

## 贮藏温度对即食杂色蛤贮藏过程中理化特性的影响

张存存<sup>1</sup>, 锁然<sup>1</sup>, 刘亚琼<sup>1</sup>, 王文秀<sup>1</sup>, 王浩然<sup>1</sup>, 马胜涛<sup>2</sup>, 王颀<sup>1</sup>

(1. 河北农业大学食品科技学院, 河北保定 071001; 2. 石家庄邮电职业技术学院, 河北石家庄 050022)

**摘要:** 为了探究不同贮藏温度对即食杂色蛤理化特性和蛋白质变化的影响, 以即食杂色为研究对象, 测定贮藏温度(-18、0、5、25和35℃)对其理化特性(包括水分含量、色泽、质构、pH、TVB-N含量及TBA、蛋白质氧化)的影响。结果表明, 随贮藏时间延长, 即食杂色蛤 $L^*$ 、弹性和咀嚼性呈下降趋势, TVB-N含量、TBA和菌落总数呈上升趋势,  $a^*$ 、硬度和pH呈先上升后下降趋势,  $b^*$ 则先下降后趋于平稳。即食杂色蛤各指标在贮藏前后均存在显著性差异。以TVB-N含量为评价指标, 即食杂色蛤在-18、0和5℃温度下贮藏30d与初始品质差异不显著, 考虑其安全性, 在-18、0、5和25℃贮藏180d, 在35℃贮藏90d时均未超标, 仍可安全食用。本研究结果皆为即食杂色蛤加工贮藏提供了理论依据和数据支撑。

**关键词:** 即食杂色蛤; 品质变化; 蛋白质氧化

中图分类号: TS254.4

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文献标志码: A

## Effect of storage temperature on physical-chemical properties of ready-to-eat variegated clams during storage

ZHANG Cuncun<sup>1</sup>, SUO Ran<sup>1</sup>, LIU Yaqiong<sup>1</sup>, WANG Wenxiu<sup>1</sup>, WANG Haoran<sup>1</sup>,  
MA Shengtao<sup>2</sup>, WANG Jie<sup>1</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China;

2. Shijiazhuang Post and Telecommunication Technical College, Shijiazhuang 050022, China)

**Abstract:** In order to explore the effects of different storage temperatures on the physical-chemical properties and protein changes of ready-to-eat variegated clams. The ready-to-eat variegated clams were taken as the research object, and the effects of storage temperature (-18, 0, 5, 25 and 35 °C) on its physical-chemical properties (including moisture content, color, texture, pH, TVB-N content, TBA, protein oxidation). The results showed that, with the extension of storage time, the ready-to-eat variegated clams  $L^*$ , springiness and chewiness were decreased, the TVB-N content, TBA, and total bacterial count were increased, the  $a^*$ , hardness, and pH were increased first and then decreased, the  $b^*$  was decreased first and then tended to be stable. There were significant differences in each index of ready-to-eat variegated clams before and after storage. Taking TVB-N content as the evaluation index, there was no significant difference between ready-to-eat variegated clams stored at -18, 0 and 5 °C for 30 days with initial quality. Considering its safety, it was stored at -18, 0, 5 and 25 °C for 180 days, and stored at 35 °C for 90 days. None of these were beyond the standard and ready-to-eat variegated clams were still safe to eat. The results of the study provided a theoretical basis and data support for the processing and storage of ready-to-eat variegated clams.

**Keywords:** ready-to-eat variegated clams, physical-chemical properties, protein oxidation

收稿日期: 2021-03-01

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2018YFD0901004)。

第一作者: 张存存(1992-), 女, 河北新乐人, 硕士研究生, 主要从事水产品加工贮藏方面研究。E-mail: Acvinny\_z@163.com

通信作者: 王颀(1959-), 男, 河北承德人, 博士, 教授, 主要从事食品加工与利用方面研究。E-mail: wj591010@163.com

本刊网址: <http://hauxb.hebau.edu.cn>

杂色蛤 (*Ruditapes variegata*) 是我国沿海主要的贝类之一, 山东青岛、福建沿海、渤海产量较多。杂色蛤可食部位营养价值高, 含有丰富的蛋白质、脂肪、碳水化合物、微量元素和维生素 (VA、VD、烟酰胺及 VB<sub>12</sub> 等) 及多不饱和脂肪酸等其他营养成分, 是均衡饮食的重要组成部分<sup>[1-2]</sup>。但由于杂色蛤捕捞后贮藏不当极易腐烂, 可将其加工为即食产品, 这不仅丰富贝类水产品的种类, 还可以降低水产品损失率, 同时满足生产者和消费者的要求。

即食杂色蛤是经反压高温杀菌处理得到的 1 种即食带壳原汁原味的真空软包装方便食品。产品刚加工完成时, 味道鲜美, 在常温条件下随着贮藏时间的延长, 风味变淡, 品质下降。目前关于即食水产品研究多集中在加工工艺及品质变化等方面<sup>[2-6]</sup>, 而不同贮藏条件对即食杂色蛤理化指标影响的报道相对较少。本研究以即食杂色蛤为原料, 研究了不同贮藏温度 (-18、0、5、25 和 35℃) 对产品的理化特性和蛋白质变化的影响, 为即食杂色蛤的产后贮藏及品质控制提供一定的依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

即食杂色蛤原料产地: 辽宁兴城海域; 即食杂色蛤由河北省秦皇岛市海东青食品有限公司提供;

试剂: TCA、EDTA、TBA、氯仿、DTNB、DNPH、盐酸胍、无水乙醇、乙酸乙酯, 以上试剂均为分析纯, 天津市天力化学试剂有限公司; 甲基红指示剂、溴甲酚绿指示剂, 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司; BCA 蛋白定量试剂盒, 北京雷根生物技术有限公司; 试验用水为去离子水。

### 1.2 仪器与设备

色彩色差计, 日本柯尼卡美能达公司; TMS-PRO 型物性分析仪, 美国 FTC 公司; K1100 全自动凯氏定氮仪, 济南海能仪器股份有限公司; 酶标仪, 赛默飞世尔科技 (中国) 有限公司; 台式高速冷冻离心机, 湖南易达京华仪器有限公司。

### 1.3 试验方法

1.3.1 样品预处理 即食杂色蛤加工工艺流程: 杂色蛤捕捞后立刻运往工厂, 在加工车间水池暂养 48 h 完成吐沙, 经过筛选、清洗、沥干过程后装袋, 每袋为 (30.0 ± 2.0) g, 真空包装, 随后经金属检测

后进行 121℃、0.2 MPa 的高温高压杀菌操作, 待即食杂色蛤冷却后方可装箱保存。

1.3.2 色泽的测定 采用 CR-400 色彩色差计对即食杂色蛤蛤肉的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  进行测定。CIELab 表色系统将颜色数值化为  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$ 。按照色彩色差计使用说明进行操作, 先进行白板校正, 再对 30 个样品进行测定。

1.3.3 质构的测定 采用 TMS-PRO 型物性分析仪对杂色蛤腹部进行 2 次压缩做质构剖面分析 (Texture Profile Analysis, TPA 分析)。测试条件设置为: 平底柱形 p/5 探头, 测试据平面高度 10 mm, 测试速度 30 mm/min, 形变量 50%, 感应力 0.5 N, 压缩间隔时间 0 s。每次对 30 个样品进行测定。

1.3.4 pH 的测定 参照《GB 5009.237-2016 食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》中的酸度计法测定样品 pH 值。

1.3.5 TVB-N 含量的测定 参考《GB 5009.228-2016 食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》中的半微量定氮法采用自动凯氏定氮仪测定即食杂色蛤中 TVB-N 含量。

1.3.6 TBA 的测定 参考胡玥等<sup>[7]</sup>的方法测定样品中脂肪氧化值。

1.3.7 游离巯基值的测定 参考 Morzel 等<sup>[8]</sup>修改的 Ellman 法测定游离巯基值含量。称取 2.00 g 待测蛤肉, 加入 10 mL 0.05 mol/L 磷酸缓冲液 (pH 8.0), 匀浆, 3 500 r/min 离心 10 min 得上清液即为蛋白提取液。取 1 mL 上清液于试管中, 稀释 10 倍, 加 20 μL 0.002 mol/L DTNB 试剂, 涡旋混匀后于 25℃ 条件下避光水浴 1 h, 结束后于 412 nm 波长处测其吸光度。采用 BCA 蛋白定量试剂盒测定蛋白提取液中蛋白含量。试验重复 3 次。游离巯基值结果按式 (1) 计算:

$$X = \frac{A}{a \times b \times c} \times 10^6 \quad (1)$$

式中:  $X$  为蛋白巯基值, 单位为 nmol 巯基/mg 蛋白;  $A$  为溶液吸光值;  $a$  为巯基分子吸光系数 13 600 L/(mol·cm);  $b$  为光在样本中经过的距离, 单位 cm, 本方法中  $b=1$ ;  $c$  为蛋白浓度, 单位 mg/mL;  $10^6$  为计算结果换算为 nmol 巯基/mg 蛋白的换算系数。

1.3.8 蛋白巯基值的测定 参考 Mercier Y 等<sup>[9]</sup>和胡吕霖<sup>[9]</sup>的方法稍作修改。采用 DNPH 比色法测定即食杂色蛤中蛋白巯基值。准确称取 2.00 g 待测

蛤肉,加入 10 mL 0.02 mol/L 磷酸缓冲液 (pH 6.5) (含 0.6 mol/L 的 NaCl),匀浆,13 000 r/min 离心 10 min 得上清液即为蛋白提取液。

取 400  $\mu$ L 上清液于 EP 管中,加 200  $\mu$ L 2 mol/L 的 HCl (含 0.01 mol/L DNPH),涡旋混匀,30  $^{\circ}$ C 避光水浴 1 h (每 10 min 涡旋 1 次)。结束后向 EP 管内加入 1 mL 40% 的 TCA,涡旋混匀静置 30 min 沉淀蛋白。随后 13 000 r/min 离心 15 min,留沉淀,再加入 1 mL 体积比为 1 : 1 的乙酸乙酯和乙醇溶液,涡旋,13 000 r/min 离心 10 min,以除去多余的 DNPH,多次重复洗涤沉至上清液为无色。取沉淀加 3 mL 6 mol/L 盐酸胍溶液,涡旋以溶解蛋白。待沉淀完全溶解后于 370 nm 波长处测其吸光度。蛋白巯基值结果按式 (2) 计算:

$$X = \frac{A}{a \times b \times c} \times 10^6 \quad (2)$$

式中:  $X$  为蛋白巯基值,单位为 nmol 巯基/mg 蛋白;  $A$  为溶液吸光值;  $a$  为巯基分子吸光系数 22 000 L/(mol  $\cdot$  cm);  $b$  为光在样本中经过的距离,单位 cm,本方法中  $b=1$ ;  $c$  为蛋白浓度,单位 mg/mL;  $10^6$  为计算结果换算为 nmol 巯基/mg 蛋白的换算系数。

#### 1.4 试验设计

将即食杂色蛤设 -18、0、5、25 和 35  $^{\circ}$ C 5 个温度进行贮藏,其中 -18  $^{\circ}$ C 处理每 30 d,0、5 和 25  $^{\circ}$ C 处理每 15 d,35  $^{\circ}$ C 处理每 10 d 取样进行色泽、质构、pH、TVB-N 含量、TBA、游离巯基值和蛋白巯基值进行测定,试验重复 3 次。

#### 1.5 试验结果统计分析方法

采用 SPSS 25 (IBM) 对数据进行统计分析和方差分析,  $P < 0.05$  时为显著性差异。采用 Origin 2018 版软件进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 色泽变化分析

色泽在产品的外观和接受度中起着重要作用,直接影响着消费者对产品的喜好程度。一般来说,在产品中贮藏过程中,由于蛋白的氧化变性、脂质氧化和色素降解过程都会造成颜色发生变化。即食杂色蛤贮藏过程中色泽  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  变化如图 1 所示。

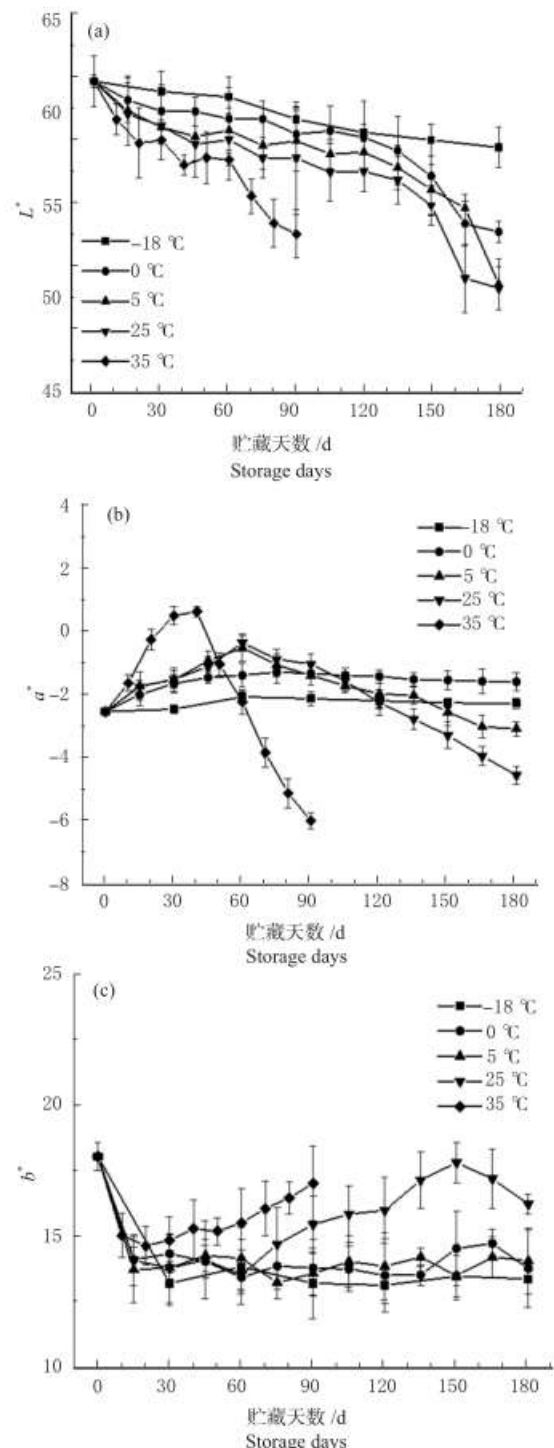


图 1 即食杂色蛤贮藏过程中  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  变化  
Fig. 1 Changes of  $L^*$ 、 $a^*$  and  $b^*$  in ready-to-eat variegated clams during storage

即食杂色蛤贮藏过程中色泽  $L^*$  变化如图 1(a) 所示,从图可见,与 -18  $^{\circ}$ C 冻藏组相比,0、5、25 和 35  $^{\circ}$ C 4 个温度  $L^*$  显著下降,且 35  $^{\circ}$ C 贮藏下变暗速度最快,25、5 和 0  $^{\circ}$ C 次之,-18  $^{\circ}$ C 最慢,表明即食杂色蛤在高温贮藏下,颜色变化更加显著, Li 等<sup>[11]</sup>

发现即食对虾在贮藏过程中  $L^*$  下降, 这与本研究的结果相似。这表明较高的贮藏温度会加速杂色蛤自身的褐变。随贮藏时间的延长, 肌肉中的脂质氧化物、蛋白发生非酶促褐变以及氧化反应均会导致变色, 使  $L^*$  值下降<sup>[12]</sup>。

从图 1(b), 即食杂色蛤红绿值在整个贮藏过程中整体呈先上升后下降的趋势, 其中 35 °C 贮藏变化最为明显。经差异性分析, -18 和 0 °C 两组之间没有显著性差异, 其他温度组之间均存在显著性差异 ( $P < 0.01$ )。即食杂色蛤贮藏过程中, 肌红蛋白发生变性, 亚铁肌红蛋白变成高铁肌红蛋白, 使即食杂色蛤在贮藏后期红度值降低<sup>[13]</sup>。

从图 1(c) 可见, 即食杂色蛤  $b^*$  整体呈先下降后平稳趋势。在 5 个贮藏温度结束时, 25 和 35 °C 与其他 3 个温度之间存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ), -18、0 和 5 °C 3 个贮藏温度之间无明显差异。黄色色素的形成可能是由于脂质氧化产物与磷脂中的胺或蛋白质中的胺发生非酶褐变<sup>[12]</sup>。

综合  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  3 个色泽指标变化表明即食杂色蛤随贮藏时间的延长,  $L^*$  逐渐减小,  $a^*$  在贮藏后期逐渐减小,  $b^*$  在贮藏后期值逐渐增大, 即食杂色蛤的颜色由乳白色变为棕黄色, 发生劣变。

## 2.2 质构变化分析

水产品的质地是评价其品质好坏的重要指标之一, 直接影响水产品的口感。贮藏期间产品的质构受诸多因素影响, 例如加工方式<sup>[10, 14-15]</sup>、干制<sup>[16-17]</sup>及氧化反应<sup>[14, 18]</sup>等。

硬度可以反应产品内部结构的紧密程度。即食杂色蛤贮藏过程中硬度变化如图 2(a) 所示, 整体呈现先上升后下降的趋势, 蛋白聚集可能会导致硬度上升, 随贮藏时间延长内源作用导致蛋白质降解、肌肉结构松散, 从而使硬度又呈下降趋势。-18 °C 冻藏和 35 °C 高温贮藏 2 组变化最为显著, 由 3.70 N 分别降至 1.75 和 3.12 N, 这可能是因为冷冻或高温使蛋白质发生变性或聚集作用, 影响蛋白质结构, 从而影响即食杂色蛤的硬度。

即食杂色蛤贮藏过程中弹性变化如图 2(b) 所示, 所有贮藏温度下弹性均随时间延长弹性呈下降的趋势, 贮藏结束各组之间差异不显著。即食杂色蛤贮藏初始弹性为 1.874 mm, 贮藏结束时分别为 0.932 mm (-18 °C -180 d)、1.22 mm (0 °C -180 d)、1.18 mm (5 °C -180 d)、1.04 mm (25 °C -180 d) 和 1.01 mm

(35 °C -90 d)。即食杂色蛤在 0 和 5 °C 变化趋势相对平缓, 在 -18 和 35 °C 贮藏的即食杂色蛤弹性下降比较迅速。所有温度贮藏前后弹性均存在显著差异性 ( $P < 0.05$ ), 说明温度对即食杂色蛤贮藏弹性有一定影响。

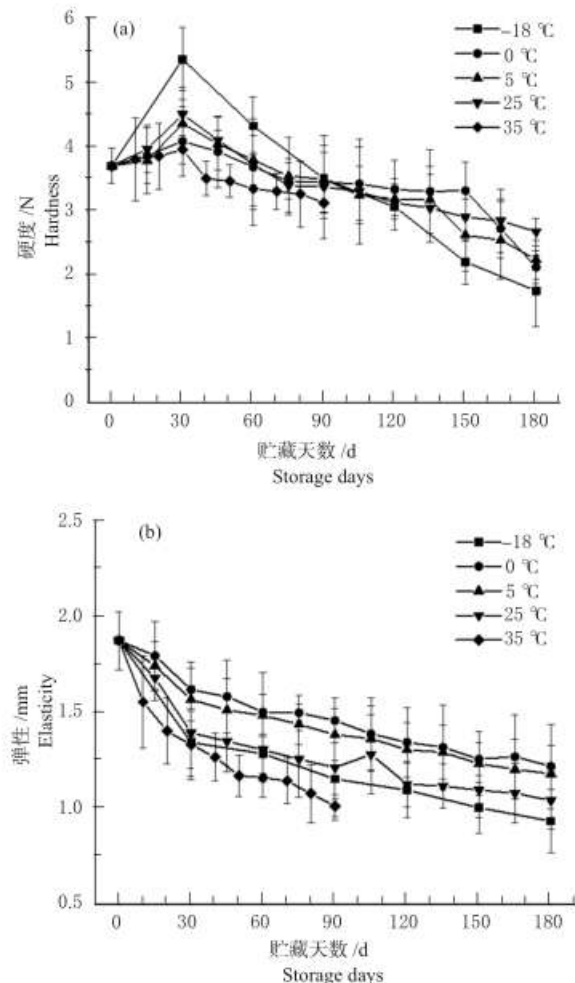


图 2 即食杂色蛤贮藏过程中硬度和弹性变化

Fig. 2 Changes of hardness and elasticity in ready-to-eat variegated clams during storage

咀嚼性表示产品咀嚼到可以吞咽状态时所做的功, 可以反应产品的新鲜度, 咀嚼性降低表明肌肉纤维丧失了其完整性, 导致了肌肉间韧性的弱化<sup>[14]</sup>。即食杂色蛤贮藏过程中咀嚼性变化如表 1 所示, 从表中可以看出, 所有贮藏方式下咀嚼性均呈现下降趋势, 但贮藏前后差异性略有不同。5 个贮藏温度相比, 0 和 5 °C 贮藏组咀嚼性下降相对其他贮藏组较为缓慢, 经过 180 d 贮藏前后样品咀嚼性并无显著性差异, 而 -18 °C 贮藏组样品贮藏前后咀嚼性则存在极显著差异 ( $P < 0.01$ ), 表明即食杂色蛤适宜

在冷藏条件(0~5℃)下贮藏能更好的保持产品咀嚼性。综合以上 3 个质构指标, 表明即食杂色蛤

适宜在冷藏条件(0~5℃)下贮藏, 可更好的保持产品原本质构特性。

表 1 即食杂色蛤贮藏过程中咀嚼性变化

Table 1 Changes of chewability in ready-to-eat variegated clams during storage

贮藏天数/d Storage days	咀嚼性/mJ Chew ability				
	-18℃	0℃	5℃	25℃	35℃
0	1.74 ± 0.31 <sup>ab</sup>	1.74 ± 0.31 <sup>ab</sup>	1.74 ± 0.31 <sup>ab</sup>	1.74 ± 0.31 <sup>ab</sup>	1.74 ± 0.31 <sup>ab</sup>
10	---	---	---	---	1.50 ± 0.49 <sup>ab</sup>
15	---	1.67 ± 0.33 <sup>ab</sup>	1.65 ± 0.31 <sup>ab</sup>	1.66 ± 0.35 <sup>ab</sup>	---
20	---	---	---	---	1.49 ± 0.37 <sup>ab</sup>
30	1.55 ± 0.30 <sup>ab</sup>	1.63 ± 0.32 <sup>ab</sup>	1.61 ± 0.34 <sup>ab</sup>	1.63 ± 0.24 <sup>ab</sup>	1.47 ± 0.30 <sup>ab</sup>
40	---	---	---	---	1.40 ± 0.33 <sup>ab</sup>
45	---	1.61 ± 0.36 <sup>ab</sup>	1.59 ± 0.26 <sup>ab</sup>	1.52 ± 0.47 <sup>ab</sup>	---
50	---	---	---	---	1.36 ± 0.32 <sup>ab</sup>
60	1.40 ± 0.21 <sup>abc</sup>	1.59 ± 0.35 <sup>ab</sup>	1.56 ± 0.30 <sup>ab</sup>	1.46 ± 0.22 <sup>ab</sup>	1.34 ± 0.19 <sup>ab</sup>
70	---	---	---	---	1.29 ± 0.30 <sup>ab</sup>
75	---	1.56 ± 0.33 <sup>ab</sup>	1.54 ± 0.32 <sup>ab</sup>	1.45 ± 0.29 <sup>ab</sup>	---
80	---	---	---	---	1.20 ± 0.21 <sup>ab</sup>
90	1.22 ± 0.35 <sup>bc</sup>	1.49 ± 0.33 <sup>ab</sup>	1.46 ± 0.30 <sup>ab</sup>	1.43 ± 0.09 <sup>ab</sup>	1.18 ± 0.20 <sup>ab</sup>
105	---	1.48 ± 0.40 <sup>ab</sup>	1.45 ± 0.27 <sup>ab</sup>	1.40 ± 0.38 <sup>ab</sup>	---
120	0.96 ± 0.26 <sup>ab</sup>	1.46 ± 0.49 <sup>ab</sup>	1.43 ± 0.23 <sup>ab</sup>	1.35 ± 0.48 <sup>ab</sup>	---
135	---	1.43 ± 0.59 <sup>ab</sup>	1.37 ± 0.22 <sup>ab</sup>	1.33 ± 0.43 <sup>ab</sup>	---
150	0.90 ± 0.22 <sup>ab</sup>	1.39 ± 0.35 <sup>ab</sup>	1.33 ± 0.44 <sup>ab</sup>	1.32 ± 0.42 <sup>ab</sup>	---
165	---	1.35 ± 0.30 <sup>ab</sup>	1.31 ± 0.25 <sup>ab</sup>	1.14 ± 0.17 <sup>ab</sup>	---
180	0.90 ± 0.16 <sup>ab</sup>	1.28 ± 0.30 <sup>ab</sup>	1.24 ± 0.17 <sup>ab</sup>	1.06 ± 0.27 <sup>ab</sup>	---

注: 小写字母是同一贮藏温度不同贮藏天数间样品显著性差异分析; 大写字母是同一贮藏时间不同贮藏温度间样品显著性差异性分析。

### 2.3 pH 变化分析

水产品肌肉 pH 值的变化与其新鲜度密切相关, pH 变化受诸多因素影响, 如贮藏时间、贮藏温度及本身的生理状态等。即食杂色蛤贮藏过程中 pH 变化如图 3 所示。从图 3 可见, 即食杂色蛤在贮藏过程中 pH 值在 6.79 ~ 7.49 范围内, 除 -18℃ 贮藏组外整体呈先上升后下降趋势。35℃ 贮藏组最高 pH 值高于其他组, 且达到最高 pH 值时间比其他组短, 为 30 d。使 pH 值变化的主要原因是贮藏期间内源酶作用蛋白质降解产生碱类化合物使 pH 上升, 后期肌肉中的糖原发生无氧酵解而积累更多的乳酸, 从而使 pH 的下降<sup>[19]</sup>。-18℃ 贮藏组在整个过程呈现缓慢下降趋势, 但贮藏前后不存在显著性差异。

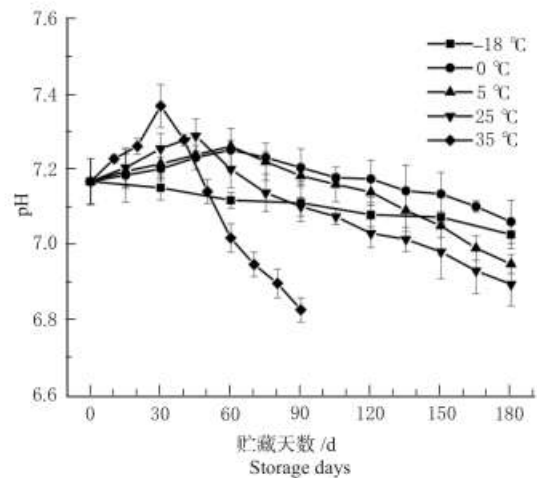


图 3 即食杂色蛤贮藏过程中 pH 变化  
Fig. 3 Changes of pH in ready-to-eat variegated clams during storage

## 2.4 TVB-N 含量变化分析

挥发性盐基氮 (TVB-N) 通常作为评价肉质新鲜与否的重要指标, 其含量越低, 表明产品新鲜度越高。即食杂色蛤在不同温度贮藏过程中 TVB-N 含量变化如图 4 所示。从图 4 可见, 所有处理组的 TVB-N 含量变化均呈上升趋势, 且以 35 °C 处理组上升速率最快, -18 °C 冻藏组最为缓慢。即食杂色蛤 TVB-N 含量初始值为 1.39 mg/100 g, 贮藏 180 d 结束时 TVB-N 含量分别上升到 4.62 mg/100 g (-18 °C)、8.39 mg/100 g (0 °C)、10.29 mg/100 g (5 °C) 和 10.29 mg/100 g (25 °C), 35 °C 贮藏 90 d 升至 12.35 mg/100 g, 经差异性分析得, 5 和 25 °C 2 个贮藏温度之间无差异, 与其他 3 个温度之间均存在显著性差异 ( $P < 0.01$ )。由此可以看出, -18 °C 冻藏可减缓 TVB-N 含量的变化, 贮藏即食杂色蛤效果较好。挥发性盐基氮升高的原因是由于酶的分解作用使产品蛋白质发生分解产生了含氨、氮和硫等挥发性物质。即食杂色蛤在 -18、0 和 5 °C 温度下贮藏 30 d 与初始品质差异不显著, 与 GB 2733-2015 限值 30 mg/100 g 相比, 即食杂色蛤在 -18、0、5 和 25 °C 贮藏 180 d, 在 35 °C 贮藏 90 d 时均未超标, 仍可安全食用。

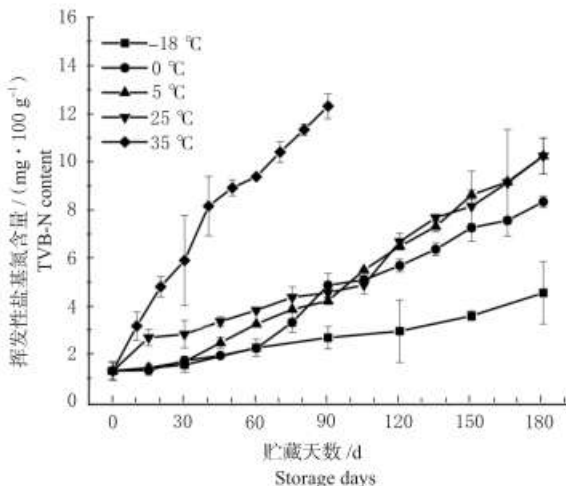


图 4 即食杂色蛤贮藏过程中 TVB-N 含量变化

Fig. 4 Changes of TVB-N content in ready-to-eat variegated clams during storage

## 2.5 TBA 变化分析

硫代巴比妥酸值 (TBA) 与肉类脂肪氧化程度有很强的相关性。TBA 值越大, 说明脂肪的氧化程度越高, 产生的小分子物质 (醛、酮、酸等) 也就越多, 脂肪酸败就越严重, 因此广泛用于肉产品品

质评价中反应脂类氧化的常用指标。

即食杂色蛤在整个贮藏过程中硫代巴比妥酸 (TBA) 值变化如图 5 所示。从图 5 可见, TBA 值均随贮藏时间延长呈上升趋势, 本研究结果变化趋势与之前研究结果<sup>[20]</sup>相似。即食杂色蛤贮藏开始时 TBA 值为 1.564 mgMDA/100 g, 贮藏 180 d 结束时, -18、0、5 和 25 °C 贮藏条件下分别上升至 2.212、5.850、6.210 和 7.237 mgMDA/100 g, 35 °C 贮藏到 90 d 时上升至 9.913 mgMDA/100 g, 由此可以看出, 0 和 5 °C 贮藏没有显著差异, 但与其他 3 个温度均存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 35 °C 贮藏即食杂色蛤脂肪氧化最为迅速, -18 °C 冻藏可减缓 TBA 的变化速率, 可有效减缓脂肪氧化速率。TBA 随贮藏时间延长而升高的原因可能是前期加工过程和后期贮藏期间细胞结构被破坏, 使不饱和脂肪酸氧化产生的丙二醛含量增加, 从而 TBA 增加。另外, 即食杂色蛤富含多不饱和脂肪酸和矿物质, 更容易发生脂质过氧化从而导致产品品质下降<sup>[21]</sup>。

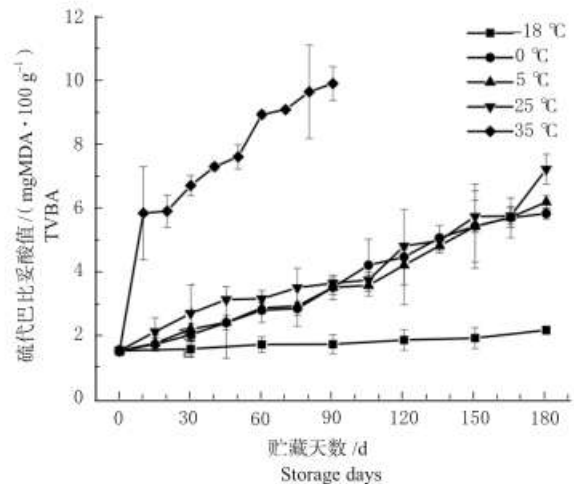


图 5 即食杂色蛤贮藏过程中硫代巴比妥酸值变化

Fig. 5 Changes of TBA value in ready-to-eat variegated clams during storage

## 2.6 游离巯基值变化分析

游离巯基值多用于反应蛋白氧化程度, 巯基含量越低, 说明蛋白氧化程度越高。即食杂色蛤贮藏过程中游离巯基值变化如图 6 所示, 整体呈下降趋势, 但 0、5 和 25 °C 贮藏组 30 d 前呈上升趋势, 而随后呈下降趋势。即食杂色蛤初始游离巯基值为 24.26 nmol 巯基/mg 蛋白, 贮藏 180 d 结束时, 其值分别降至 21.75 nmol 巯基/mg 蛋白 (-18 °C)、17.69 nmol 巯基/mg 蛋白 (0 °C)、16.68 nmol 硫

基/mg 蛋白 (5℃) 和 16.37 nmol 巯基/mg 蛋白 (25℃), 35℃ 贮藏到 90 d 降至 13.65 nmol 巯基/mg 蛋白, 分别下降了 10.35%、27.08%、31.24%、32.52% 和 43.73%。35℃ 贮藏组均与其他温度组存在显著差异性 ( $P < 0.01$ ), 180 d 贮藏结束时, 0、5 和 25℃ 3 个贮藏组差异性不显著, 但均与 -18℃ 贮藏组存在显著性差异 ( $P < 0.01$ )。

即食杂色蛤在 0、5 和 25 贮藏到 30 d 时, 游离巯基值均达到最大值, 随后又呈下降趋势, 导致最大值出现的原因可能是因为含硫氨基酸 (半胱氨酸与甲硫氨酸) 经自由基氧化反应生成多种氧化产物 (如二硫键交联产物), 二硫键断裂导致巯基含量增高<sup>[22]</sup>, 而后随贮藏时间延长巯基则又氧化导致含量下降<sup>[10]</sup>。5 个贮藏温度相比, -18℃ 冻藏组更能减小即食杂色蛤贮藏过程中的蛋白氧化程度。

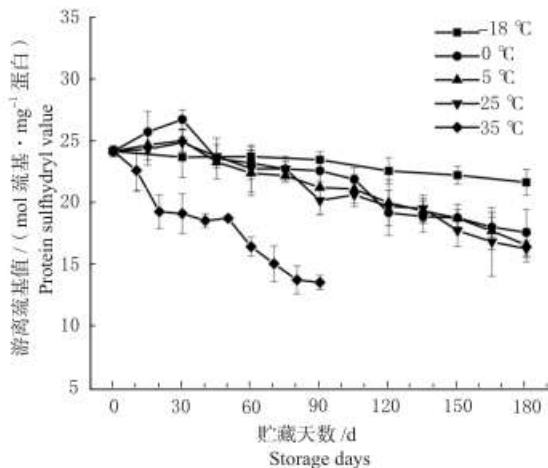


图6 即食杂色蛤贮藏过程中游离巯基值变化

Fig. 6 Changes of free sulfhydryl value in ready-to-eat variegated clams during storage

### 2.7 蛋白羰基值变化分析

蛋白羰基化是蛋白氧化的显著特征之一。本试验采用传统的 2, 4-二硝基苯肼 (DNPH) 法测定即食杂色蛤蛤肉中蛋白羰基值。即食杂色蛤贮藏过程中蛋白羰基值变化如图 7 所示, 从图 7 可见, 即食杂色蛤在贮藏过程中均呈上升趋势, 但不同贮藏温度蛋白羰基值变化有所不同, 说明不同温度贮藏过程中, 蛋白也发生了不同程度的氧化, 且贮藏温度越低, 蛋白氧化程度越低。最初蛋白羰基值为 3.188 nmol 羰基/mg 蛋白, 贮藏 180 d 结束时其值分别为 3.550 nmol 羰基/mg 蛋白 (-18℃)、6.093 nmol

羰基/mg 蛋白 (0℃)、7.149 nmol 羰基/mg 蛋白 (5℃)、8.164 nmol 羰基/mg 蛋白 (25℃), 而 35℃ 贮藏 90 d 则上升至 6.042 nmol 羰基/mg 蛋白, 此值升高原因可能是由于肌肉组织破裂的细胞器释放了氧化酶和氧化剂导致, 这些过程通常与肌肉蛋白质功能的下降有关, 导致水分流失增加, 蛋白质凝胶变弱, 另一方面可能是由于含侧链残基的氨基酸 (如赖氨酸、精氨酸、苏氨酸与脯氨酸等) 存在, 其被氧化而引入羰基基团<sup>[10]</sup>。从此指标可以看出, 温度越低, 蛋白氧化程度越小, 越有利于即食杂色蛤的贮藏。

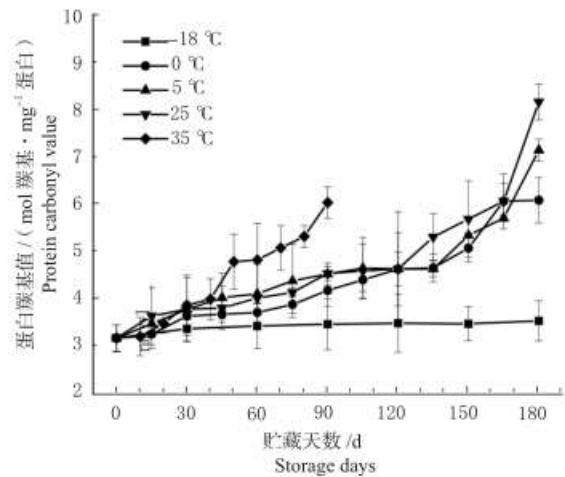


图7 即食杂色蛤贮藏过程中蛋白羰基值变化

Fig. 7 Changes of protein carbonyl value in ready-to-eat variegated clams during storage

## 3 结果与讨论

通过测定即食杂色蛤在不同温度 (-18、0、5、25 和 35℃) 下贮藏期间理化特性变化, 发现 5 个温度下贮藏前后各指标均存在显著性差异, 随贮藏时间延长, 即食杂色蛤  $L^*$ 、弹性和咀嚼性呈下降趋势, TVB-N 含量、TBA 和菌落总数呈上升趋势,  $a^*$ 、硬度和 pH 呈先上升后下降趋势,  $b^*$  则先下降后趋于平稳, 即食杂色蛤各指标在贮藏前后均存在显著性差异。以 TVB-N 含量为评价指标, 即食杂色蛤在 -18、0 和 5℃ 温度下贮藏 30 d 与初始品质差异不显著, 考虑其安全性在 -18、0、5 和 25℃ 贮藏 180 d, 在 35℃ 贮藏 90 d 时均未超标, 仍可安全食用。这不仅为即食杂色蛤加工贮藏提供了理论依据和数据支撑, 同时也为开发新的即食水产品奠定了基础。

## 参考文献:

- [1] 董辉,王颖,刘亚琼,等. 杂色蛤软体部营养成分分析及评价[J]. 水产学报,2011,35(2): 276-282.
- [2] 王娜. 即食杂色蛤贮藏特性的研究[D]. 保定: 河北农业大学,2012.
- [3] 李伟青. 即食扇贝柱货架期动力学模型研究[D]. 保定: 河北农业大学,2012.
- [4] 殷磊. 即食干制对虾加工工艺及货架期预测[D]. 保定: 河北农业大学,2018.
- [5] 杨立,许瑞红,张波涛,等. 即食型麻辣鲮鱼条加工工艺研究[J]. 河北渔业,2015,000(7): 41-43.
- [6] Li D Y, Yuan Z, Liu Z Q, et al. Effect of oxidation and maillard reaction on color deterioration of ready-to-eat shrimps during storage [J]. LWT- Food Science and Technology, 2020,131: 109696.
- [7] Hu Y, Yang S, Yu H, et al. Effect of superchilling on the quality and muscle tissue structure of trichiurus haumela [J]. Food Science, 2016,37(18): 290-297.
- [8] Morzel M, Gatellier P, Sayd T, et al. Chemical oxidation decreases proteolytic susceptibility of skeletal muscle myofibrillar proteins [J]. Meat Science, 2006,73(3): 536-543.
- [9] Mercier Y, Gatellier P, Viau M. Effect of dietary fat and vitamin E on colour stability and on lipid and protein oxidation in turkey meat during storage [J]. Meat Science, 1998,48(3/4): 301-318.
- [10] 胡吕霖. 烹饪对鲟鱼蛋白质氧化及消化性的影响研究[D]. 杭州: 浙江大学,2018.
- [11] Li D Y, Yuan Z, Liu Z Q, et al. Effect of oxidation and maillard reaction on color deterioration of ready-to-eat shrimps during storage [J]. LWT- Food Science and Technology, 2020,131: 109696.
- [12] Xia X, Kong B, Liu Q, et al. Physicochemical change and protein oxidation in porcine longissimus dorsi as influenced by different freeze-thaw cycles [J]. Meat Science, 2009,83(2): 239-245.
- [13] Sotelo I, PÉREZ-MUNUERA I, Quiles A, et al. Microstructural changes in rabbit meat wrapped with *pteridium aquilinum* fern during postmortem storage [J]. Meat Ence, 2004,66(4): 823-829.
- [14] Yan D, Yi L, Wei W, et al. Changes in oxidation, color and texture deteriorations during refrigerated storage of ohmically and water bath-cooked pork meat [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2014,26: 341-346.
- [15] 王阳,刘文涛,潘锦锋,等. 熟化方式对预制鲍鱼品质的影响[J]. 食品科学,2018,39(3): 69-75.
- [16] 顾赛麒,唐锦晶,周绪霞,等. 腌腊鱼传统日晒干制过程中品质变化与香气形成[J]. 食品科学,2019,40(17): 36-44.
- [17] 刘征,王颖,张政. 不同热风干燥温度对扇贝柱干燥特性及品质的影响[J]. 食品工业,2012,33(8): 37-40.
- [18] Ganhao R, Morcuende D, Estevez M. Protein oxidation in emulsified cooked burger patties with added fruit extracts: influence on colour and texture deterioration during chill storage [J]. Meat Science, 2010,85(3): 402-409.
- [19] 肖枫,李岩隴,程伟伟,等. 真空和充氮包装处理对冷藏黄河鲤鱼新鲜度的影响[J]. 食品科技,2020,45(6): 150-155.
- [20] Ah P J, Young J S, Sook C M, et al. Changes in the physicochemical and microbiological properties of dried anchovy engraulis japonicus during storage [J]. Fisheries Science, 2018: 1-8.
- [21] Munasinghe D M S, Ohkubo T, Sskai T. The lipid peroxidation induced changes of protein in refrigerated yellowtail minced meat [J]. Fisheries Science, 2010,71(2): 462-464.
- [22] Benjakul S, Seymour T A, Morrissey M T, et al. Physicochemical changes in pacific whiting muscle proteins during iced storage [J]. Journal of Food Science, 2010,62(4): 729-733.

(责任编辑:王雅娇)