

基于保活和品质变化规律分析缢蛏 (*Sinonovacula constricta*) 贮藏过程中的代谢特性

胡园, 李敏, 方军, 郑伊诺, 曾国权, 陆荣茂, 柯爱英, 朱洁

(浙江省海洋水产养殖研究所, 浙江省近岸水域生物资源开发与保护重点实验室, 浙江温州 325005)

摘要: 研究缢蛏在不同温度条件下 ($-4\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $5\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $10\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $25\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) 贮藏的存活率、基本营养成分 (水分、糖原、粗脂肪、粗蛋白和灰分)、生化特性 (挥发性盐基氮、pH、肌原纤维蛋白巯基含量及 Ca^{2+} -ATPase 活力) 和菌落总数的变化规律及特征。结果表明: 不同贮藏温度下, 缢蛏的存活时间分别为 0 d、11 d、9 d、5 d、3 d。不同温度条件贮藏过程中, 缢蛏的水分和粗蛋白含量基本保持稳定, 消耗能量物质时以糖原为主粗脂肪为辅。贮存 11 d 后, 糖原下降幅度约为 54.86%~69.45%, 其次粗脂肪下降幅度约为 21.69%~28.92%。pH 呈先下降后上升的趋势。缢蛏的肌原纤维蛋白巯基含量和 Ca^{2+} -ATPase 活性总体呈下降趋势。不同温度 ($0\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $5\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $10\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $25\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) 贮藏期间, 分别在 11 d、9 d、7 d、5 d、2 d 缢蛏 TVB-N 值接近海水贝类最大可接受限值 15 mg/100 g; 缢蛏的菌落总数分别于 7 d、5 d、3 d、2 d 接近 4.7 log (CFU/g)。研究表明, ($0\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) 无水保活期间缢蛏营养损失和生化特性变化均较缓慢, 且保持良好的鲜活状态。

关键词: 缢蛏; 贮藏温度; 保活; 品质; 代谢特性

文章编号: 1673-9078(2018)03-32-38

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.03.005

The Metabolic Characteristics of Razor Clams (*Sinonovacula constricta*)

During Storage Based on the Analysis of Survival Rate and Quality Change

HU Yuan, LI Min, FANG Jun, ZHENG Yi-nuo, ZENG Guo-quan, LU Rong-mao, KE Ai-ying, ZHU Jie

(Zhejiang Mariculture Research Institute, Zhejiang Key Laboratory of Exploitation and Preservation of Coastal Bio-resource, Wenzhou 325005, China)

Abstract: The changes of the various indicators of treated during storage under The effects of different temperatures ($-4\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $5\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $10\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $25\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) on the change rules and characteristics of survival rate, basic nutritional composition (moisture, glycogen, crude fat, crude protein and ash), biochemical characteristics (total volatile basic nitrogen, pH, SH content and Ca^{2+} -ATPase activity of myofibrillar protein) and the total count of bacteria colonies in Razor Clams (*Sinonovacula constricta*). The results showed that the survival time of Razor Clams (*Sinonovacula constricta*) was 0 d, 11 d, 9 d, 5 d and 3 d, respectively, under different temperatures. The contents of moisture and crude protein kept stable during storage under different temperatures, meanwhile glycogen and crude fat were firstly consumed as energy source in turn. After 11 days of storage, the reduction of glycogen and crude fat were about 54.86%~69.45% and 21.69%~28.92%, respectively. The pH value was decreased and then increased. The SH content and Ca^{2+} -ATPase activity of myofibrillar protein tended to decrease. The TVB-N value was shown to be increased within the acceptable TVB-N threshold (15 mg/100 g) in Razor Clams on the 11 d, 9 d, 7 d, 5 d, 2 d of storage processes. The total count of bacteria colonies in 7 d, 5 d, 3 d, 2 d was closed to 4.7 log(CFU/g) under different temperature of $0\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $5\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $10\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $25\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. The results indicated that Razor Clams maintained fresh at temperature of ($0\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) due to their nutrient loss and change of biochemical characteristics slowly during the keep-alive process.

Key words: *Sinonovacula constricta*; storage temperature; keep-alive; quality; metabolic characteristics

收稿日期: 2017-09-11

基金项目: 浙江省公益技术研究农业项目 (2015C32037); 浙江省公益技术应用研究项目 (2017C37043); 温州市公益性科技计划项目 (温财教[2016]592 号)

作者简介: 胡园 (1988-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水产动物营养与饲料

通讯作者: 方军 (1974-), 高级工程师, 研究方向: 水产养殖

缢蛏(*Sinonovacula constricta* Lamarck), 俗称蛏子、青子, 隶属于软体动物门(Mollusca), 瓣鳃纲(Lamellibranchia), 异齿亚纲(Heterodonta), 帘蛤目(Veneroida), 竹蛏科(Solenidae)、缢蛏属(*Sinonovacula*), 具有适应性强、生长快、养殖周期短、产量高、肉质鲜美和营养价值高等特点, 是我国四大传统养殖贝类之一。因在采捕后, 处于自然环境下极易腐败变质、口感迅速下降, 失去食用价值, 从而限制了缢蛏的鲜活销售。另一方面, 随着人们对贝类食用的安全性和品质要求的不断提高, 其新鲜度成为决定其价格的主要因素。新鲜度评价主要有感官评价、物理指标、化学指标和微生物检测等方面^[1,2]。活体保藏和运输已经成为了贝类质量和高值化研究的热点。

国内外已报道不同保活和保鲜方式(冰温保活、低温保鲜、气调保鲜、臭氧杀菌和生物保鲜涂覆剂等)下泥蚶 *Tegillarca granosa*^[3]、文蛤 *Meretrix meretrix* Linnaeus、波纹巴非蛤 *Paphia undulata*、近江牡蛎 *Crassostrea rivularis*^[4]和扇贝 *Nodipecten subnodosus*^[5]等贝类的理化指标变化情况。但是, 有关缢蛏的品质研究起步较晚, 对缢蛏在不同保鲜方式下理化指标的研究也不全面。杨文鸽等^[6]研究了缢蛏冰藏期间存活率及其呈味物质(糖原、甜菜碱、游离氨基酸和 AMP)的变化趋势。高捷等^[7,8]研究比较不同贮藏条件下的缢蛏糖原和乳酸变化。应用 Illumina Miseq 高通量测序技术研究了缢蛏冰温保活过程中微生物多样性变化^[9]。因此, 通过研究贮藏方式和重要胁迫因素对缢蛏生化代谢规律的影响, 并从机理上阐述其腐败、变质、存活和品质下降等原因, 以及建立不同指标的相关性, 对进一步优化保活保鲜技术有着至关重要意义。本文研究了不同贮藏温度(-4±1℃、0±1℃、5±1℃、10±1℃、25±1℃)下缢蛏存活率、基本营养成分(水分、糖原、粗脂肪、粗蛋白和灰分)、生化特性(TVB-N、pH、肌原纤维蛋白巯基含量及 Ca²⁺-ATPase 酶活)和菌落总数指标的变化规律, 从而建立较为全面的贝类品质评价体系(存活率、营养代谢和生化指标等), 并在最优贮藏温度条件下延长缢蛏的品质和保证食用安全。

1 材料与方法

1.1 仪器与设备

试验仪器主要有电子天平 CPA225D, 赛多利斯科学仪器; 冷藏冰柜 SC-201F, 江苏白雪电器; 马弗炉 EL-104, 武汉元素科技发展; 台式 PH 计、高速离心机 5810i, 德国 Eppendorf; 游标卡尺 111N-101GA,

广陆数字测控股份有限公司; 可见分光光度计 722, 上海欣茂仪器。

1.2 实验材料与样品采集

缢蛏于2016年3月采自浙江省宁海县长街养殖滩涂, 活体带回实验室, 湿重 9.30±1.44 g, 壳长 62.1±3.4 mm。取大小相近、活力相当的缢蛏, 根据温度不同分为五组, 分别为 25±1℃、10±1℃、5±1℃、0±1℃、-4±1℃, 每组 300 个缢蛏用塑料框盛装, 每个温度组 3 个平行, 将浸泡过海水的双层纱布盖在缢蛏表面, 并隔天喷海水以保持 100%湿度环境。定期核查记录不同温度条件贮藏的实际温度。定期取样测定不同温度条件贮藏缢蛏的微生物和理化指标。

1.3 检活方法

每天随机取不同温度条件贮藏 30 只大小相近的缢蛏置于常温海水静置 1 h 后, 采用目测法检活, 即刺激贝体或其入水管、出水管, 贝壳能自由闭合或水管自由伸缩者为活体, 否则为死贝。

成活率=活蛏子个数/(活蛏子个数+死蛏子个数)×100%

1.4 基本营养成分测定

随机取约 30 个活缢蛏, 去壳取肉, 用中性滤纸吸干表面水分, 用高速组织捣碎机将肉捣碎后, 于-20℃保存, 用于缢蛏营养成分分析。

水分测定采用恒温常压干燥法《GB 5009.3-2010 食品安全国家标准 食品中水分的测定》; 粗蛋白测定采用微量凯氏定氮法(《GB 5009.5-2010 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》); 粗脂肪测定采用索氏抽提法(《GB/T 14772-2008 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》); 灰分测定采用马弗炉灼烧法《GB 5009.4-2010 食品安全国家标准食品中灰分的测定》; 糖原测定按照南京建成生物工程研究所糖原测定试剂盒的操作说明测定糖原的含量。

1.5 pH 测定

缢蛏去壳取肉, 称取 10.0 g, 加入 100 mL 无氨蒸馏水, 置于恒温摇瓶柜中不时摇匀, 静置 30 min 后低温离心。取上清液 50 mL, 按酸度计法操作, 用精密 pH 计测定。

1.6 挥发性盐基氮(TVB-N)

挥发性盐基氮测定根据《GB 5009.228-2016 食品中挥发性盐基氮的测定》方法进行测定。

1.7 菌落总数

菌落总数根据《GB 4789.2-2016 食品卫生微生物学检验菌落总数》进行测定。取 10 个缢蛏去壳取肉，称取 5.0 g，用灭菌剪刀剪碎放于 50 mL 灭菌生理盐水中，匀质，制作成 1:10 的均匀稀释液。然后选择合适的三个稀释度，每个稀释度做二个平行样，用营养琼脂倒平板的方法来测定菌落总数。在 36±1 °C 培养 48 h±2 h，平板计数以每克样品的菌落总数 (Log CFU/g) 表示。

1.8 肌原纤维蛋白巯基蛋白含量和 Ca²⁺-ATPase 酶活力

缢蛏去壳取肉，剪碎后称取 1 g，加入 15 mL 预冷的 0.60 M KCl-磷酸缓冲溶液匀浆，冷冻离心 9500 r/min，30 min，取上清液，加入 3 倍预冷的双蒸水，摇匀，冷冻离心 9500 r/min，30 min，弃上清液，沉淀用预冷的 0.60 M KCl-Tris 缓冲溶液溶解，用力摇匀，冷冻离心 9500 r/min，30 min，取上清液，即为肌原纤维蛋白液^[10]。

1.8.1 肌原纤维蛋白巯基蛋白含量

按照南京建成生物工程研究所巯基蛋白含量测定试剂盒的操作说明测定巯基蛋白的含量 (μmol/g)。

1.8.2 肌原纤维蛋白 Ca²⁺-ATPase 酶活力

按照南京建成生物工程研究所测定 Ca²⁺-ATPase 酶活力试剂盒的操作说明测定 Ca²⁺-ATPase 活力 (U/mg)。

1.9 统计分析

每个实验做 3 个平行，取其平均值，实验数据以“平均值±标准差(mean±S)”表示，采用 Origin 8.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同贮藏温度对缢蛏存活率的影响

不同温度条件下贮藏缢蛏的存活率见图 1。结果表明，贮藏于 25±1 °C (常温) 条件下，缢蛏在第 3 d 后全部死亡，贮藏于 (-4±1) °C 条件下，缢蛏在第 1 d 后存活率急剧下降到 50%，说明环境温度对离水贝类的存活影响较大，温度越高，贝体内耗能随着增大，促使代谢消耗，存活率也会降低；而过低的温度会造成贝体出现微冻结甚至完全冻结，加快贝类死亡，都达不到保活的作用。

Youko^[11]为了延长贝类存活时间，通过将贝类的温度控制在特定的冰温带范围，使贝类进入休眠状态以维持其组织细胞活性。缢蛏的生态冰温区大致为 -1.3 °C 至 2.8 °C^[12]，本研究中，贮藏于 (0±1) °C、(5±1) °C 和 (10±1) °C 条件下，缢蛏分别在 11 d、7 d、5 d 存活率达到 95% 以上，其中，(0±1) °C 贮藏的缢蛏处于生态冰温带范围，具有最高的成活率。

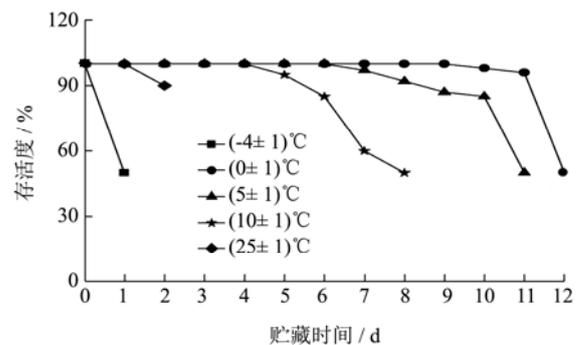
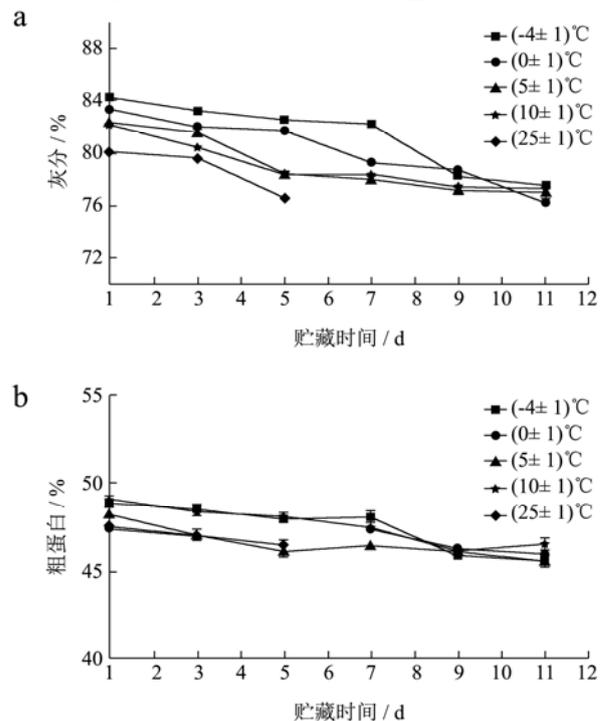


图 1 不同贮藏温度对缢蛏存活率的影响

Fig.1 Effects of different storage temperatures on the survival rate of *Sinonovacula constricta*

2.2 不同贮藏温度对缢蛏肌肉基本营养成分含量的影响

不同贮藏温度下，缢蛏的水分、粗蛋白、粗脂肪、糖原和灰分等基本营养成分含量的变化如图 2。结果表明，随着保活时间的延长，缢蛏水分含量变化不显著，不同温度贮藏组的缢蛏水分含量变化相差不大。



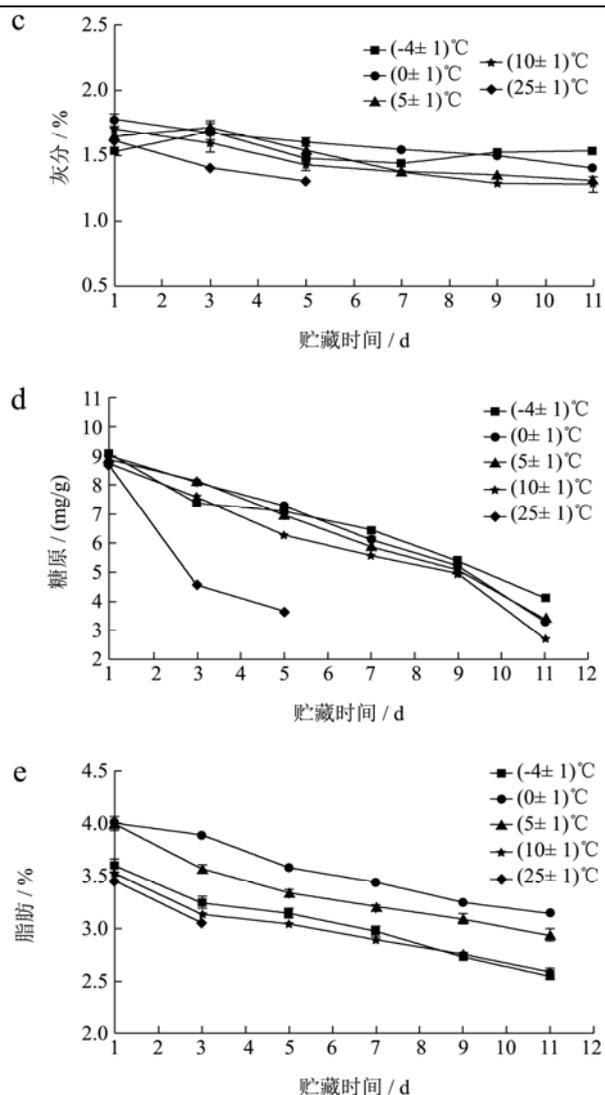


图2 不同温度条件下贮藏缢蛏基本营养含量的变化

Fig.2 The changes of basic nutritional composition of *Sinonovacula constricta* under different storage temperatures

(-4±1) °C、(0±1) °C、(5±1) °C、(10±1) °C贮藏 11 d 后水分含量下降了约 6.02%~8.49%；而(25±1) °C保活 3 d 后水分含量从 80.08%下降到 76.60%，下降了约 4.35%。缢蛏体内水分的含量和分布及存在形式对其质地、风味和贮藏性能等方面都存在影响。考虑到缢蛏在完全干露条件下，容易出现体表及外露水管、斧足干燥，本研究采用双层纱布对缢蛏进行保湿处理，不同温度条件贮藏缢蛏体内水分含量下降趋势差异较少，故水分蒸发和流失的现象不严重。双层纱布保活菲律宾蛤仔的方式能够保持其湿润度，延长保活时间和提高存活率^[13]。海泥裹覆、羧甲基纤维素钠(CMC)和褐藻酸钠等方式能使缢蛏表面保持湿度和透氧作用^[14]。

贝类保活过程中主要营养成分能否很好地保持是衡量保活效果的重要指标之一^[15]。不同温度条件下贮

藏缢蛏的粗蛋白含量基本保持稳定，粗脂肪、糖原和灰分呈下降趋势。不同温度贮藏 11 d 后糖原下降幅度约为 54.86%~69.45%，贮藏温度越低缢蛏体内糖原下降幅度越小。不同温度贮藏 11 d 后脂肪下降幅度约为 21.69%~28.92%，其中(0±1) °C贮藏条件下的缢蛏脂肪含量下降幅度较其它保活组较平缓。但是不同温度贮藏 11 d 后蛋白质下降幅度较少约为 3.00%~6.77%。说明蛋白质充当机体的结构和功能性物质，不作为能量储备物质。在 22 °C 和 27 °C 条件下，经过 15 周的饥饿应激后蛤蜊 *Mesodemsma mervenaria* 蛋白质含量减少，而牡蛎 *Crassostrea virginica* 蛋白质水平没有受到影响^[16]。综上所述，不同温度条件贮藏缢蛏的基本营养成分含量减少量高低依次均为糖原、粗脂肪、粗蛋白，在不能摄食时，不断消耗能量物质以糖原为主粗脂肪为辅。随着贮藏时间的延长，缢蛏体内脂肪的分解代谢加强并且作为加强糖原异生途径的原料^[17]。申淑琦等^[18]采用充氧保湿处理 4 °C 无水保活过程中，海湾扇贝 *Argopecten irradians* 消耗能量物质的基本营养成分先后顺序一致。

(0±1) °C、(5±1) °C 和 (10±1) °C 贮藏 11 d 后灰分下降幅度约为 20.53%~24.71%，其中(-4±1) °C 贮藏的缢蛏处于微冻环境下，灰分含量从 1.54% 下降到 1.53%，下降幅度约为 0.65%。其中，(-4±1) °C 贮藏过程中的缢蛏因低温造成了贝体微冻而死亡，其体内的灰分含量变化不大，而其它不同保活温度组的缢蛏肌肉灰分含量下降了 18.10%~24.70%。这可能是因为在保活过程中，机体排泄或体液的流失，使机体矿物质流失。

随着不同温度条件贮藏时间的延长，缢蛏的水分和粗蛋白含量基本保持稳定，其机体的能量消耗以糖原为主脂肪为辅，除(-4±1) °C 贮藏的缢蛏处于微冻环境下，灰分下降幅度较小，其它贮藏温度条件下的缢蛏有一定的矿物质流失。

2.3 不同贮藏温度对缢蛏生理生化指标影响

2.3.1 pH

贝类 pH 值的变化是受不同代谢产物共同影响的结果，其值反映贮藏过程中贝类新鲜度的趋势。活品贝类的 pH 一般处于 6.3~7.5 之间，捕后立即测定 pH 一般为 7.0~7.3^[19]。不同温度条件下贮藏过程中缢蛏 pH 值的变化如图 3 所示。结果表明，不同温度贮藏的缢蛏肌肉 pH 初始值为 7.0，之后逐渐下降，至第 3 d 为最低，而后又开始上升。最终，(-4±1) °C 和 (25±1) °C 组的缢蛏 pH 值低于 7.0，而无水保活组(0±1) °C、5±1 °C、10±1 °C) 的缢蛏 pH 值高于 7.0。其中，(0±1) °C、

(5±1) °C 和 (10±1) °C 保活的后 5 d, pH 值变化相对比较缓慢。

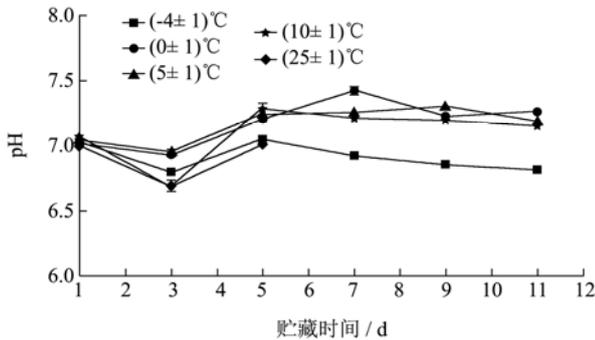


图3 不同温度条件下贮藏过程中缢蛭 pH 的变化

Fig.3 The changes of pH value of *Sinonovacula constricta* under different storage temperatures

2.3.2 挥发性盐基氮含量

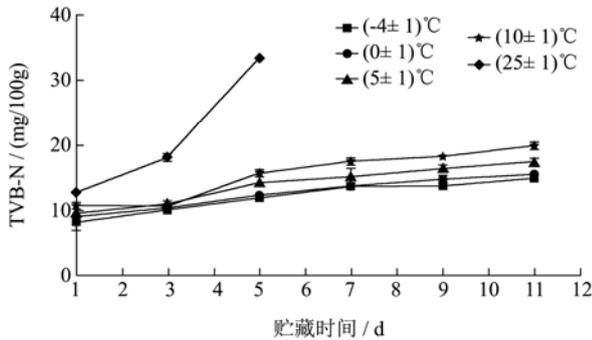


图4 不同温度条件下贮藏缢蛭 TVBN 的变化

Fig.4 The changes of TVB-N value of *Sinonovacula constricta* under different storage temperatures

挥发性盐基氮 (Total volatile basic nitrogen, TVB-N) 广泛作为判断水产品新鲜度, 并且针对蛋白含量较高的贝类其灵敏度较高, TVB-N 含量越低, 产品新鲜度越高^[20]。我国对海产贝类的 TVB-N 含量可接受限为≤15 mg/100 g^[21]。不同温度条件下贮藏缢蛭 TVB-N 值变化的影响如图 4 所示。结果表明, 随着贮藏时间的延长, 不同温度组的缢蛭 TVB-N 值均逐渐增大。贮藏温度越高, 缢蛭 TVB-N 值增加的趋势越明显。不同温度(-4±1 °C、0±1 °C、5±1 °C、10±1 °C、25±1 °C)贮藏期间, 分别在 11 d、9 d、7 d、5 d 和 2 d 缢蛭 TVBN 值接近海水贝类最大可接受限值。

2.3.3 肌原纤维蛋白巯基含量和 Ca²⁺-ATPase 酶活力

肌原纤维蛋白是肌肉蛋白的主要成分, 不仅对蛋白质的功能特性起着决定性作用并直接影响其品质, 并且以肌球蛋白和肌动蛋白为主的肌原纤维蛋白参与生理代谢, 同时肌动球蛋白的 ATPase 活性变化和肌原纤维蛋白在内源或外源性酶的作用下水解^[22]等。不

同温度条件下贮藏过程中缢蛭肌原纤维蛋白巯基含量和 Ca²⁺-ATPase 活性的变化如图 5 和图 6 所示。

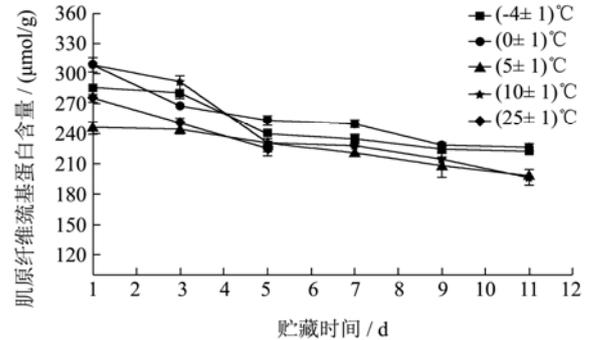


图5 不同温度条件下贮藏缢蛭肌原纤维蛋白巯基含量的变化

Fig.5 The changes of SH content of myofibrillar protein of *Sinonovacula constricta* under different storage temperatures

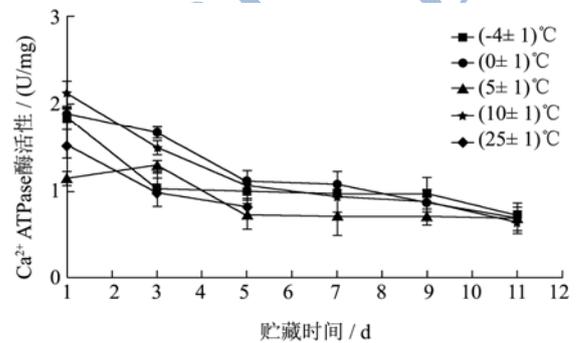


图6 不同温度条件下贮藏缢蛭肌原纤维蛋白 Ca²⁺-ATPase 酶活性的变化

Fig.6 The changes of Ca²⁺-ATPase activity of myofibrillar protein of *Sinonovacula constricta* under different storage temperatures

缢蛭肌原纤维蛋白巯基含量初始值 246.40 μmol/g~308.35 μmol/g, 肌原纤维 Ca²⁺-ATPase 酶活 1.141 U/mg~2.111 U/mg。在(-4±1) °C、(0±1) °C、(5±1) °C、(10±1) °C贮藏组的前 5 d 缢蛭 Ca²⁺-ATPase 酶活出现较大幅度降低, 其下降幅度为 34.90%~50.00%; 而后 5 d 平缓得下降, 其下降幅度为 2.30%~35.60%。同样, 不同温度条件下贮藏缢蛭肌肉的肌原纤维蛋白巯基含量具有相同的趋势。随着贮藏时间的延长, 不同温度条件贮藏缢蛭肌肉的肌原纤维蛋白巯基含量和 Ca²⁺-ATPase 活性均有下降趋势, 但不同温度组差异不显著 (p>0.05)。巯基是鱼肉蛋白中最有反应活性的功能性基团, 肌球蛋白分子中含有活性巯基 SH1 和 SH2 与肌球蛋白的 Ca²⁺-ATPase 活性密切相关^[10]。Koichi Kuwahara 等人研究发现较低浓度的柠檬酸钠能抑制鲤鱼肌原纤维蛋白变性、抑制肌原纤维蛋白 Ca²⁺-ATPase 活性的下降, 保护肌动蛋白和肌球蛋白, 提高鲤鱼的保水性^[23]。吴忠等^[24]研究表明活品虾夷扇贝闭壳肌和外套膜肌原纤维蛋白的 ATPase

活性 (Mg^{2+} -ATPase 和 Ca^{2+} -ATPase) 与肌原纤维蛋白的稳定性具有相关性, 在酸性条件下对肌肉蛋白质稳定性的破坏更明显。

2.4 菌落总数

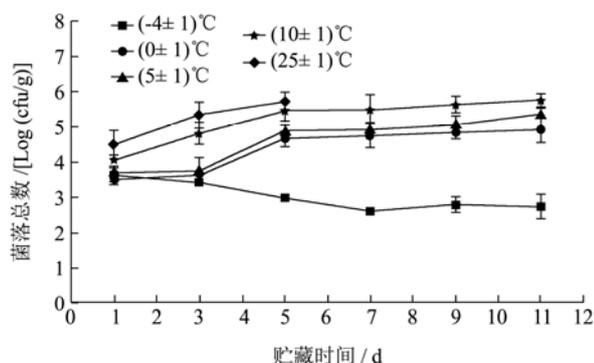


图7 不同温度条件下贮藏缢蛏菌落总数的变化

Fig.7 The changes of total bacterial count of *Sinonovacula constricta* under different storage temperatures

为获得鲜活缢蛏的卫生状况和食用安全性, 菌落总数高低不仅能反映新鲜程度, 而作为食品被微生物污染程度指标。根据我国贝类投放市场微生物卫生标准的要求, 菌落总数不得高于 5×10^4 CFU/g^[25]。不同温度条件贮藏过程中缢蛏菌落总数变化如图7所示。

研究表明, 在(0±1) °C、(4±1) °C、(10±1) °C、(25±1) °C温度条件下, 当分别达到7 d、5 d、3 d、2 d时, 缢蛏的菌落总数接近 $4.7 \log(CFU/g)$ 。随着保活时间延长和温度升高的双重作用, 菌落总数呈增长趋势。而(-4±1) °C贮藏期间, 缢蛏菌落总数始终低于 $4.7 \log(CFU/g)$, 其主要原因随着低温微冻贮藏过程中大部分细菌很快死亡。本研究发现(-4±1) °C和(0±1) °C组的缢蛏 TVB-N 值增加的幅度不大, 由于温度低, 微生物的增殖受到一定的抑制, 减缓蛋白质的分解和氨及胺类碱性含氮物质的产生, 从而达到减缓缢蛏鲜度下降的趋势。菲律宾蛤仔 TVB-N 的变化与低温保藏过程中微生物的增长状况存在一定的相关性^[26]。杨华等^[27]研究以壳聚糖作为保鲜剂在冰藏条件下能够很好地抑制缢蛏机体 TVB-N、pH 和菌落总数等生化指标的变化。

3 结论

在一定湿度的条件下合理降低贮藏温度能够延长缢蛏的存活率, (0±1) °C贮藏的缢蛏具有较高的成活率, 在11 d存活率达到95%以上。通过不同贮藏温度对缢蛏机体基本营养成分含量高低比较, 缢蛏能量消耗以糖原为主粗脂肪为辅。并且(0±1) °C贮藏条件下的缢蛏脂肪含量下降幅度较其它保活组较平缓。保活时

间延长和温度升高的双重作用, 缢蛏菌落总数呈增长趋势, 在第7 d接近 $4.7 \log(CFU/g)$ 。而缢蛏肌肉肌原纤维蛋白巯基含量和 Ca^{2+} -ATPase 活性均有下降趋势。

参考文献

- [1] Saraa G, Romano C, Widdows J, et al. Effect of salinity and temperature on feeding physiology and scope for growth of an invasive species (*Brachidontes pharaonis*-Mollusca; Bivalvia) within the Mediterranean sea [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2008, 363(1/2): 130-136
- [2] 申淑琦, 万玉美, 王小瑞, 等. 海湾扇贝低温无水保活过程中营养成分和生化特性的变化[J]. 大连海洋大学学报, 2014, 29(6):633-637
SHEN Shu-qi, WAN Yu-mei, WANG Xiao-rui, et al. Changes in nutrient compositions and biochemical characteristics of bay scallop *Argopecten irradians* during keep-alive under free water at low temperature [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2014, 29(6): 633-637
- [3] 王兴强, 马牲, 曹梅, 等. 不同盐度波动幅度对缢蛏生长和生化组成的影响[J]. 海洋通报, 2010, 29(5):567-571
WANG Xing-qiang, MA Sheng, CAO Mei, et al. Effect of salinity fluctuation on the growth and biochemical composition of *Sinonovacula constricta* [J]. Marine Science Bulletin, 2010, 29(5): 567-571
- [4] 姜志勇. 我国东部沿海缢蛏群体的形态、生长与分子遗传学比较研究[M]. 上海: 上海海洋大学, 2008
JIANG Zhi-yong. Comparative study on morphology, growth and molecular genetics of *Sinonovacula constricta* populations in the coast of eastern china [M]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2008
- [5] 牛东红, 刘达博, 陈慧, 等. 缢蛏种群遗传多样性的周年变异分析[J]. 生物技术通报, 2012, 1:168-171
NIU Dong-hong, LIU Da-bo, CHEN Hui, et al. Genetic diversity of *Sinonovacula constricta* populations in one year [J]. Biotechnology Bulletin, 2012, 1: 168-171
- [6] 杨文鸽, 徐大伦, 孙翠玲, 等. 缢蛏冰藏保活期间呈味物质的变化[J]. 中国食品学报, 2009, 9(3):181-186
YANG Wen-ge, XU Da-lun, SUN Cui-ling, et al. Changes of taste components in *Sinonovacula constricta* during iced storage-keeping alive [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2009, 9(3): 181-186
- [7] 高捷, 刘红英, 齐凤生, 等. 缢蛏保活过程中乳酸变化的研究[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(2):406-407
GAO Jie, LIU Hong-ying, QI Feng-sheng, et al. Research on

- changes of lactic acid of *Sinonovacula constricta* during its life-keeping process [J]. *Acta Agriculturae Jiangsuensis*, 2011, 39(2): 406-407
- [8] 高捷,刘红英,齐凤生,等.缢蛏保活过程中糖原变化的研究[J].食品工业科技,2011,32(5):361-363
GAO Jie, LIU Hong-ying, QI Feng-sheng, et al. Research on changes of glycogen of *Sinonovacula constricta* during its life-keeping process [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2011, 32(5): 361-363
- [9] 傅玉颖,李学鹏,励建荣,等.泥蚶气调保鲜过程中品质变化的动力学模型研究[J].中国食品学报,2009,9(2):47-52
FU Yu-ying, LI Xue-peng, LI Jian-rong, et al. Study on the Kinetic model of quality change in *Tegillarca granosa* during MAP storage [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2009, 9(2): 47-52
- [10] 杨文鹤.几种海水养殖鱼类低温贮藏生化特性的变化及其鲜度评价[D].青岛:中国海洋大学,2007
YANG Wen-ge. Changes of biochemical properties and freshness evaluation in some maricultured fish-shellfishes stored at low temperature [D]. Qingdao: China Ocean University, 2007
- [11] Youko S, Kikue K, Akio K. Influence of free sugars by glycolysis on the formation of the characteristic flavor in the brew of cooked clam [J]. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 1997, 45: 2195-2198
- [12] 李含.缢蛏综合保活技术研究[M].福州:福建农林大学,2014
LI Han. The research of comprehensive keep-alive technology to *Sinonovacula Constricta* [M]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2014
- [13] 王霞.菲律宾蛤仔离水后的存活期及存活期内的微生物和理化指标变化[D].湛江:广东海洋大学,2010
WANG Xia. Survival time and the changing rule of microorganisms and physicochemical indexes *Ruditapes Philippinarums* during keeping alive period [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2010
- [14] 吴云辉,林莉芳,邱澄宇.几种缢蛏保鲜被覆剂理化性质的比较研究[J].农产品加工·学刊,2010,10:33-36
WU Yun-hui, LIN Li-fang, QIU Cheng-yu. Comparison on properties of the several kinds of preservation coating on razor clam [J]. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2010, 10: 33-36
- [15] 苏键.广西北部湾主要贝类食用品质及其冻藏变化的研究[D].南宁:广西大学硕士研究生学位论文,2011
SU Jian. Study on the edible quality and changes during frozen storage of the important bivalve mollusks from beibu gulf in Guangxi [D]. Nanning: Guangxi University, 2011
- [16] Ivanina A V, Dickinson G, Hickinson G H, Matoo O B, et al. Interactive effects of elevated temperature and CO₂ levels on energy metabolism and biomineralization of marine bivalves *Crassostrea virginica* and *Mercenaria mercenaria* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 2013, 166(1): 101-111
- [17] 陈山乔.基于代谢组学的水产品物流相关技术研究[D].上海:上海海洋大学,2016
CHEN Shan-qiao. Aquatic products preservation and transportation investigation based on metabolomics [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016
- [18] 申淑琦,王玉美,王小瑞,等.海湾扇贝低温无水保活过程中营养成分和生化特性的变化[J].大连海洋大学学报,2014, 29(6):633-637
SHEN Shu-qi, WAN Yu-mei, WANG Xiao-rui, et al. Changes in nutrient compositions and biochemical characteristics of bay scallop *Argopecten irradians* during keep-alive under free water at low temperature [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2014, 29(6): 633-637
- [19] 刘金洋.虾夷扇贝在活品流通过程中的代谢变化[D].大连:大连海洋大学,2016
LIU Jin-yang. Post-harvest metabolism changes in live scallop *Patinopecten yessoensis* [D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2016
- [20] FAN W J, SUN J X, CHEN Y H, et al. Effects of chitosan coating on quality and shelf life of silver carp during frozen storage [J]. *Food Chemistry*, 2009, 115(1): 66-70
- [21] GB 2733-2005,鲜、冻动物性水产品卫生标准[S]
GB 2733-2005, Hygienic standard for fresh and frozen marine products of animal origin [S]
- [22] Hultaman L, Rustad T. Iced storage of Atlantic salmon (*Salmo salar*)-effects on endogenous enzymes and their impact on muscle proteins and texture [J]. *Food Chemistry*, 2004, 87: 31-41
- [23] Koichi K, Kunihiko K. Suppression of thermal denaturation of myosin and salt-induced denaturation of actin by sodium citrate in carp (*Cyprinus carpio*)[J]. *Food Chemistry*, 2010, 122(4): 997-1002
- [24] 吴忠,刘俊荣,田元勇.虾夷扇贝闭壳肌和外套膜肌原纤维蛋白的特性分析[J].水产学报,2015,39(11):1640-1649
WU Zhong, LIU Jun-rong, TIAN Yuan-rong. Characteristics of the adductor and mantle myofibrils from *Patinopecten yessoensis* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(11): 1640-1649

- [25] 庄荣玉,黄晓春,薛长湖,等.鲜活缢蛏肉质细菌菌群组成成分分析[J].食品与发酵工业,2007,33(1):43-44
ZHUANG Rong-yu, HUANG Xiao-chun, XUE Chang-hu, et al. Identification of microflora of live *Sinonovacula constricta* [J]. Food and Fermentation Industries, 2007, 33(1): 43-44
- [26] 王霞.菲律宾蛤仔离水后的存活期及存活期内的微生物和理化指标变化[D].湛江:广东海洋大学,2010
WANG Xia. Effects of different frozen storage processing methods for *Sinonovacula constricta* (Lamarck) qualities [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2010
- [27] 杨华,张慧恩.生物保鲜在不同条件下对缢蛏保鲜效果的影响[J].食品研究与开发,2014,35(21):126-131
YANG Hua, ZHANG Hui-en. Study on the biological preservatives fresh-keeping effect on razor clams under different conditions [J]. Food Research and Development, 2014, 35(21): 126-131

现代食品科技