

捕后暂养对虾夷扇贝闭壳肌硬化的影响

田元勇, 刘金洋, 刘慧慧, 张 龙, 刘俊荣*

(大连海洋大学食品科学与工程学院, 辽宁 大连 116023)

摘要: 虾夷扇贝的捕后处置对闭壳肌的硬化产生重大影响, 而硬化又是影响闭壳肌生食品质的重要因素。为延长虾夷扇贝死后硬化发生时间, 通过宰杀前暂养, 缓解捕后胁迫对后期闭壳肌贮藏特性的影响。将捕捞后的虾夷扇贝分为3组(对照组、暂养3 d组和暂养7 d组), 然后去壳取闭壳肌进行0~7 d冰藏, 分析闭壳肌在贮藏过程中的僵直情况、ATP关联物、K值、pH值、糖原及水溶性蛋白等指标的变化。结果显示, 不论是否经过暂养, 冰藏3 d内K值均低于5%, 可以满足生食要求。经过暂养, 闭壳肌中ATP的含量略有升高, 暂养7 d组>暂养3 d组>对照组。在贮藏0~2 d内, 暂养组的ATP含量基本保持不变, 可抑制肌肉收缩并减少汁液流失。暂养组的糖原含量和水溶性蛋白含量低于对照组。研究表明, 30 ku蛋白在暂养组中的消失时间比对照组提前了1~2 d。扇贝捕捞过程中应尽可能减少胁迫, 捕捞后应尽快加工, 以免影响商品的品质及货架期。

关键词: 虾夷扇贝; 捕后处置; 闭壳肌; 生食; 硬化

中图分类号: TS 254.4

文献标志码: A

虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)属于冷水性双壳贝类, 个体大、肉质鲜美、经济价值高, 现已成为辽宁沿海地区重要的贝类养殖品种。我国的虾夷扇贝主要以活体销售为主, 扇贝从海底捕捞出水, 需要在船舱放置数小时, 从码头运到工厂也需要经历干露过程。即使到达净化车间, 仍要经历高密度的暂养。从捕捞到消费的过程中经历物理撞击、干露、缺氧等胁迫, 导致闭壳肌中能量物质消耗, 活力下降。

目前, 我国扇贝的年产量为178.53万t^[1], 居世界首位。但是产品质量与发达国家还存在较大差距。生鲜贝柱在贮藏过程中的主要问题是肉质的硬化, 即由于死后僵直导致肉质变硬, 口感变差, 而肌肉中ATP含量的降低是导致硬化现象的主要诱因。此外, 贮藏温度^[2-4]、氧气含量^[5]、清洗方法^[6]和季节因素^[7]都会影响生鲜贝柱发生僵直。关于扇贝加工前的生命状态对死后僵直的影响报道较少。在鱼类的研究中发现, 鱼

致死前的健康状态^[8]、致死条件^[9-11]、贮藏温度^[12-14]等对鱼肉品质会产生非常大的影响。Tamotsu等^[15]研究了捕捞过程中的胁迫因素对澳洲鲭(*Scomber australasicus*)肉品质的影响, 发现通过短时间的暂养, 可消除胁迫因素造成的不利影响。强制运动后, 澳洲鲭肌肉中ATP的含量为8.94 μmol/g, 4 h后恢复至9.21 μmol/g, 8 h后为9.07 μmol/g, 之后缓慢降低。此外, 强制运动后肌肉中乳酸的含量也会随着暂养时间延长而降低。

本实验基于延迟生鲜贝柱僵直时间的考虑, 通过对贮藏过程中贝柱ATP关联化合物含量、糖原含量、pH及僵直发生率等指标的检测, 探讨捕后短时间暂养对闭壳肌贮藏特性的影响。

1 材料与方法

1.1 实验材料与仪器

底播虾夷扇贝 采自大连獐子岛海域, 体

收稿日期: 2017-01-08 修回日期: 2017-04-11

资助项目: 国家自然科学基金(31671790, 31271980); 辽宁省教育厅科学研究一般项目(L2015082)

通信作者: 刘俊荣, E-mail: ljunrong@dlou.edu.cn

质量(89.2±8.5) g, 壳长(90.6±3.1) mm。将扇贝置于泡沫箱中, 用冰袋干露冷藏, 5 h内运回大连海洋大学实验室。

循环水养殖系统 品字形可控生态实验系统, 大连汇新钛设备公司。

主要分析仪器 Agilent 1260高效液相色谱仪, 美国Agilent公司; 高速冷冻离心机, 德国HERMLE Labortechnik GmbH公司; Milli-Q超纯水净化仪, 美国Millipore公司; PB-10 pH计, 德国Sartorius公司; IMS-40全自动雪花制冰机, 常熟市雪科公司; AE-6500垂直电泳槽, 日本ATTO公司; OS-I型回旋脱色摇床, 大连竞迈公司; HG-200均质机, 日本HSIANGTAI公司; 800 s

匀浆机, 美国WARING公司; Synergy H1酶标仪, 美国柏腾公司。

1.2 实验方法

原料处理 在獐子岛采样时, 样品现场去壳取闭壳肌, 将闭壳肌置于预冷的塑料盒中, 然后放入装有雪花冰的泡沫箱中贮藏0~7 d, 作为对照组; 实验组样品干露运回实验室后, 置于10 °C循环海水中暂养, 在第3和第7天取样, 去壳取闭壳肌, 放入塑料盒中冰藏0~7 d。样品分别标记为暂养3 d组和暂养7 d组。冰藏过程中, 各组每天取10个闭壳肌于低温条件匀浆, 干冰速冻, 于-80 °C保存(表1)。

表 1 虾夷扇贝在活品暂养及闭壳肌冰藏过程中的操作参数

Tab. 1 The operating parameters of preservation of live *P. yessoensis* during ice storage

处置组 groups	暂养条件 preservation conditions					冰藏条件 storage conditions	
	时间/d time	温度/°C temperature	溶解氧/(mg/mL) dissolved oxygen	密度/(kg/L) density	介质环境 medium	时间/d time	介质环境 medium
对照组 control	—	—	—	—	—	7	雪花冰
暂养3 d组 preserved 3 days	3	10.0±0.5	5~9	10/100	海水	7	雪花冰
暂养7 d组 preserved 7 days	7	10.0±0.5	5~9	10/100	海水	7	雪花冰

注: —, 未进行暂养处理
Notes: —, no preserved treatment

僵直期的确认 每组50个闭壳肌, 每隔24 h观察扇贝闭壳肌的色泽、形态以及手指按压后的触感, 若发生收缩, 触感发硬, 则认定为进入僵直期。

关联物及K值的测定 参考Hu等^[16]的提取方法, 称取闭壳肌匀浆1.0 g, 加入5%高氯酸(PCA)10 mL, 充分搅拌, 静置15 min, 用2.0 mol/L KOH调节pH至2.0~3.5, 定容至20 mL, 0.45 μm微孔滤膜过滤, 取4.0 mL滤液, 加入1.0 mL 0.1 mol/L磷酸缓冲液(pH 7.5)用于后续分析。

高效液相色谱分析 流动相A [0.05 mol/L K₂HPO₄-KH₂PO₄缓冲液(pH 6.5)], 流动相B [流动相A : 甲醇溶液(8 : 2)]; 色谱分析条件: 色谱柱 [ODS-BP C₁₈(4.6 mm×250 mm, 5 μm, 大连依利特分析仪器有限公司)]; 柱温: 35 °C; 检测器: 二极管阵列检测器(DAD); 检测波长: 254 nm; 流动相流速: 0.7 mL/min; 进样量: 20 μL。梯度洗脱顺序: 0~14 min, 流动相A 100%; 14~20 min, 流动相B 0%~15%; 20~30 min, 流动相B 15%~25%; 31~34 min, 流动相B 100%; 35~40 min,

流动相B 25%; 40~45 min, 流动相A 100%。

K值的计算公式:

$$K(\%) = [(Hx + HxR) / (ATP + ADP + AMP + IMP + Hx + HxR)] \times 100$$

式中, ATP为三磷酸腺苷, ADP为二磷酸腺苷, AMP为单磷酸腺苷, IMP为肌苷酸, Hx为次黄嘌呤核苷, HxR为肌苷。

水溶性蛋白含量及组成 称取5.0 g闭壳肌匀浆, 加去离子水25 mL, 于8000 r/min下均质3次, 每次0.5 min。匀浆液在10 000×g, 4 °C, 10 min条件下离心, 取上清液作为水溶性蛋白。双缩脲法测定蛋白浓度。参考Verrez-Bagnis等^[17]的方法, 采用SDS-PAGE分析蛋白质组成。

糖原含量的测定 使用肝/肌糖原测定试剂盒(南京建成生物工程研究所)对糖原含量进行测定。

pH的测定 称取2.0 g闭壳肌, 匀浆于烧杯中, 加20 mmol/L碘乙酸钠溶液10 mL, 用玻璃棒充分搅拌, 测定pH。

2 结果

2.1 冰藏过程中扇贝闭壳肌僵直的变化

3个实验组中刚刚去壳的扇贝闭壳肌均色泽光亮、水润饱满、富有弹性(图1-a);冰藏2 d形态变化不大。但是冰藏4 d后,扇贝闭壳肌表面色泽逐渐暗淡,水润饱满的状态消失,闭壳肌因为肌肉收缩出现不同程度下陷,触感发硬(图1-b)。发生僵直的扇贝闭壳肌口感变差,食用品质下降,这是限制生鲜扇贝闭壳肌流通的主要问题^[6],也是扇贝发生品质变化的重要转折点。

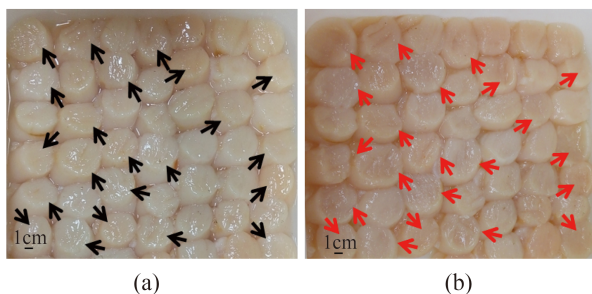


图1 虾夷扇贝闭壳肌的僵直前后的形态变化

(a)刚刚去壳的扇贝闭壳肌;(b)冰藏4 d后的扇贝闭壳肌;黑色箭头表示僵直前;红色箭头表示僵直后

Fig. 1 Changes of rigor of *P. yessoensis* adductor muscle during ice storage

(a) the morphology of adductor which is from the fresh scallop without shell; (b) the morphology of adductor which was stored at ice storage after 4 days; the black arrow shows before rigor; the red arrow shows after rigor

通过对50个扇贝闭壳肌的僵直情况进行计数,结果显示,扇贝闭壳肌在冰藏2 d内发生僵直个数少于5个。变化发生在第3~5天,在第3天开始出现僵直,个数少于10个;第4天逐渐增加,几乎有一半的闭壳肌发生了僵直。到第5天几乎全部发生了僵直。但在3组之间僵直发生情况几乎没有差异(表2)。

2.2 冰藏过程中扇贝闭壳肌ATP关联物及K值的变化

通过ATP含量的变化评价不同处置对闭壳肌僵直发生情况的影响,对照组第0天,即采捕后到达净化工厂,立即采样,闭壳肌中的ATP含量为4.75 $\mu\text{mol/g}$ 。暂养3 d组第0天,ATP含量为4.90 $\mu\text{mol/g}$,暂养7 d组第0天,ATP含量为5.10 $\mu\text{mol/g}$ 。通过比较3组,发现经过暂养后,闭壳肌中

表2 冰藏过程中虾夷扇贝闭壳肌僵直发生情况

Tab. 2 The occurrence of *P. yessoensis* adductor rigor during ice storage

冰藏天数/d ice storage day	对照组 control	暂养3 d组 preserved 3 days	暂养7 d组 preserved 7 days
0	—	—	—
1	—	—	—
2	—	—	—
3	+	+	+
4	++	++	++
5	+++	+++	+++
6	+++	+++	+++
7	+++	+++	+++

注: —, 僵直数<5个; +, 僵直数5~10; ++, 僵直数11~20; +++, 僵直数>40
Notes: —, rigor number<5; +, rigor number 5~10; ++, rigor number 11~20; +++, rigor number>40

ATP含量有增加的趋势。冰藏0~2 d,对照组的ATP含量迅速下降,在第2天下降至2.80 $\mu\text{mol/g}$,而暂养处理组仍维持在较高水平,分别为4.51和5.17 $\mu\text{mol/g}$ 。随着冰藏时间延长,ATP含量逐渐下降,在第4天几乎完全消失,3个实验组相应的降解产物Hx和HxR的含量均逐渐增加(图2)。

将ATP关联化合物转换为K值进行分析,3个实验组虾夷扇贝闭壳肌在冰藏3 d内,K值均保持在5%以下,完全可以满足生食的要求。而冰藏3 d后,K值迅速上升,但3个实验组在第4天均未超过40%,处于新鲜状态(图3)。

2.3 冰藏过程中扇贝闭壳肌pH的变化

pH值的变化也可在一定程度上反映扇贝的新鲜程度。在第0天,3个实验组pH均为7.1左右,冰藏过程中pH呈逐渐下降的趋势,在第3天下降至6.6左右,最后缓慢下降至6.1(图4),3组间无显著差异($P>0.05$)。

2.4 冰藏过程中扇贝闭壳肌糖原的变化

糖原是扇贝中主要能源物质,也是扇贝中重要的风味物质。到达净化车间,对照组第0天闭壳肌的糖原含量为40.6 mg/g,而暂养组3 d组第0天糖原含量为26.0 mg/g,暂养7 d组第0天糖原含量为31.1 mg/g。经暂养处置后,虾夷扇贝闭壳肌糖原含量显著下降。而在冰藏过程中,对照组的糖原含量在初期显著下降,2 d之后和暂养组没有显著性差异($P>0.05$)(图5)。

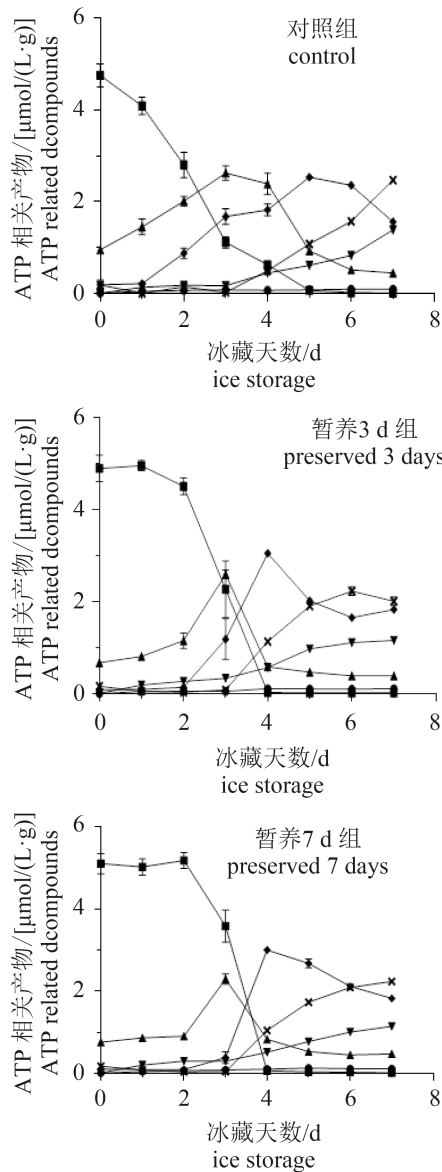


图2 冰藏过程中虾夷扇贝闭壳肌ATP关联物的变化

■.ATP; ▲.ADP; ◆.AMP; ●.IMP; ×.HxR; ▼.Hx

Fig. 2 Changes of content of ATP and its related compounds in adductor muscle of *P. yessoensis* during ice storage

2.5 冰藏过程中扇贝闭壳肌水溶性蛋白的变化

闭壳肌在贮藏过程中有汁液流出, 因此对冰藏过程中闭壳肌的水溶性蛋白含量进行了测定, 在冰藏0 d, 对照组水溶性蛋白含量最高, 为35.42 mg/g, 2个暂养组降至30 mg/g左右。冰藏0~2 d, 2个暂养组的水溶性蛋白没有变化。冰藏2~5 d, 3个实验组水溶性蛋白含量均逐渐降低; 冰藏5~7 d, 3个实验组水溶性蛋白含量的下降趋势均减缓, 并逐渐趋于稳定, 含量约为(22±1) mg/g(图6)。

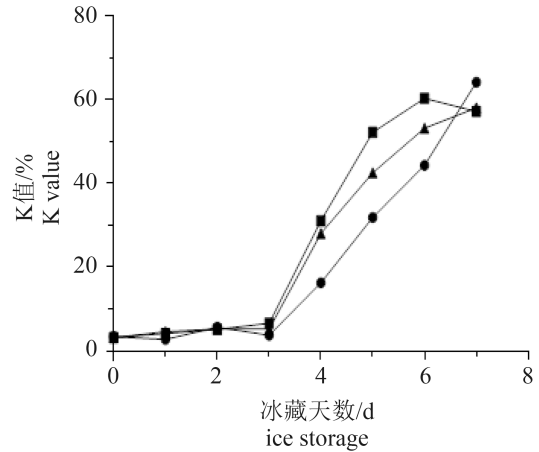


图3 冰藏过程中虾夷扇贝闭壳肌K值的变化

●.对照组; ■.暂养3d组; ▲.暂养7d组; 下同

Fig. 3 Changes of K value in adductor muscle of *P. yessoensis* during ice storage

●.control; ■.preserved 3 day; ▲.preserved 7 day; the same below

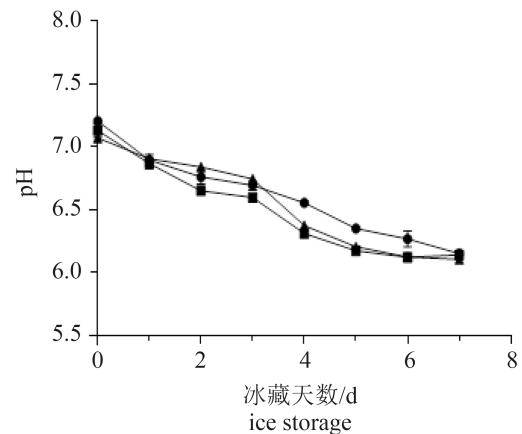


图4 冰藏过程中虾夷扇贝闭壳肌pH的变化

Fig. 4 Changes of pH value in adductor muscle of *P. yessoensis* during ice storage

进一步对冰藏过程中水溶性蛋白组成进行了分析, 扇贝闭壳肌水溶性蛋白的相对分子质量主要为6.5~116.0 ku。冰藏过程中, 对照组扇贝闭壳肌中相对分子质量为30 ku的蛋白条带在贮藏6 d后消失, 而暂养3 d和7 d组分别在冰藏4 d和5 d后消失。暂养组比对照组30 ku蛋白消失提前1~2 d(图7)。

3 讨论

虾夷扇贝闭壳肌在冰藏过程中, 由于肌肉收缩导致硬化, 严重影响生食的品质。在贮藏过程中, 闭壳肌的光泽、饱满的状态逐渐变差, 肌肉收缩导致汁液流失, 造成营养损失。通过

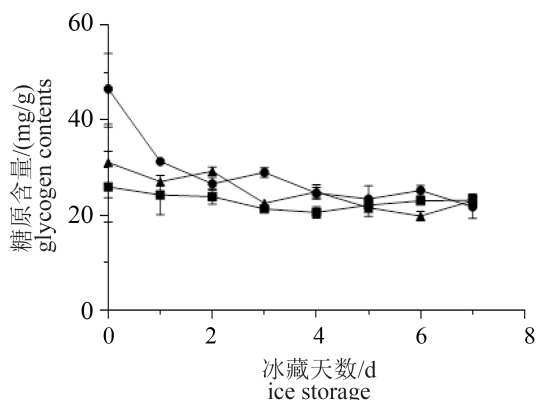


图 5 冰藏过程中虾夷扇贝闭壳肌糖原的变化

Fig. 5 Changes in content of glycogen in adductor muscle of *P. yessoensis* during ice storage

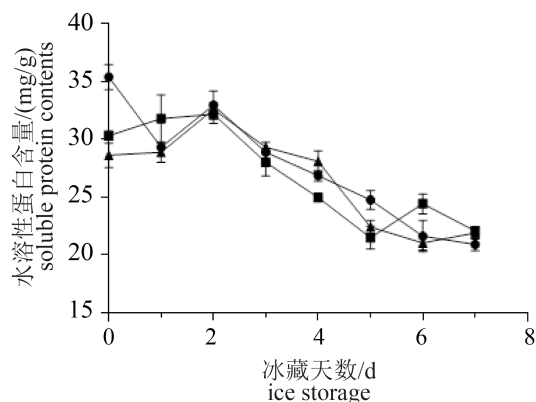


图 6 冰藏过程中虾夷扇贝闭壳肌水溶性蛋白含量的变化

Fig. 6 Changes in content of water-soluble protein in adductor muscle of *P. yessoensis* during ice storage

闭壳肌冰藏过程中形态观察发现, 在冰藏 2 d 以内, 闭壳肌能保持较好的状态, 几乎未观察

到僵直现象发生。Jiménez-Ruiz等^[18]通过对细菌总数、TVB-N值等研究, 认为在低温冷链的条件下, 可在 4 d 内保证食用安全。闭壳肌离体后, ATP的合成停止, 因不断被消耗而持续减少。肌纤维仅在ATP存在时才能保持柔软有弹性的状态, 随着ATP含量的降低, 收缩的肌纤维因不能舒张而变得僵硬, 肌肉进入僵直状态。虾夷扇贝宰杀前, 肌肉中ATP的含量与捕捞季节及捕后贮藏温度有关^[3]。湿藏(5和10 °C)条件下, 扇贝闭壳肌可保持较高的ATP含量、AEC值和pH值, 且 5 °C较10 °C湿藏条件下糖原含量更高; 相同温度下(10 °C), 增加碰撞会导致扇贝ATP含量和AEC值下降, 糖原消耗增多^[19]。

虾夷扇贝经过暂养后, 闭壳肌中ATP含量增加, 采捕过程中因胁迫而产生的应激反应消耗了大量的能量, 在捕后暂养过程中随着胁迫解除能部分恢复。宰杀前的生理状态对后续贮藏特性会产生持续的影响, 对照组ATP含量比暂养组降低的更快。Takeda等^[20]认为, 扇贝闭壳肌的僵直不仅受ATP影响, 磷酸精氨酸(合成ATP的前体物质)也有非常重要的作用, 捕后低温(5 °C)暂养可促进磷酸精氨酸的恢复, 进而延迟扇贝闭壳肌进入僵直期。暂养组的ATP含量在2 d内几乎没有变化, 分析是由于暂养过程中储备的磷酸精氨酸不断释放ATP, 弥补了贮藏过程中的消耗。随着冰藏时间的延长, 4 d后3组扇贝闭壳肌ATP均消耗殆尽, 次级代谢产物迅速积累, 闭壳肌品质快速下降。新鲜扇贝中IMP和AMP是呈现鲜味的物质^[21], 而Hx和HxR则会呈现令人不愉快的味道(如苦味)^[22]。扇贝闭壳肌中IMP含量非常低, 与Pacheco-Aguilar等^[23]的报道一致, 这可能

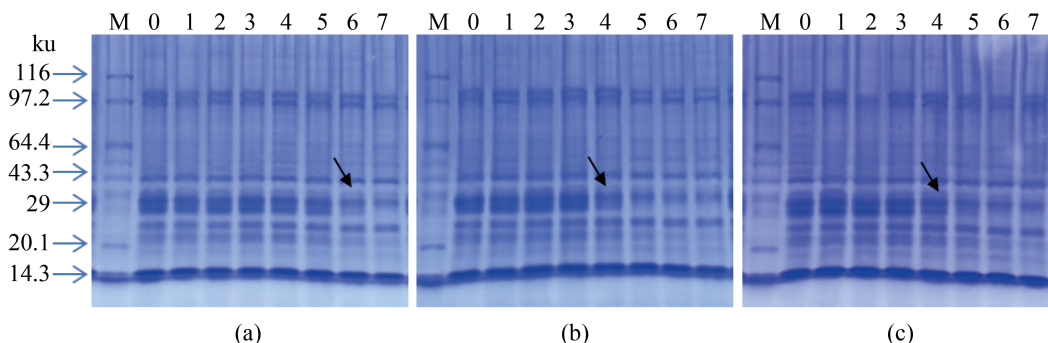


图 7 冰藏过程中虾夷扇贝闭壳肌水溶性蛋白SDS-PAGE图

M.Marker; (a)对照组; (b)暂养3 d组; (c)暂养7 d组; 0~7分别代表冰藏0~7 d

Fig. 7 Changes in constituent of soluble protein of *P. yessoensis* adductor muscle during ice storage

M. Marker; (a) control; (b) preserved 3 days; (c) preserved 7 days; 0~7 shows the day from 0~7 days in ice storage

是由于扇贝肌肉中ATP的降解途径为ATP→ADP→AMP→Ado→HxR→Hx途径, 而非鱼类的ATP→ADP→AMP→IMP→HxR→Hx途径^[24]; Hx和HxR作为次级代谢产物, 冰藏3 d内变化不大, 冰藏3 d后迅速增加, 预示着扇贝逐渐进入腐败阶段。K值是判断水产品鲜度的指标, K值≤20%说明水产品绝对新鲜, K值≥40%说明水产品开始有腐败迹象。虾夷扇贝在冰藏的3 d内, K值均低于5%, 处于新鲜状态, 能满足生食的要求。在开发虾夷扇贝生食产品的过程中, 如果生产条件允许, 可以尽快生产。不能及时加工处理或胁迫过于激烈时, 也可以经过3~7 d暂养后再进行生产。

此外, 随着贮藏时间的延长, pH呈逐渐下降趋势, Hiltz等^[25]报道大西洋扇贝(*Placopecten magellanicus*)闭壳肌pH值与章鱼碱含量有较好的相关性; Kawashima等^[26]认为扇贝闭壳肌前期pH下降可能来自于扇贝自身产生的章鱼碱和乳酸, 而后期pH下降更多来自微生物腐败产生的乳酸。经暂养后, 扇贝闭壳肌糖原含量减少, 首先可能是由于在暂养过程中扇贝应对捕后胁迫而导致了糖原的消耗, 其次在暂养过程中无饲料投喂、暂养密度高, 扇贝得不到能量补充所致。冰藏过程中扇贝闭壳肌水溶性蛋白含量逐渐降低, 主要是由于肌肉收缩导致的汁液流失而损失。水溶性蛋白含量变化和ATP含量变化高度吻合, 或许可以通过监测扇贝水溶性蛋白含量的变化对扇贝闭壳肌的生食品质进行判断或预测, 简化ATP测定的繁琐程序。暂养组比对照组30 ku蛋白消失提前1~2 d, 这可能是由于暂养过程中某些酶的活性发生了变化, 需要在后期进一步研究。研究表明, 扇贝采捕过程中应尽可能减少胁迫, 以免对商品的品质及货架期产生影响。采捕后应尽快加工, 实际生产中若来不及处理可以进行短时间的暂养。

参考文献:

- [1] 农业部渔业渔政管理局. 2016中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
The Ministry of Agriculture Fisheries Bureau. 2016 China Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2016 (in Chinese).
- [2] Kawashima K, Yamanaka H. Effects of storage temperatures on the post-mortem biochemical changes in scallop adductor muscle[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1992, 58(11): 2175-2180.
- [3] Jiménez-Ruiz E I, Ocaño-Higuera V M, Maeda-Martínez A N, *et al.* Effect of seasonality and storage temperature on *rigor mortis* in the adductor muscle of lion's paw scallop *Nodipecten subnodosus*[J]. Aquaculture, 2013, 388-391: 35-41.
- [4] Kimura M, Narita M, Nomata H, *et al.* Effects of storage temperature on the rigor of scallop adductor muscle[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1997, 63(4): 621-626.
- [5] Kimura M, Narita M, Imamura T, *et al.* High quality control of scallop adductor muscle by different modified atmosphere packaging[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 2000, 66(3): 475-480.
- [6] Kimura M, Narita M, Nomada H, *et al.* Effects of washing methods on the rigor of scallop adductor muscle[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1999, 65(1): 103-107.
- [7] Kimura M, Narita M, Imamura T, *et al.* Seasonal changes in the rigor of scallop adductor muscle[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 2001, 67(2): 280-285.
- [8] Bagni M, Civitareale C, Priori A, *et al.* Pre-slaughter crowding stress and killing procedures affecting quality and welfare in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and sea bream (*Sparus aurata*)[J]. Aquaculture, 2007, 263(1-4): 52-60.
- [9] Mochizuki S, Sato S. Effects of various killing procedures on post-mortem changes in the muscle of chub mackerel and round scad[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1996, 62(3): 453-457.
- [10] Okamoto M, Saito H. Examination of handling procedures of Japanese Spanish mackerel *Scomberomorus niphonius* caught by shipboard angling[J]. Nihon Suisan Gakkaishi, 2011, 77(6): 1083-1088.
- [11] Okamoto M, Momiwaki K, Kiyokawa T, *et al.* The freshness actual condition of Japanese butterfish *Hyperoglyphe japonica* by angling and examination of various killing procedures on board of Japanese butterfish[J]. Report of Shimane Prefectural Fisheries Technology Center, 2011: 47-53.
- [12] Okamoto A, Honda E, Inoue R, *et al.* Influence of storage temperatures on losing post-mortem transparency in the mantle muscle of Oval squid *Sepioteuthis*

- lessoniana*[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 2008, 74(5): 856-860.
- [13] Aune T F, Olsen R L, Akse L, *et al.* Influence of different cold storage temperatures during the *Rigor mortis* phase on fillet contraction and longer-term quality changes of Atlantic cod fillets[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 59(1): 583-586.
- [14] Heising J K, van Boekel M A J S, Dekker M. Mathematical models for the trimethylamine (TMA) formation on packed cod fish fillets at different temperatures[J]. Food Research International, 2014, 56: 272-278.
- [15] Tamotsu S, Sugita T, Tsuruda K, *et al.* Recovery from stress of spotted mackerel *Scomber australasicus* by briefly resting in a fish cage after capture stress treatment[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 2012, 78(3): 454-460.
- [16] Hu Y Q, Zhang J Q, Ebitani K, *et al.* Development of simplified method for extracting ATP-related compounds from fish meat[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 2013, 79(2): 219-225.
- [17] Verrez-Bagnis V, Ladrat C, Morzel M, *et al.* Protein changes in post mortem sea bass (*Dicentrarchus labrax*) muscle monitored by one-and two-dimensional gel electrophoresis[J]. Electrophoresis, 2001, 22(8): 1539-1544.
- [18] Jiménez-Ruiz E I, Ocaño-Higuera V M, Maeda-Martínez A N, *et al.* Quality and shelf life of the adductor muscle of lion's paw scallop *Nodipecten subnodosus* transported and stored whole in refrigeration[J]. Interciencia, 2012, 37(6): 464-469.
- [19] 刘金洋, 刘俊荣, 田元勇, 等. 捕后处置对活品底播虾夷扇贝生化代谢的影响[J]. 水产学报, 2017, 41(1): 81-87.
- Liu J Y, Liu J R, Tian Y Y, *et al.* Effects of post-harvest handling on biochemical metabolism of bottom cultured live scallop (*Patinopecten yessoensis*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(1): 81-87(in Chinese).
- [20] Takeda T, Aknio M, Imamura T, *et al.* Effects of low-temperature preservation of Japanese scallop adductor muscle on rigor mortis[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 2010, 76(5): 946-952.
- [21] Chiou T K, Lin J F, Shiau C Y. Changes in extractive components and glycogen in the edible meat of hard clam *Meretrix lusoria* during storage at different temperatures[J]. Fisheries Science, 1998, 64(1): 115-120.
- [22] Cox D H, Karahadian C. Evaluation of microbial counts, nucleotide degradation, and sensory attributes of cultured and wild yellow perch (*Perca flavescens*) during refrigerated storage[J]. Journal of Aquatic of Food Product Technology, 1998, 7(1): 5-26.
- [23] Pacheco-Aguilar R, Marquez-Ríos E, Lugo-Sánchez M E *et al.* Postmortem changes in the adductor muscle of Pacific lions-paw scallop (*Nodipecten subnodosus*) during ice storage[J]. Food Chemistry, 2008, 106(1): 253-259.
- [24] Wongso S, Yamanaka H. Changes in content of extractive components in the adductor muscle of noble scallop during storage[J]. Fisheries Science, 1996, 62(5): 815-820.
- [25] Hiltz D F, Dyer W J. Octopine in postmortem adductor muscle of the sea scallop (*Placopecten magellanicus*)[J]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1971, 28(6): 869-874.
- [26] Kawashima K, Yamanaka H. Effects of chloramphenicol on post-mortem biochemical changes in scallop adductor muscle[J]. Fisheries Science, 1994, 60(4): 461-465.

Effects of post-harvest handling on rigor of the *Patinopecten yessoensis* adductors

TIAN Yuanyong, LIU Jinyang, LIU Huihui, ZHANG Long, LIU Junrong*

(College of Food Science and Engineering, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

Abstract: The post-harvest handling of *Patinopecten yessoensis* has a significant effect on the rigor mortis which is an important factor affecting the quality of the adductor muscle. The effect of preservation on the storage of the adductor muscle was studied to delay rigor mortis. Three treatments of live storage were designed, including control with non-p preserved, preserved 3 days and preserved 7 days with circulating seawater-preserved at 10 °C. Then the scallops were shucked and the adductor muscles were stored in ice for 7 d respectively. Rigor mortis, biochemical metabolites including ATP related compounds, K value, glycogen, the content and composition of soluble protein and pH of muscle tissues were examined during ice storage. The results showed that regardless of whether the preservation support, K value was less than 5% in 3-day ice storage, and it can meet the requirements of sashimi. With preservation, the content of ATP increased slightly (7 d group>3 d group>control group). The content of ATP maintained stability in 2-day-ice storage, which can inhibit muscle contraction to reduce the loss of fluid. The content of glycogen and soluble protein in preserved group was lower than control group. In addition, the 30 ku protein from the preserved treatment group disappeared 1–2 days earlier than from the control group.

Key words: *Patinopecten yessoensis*; handling; adductor muscle; sashimi; rigor mortis

Corresponding author: LIU Junrong. E-mail: ljunrong@dlou.edu.cn

Funding projects: National Natural Science Foundation of China(31671790,31271980); Liaoning Provincial Department of Education Science Research General Project (L2015082)