰,郑超,等.不同冻结方法对草鱼鱼片冻藏-冷藏期间蛋白质生化特性的影响[J].中国农业大学学报,2013,18(6):158-163
YIN Xiao-fei, FAN Hong-bing, ZHENG Chao, et al. Effect of sifferent freezing treatments on biochemical properties of grass carp (Ctenopharygodon idellus) fillets during freeze-chilling storage [J]. Journal of China Agricultural University, 2013, 18(6): 158-163

[19] BenjakuiS, SutthipanN. Muscle changes in hard and soft shell crabs during srozenstorage [J]. Food Science and Technology, 2009, 42(3): 723-729

[20] 王鸿.冻藏加工对鲢肌肉质构特性影响的研究[D].上海:上海水产大学,2002.23-24

[21] 戴志远,崔雁娜,王宏海.不同冻藏条件下养殖大黄鱼鱼肉质构变化的研究[J].食品与发酵工业,2008,34(8):188-191
DAI Zhi-yuan, CUI Yan-na, WANG Hong-hai. Change of textural properties of cultured pseudosciaena crocea muscle under different frozen storage conditions [J]. Food and Fermentation Industries, 2008, 34(8): 188-191

[22] Bremner H A, Hallett I C. Muscle fiber connective tissue junctions in the fish blue grenadier (Macruronusnovaezelandiae) [J]. Journal of Food Science, 1985, 50(4): 975-980

现代食品科技