

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20181017001

http://www.yykxjz.cn/

陈依萍, 崔文萱, 高瑞昌, 李渐鹏, 曾名湧, 唐淑玮, 冯秋凤, 赵元晖. 冷藏与微冻贮藏过程中鲟鱼肉品质变化. 渔业科学进展, 2020, 41(1): 178-186

Chen YP, Cui WX, Gao RC, Li JP, Zeng MY, Tang SW, Feng QF, Zhao YH. Changes in quality of sturgeon fillet during 4°C and -3°C partial freezing storage. Progress in Fishery Sciences, 2020, 41(1): 178-186

冷藏与微冻贮藏过程中鲟鱼肉品质变化*

陈依萍¹ 崔文萱² 高瑞昌³ 李渐鹏¹
曾名湧¹ 唐淑玮¹ 冯秋凤¹ 赵元晖^{1①}

(1. 中国海洋大学食品科学与工程学院 青岛 266003; 2. 蓬莱市水产技术推广站 蓬莱 265600;
3. 江苏大学食品与生物工程学院 镇江 212013)

摘要 为了比较鲟鱼(*Acipenser sinensis*)肉在 4°C 冷藏与 -3°C 微冻过程中的品质变化, 提供一种提高鲟鱼新鲜品质的贮藏方式, 通过感官评分、菌落总数(TVC)、pH 值、挥发性盐基氮值(TVB-N)、硫代巴比妥酸值(TBA)、质构、挥发性风味物质、水分分布状态与肌纤维微观结构等指标的测定, 评价了 2 种温度贮藏对鲟鱼肉品质的影响。结果显示, 随着贮藏时间的延长, 2 种低温保鲜方式下鲟鱼肉的自由水与结合水的比例、TVB-N、TBA 和菌落总数均呈现上升趋势; 质构指标硬度和弹性及感官评分均呈降低趋势; 观察其微观结构发现, 随着贮藏时间的延长, 肌纤维之间出现黏连, 肌节逐渐由清晰变为模糊, -3°C 贮藏后期表现尤为明显。综合各指标的变化规律, 确定了 4°C 冷藏和 -3°C 微冻条件下, 鲟鱼肉的货架期分别为 6 d 和 18 d。与冷藏相比, 微冻可较好地保持鲟鱼肉品质, 微生物对鲟鱼肉的腐败进程影响较小, 而质构指标则是影响贮藏末期感官评分的最主要因素。

关键词 鲟鱼; 微冻; 品质变化; 微观结构; 贮藏期

中图分类号 TS254.7 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2020)01-0178-09

鲟鱼 (*Acipenser sinensis*) 隶属于硬骨鱼纲 (Osteichthyes)、辐鳍亚纲 (Actinopterygii)、硬鳞总目 (Ganoidomorpha)、鲟形目 (Acipenseriformes), 是现存起源最早的脊椎动物之一 (朱国平, 2017)。成年鲟鱼可长至 2~3 m, 最长可达 9~10 m, 平均体重为 200~400 kg, 是世界上最大的淡水鱼类 (董佳等, 2017)。近年来, 中国已成为全球鲟鱼产量最大的国家, 2016 年鲟鱼养殖量为 89773 t (农业农村部渔业渔政管理局, 2017)。鲟鱼肉目前主要用于餐馆鲜销和冷冻出口 (李贝贝等, 2018), 鲜销鲟鱼肉贮藏期过短, 而冻藏鱼肉则面临着解冻后鱼肉品质严重劣化的问题 (董佳

等, 2017)。屠冰心等 (2014) 的研究也表明, 大黄鱼在不同温度冻藏过程中, 质构指标发生不同程度的劣化。因此, 应用一种能够延长鱼肉贮藏期并能够较好保持其品质的贮藏方式, 对于鲟鱼肉的贮藏和销售有着重要意义。

微冻技术起于 1920 年, 即应用介于传统冻结和冰温之间的温度, 但是, “微冻”或者“部分冷却”的概念在 2008 年才正式被提出, 定义为“产品中的 5%~30% 的水分被冻结”, 温度定义为低于初始冻结点 1°C~2°C (Magnussen *et al*, 2008)。研究表明, 微冻条件下水产品的感官、质构等优于冷冻样品, 且相比冷

* 山东省重点研发项目 (2017GHY15128) 和现代农业产业技术体系专项资金 (CARS-46) 共同资助 [This work was supported by Shandong Province Key Research and Development Project (2017GHY15128), and China Agriculture Research System (CARS-46)]. 陈依萍, E-mail: cyp10103@163.com

① 通讯作者: 赵元晖, 副教授, E-mail: zhaoyuanhui@ouc.edu.cn

收稿日期: 2018-10-17, 收修改稿日期: 2018-11-30

藏保鲜贮藏期可以提升 1.4~5.0 倍(Kaale *et al*, 2011)。Mi 等(2013)评估了-2℃微冻条件下草鱼的品质变化, 研究表明, 其贮藏期可延长至 21 d。Sun 等(2017)将气调包装与微冻结合用于梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*)贮藏, 考察贮藏期的品质指标, 研究表明, 可延长其贮藏期 15~20 d, 且 CO₂ 的比例是关键影响因素。Banerjee 等(2017)则认为, 微冻保鲜技术目前仍处于起步阶段, 消费者对微冻产品的认知度很低, 但微冻能够保持新鲜度、保持质量和延长贮藏期这 3 个优势, 使得微冻技术有着广阔的应用空间。

有关鲟鱼肉微冻保鲜的研究鲜见报道, 为了比较鲟鱼肉在 4℃冷藏与-3℃微冻过程中的品质变化, 提供一种提高鲟鱼新鲜品质的贮藏方式, 本文以鲟鱼肉为研究对象, 通过测定其质构、色差、水分状态、pH 值、挥发性盐基氮值(TVB-N)、硫代巴比妥酸值(TBA)和菌落总数等指标, 结合感官评定和电子鼻, 研究鲟鱼肉在 4℃冷藏和-3℃微冻条件下的贮藏期, 并且通过扫描电镜观察在贮藏期间其肌纤维的微观结构变化, 为鲟鱼肉的保鲜技术提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

实验所用鲟鱼购于青岛市城阳区水产市场, 体重为 1.5~2.5 kg, 充氧 2 h 内活体运输至实验室; 平板计数琼脂(Plate count agar, PCA), 青岛海博生物技术有限公司; HCl、H₃BO₃、NaCl 和 NaOH 等常规试剂均为分析纯试剂, 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

冰箱 BCD-216SDN 青岛海尔集团; 差示扫描量热仪 DSC250, 美国 TA 仪器; TMS-PRO 质构仪,

美国 Food Technology 公司; PEN3 便携式电子鼻, 德国 Airsense 公司; MR25 核磁共振成像分析系统, 上海纽迈电子科技有限公司; 扫描电镜 VEGA3 SBU, 捷克 Tescan 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 原料处理 新鲜鲟鱼运输至实验室, 于环境温度为 18℃的工艺实验室处理, 敲击至晕, 去头尾、去皮和内脏, 无菌冰水洗净, 取鱼背肉将其分割为 10 cm×10 cm×3 cm 的鱼段, 用滤纸擦干鱼肉表面水分, 放入聚丙烯保鲜盒中, 使用聚乙烯材质的保鲜膜封口, 置于 4℃冷藏冰柜和-3℃微冻贮藏冰柜中进行贮藏实验。4℃下每 2 d 取样, 至鱼肉感官不可接受为止, 微冻条件每 3 d 取样, 至感官不可接受为止, 取样后于 4℃冰箱解冻 1 h 再进行指标测定。

1.3.2 冰点测定 鲟鱼肉冰点采用 DSC 法进行测定。首先用标准程序对仪器进行温度和灵敏度校准。取坩埚 2 套, 其中, 空坩埚压封后作为参比, 另 1 套称取微冻鲟鱼肉样品(10~15 mg)作为实验组。程序设置, 载气为高纯氮气, 保护气的速度为 60~70 ml/min, 吹扫气速度为 20~30 ml/min, 手动控制液氮冷却到-40℃, 恒温 1 min, 然后以 1℃/min 升温至 20℃。为了确保实验数据的准确性, 每个实验重复 3 次。根据测得的曲线判断鲟鱼肉冰点。

1.3.3 感官评定 参照胡玥(2016)的方法制作感官评分表(表 1), 分色泽、气味、组织形态和肌肉弹性 4 项指标, 邀请 7 位受过感官评定培训的实验员进行评价, 总分满分为 20 分。

1.3.4 菌落总数测定 参照 GB 4789.2-2016《食品微生物学检验 菌落总数测定》

1.3.5 pH 测定 取 10 g 鱼背肉样品, 加入 90 ml

表 1 鲟鱼感官评价标准
Tab.1 Sensory evaluation criteria of sturgeon

感官指标 Sensory index	分值 Score				
	5 分	4 分	3 分	2 分	1 分
色泽 Color	色泽正常, 肌肉切面有光泽	色泽正常, 肌肉切面稍有光泽	色泽较暗淡, 无明显光泽	暗淡, 无光泽	非常暗淡, 无光泽
气味 Flavor	固有鱼肉清香	较清新	略带异味	清香味消失, 有腥臭味或氨臭味	强烈腥臭味
组织形态 Muscle tissue	肌肉组织致密, 纹理清晰	肌肉组织较紧密, 纹理较清晰	不紧密, 但不松散	不紧密, 局部松散	肌肉松散
肌肉弹性 Springiness	坚实有弹性, 按压后凹陷立即消失	较有弹性, 按压后凹陷较快消失	按压后凹陷消失较慢	稍有弹性, 按压后凹陷消失很慢	无弹性, 按压后凹陷不消失

去离子水匀浆,使用 pH 计测定匀浆 pH,每个样品重复测定 3 次,结果取平均值。

1.3.6 TVB-N 测定 参照 GB 5009.228-2016《食品中挥发性盐基氮的测定》。

1.3.7 TBA 测定 参照 GB5009.181-2016《食品中丙二醛的测定》。

1.3.8 质构测定 将鱼肉切成 1 cm 见方的块状,采用 TMS-PRO 质构仪进行 TPA 测定。测定参数:直径为 50 mm 的圆柱形探头;触发力为 1.0 g;测试前速度为 1.0 mm/s,测试速度为 1.0 mm/s,测试后速度为 2.0 mm/s;形变量为 60%。

1.3.9 水分状态测定 参照樊燕等(2017)的方法,测定样品 T_2 弛豫时间。将样品切成片(2.0 cm×0.6 cm×0.6 cm),放置在 NMR 核磁管的底部,将管放入 NMR 仪器。测试条件:质子共振频率 22.6 MHz,测量温度 32℃。采用仪器自带软件进行数据处理,选用 CPMG 序列, τ -值为 100 μ s,用指数衰减曲线进行反演,反演结果包括 T_2 弛豫时间对应的峰面积及峰宽度。

1.3.10 挥发性风味物质测定 采用德国 Airsense 公司的 PEN3 便携式电子鼻对样品进行测定,准确称量 0.5 g 搅碎鱼背肉样品,装入 20 ml 顶空瓶中,室温平衡 30 min 后进行测定。测定参数:传感器清洗时间为 90 s,进样时间为 3 s,气流流速 150 ml/min,数据采集时间为 70 s。采用电子鼻内置程序(Winmuster, version 1.6.2)进行数据处理与分析。

1.3.11 微观结构观察 取鲟鱼背部肌肉,从平行于肌原纤维伸展方向纵切,大小为 3 mm×3 mm×6 mm,使用戊二醛固定肌肉组织,冷冻干燥,离子溅射仪喷金后,通过扫描电镜观察其微观结构,并拍照。

1.3.12 统计分析 所有数据均设置 3 次重复,采用 SPSS 19.0 分析数据,以 $P<0.05$ 表示差异显著。实验数据处理及统计采用 Origin 2017 进行分析,以平均值±标准差(Mean±SD)表示,每个样品进行 3 个平行。

2 结果与分析

2.1 冰点分析

鲟鱼肉冰点采用 DSC 法测定,取升温熔融曲线左侧拐点的切线与扫描基线的交点对应的横轴温度为冰点(刘大松,2012)。图 1 即为新鲜鲟鱼肉 DSC 升温熔融相变曲线,可以得出,新鲜鲟鱼肉的冰点为 $(-2.10\pm 0.15)^\circ\text{C}$ 。微冻技术大多选取冰点或冰点以下 $1^\circ\text{C}\sim 2^\circ\text{C}$ 之间的温度进行贮藏,同时,考虑到鲟鱼各部位及个体的差异会导致其冰点略微不同以及贮藏

设备自身的温度波动,本实验设定 -3°C 作为鲟鱼微冻贮藏的温度。

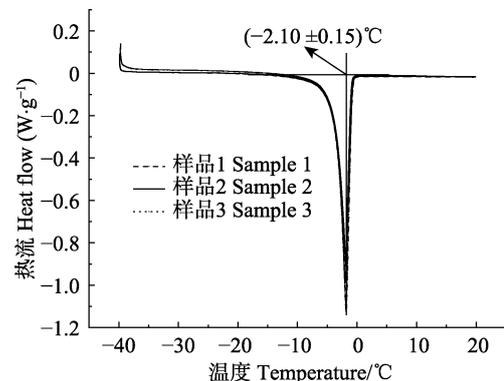


图 1 新鲜鲟鱼肉 DSC 扫描曲线
Fig.1 DSC scanning curve of fresh sturgeon

2.2 感官评定

感官评定是衡量食品品质的重要手段。Sun等(2017)研究表明,当梭子蟹的菌落总数并未达到国际微生物标准委员会(ICMSF, 1986)规定的甲壳类水产品卫生限值 $6 \log\text{CFU/g}$ 时,就已严重腐败,感官亦不接受,因此,感官指标比生化性质更直观。图 2 显示了鲟鱼肉在 2 种不同条件贮藏过程中的感官评分,随贮藏时间的延长,鲟鱼肉感官分值呈逐渐下降趋势。贮藏至第 4 天时,冷藏的鱼肉感官评分值已降至 8.43 ± 0.53 ,此时鱼肉具有轻微的腐败异味,同时,鱼肉表面出现黏液,弹性降低;第 6 天感官评分为 4.29 ± 0.49 ,鱼肉异味明显,黏粘严重,感官完全不能接受。在整个贮藏期间,微冻与冷藏的感官评分值差异显著($P<0.05$),微冻处理的感官评分项在色泽和气味上没有明显下降,分值持续缓慢下降主要体现在组织形态和肌肉弹性上的劣化,贮藏至第 18 天时,感官评分

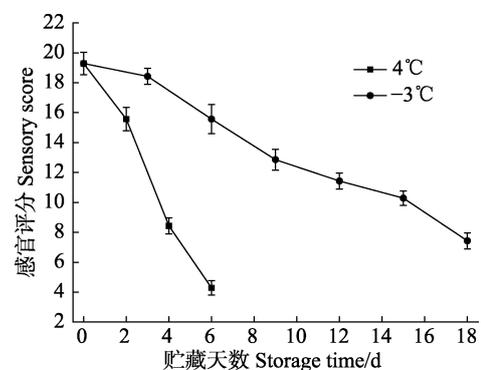


图 2 鲟鱼肉在冷藏与微冻贮藏过程中感官评分变化
Fig.2 Changes in sensory evaluation of sturgeon during 4°C and -3°C storage

才降至 7.43 ± 0.53 。同时, 微冻处理延缓了鲟鱼肉的脂肪氧化, 这也是微冻鲟鱼肉能在较长时间维持气味较好的原因。

2.3 菌落总数测定

《微生物检验与食品安全控制》国际食品微生物标准委员会(ICMSF, 1986)规定, 淡水鱼和海水鱼的微生物可接受极限为 $7.00 \log\text{CFU/g}$ 。图 3 显示了鲟鱼肉贮藏过程中菌落总数(TVC)的变化趋势, 新鲜鲟鱼肉的 TVC 为 $(4.35 \pm 0.01) \log\text{CFU/g}$, 随着贮藏时间的增加, 冷藏鲟鱼肉的 TVC 几乎呈直线上升, 并在贮藏的第 6 天达到了 $(7.35 \pm 0.01) \log\text{CFU/g}$, 已超过限值。与冷藏鲟鱼肉相比, 微冻鲟鱼肉 TVC 增长速度缓慢, 第 6 天的 TVC 仅为 $(4.62 \pm 0.04) \log\text{CFU/g}$, 第 18 天时 TVC 为 $(5.06 \pm 0.08) \log\text{CFU/g}$, 依然低于 $6.00 \log\text{CFU/g}$ 。同样的结果也出现在 Lu 等(2014)的研究中, 微冻贮藏对松浦镜鲤(*Cyprinus carpio*)中微生物的抑制效果明显优于冷藏条件。这种现象与微冻使微生物细胞中的游离水部分冻结、细胞液浓度增加、水分活度降低、抑制了微生物的繁殖(Kaale et al, 2014)有关。

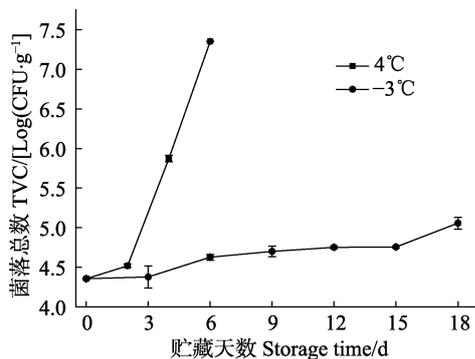


图 3 鲟鱼肉在冷藏与微冻贮藏过程中菌落总数的变化
Fig.3 Changes in total visible colonies of sturgeon during 4°C and -3°C storage

2.4 化学指标分析

2.4.1 pH 分析 pH 值的变化可以在一定程度上反映水产品的新鲜程度。鲟鱼肉在冷藏与微冻贮藏期间的 pH 值变化如图 4 所示。2 组样品的 pH 值均呈先下降后上升的趋势, 原因可能是鲟鱼贮藏初期发生的生化反应主要是糖原酵解、脂肪分解和 ATP 降解, 这些反应会相应产生乳酸、脂肪酸和磷酸等酸性物质, 使肌肉整体 pH 下降(陈思等, 2015)。贮藏后期, 鱼肉蛋白质会加速降解产生氨基酸、吲哚、氨和胺类物质等碱性物质, 使 pH 值上升(Jiang et al, 1985)。冷藏条件下, 鲟鱼肉在第 2 天即已达到最低 pH, 为 6.44 ± 0.03 ; 而微冻贮藏的样品, pH 值在第 6 天时才降至

最低水平, 之后开始上升, 表明微冻处理能在一定程度上抑制蛋白分解和 ATP 降解等生化反应过程, 从而延长鲟鱼的保鲜期。

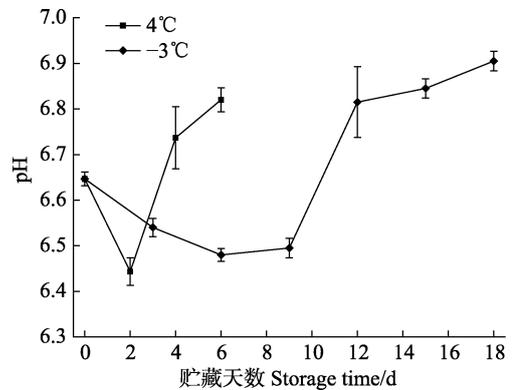


图 4 冷藏与微冻鲟鱼 pH 值的变化
Fig.4 Changes in pH value of sturgeon during 4°C and -3°C storage

2.4.2 TVB-N 与 TBA 分析 挥发性盐基氮(TVB-N)是用于判断食品新鲜度常用的理化指标, 在微生物和内源酶的作用下, 蛋白质持续分解产生氨以及胺类等碱性含氮物质。沈妮等(2019)研究表明, 0°C 和 4°C 2 种冷藏条件下, 带鱼(*Trichiurus lepturus*)的蛋白氧化致使其新鲜度和品质都遭到破坏, 散发出异味。从图 5 可以看出, 新鲜鲟鱼肉初始 TVB-N 值为 $12.63 \text{ mg}/100\text{g}$, 较其他淡水鱼偏高, 这可能是由于鲟鱼肉的蛋白含量较高。TVB-N 值在贮藏过程中呈逐渐上升趋势, 在贮藏第 4 天, 冷藏的 TVB-N 值达到 $(16.94 \pm 0.07) \text{ mg}/100\text{g}$, 第 6 天达到 $(21.56 \pm 0.41) \text{ mg}/100\text{g}$, 根据 GB 2733-2015 鲜、冻动物性水产品卫生标准, 淡水鱼的 TVB-N 卫生限值为 $20 \text{ mg}/100\text{g}$, 已超过限值。而微冻鲟鱼肉 TVB-N 含量的增长速度明显缓于

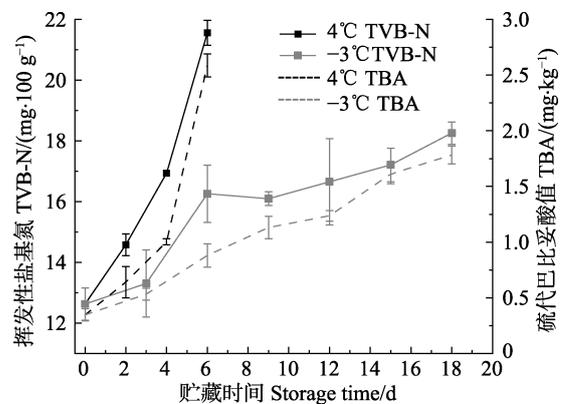


图 5 冷藏与微冻鲟鱼挥发性盐基氮值与硫代巴比妥酸值的变化
Fig.5 Changes in TVB-N and TBA value of sturgeon during 4°C and -3°C storage

冷藏($P<0.05$),第6天TVB-N值为(16.10±0.23) mg/100 g,第18天为(18.26±0.37) mg/100 g,仍未超过腐败限值20 mg/100 g。这是由于微冻处理能够显著抑制微生物的繁殖代谢和内源酶活力,减缓其对鱼肉蛋白质的分解,使胺类和氨类等碱性物质的积累减小(杨胜平,2010)。

脂质氧化是引起水产品风味劣化的重要原因之一,硫代巴比妥酸值(TBA)是表征水产品脂肪氧化程度的常用指标。图5反映了鲟鱼肉TBA值的变化情况,在整个贮藏期间,2种不同贮藏温度的鲟鱼肉TBA含量呈逐渐增加的趋势。冷藏样品的TBA值从最初的(0.35±0.06) mg/kg增加到第6天的(2.59±0.10) mg/kg,脂肪氧化会产生酮、醛类等挥发性物质,当TBA值高于2.2时,鱼类有明显腥臭味(刘奇,2013)。微冻的样品在第18天TBA值才达到(1.78±0.08) mg/kg,表明微冻处理可以在一定程度上延缓脂质的氧化,使鲟鱼肉能够在较长时间内保持良好的风味,这可能与微冻能更好抑制鲟鱼脂肪氧化酶的活力有关(徐永霞等,2016)。

2.5 物理指标分析

2.5.1 质构分析

鱼体宰杀后,其肌肉的质构特性是评价鱼肉新鲜度及品质质量的一个重要方面,在所有的质构指标中,硬度、弹性和咀嚼性是其中最重要的,消费者可根据这些指标来判定鱼肉是否新鲜。高昕等(2010)研究表明,冷藏过程中鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)硬度、弹性和咀嚼性等指标均呈现减小的趋势,肌肉细胞间结合力下降,口感质量降低。表2和表3显示了4℃冷藏和微冻贮藏鲟鱼肉在贮藏期内的这3个质构指标的变化趋势。随着贮藏时间的延长,2种贮藏条件下的鲟鱼肉硬度、弹性均呈现不同程度的降低趋势。4℃冷藏条件下,鱼肉的硬度和弹性在第4天时即已比新鲜鱼肉显著降低。微冻贮藏条件下,硬度在第9天时出现显著降低,而弹性则在第3天时已出现显著降低。咀嚼性是指把固态食品咀嚼为能够吞咽的状态所需要的能量,表3数据可以看出,随着时间延长,咀嚼性也呈现明显的降低趋势,表明鱼肉纤维的结构被一定程度地破坏,这与硬度和弹性的下降是对应的。蒋晓庆(2016)在研究草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)在冰藏和微冻条件下质构品质变化过程中发现,由胶原蛋白酶引起的胶原蛋白降解与鱼肉硬度下降存在一定的关联,另外,冰晶形成对其肌纤维结构的破坏可能是影响其贮藏末期感官评分主要因素。

表2 鲟鱼肉在冷藏过程中的质构变化

Tab.2 Changes in texture of sturgeon during 4℃ storage

贮藏天数 Storage time (d)	硬度 Hardness (N)	弹性 Springiness (mm)	咀嚼性 Chewiness (mJ)
0	52.967±3.235 ^a	1.890±0.108 ^a	17.410±3.784 ^a
2	51.867±3.612 ^a	1.733±0.040 ^a	13.033±1.429 ^b
4	40.700±3.315 ^b	1.523±0.045 ^b	9.303±0.733 ^{cd}
6	35.033±1.950 ^b	1.187±0.086 ^b	6.387±1.084 ^d

注:不同的字母表示各组之间存在显著性差异($P<0.05$)。下同

Note: Mean values with different letters (a, b, c, and d) for each group differ significantly at $P<0.05$. The same as below

表3 鲟鱼肉在微冻贮藏过程中质构变化

Tab.3 Changes in texture of sturgeon during -3℃ storage

贮藏天数 Storage time (d)	硬度 Hardness (N)	弹性 Springiness (mm)	咀嚼性 Chewiness (mJ)
0	52.967±3.235 ^a	1.890±0.108 ^a	17.410±3.784 ^a
3	50.900±1.127 ^{ab}	1.623±0.062 ^{bc}	17.133±0.469 ^a
6	47.833±3.557 ^{ab}	1.560±0.165 ^b	12.700±3.655 ^b
9	42.800±2.691 ^{bc}	1.617±0.046 ^c	12.280±0.661 ^b
12	41.400±1.700 ^b	1.553±0.064 ^c	11.043±1.686 ^{bc}
15	32.600±0.866 ^{bd}	1.420±0.038 ^c	7.493±1.963 ^d
18	27.333±1.504 ^d	1.227±0.086 ^d	7.387±3.277 ^{cd}

2.5.2 水分状态分析

低场核磁技术(LF-NMR)近年来被广泛应用于食品领域研究,通过分析 T_2 弛豫时间的长短可以判断食品中自由水、结合水和不易流动水的状态。臧秀(2017)研究表明,海参干燥过程中水分分布与弛豫时间和信号幅值均有很好相关性。弛豫时间越短,表明水分子与大分子结构结合越紧密,弛豫时间越长,表明水分子越自由。图6中 T_{21} 峰(0.01~10 ms)为结合水峰, T_{22} 峰(10~150 ms)为不易流动水峰, T_{23} 峰(大于150 ms)为自由水与加热溢出的部分油脂。贮藏末期相比于储存初期,不易流动水的弛豫时间 T_{22} 和自由水的弛豫时间 T_{23} 逐渐向右移动,且弛豫时间变长,说明水分的流动性随着储藏时间的延长而增加。而微冻条件下,贮藏末期的自由水含量明显高于冷藏末期,结合水含量明显低于冷藏末期,这表明微冻条件会增加鱼肉的汁液流失率(Sivertsvik *et al*, 2003),这与前文鱼肉质构指标的下降是对应的。

2.5.3 挥发性物质分析

电子鼻具有10个高灵敏度传感器,对应不同类型的挥发性化合物。本研究通过电子鼻传感器测定4℃和微冻贮藏条件下不同时期

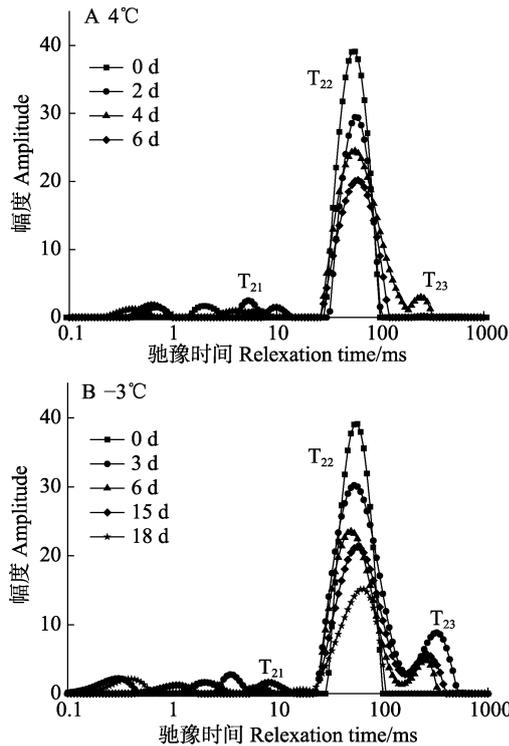


图 6 鲟鱼肉在冷藏与微冻贮藏过程中 T₂ 弛豫图谱
Fig.6 T₂ relaxation spectrum of sturgeon during 4°C and -3°C storage

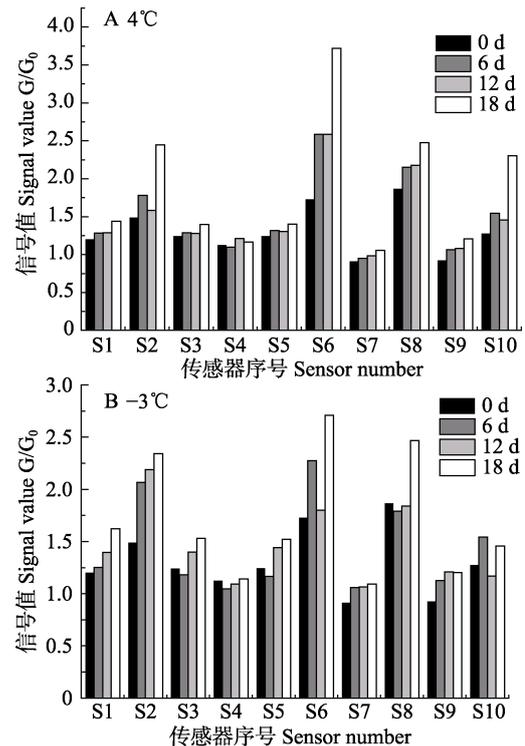


图 7 鲟鱼肉在冷藏与微冻贮藏过程中挥发性物质的变化
Fig.7 Changes in volatile substances of sturgeon during 4°C and -3°C storage

表 4 PEN3 电子鼻传感器构成

Tab.4 Composition of sensors in PEN3 electronic nose

传感器 Sensors	性能描述 Property description	代表性化合物 Representative compound	相应阈值 Threshold (ml/m ³)
S1	对芳香成分敏感	C ₇ H ₈	10
S2	对氮氧化物敏感	NO ₂	1
S3	对氨水、芳香成分敏感	C ₆ H ₆	10
S4	主要对氢气有选择性	H ₂	100
S5	对烷烃芳香成分敏感	C ₃ H ₈	1
S6	对甲烷灵敏	CH ₄	100
S7	对硫化物灵敏	H ₂ S	1
S8	对乙醇灵敏	CO	100
S9	对有机硫化物灵敏	H ₂ S	1
S10	对烷烃灵敏	CH ₄	10

的样品中挥发性物质组成。本实验提取 10 个传感器稳定后第 65 s 的响应值,如图 7 所示,鲟鱼肉在不同贮藏条件下,随着时间的推移,电子鼻信号特征均会发生显著变化。其中,2 号可能是由于蛋白质的氧化或降解产生的物质,6 号和 8 号响应值迅速增大,感官上出现较为明显的鱼腥味和轻微的酸败气味。4°C 条件下,10 号响应值在贮藏末期也显著增大。相较

于 4°C 冷藏条件,微冻鲟鱼肉在贮藏后期,几种挥发性物质的响应值较低,在 6 号和 10 号上表现尤为明显。这与感官评价中微冻贮藏后期气味指标评分没有显著降低也是相对应的。卞瑞姣等(2017)对于秋刀鱼(*Cololabis saira*)的电子鼻研究结果与之相近,贮藏后期 6~10 号响应值相对较大,共同构成了秋刀鱼强烈的鱼腥味和酸败气味。

2.6 微观结构分析

组织学特征是研究水产品肌肉结构的基础,也是评价肌肉品质的重要因素。Kaale 等(2013)研究表明,不论冻结速度如何,微冻处理中冰晶的形成都是影响肌肉组织形态的关键因素。图 8 为鲟鱼肌肉纵切面的扫描电镜照片。图 8-1 为 4°C 贮藏过程中鱼肉的微观结构变化,可以看出新鲜鲟鱼的肌肉纤维非常清晰,排列整齐有序,并且能够清晰观察到肌节单位和肌原纤维的网状结构。随着贮藏时间的延长,鱼肉在自身蛋白酶和微生物的作用下,结缔组织被降解,导致网状结构消失,肌原纤维发生粘黏。微冻贮藏图 8-2B 的鲟鱼肌肉纤维微观结构要比冷藏(图 8-1C)更清晰,说明微冻在贮藏前期对肌原纤维降解、微观组织结构的劣变与蛋白酶活性有一定的抑制作用,能更好地保持肌肉纤维结构完整性,但在微冻贮藏中后期,

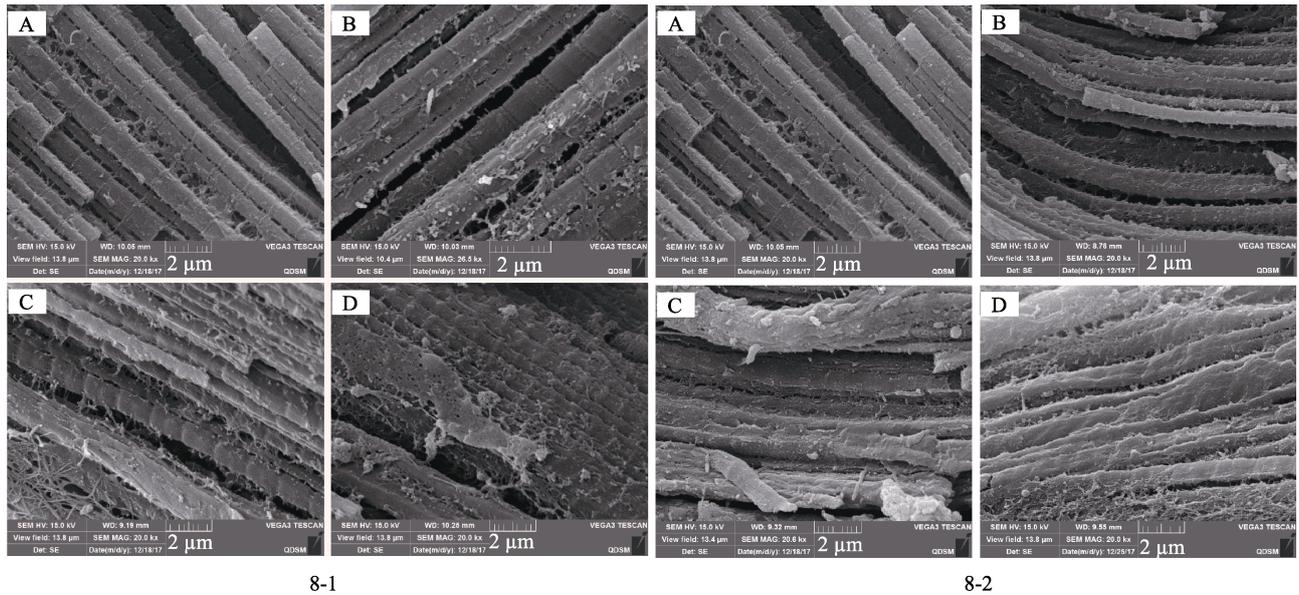


图8 扫描电镜下冷藏与微冻鲟鱼肌肉微观结构
Fig.8 Changes in microstructure of sturgeon muscles during 4°C and -3°C storage

8-1: A: 新鲜鲟鱼样; B: 冷藏 2 d; C: 冷藏 4 d; D: 冷藏 6 d

8-2: A: 新鲜鲟鱼样; B: 微冻 6 d; C: 微冻 12 d; D: 微冻 18 d

8-1: A: Fresh sturgeon; B: storage at 4°C for 2 days; C: Storage at 4°C for 4 days; D: Storage at 4°C for 6 days

8-2: A: Fresh sturgeon; B: storage at -3°C for 6 days; C: storage at -3°C for 12 days; D: storage at -3°C for 18 days

肌肉纤维则呈现较为明显的劣化,肌节逐渐消失,这也是造成感官评分中微冻组鱼肉组织结构和肌肉弹性指标得分明显降低的原因。

3 结论

4°C冷藏条件下,鲟鱼肉 TVB-N、TBA 与菌落总数等指标劣化较快,导致感官评分也随之迅速下降,其贮藏期为 6 d。-3°C微冻条件下,鲟鱼肉的 pH 值呈先下降后上升的趋势,贮藏后期,硬度和弹性等质构指标值持续降低,感官评分也因此呈降低趋势;微冻鲟鱼肉的自由水与结合水比例呈上升趋势,表明鲟鱼肉在贮藏后期持水性逐渐下降;TVB-N、TBA 与菌落总数均呈现上升趋势,但在贮藏末期也并未超过鲜冻水产品卫生限值。观察其微观结构,随着贮藏时间的延长,肌纤维之间出现粘黏,肌节逐渐由清晰变为模糊。综合各指标的变化规律,确定了-3°C微冻条件下其贮藏期为 18 d,相比 4°C冷藏鲟鱼肉的贮藏期 6 d 延长了 2 倍,表明微冻可明显延缓品质劣化趋势。本研究探明了冷藏与微冻贮藏条件下鲟鱼肉的贮藏期,并初步探明微生物并不是微冻鲟鱼肉品质劣化的主要因素,而冰晶形成和蛋白酶对其肌纤维的破坏可能是更为重要的原因,为鲟鱼肉的冷鲜贮藏与多元化销售提供了理论基础。本研究对其品质劣化的机理探

究不够深入,在后期研究中将继续从冰晶形成和蛋白酶角度深入探究微冻鲟鱼肉的品质变化机理。

参 考 文 献

- Banerjee R, Maheswarappa NB. Superchilling of muscle foods potential alternative for chilling and freezing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2017(4): 1-8
- Bian RJ, Cao R, Zhao L, *et al.* Application of the electronic nose for assessing the freshness of *Cololabis saira*. *Modern Food Science and Technology*, 2017, 33(1): 243-247, 260 [卞瑞姣, 曹荣, 赵玲, 等. 电子鼻在秋刀鱼鲜度评定中的应用. *现代食品科技*, 2017, 33(1): 243-247, 260]
- Bureau of Fisheries and Fisheries Law Enforcement, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. *China fishery statistical yearbook*. Beijing: China Agricultural Press, 2017 [农业农村部渔业渔政管理局. *中国渔业统计年鉴*. 北京: 中国农业出版社, 2017]
- Chen S, Li TT, Li H, *et al.* Changes in freshness and quality of silver carp fillets during chilled and partial freezing storage. *Food Science*, 2015, 36(24): 297-301 [陈思, 李婷婷, 李欢, 等. 白鲢鱼片在冷藏和微冻条件下的鲜度和品质变化. *食品科学*, 2015, 36(24): 297-301]
- Dong J, Hu JJ, Wang Q, *et al.* Effect of immersion chilling and freezing technique on sturgeon quality during frozen storage. *Food Science*, 2017, 38(5): 281-287 [董佳, 胡嘉杰, 王庆, 等. 液体浸渍冷冻对鲟鱼贮藏过程中品质的影响. *食品*

- 科学, 2017, 38(5): 281–287]
- Fan Y, Hou H, Sun CY, *et al.* Effects of processing methods on the moisture status change of Russian sturgeon (*Acipenser gueldensti* Brandt). *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(6): 97–102 [樊燕, 侯虎, 孙晨阳, 等. 加工方式对俄罗斯鲟鱼肉水分状态的影响. *中国食品学报*, 2017, 17(6): 97–102]
- Gao X, Han F, Xu JC, *et al.* Freshness and texture changes of *Lateolabrax japonicus* meat during partially frozen storage. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(8): 1294–1302 [高昕, 韩芳, 许加超, 等. 微冻贮藏条件下鲈鲜度和质构变化. *水产学报*, 2010, 34(8): 1294–1302]
- Hu Y. Studies on the superchilling technology of hairtail (*Trichiurus haumela*). Master's Thesis of Zhejiang University, 2016, 1–82 [胡玥. 带鱼微冻保鲜技术研究. 浙江大学硕士学位论文, 2016, 1–82]
- ICMSF (International Committee on Microbiological Specifications for Foods). *Sampling for microbiological analysis: Principles and specific applications*. New Jersey: Blackwell Scientific Publications, 1986, 288
- Jiang ST, Lee TC. Changes in free amino acids and protein denaturation of fish muscle during frozen storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1985, 33(5): 839–844
- Jiang XQ. Study on collagen change and quality control of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fillets during chilling storage. Master's Thesis of Jiangnan University, 2016, 1–75 [蒋晓庆. 草鱼片低温贮藏过程中胶原变化及品质控制研究. 江南大学硕士学位论文, 2016, 1–75]
- Kaale LD, Eikevik TM, Rustad T, *et al.* Ice crystal development in pre-rigor Atlantic salmon fillets during superchilling process and following storage. *Food Control*, 2013, 31(2): 491–498
- Kaale LD, Eikevik TM, Rustad T, *et al.* Superchilling of food: A review. *Journal of Food Engineering*, 2011, 107(2): 141–146
- Kaale LD, Eikevik TM. The development of ice crystals in food products during the superchilling process and following storage, a review. *Trends in Food Science and Technology*, 2014, 39(2): 91–103
- Li BB, Gong H, Ai YW, *et al.* Study on shelf-life and quality of fresh sturgeon meat under commercial conditions. *Food Science and Technology*, 2018, 43(4): 122–127, 135 [李贝贝, 龚恒, 艾有伟, 等. 市售条件下冷鲜鲟鱼肉贮藏期及品质变化规律研究. *食品科技*, 2018, 43(4): 122–127, 135]
- Liu DS. Quality changes of grass carp muscle during partial-frozen and iced storage. Master's Thesis of Jiangnan University, 2012, 1–54 [刘大松. 草鱼肉在微冻和冰藏保鲜中的品质变化及其机理. 江南大学硕士学位论文, 2012, 1–54]
- Liu Q. Study on the off-flavor compounds character of sturgeon and their relationship with lipid oxidation. Master's Thesis of Ocean University of China, 2013, 1–102 [刘奇. 鲟鱼腥
- 味物质特征及其与脂肪酸氧化的关系研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2013, 1–102]
- Lu H, Luo YK, Zhou ZY, *et al.* The quality changes of Songpu mirror carp (*Cyprinus carpio*) during partial freezing and chilled storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2014, 38(3): 948–954
- Magnussen OM, Haugland A, Hemmingsen AKT, *et al.* Advances in superchilling of food—Process characteristics and product quality. *Trends in Food Science and Technology*, 2008, 19(8): 418–424
- Mi HB, Qian CL, Zhao YY, *et al.* Comparison of superchilling and freezing on the microstructure, muscle quality and protein denaturation of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 2013, 37(5): 546–554
- Shen N, Wu TT, Li Y, *et al.* Effect of chilling storage on the muscle protein of hairtail. *Progress in Fishery Sciences*, 2019, 40(6): 196–202 [沈妮, 吴甜甜, 李苑, 等. 低温冷藏对带鱼肌肉蛋白的影响. *渔业科学进展*, 2019, 40(6): 196–202]
- Sivertsvik M, Rosnes JT, Kleiberg GH. Effect of modified atmosphere packaging and superchilled storage on the microbial and sensory quality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets. *Journal of Food Science*, 2003, 68(4): 1467–1472
- Sun B, Zhao Y, Yu J, *et al.* The combined efficacy of superchilling and high CO₂ modified atmosphere packaging on shelf life and quality of swimming crab (*Portunus trituberculatus*). *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2017, 26(6): 655–664
- Tu BX, Lou YJ, Liu YG. Sharp freezing effects on the quality of frozen stored *Larimichthys crocea*. *Progress in Fishery Sciences*, 2014, 35(1): 55–59 [屠冰心, 娄永江, 刘永固. 低温速冻处理对养殖大黄鱼冻藏品质的影响. *渔业科学进展*, 2014, 35(1): 55–59]
- Xu YX, Zhang CM, Zhao JM, *et al.* Quality changes of *Paralichthys olivaceus* during partial freezing and refrigerated storage. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(4): 337–341, 346 [徐永霞, 张朝敏, 赵佳美, 等. 微冻和冷藏对牙鲆贮藏品质的影响. *食品工业科技*, 2016, 37(4): 337–341, 346]
- Yang SP. Study on biopreservation technology and modified atmosphere packaging of *Trichiurus haumela*. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2010, 1–64 [杨胜平. 带鱼生物保鲜剂及气调包装保鲜技术的研究. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2010, 1–64]
- Zang X. Quality monitoring analysis of sea cucumber during drying process by low field nuclear magnetic resonance and imaging technology. Master's Thesis of Dalian Polytechnic University, 2017, 1–61 [臧秀. 低场核磁共振及成像技术监测海参干制过程中的品质变化. 大连工业大学硕士学位论文, 2017, 1–61]
- Zhu GP. Discussion and reflection on the industrialization

development of sturgeon industry in China. Hubei Agricultural Sciences, 2017, 56(19): 3708–3710 [朱国平. 中国鲟鱼产

业化发展的探讨与思考. 湖北农业科学, 2017, 56(19): 3708–3710]

(编辑 陈辉)

Changes in Quality of Sturgeon Fillet During 4°C and –3°C Partial Freezing Storage

CHEN Yiping¹, CUI Wenxuan², GAO Ruichang³, LI Jianpeng¹,
ZENG Mingyong¹, TANG Shuwei¹, FENG Qiufeng¹, ZHAO Yuanhui¹①

(1. College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003;

2. Penglai Aquatic Product Technology Promotion Department, Penglai 265600;

3. School of Food and Bioengineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013)

Abstract In this work, changes in the quality and storage life of sturgeon fillets were compared during –3°C partial freezing storage and 4°C storage in order to develop a method that will improve the storage quality of sturgeon fillets. Several indicators including sensory evaluation, total visible colonies (TVC), pH value, volatile base nitrogen value (TVB-N), thiobarbituric acid (TBA), texture, volatile substances, moisture distribution state, and microstructure changes of muscle fibers were studied and were later used to evaluate the effect of two temperature storages on the quality of sturgeon fillets. The results showed that the proportion of free water and combined water, TVB-N, TBA, and TVC of sturgeon fillets stored at 4°C and –3°C increased with the extension of storage time, whereas texture indices such as hardness and springiness and the score of sensory evaluation showed a decreasing trend. Microstructure observations illustrated that stickiness appeared between the muscle fibers, and the sarcomere gradually became blurred with the extension of storage time, especially during the later period of –3°C partial freezing storage. Interestingly, its chemical indicators including TVB-N and TBA did not exceed the hygienic limits, whereas sensory evaluation rates were unacceptable. Taking all these indicators into consideration, it was observed that the storage life of sturgeon fillet was 6 days at 4°C and 18 days at –3°C. It can therefore be concluded that partial freezing temperature storage (–3°C) maintained the quality of sturgeon fillets much longer compared with storage at 4°C. Microbes have a small effect on the decay process of sturgeon fillets, whereas ice crystal formation and endogenous cathepsin may be the main influencing factors that led to the destruction of its structure during –3°C partial freezing storage. Results of this study will enrich the basic theory of aquatic products and provide a technique for sturgeon fillets storage.

Key words Sturgeon; Partial freezing; Microstructure; Quality change; Storage life

① Corresponding author: ZHAO Yuanhui, E-mail: zhaoyuanhui@ouc.edu.cn