

DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.024656

引用格式: 刘欣荣, 申亮, 齐凤生, 等. 微冻保鲜对红鳍东方鲀贮藏品质的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2020, 46 (18): 128-135. LIU Xinrong, SHEN Liang, QI Fengsheng, et al. Effects of micro-frozen storage on the quality of *Takifugu rubripes* [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46 (18): 128-135.

微冻保鲜对红鳍东方鲀贮藏品质的影响

刘欣荣¹, 申亮², 齐凤生², 刘红英^{2*}

1(河北农业大学 食品科技学院, 河北 保定, 071000) 2(河北农业大学 海洋学院, 河北 秦皇岛, 066000)

摘 要 该文研究了红鳍东方 在微冻(-3℃)贮藏过程中的品质变化。通过测定菌落总数、pH值、持水力、汁液流失率、挥发性盐基氮(total volatile base nitrogen, TVB-N)、硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)、质构、微观组织结构的变化, 研究了微冻对红鳍东方 品质的影响。结果表明, 红鳍东方 pH值呈先下降后上升的趋势, 贮藏第10天时pH达到最低值6.10; 汁液流失率、TVB-N、TBA、菌落总数呈上升趋势, 其中贮藏第15天时TVB-N、TBA分别为15.872 mg/100g、0.242 mg/100g, 属于二级品鲜度, 第15天时菌落总数升至6.54 lg CFU/g, 超出水产品国家标准规定的可食用界限5.0 lg CFU/g; 持水力、硬度、弹性、咀嚼性、回复性呈下降趋势; 由背部肌肉横向和纵向切片显微结构观察结果得出, 微冻贮藏过程中细胞内和细胞间空隙逐渐增大, 纤维束间隙逐渐增大, 并出现断裂。因此, 微冻贮藏过程中红鳍东方 品质呈变劣趋势, 最佳食用期为1~15 d。

关键词 红鳍东方 ; 微冻; 品质变化

Effects of micro-frozen storage on the quality of *Takifugu rubripes*

LIU Xinrong¹, SHEN Liang², QI Fengsheng², LIU Hongying^{2*}

1(School of Food and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China) 2(School of Ocean, Hebei Agricultural University, Qinhuangdao 066000, China)

ABSTRACT The quality changes of *Takifugu rubripes* under micro-frozen (-3℃) storage were studied. The total plate counts, pH value, water holding capacity, juice loss rate, total volatile base nitrogen (TVB-N), thiobarbituric acid (TBA), texture, tissue microstructure were detected which in order to investigate the effects of micro-frozen on the quality of *Takifugu rubripes*. The results showed that the pH value of *Takifugu Rubripes* first decreased and then increased. The pH reached the lowest value at 6.10 on the 10th day of storage and then increased to 6.21 on the 25th day of storage. Juice loss rate, TVB-N, TBA, and the total plate counts showed a upward trend. The value of TVB-N and TBA were 15.87 mg/100g and 0.242 mg/100g on the 15th day, and it belonged to the second grade freshness. The total plate counts increased to 6.54 lg CFU/g on the 15th day, exceeding the limit of 5.0 lg CFU/g by the national standards for aquatic products. Water holding capacity, hardness, springiness, chewiness and resilience showed a downward trend. The microstructure observation results of transverse and longitudinal sections of the back muscles showed that the gaps in and between cells gradually increased during micro-freezing storage. The gaps between the fasciculus gradually became larger and the fasciculus gradually fractured over storage time. The quality of *Takifugu rubripes* showed a tendency to deteriorate during micro-frozen storage, and the best edible time was 1-15 days.

Key words *Takifugu rubripes*; micro-frozen storage; quality change

第一作者: 硕士研究生(刘红英教授为通讯作者, E-mail: Liu066000@sina.com)

基金项目: 国家重点研发计划资助(2018YFD0901004); 河北省现代农业产业技术体系特色海产品创新团队项目(HBCT2018170207)

收稿日期: 2020-06-06, 改回日期: 2020-06-30

东方鲀属是典型可食用鲀类代表,其中红鳍东方鲀个体大,成长所需时间短,是营养价值很高的经济鱼类^[1]。养殖红鳍东方鲀毒素含量低,味道鲜美,营养价值高,脂肪含量低,蛋白质、不饱和脂肪酸、氨基酸等物质含量丰富^[2-3],维生素B₁、B₂、硒、锌等多种微量元素含量较高^[4]。市场上红鳍东方鲀主要以活鱼和处理后无毒的低温保鲜鱼肉进行销售。随着社会经济的发展,人们对红鳍东方鲀贮藏过程中的营养价值及感官品质的要求越来越严苛。鱼肉在贮藏过程中会出现质构软化、口感变软和刺鼻气味加重等品质劣变现象^[5],导致营养价值和消费者满意度下降。可食用鲀类的贮藏保鲜问题已成为行业和学者共同关注的话题。

微冻保鲜技术是一种轻度冷冻或者部分冷冻的保鲜技术^[6-7],是保鲜领域一项新技术^[8-9],微冻保鲜下细胞内形成的冰晶较小,对于细胞结构的破坏程度小^[10],可最大程度保持水产品细胞的完整度,保存水产品原有的营养物质,而且可以抑制细菌繁殖,解冻时汁液流失率较低,解冻后水产品表现颜色佳,无干耗,耗能较低^[11-12]。微冻贮藏过程中温度波动会产生重结晶,会加剧水产品的劣变,因此微冻保鲜对温度控制技术的要求很严苛,使得该技术尚未在市场普遍应用。季晓彤^[13]研究了微冻过程中金鲳鱼的品质变化,结果表明鱼肉硬度、咀嚼性、肌浆、肌原纤维中巯基含量均呈下降趋势,贮藏期间内源性蛋白酶一直具有生物活性。LILIAN等^[14]研究了微冻过程中真空包装三文鱼的微观结构,发现贮藏过程中冰晶分布存在显著差异。

据调查,国内外对于红鳍东方鲀保鲜方面的研究甚少,且红鳍东方鲀鱼肉中蛋白质和水分含量较高,较其他鱼类而言更容易发生腐败变质,不利于贮藏过程中的品质保持。相对于低温冻藏而言,微冻贮藏对细胞造成的损伤较小,更有利于水产品营养的保留,因此对于红鳍东方鲀微冻过程中品质变化的研究格外重要。本文以红鳍东方鲀为研究对象,通过分析微冻过程中鱼肉理化指标、质构及微观组织结构的变化,研究了微冻对红鳍东方鲀鱼肉品质的影响,以期红鳍东方鲀保鲜技术的研究提供一定的理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料试剂与仪器

1.1.1 材料与试剂

红鳍东方鲀,购于秦皇岛市场,个体鲜活,组织良

好,体长约19 cm,质量约500 g;硼酸,天津市科密欧化学试剂有限公司;HCl,天津市凯通化学试剂有限公司;K₂CO₃、溴甲酚绿、NaCl、95%乙醇,天津欧博凯化工有限公司;凡士林、甲醛,天津市风船化学试剂科技有限公司;甲基红,天津市北辰方正试剂厂;2-巯代巴比妥酸,国药集团化学试剂有限公司;三氯乙酸,福晨(天津)化学试剂有限公司;平板计数琼脂,青岛高科技工业园海博生物技术有限公司;冰醋酸,广州市信洪贸易有限公司;苦味酸,北京盈泽通汇生物科技有限公司。

1.1.2 仪器与设备

电子天平,上海光正医疗仪器有限公司;FA2004分析天平,上海舜宇恒平科学仪器有限公司;721型可见分光光度计、HH-6数显恒温水浴锅,上海梅香仪器有限公司;MJ-BL25B3搅拌机,广东美的生活电器制造有限公司;F6/10手持式高速匀浆机,上海净信实业发展有限公司;3K30台式高速冷冻离心机,德国SIGMA实验室离心机公司;PHS-3CpH计,上海仪电科学仪器股份有限公司;电热恒温鼓风干燥箱,上海精宏实验设备有限公司;BC/BD-320HK海尔冰柜,青岛海尔特种电冰柜有限公司;XFH-30CA电热式压力蒸汽灭菌器,浙江新丰医疗器械有限公司;BX51奥林巴斯显微镜,上海通灏光电科技有限公司;徕卡R2235切片机,德国;SW-CJ-2F无菌操作台,苏州安泰空气技术有限公司;美国FTC-质构仪TMS-PRO,美国。

1.2 试验方法

1.2.1 红鳍东方 预处理

鲜活红鳍东方鲀除去内脏、鱼皮、鱼骨,切成4 cm×2 cm×2 cm大小的鱼块,用无菌蒸馏水洗净,吸水纸吸干表面水分,然后将鱼肉分装到无菌自封袋中,每袋300 g左右,置于-3℃冰柜中进行微冻保鲜,每隔5 d进行取样测定。

1.2.2 冰点的测定^[15]

取5 cm×3 cm×2 cm的红鳍东方鲀鱼肉置于温度为-25℃的冰柜中,将温度计插头插入鱼块中心,每隔2 min测1次鱼肉中央的温度,以冻结时间为横坐标、中心温度为纵坐标绘制红鳍东方鲀鱼肉冻结曲线,根据冻结曲线的拐点得出红鳍东方鲀鱼肉的冰点。

1.2.3 菌落总数的测定^[16]

参照GB 4789.2—2016《食品安全国家标准 食品卫生微生物学检验 菌落总数测定》的平板培养计数法

检测鱼肉微生物的总数。实验平行 3 次。

1.2.4 pH 值的测定^[17]

准确称 5.00 g 绞碎的鱼肉于烧杯中,加入 50 mL 蒸馏水,混匀后浸提 30 min, pH 计测量上清液 pH 值。实验重复 3 次。

1.2.5 水分含量的测定^[18]

准确称 3.00 g 绞肉机绞碎的鱼肉于称量皿中, (105 ± 1) °C 烘箱干燥恒重 3 h。测定重复 3 次。记录干燥恒重前后称量瓶和鱼肉的总质量分别为 W_1 和 W_2 , 水分含量计算如公式(1)所示:

$$\text{水分含量}/\% = \frac{W_1 - W_2}{3} \times 100 \quad (1)$$

1.2.6 持水力的测定^[19]

准确称 5.00 g 鱼肉于带滤纸的离心管中,称离心管和鱼肉的总质量记作 W_1 , -2 °C 下 5 000 r/min 离心 30 min, 然后取出滤纸, 除去鱼肉表层和管内壁的汁液, 称离心管和鱼肉的总质量记作 W_2 。测定重复 3 次。持水力计算如公式(2)所示:

$$\text{持水力}/\% = \left(1 - \frac{W_1 - W_2}{5 \times W}\right) \times 100 \quad (2)$$

式中: W 是 1.2.5 中得出的水分含量。

1.2.7 汁液流失率的测定^[20]

取出贮藏的鱼肉, 准确称 10.00 g 鱼肉于烧杯中, 25 °C 恒温水浴锅中加热 30 min, 用滤纸除去烧杯外的水, 称烧杯、鱼肉、渗出汁液的总质量记作 W_1 , 以及烧杯质量 W_3 , 除去烧杯内壁和鱼肉表层的汁液, 记烧杯和鱼肉的总质量 W_2 。实验平行 3 次。汁液流失率按公式(3)计算:

$$\text{汁液流失率}/\% = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_3} \times 100 \quad (3)$$

1.2.8 挥发性盐基氮 (total volatile base nitrogen, TVB-N) 的测定^[21]

参照 GB 5009.228—2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》中的微量扩散法测定 TVB-N 的值。每个样品做 3 次平行。

1.2.9 硫代巴比妥酸 (thiobarbituric acid, TBA) 的测定

参照徐贞^[22]的测定方法, 略有改动。

(1) 样品预处理

准确称取 5.00 g 绞碎的鱼肉于烧杯中, 先后加 25 mL 三氯乙酸溶液 (质量分数为 20%) 和 20 mL 蒸馏水, 均质后浸提 1 h。

(2) 测定方法

将浸提后的溶液过滤至 50 mL 容量瓶中, 蒸馏水

定容。取 5 mL 滤液于试管中, 加 5 mL 硫代巴比妥酸溶液 (浓度为 0.02 mol/L), 振荡混匀, 沸水浴 (99 °C) 20 min, 然后用自来水降至室温, 用分光光度计测定 532 nm 处吸光度 (A)。测定重复 3 次。TBA 计算如公式(4)所示:

$$\text{TBA}/[\text{mg} \cdot (100\text{g})^{-1}] = 7.8 \times A \quad (4)$$

1.2.10 质构的测定^[23]

取 2 cm × 2 cm × 1 cm 红鳍东方鲀背部肌肉, 采用质构仪全质构模式对其硬度、弹性、咀嚼性、回复性进行测定。实验参数: 压缩变形 60%, 触发力 5 g, 测前速度 3 mm/s, 测试速度 1 mm/s, 测后速度 1 mm/s, 二次压缩间隔时间 5 s。测定重复 3 次。

1.2.11 微观组织结构的测定^[24]

切取 2 cm × 2 cm × 1 cm 大小的红鳍东方鲀背部肌肉, 将肌肉置于配制好的甲醛固定液中进行固定, 固定 48 h, 然后在流水下冲洗 12 h, 将肌肉切成 4 mm × 3 mm × 2 mm 大小, 用不同浓度梯度的乙醇溶液进行脱水, 用二甲苯透明, 然后将肌肉浸蜡包埋切片, 将切片浸入 Bouin 氏液中, 把切片和 Bouin 氏液一同置于 37 °C 恒温箱 2 h, 在流水下冲洗至没有黄色, 切片分别通过天青石蓝染色液、Mayer 苏木素染色液、酸性乙醇分化液、丽春红品红染色液、苯胺蓝染色液进行染色, 弱酸处理 2 min, 95% (体积分数) 乙醇溶液脱水, 二甲苯透明 3 次, 中性树胶封盖, 然后盖上盖玻片, 用 10 倍显微镜进行观察。

1.3 数据分析

试验数据采用 Excel 2010 进行统计, 并绘制试验数据曲线, 试验结果采用平均数表示, 采用 SPSS 17.0 进行显著性分析, 经双变量分析方法进行两两比较, 采用双尾检验, $P < 0.05$ 时显著相关。

2 结果与分析

2.1 红鳍东方鲀冻结曲线

图 1 为红鳍东方鲀的冻结曲线。由图 1 可以看出, 红鳍东方鲀鱼肉中心温度由初始 19.3 °C 开始下降, 在 24 min 时降到 0.4 °C, 鱼肉中心温度在前 24 min 下降迅速, 冷冻至 32 min 以后进入一段平稳期, 在这个温度范围内, 水产品中大部分水分结成冰, 放出相应的潜热, 整个冻结过程中大部分热量是在这一阶段放出, 所以温度变化速度慢, 曲线平坦。平稳期鱼肉中心温度为 -0.9 °C, 冷冻至 62 min 时结束平稳期, 这段平稳期为鱼肉最大冰晶生成带, 平稳期后鱼肉中心温度下降趋势增大, 142 min 时鱼肉中心温度

降到 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, 温度进入平稳阶段不再下降。冰点是指水和冰平衡共存时的温度, 此时由于水和冰之间的相变热使鱼肉的温度维持平稳的状态, 因此将 $-0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 定为红鳍东方鲀的冰点。微冻保鲜是将鱼肉置于略低于其冰点 $1\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度下进行保鲜的方法^[25]。由于试验测定红鳍东方鲀的冰点为 $-0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, 故将微冻保鲜温度定为 $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

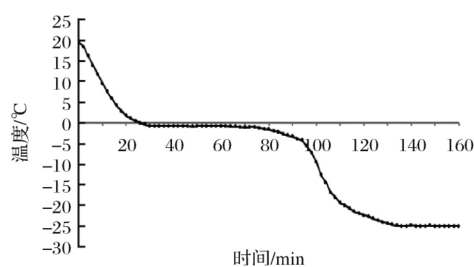


图1 红鳍东方鲀冻结曲线

Fig. 1 Freezing curve of *Takifugu rubripes*

2.2 菌落总数的变化

微冻过程中红鳍东方鲀鱼肉菌落总数的变化如图2所示, 新鲜红鳍东方鲀的菌落总数为 2.97 lg CFU/g , 微冻过程中菌落总数呈上升趋势, 上升速率逐渐增大。这是由于微冻可以抑制微生物体内的酶活性, 使微生物几乎不能繁殖, 同时, 微冻期间微生物体内部分水结冰, 使水分活度降低, 细胞液浓度升高^[26], 理化反应发生改变。贮藏过程中鱼肉中的有机物被微生物和酶分解为小分子营养物质, 促进微生物生长繁殖, 故微生物数量增加速率随着贮藏时间的延长逐渐增加。贮藏第10天菌落总数为 4.58 lg CFU/g , 至第15天时菌落总数增加到 6.54 lg CFU/g , 超过了国家标准规定的水产品可食用阈值 5.0 lg CFU/g ^[27]。

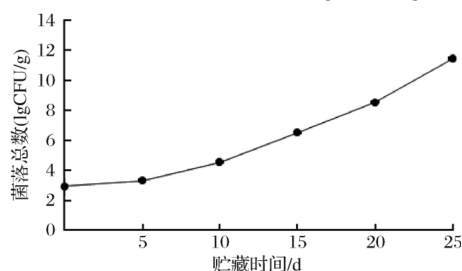


图2 红鳍东方鲀微冻过程中菌落总数的变化

Fig. 2 Change of total plate counts during micro-frozen of *Takifugu rubripes*

2.3 pH 值的变化

微冻过程中红鳍东方鲀鱼肉 pH 的变化如图3所示, 红鳍东方鲀 pH 值先下降后上升, 在贮藏第10天时 pH 达到最低值, 最低点之前 pH 值下降速率较

快, pH 值从第10天开始上升, 上升速率缓慢, 贮藏第25天时 pH 为 6.21。这是由于微冻贮藏降低了鱼肉酶和微生物对蛋白质的分解作用, 使氨等碱性物质生成量减少, 故上升速率较慢。较冷藏而言, 微冻保鲜可有效抑制红鳍东方鲀的自溶作用, 产生的碱性物质减少, 磷酸化水平较低^[28-29], 从而使鱼肉的保鲜期延长。

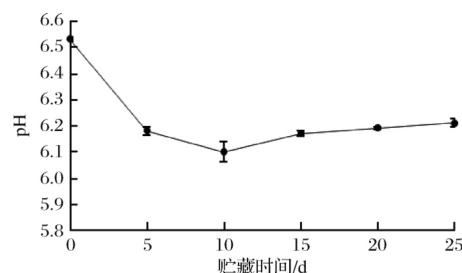


图3 红鳍东方鲀微冻过程中 pH 的变化

Fig. 3 Change of pH during micro-frozen of *Takifugu rubripes*

2.4 持水力的变化

微冻过程中红鳍东方鲀鱼肉持水力的变化如图4所示, 鱼肉持水力随着贮藏时间的延长呈下降趋势, 贮藏前15d持水力下降速率较小, 第15~25天持水力下降速率增大, 贮藏至第25天下降到 68.62 g/100g 。由于微冻使鱼肉中的水分结冰, 贮藏过程中细胞内冰晶数量逐渐增多, 部分冰晶体积增大, 对细胞结构的破坏程度逐渐增大, 且微冻抑制了内源酶和外源微生物的分解作用, 前期微生物和酶数量少, 组织细胞较完整, 离心时细胞内的组织液外渗较少; 贮藏后期微生物繁殖使得分解作用增大, 部分微生物代谢产物含有酶, 与鱼肉内源酶共同作用, 使分解速率加快, 细胞内、细胞间水分和组织液增多, 且细胞被破坏程度逐渐增大, 故鱼肉离心损失量逐渐增大。鱼肉的持水力越大, 说明鱼肉组织蛋白被破坏的程度越小, 鱼肉品质越好。

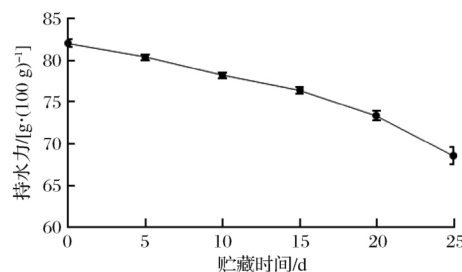


图4 红鳍东方鲀微冻过程中持水力的变化

Fig. 4 Change of water holding capacity during micro-frozen of *Takifugu rubripes*

2.5 汁液流失率的变化

微冻过程中红鳍东方鲀鱼肉汁液流失率的变化如图5所示,贮藏过程中汁液流失率呈上升趋势。贮藏前5 d上升速率较大,第5~25天上上升速率较小,呈逐渐增大的趋势,贮藏至第25 d上升到16.93 g/100g。这是由于微冻过程中鱼肉pH的变化,一方面使蛋白质对水分子的束缚力减弱,另一方面使蛋白质分子的正负基团相互吸引靠近,使分子内水分被挤出^[30]。鱼肉中酶和微生物的分解作用,使细胞结构被破坏,以上原因均使鱼肉汁液流失率增大。微冻后期由于冰晶数量和体积的增大、蛋白质结构的变化导致汁液流失率增大^[26]。微冻过程中细胞中的水分变成冰晶,使细胞结构被破坏,解冻后融化的冰晶不会被细胞完全吸收,便会形成汁液流失,而冰晶的形成改变了细胞的渗透压,有抑菌的作用,可减少细胞液的流失^[31]。汁液流失率增大,鱼肉中营养物质流失的增多,鱼肉品质变劣。

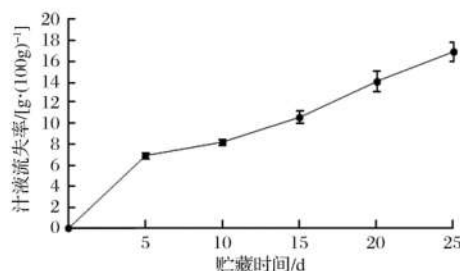


图5 红鳍东方鲀微冻过程中汁液流失率的变化

Fig. 5 Change of juice loss rate during micro-frozen of *Takifugu rubripes*

2.6 TVB-N的变化

挥发性盐基氮是度量鱼类鲜度的重要指标,根据GB/T 18108—2019^[32]可知,一级鲜度界限为 ≤ 15 mg/100g,二级鲜度界限为 ≤ 20 mg/100g,三级鲜度界限为 ≤ 30 mg/100g。微冻过程中红鳍东方鲀鱼肉TVB-N的变化如图6所示,微冻过程中红鳍东方鲀的TVB-N呈上升趋势。贮藏第10天时TVB-N为11.9 mg/100g,属于一级品鲜度,贮藏第15天为15.87 mg/100g,属于二级品鲜度,贮藏至第25天上升到21.7 mg/100g,属于三级品鲜度,在可食用范围内。贮藏过程中鱼肉中含氮物质在酶和微生物的分解作用下,生成氨氮类挥发性物质^[33]。随着菌落总数的增加,氨氮类物质含量增加,曲线上上升速率逐渐增大。

2.7 TBA的变化

硫代巴比妥酸值是常用的判定水产品脂肪酸氧化程度的指标,其原理是脂肪酸氧化产生的丙二醛和

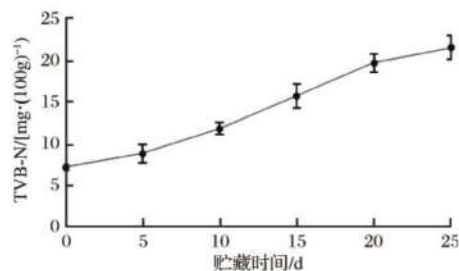


图6 红鳍东方鲀微冻过程中TVB-N的变化

Fig. 6 Change of TVB-N during micro-frozen of *Takifugu rubripes*

硫代巴比妥酸反应生成粉红色化合物。微冻过程中红鳍东方鲀鱼肉TBA的变化如图7所示,贮藏过程中TBA呈上升趋势。贮藏前期是脂肪酸氧化酸败诱导期^[34],贮藏前10 d增加速率平缓,至第10天开始TBA值增加速率明显增加,增加速率随贮藏时间的延长逐渐增大。贮藏第10天时TBA值为0.185 mg/100g,贮藏至第25天升到0.328 mg/100g。这是由于微冻过程中细胞结构被破坏,使不饱和脂肪酸与空气接触面积增加,氧化产生的丙二醛增加,与硫代巴比妥酸反应增加。故TBA值可代表鱼肉中脂肪的氧化程度,TBA值越大,鱼肉中脂质被氧化的程度越大,鱼肉品质越差。

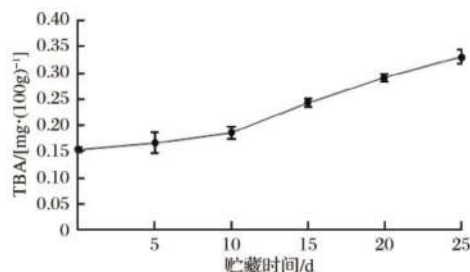


图7 红鳍东方鲀微冻过程中TBA的变化

Fig. 7 Change of TBA during micro-frozen of *Takifugu rubripes*

2.8 质构的变化

质构是评价水产品优劣的重要因素。细胞结构随冻融过程发生很大变化,冰晶使细胞中自由水含量降低,使组织细胞比表面积增大^[35],使组织细胞受损,细胞间隙增大,从而使肉质变软且失去弹性。水产品的质构在一定程度上反映了食品的感官质量,通常可以通过硬度、弹性、咀嚼性等来表征。

2.8.1 硬度的变化

微冻过程中红鳍东方鲀背部肌肉硬度的变化如图8所示,新鲜红鳍东方鲀背部肌肉的硬度为0.233 N。微冻过程中硬度呈下降趋势。其中微冻贮藏前

15 d 硬度下降速率较大,贮藏第 15 天硬度为 0.113 N,贮藏第 15~25 天背部肌肉的硬度下降速率变缓慢,贮藏第 25 天下降至 0.080 N。这是由于微冻过程中,微生物和酶的分解作用使得肌肉组织中蛋白质结构发生变化,鱼肉中肌原组织、连接组织被破坏,从而使肌肉硬度下降。随着鱼肉硬度的下降,软化程度增加,鱼肉品质变差。软化是鱼肉加工及贮藏过程中需解决的关键性问题,减缓鱼肉的软化进程对于鱼肉相关产业具有很高的经济价值^[36]。

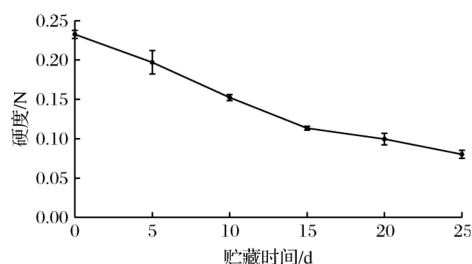


图8 红鳍东方鲀微冻过程中硬度的变化

Fig. 8 Change of hardness during micro-frozen of *Takifugu rubripes*

2.8.2 弹性的变化

微冻过程中红鳍东方鲀背部肌肉弹性的变化如图9所示,红鳍东方鲀背部肌肉的弹性随着微冻贮藏时间的延长呈下降趋势,与硬度显著性正相关($P < 0.01$)。新鲜红鳍东方鲀背部肌肉的弹性为 0.98,微冻贮藏至 25 d 时弹性下降至 0.56,其中微冻贮藏前 5 d 背部肌肉硬度下降速率较大。贮藏期间出现的上升点,可能是由于红鳍东方鲀致死时间的差异,使得贮藏过程中蛋白质组成出现差异。

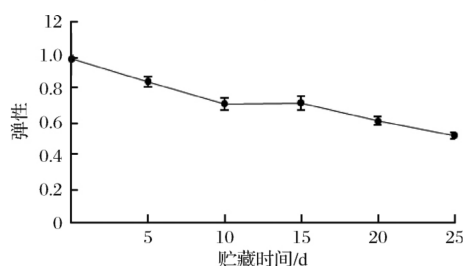


图9 红鳍东方鲀微冻过程中弹性的变化

Fig. 9 Change of springiness during micro-frozen of *Takifugu rubripes*

2.8.3 咀嚼性的变化

微冻过程中红鳍东方鲀背部肌肉咀嚼性的变化如图10所示,微冻过程中咀嚼性呈下降趋势。微冻贮藏前 20 d 背部肌肉的咀嚼性下降趋势缓慢,贮藏第 20 天咀嚼性为 -0.159 N,贮藏第 20~25 天背部

肌肉咀嚼性下降速率急剧增大,贮藏至第 25 天下降到 -0.395 N。

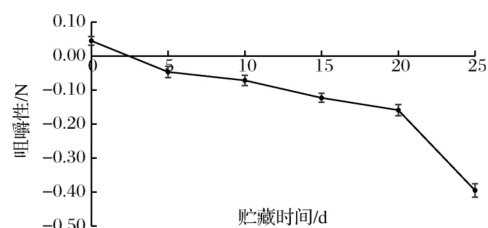


图10 红鳍东方鲀微冻过程中咀嚼性的变化

Fig. 10 Change of chewiness during micro-frozen of *Takifugu rubripes*

2.8.4 回复性的变化

微冻过程中红鳍东方鲀背部肌肉回复性的变化如图11所示,新鲜红鳍东方鲀背部肌肉的回复性是 0.721,微冻过程中回复性呈下降趋势。贮藏过程中回复性下降速率随着贮藏时间的延长而逐渐增大,微冻贮藏至第 25 天时红鳍东方鲀背部肌肉的回复性降至 0.383。

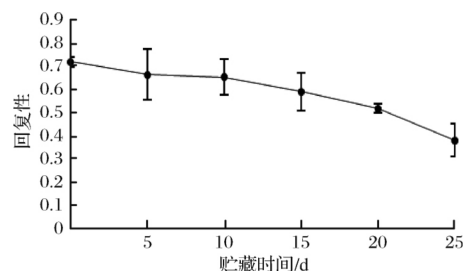


图11 红鳍东方鲀微冻过程中回复性的变化

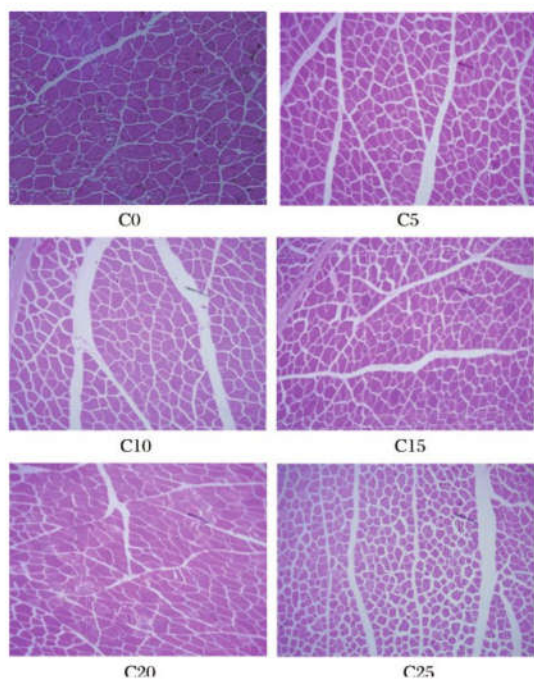
Fig. 11 Change of resilience during micro-frozen of *Takifugu rubripes*

2.9 微观组织结构的变化

2.9.1 横向组织切片分析

微冻过程中红鳍东方鲀背部肌肉组织横向切片如图12所示,新鲜红鳍东方鲀背部肌肉组织细胞大小均匀,排列紧密,肌肉内膜光滑平缓,分布均匀,细胞内无空隙。贮藏至第 10 天,细胞内出现空隙。随着贮藏时间的延长,肌肉组织细胞间的空隙逐渐变大,细胞内空隙增多。一方面,微冻过程中细胞内、细胞间生成冰晶,对细胞产生机械损伤,使细胞内水分流失,且冰晶使细胞液浓度上升,使部分结构蛋白质发生变性^[37],贮藏时间越久,蛋白质变性程度越大,细胞的机械损伤程度越大,细胞间空隙越大。另一方面,pH 的下降导致了 Ca^{2+} 的外泄^[38],使肌细胞无法收缩,从而造成细胞间空隙逐渐增大。

2.9.2 纵向组织切片分析



C0、C5 ~ C25 分别为新鲜红鳍东方鲀微冻贮藏 5、10、15、20、25 d 肌肉组织横向切片

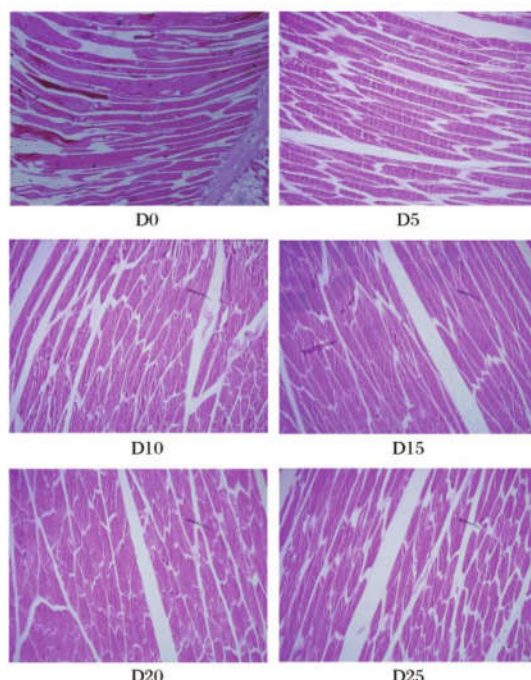
图 12 微冻过程中红鳍东方鲀肌肉组织横向切片

Fig. 12 Muscle tissue transverse section of *Takifugu rubripes* during micro-frozen

微冻过程中红鳍东方鲀背部肌肉组织纵向切片如图 13 所示,新鲜红鳍东方鲀背部肌肉组织纵切面细胞排列紧密,微冻过程中红鳍东方鲀鱼肉的肌肉束间的间隙随着贮藏时间的延长而逐渐增大,微冻贮藏初期肌肉束排列紧密且完整,随着贮藏时间的延长,部分肌肉纤维束出现断裂,且肌肉束间出现空隙。这是由于低温使得组织细胞内和细胞间生成大小不同的冰晶,细胞内外压力增大,对细胞造成机械损伤。贮藏后期肌原纤维、结构蛋白不断被降解,使肌肉束之间空隙增大,肌肉束断裂增多^[39]。由此可知,肌肉束之间的间隙随着贮藏时间的延长而越来越大,肌肉束断裂随着贮藏时间的延长而逐渐增多,说明微冻贮藏的时间对红鳍东方鲀鱼肉肌肉束的完整度影响很大。

3 结论

本实验以红鳍东方鲀为研究对象,研究了微冻贮藏过程中红鳍东方鲀鱼肉品质的变化,主要结论如下, -3℃微冻贮藏过程中,红鳍东方鲀 pH 值呈先下降后上升的趋势,贮藏第 10 天时 pH 达到最低值 6.10;汁液流失率、TVB-N、TBA、菌落总数呈上升趋势,其中贮



D0、D5 ~ D25 分别为新鲜红鳍东方鲀,微冻贮藏 5、10、15、20、25 d 肌肉组织纵向切片

图 13 微冻过程中红鳍东方鲀肌肉组织纵向切片

Fig. 13 Muscle tissue longitudinal section of *Takifugu rubripes* during micro-frozen

藏第 15 天时 TVB-N、TBA 分别为 15.87 mg/100g、0.242 mg/100g,属于二级品鲜度,贮藏至第 15 天时菌落总数增加到 6.54 lg CFU/g,超过了水产品国家标准规定的可食用阈值 5.0 lg CFU/g;持水力、硬度、弹性、咀嚼性、回复性呈下降趋势;由红鳍东方鲀背部肌肉横向和纵向切片显微结构观察结果得出,随着贮藏时间的延长,细胞内和细胞间空隙逐渐增大,纤维束逐渐松散,并出现断裂。微冻贮藏过程中红鳍东方鲀品质呈变劣趋势,贮藏 1~15 d 食用最佳。今后可从微冻过程中感官品质、蛋白质二级结构、气味物质组成及水分流动性的变化方面开展进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 景琦琦.不同养殖模式下红鳍东方鲀生长、血液生理及抗逆能力研究[D].泰安:山东农业大学,2018.
- [2] 郭芮,张晓梅,苏红,等.河豚鱼的营养价值及副产物可利用性的研究现状[J].食品科技,2018,43(3):113-116.
- [3] 于久翔,高小强,韩岑,等.野生和养殖红鳍东方鲀营养品质的比较分析[J].动物营养学报,2016,28(9):2987-2997.
- [4] 龚玺.养殖河豚鱼肉营养品质研究[D].上海:上海海洋大学,2011.
- [5] 景电涛,杨方,余达威,等.暗纹东方鲀冻藏品质劣化的原因解析[J].渔业科学进展,2019,40(5):166-174.
- [6] DUUN A S, RUSTAD T. Quality changes during superchilled stor-

- age of cod (*Gadus morhua*) fillets [J]. Food Chemistry, 2007, 105 (3): 1 067 – 1 075.
- [7] 熊善柏. 水产品保鲜储运与检验 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [8] WU C H, YUAN C H, YE X Q, et al. A critical review on superchilling preservation technology in aquatic product [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13 (12): 2 788 – 2 806.
- [9] ENTRUP M L. Advanced planning in fresh food industries: Integrating shelf into production planning [M]. Berlin: Springer-Verlag, 2005: 269 – 274.
- [10] OLA M M, ANDERS H, ANNE K T, et al. Advances in superchilling of food-process characteristics and product quality [J]. Trends in Food Science & Technology, 2008, 19 (8): 418 – 424.
- [11] 吴锁连, 康怀彬, 李冬姣. 微冻技术在水产品保鲜中的研究进展 [J]. 农产品加工, 2019 (18): 81 – 84.
- [12] ASTRID M S, INGRID C C. Industrial superchilling, a practical approach [J]. Procedia Food Science, 2011, 1: 1 265 – 1 271.
- [13] 季晓彤. 金鲳鱼块微冻贮藏过程品质变化及控制 [D]. 大连: 大连工业大学, 2018.
- [14] LILIAN D K, TRYGVE M E, TORA B, et al. A study of the ice crystals in vacuum-packed salmon fillets (*Salmon salar*) during superchilling process and following storage [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 115 (1): 20 – 25.
- [15] XU Z Q, GUO Y H, DING S H, et al. Freezing by immersion in liquid CO₂ at variable pressure: Response surface analysis of the application to carrot slices freezing [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2013, 22: 167 – 174.
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 40789. 2—2016 食品安全国家标准 食品微生物检验 菌落总数测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品 pH 的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [18] 张水华. 食品分析 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008, 52 – 53.
- [19] GUNN B O, RAGNI O, JØRGEN B L, et al. Changes in water-holding capacity of halibut muscle during cold storage [J]. LWT—Food Science and Technology, 2003, 36 (8): 771 – 778.
- [20] 刘大松. 草鱼肉在微冻和冰藏保鲜中的品质变化及其机理 [D]. 无锡: 江南大学, 2012.
- [21] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009. 228—2016 食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [22] 徐贞. 香辣蟹常温保鲜包装工艺及货架期 [D]. 无锡: 江南大学, 2017.
- [23] 董开成. 不同低温预处理对小黄鱼贮藏过程中品质的影响 [D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
- [24] 袁小敏. 低温保鲜冰对罗非鱼片保鲜效果影响的研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.
- [25] CARLA D S A, ELIANE T M, R D O R R, et al. Studies of the effect of sodium tripolyphosphate on frozen shrimp by physicochemical analytical methods and low field nuclear magnetic resonance (LF ¹H NMR) [J]. LWT—Food Science and Technology, 2013, 50 (2): 401 – 407.
- [26] LILIAN D K, TRYGVE M E. The development of ice crystals in food products during the superchilling process and following storage, a review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2014, 39 (2): 91 – 103.
- [27] 邵颖. 壳聚糖—丁香酚乳液的制备表征及其对冷藏期间带鱼的保鲜作用研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2019.
- [28] 冷寒冰, 刘俊荣, 徐美禄, 等. 红鳍东方鲀死后僵直及生化变化特性 [J]. 水产学报, 2020, 44 (1): 156 – 165.
- [29] MENG D, QIN L, MA L X, et al. Postmortem nucleotide degradation in turbot mince during chill and partial freezing storage [J]. Food Chemistry, 2020, 311: 125 900.
- [30] ELISABETH H L, STEVEN M L. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes [J]. Meat Science, 2005, 71 (1): 194 – 204.
- [31] OLUMIDE A O, BURKE C M, BOLCH C C J, et al. Seafood spoilage microbiota and associated volatile organic compounds at different storage temperatures and packaging conditions [J]. International Journal of Food Microbiology, 2018, 280: 87 – 99.
- [32] 赵旭飞, 胡志和, 薛璐, 等. 超高压处理对脱脂乳感官特性的影响 [J]. 食品科学, 2019, 40 (19): 172 – 184.
- [33] 吴行印, 谢晶, 王旭. 不同贮藏温度下小黄鱼货架期预测模型的建立和评价 [J]. 包装工程, 2016, 37 (19): 84 – 90.
- [34] YAOWAPA T, SOOTTAWAT B, MARK P R. Changes in heme proteins and lipids associated with off-odour of seabass (*Lates calcarifer*) and red tilapia (*Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*) during iced storage [J]. Food Chemistry, 2010, 121 (4): 1 109 – 1 119.
- [35] 向迎春. 超声辅助冻结中国对虾的组织冰晶状态及其品质变化的影响研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- [36] 张皖君, 蓝蔚青, 赖晴云, 等. 不同冰藏处理对鲈鱼品质、ATP 关联物及微生物变化的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2019, 45 (18): 35 – 42.
- [37] 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.
- [38] 杜鑫, 邓思杨, 畅鹏, 等. 冷冻鱼糜品质劣化的机制及其控制技术的进展 [J]. 食品工业科技, 2018, 39 (16): 306 – 312.
- [39] 杨帆, 万金庆, 厉建国. 微冻贮藏虾仁的水分迁移与品质变化 [J]. 食品与发酵工业, 2019, 45 (20): 68 – 74.