

# 虾夷扇贝活力变化对其呈味特性的影响研究

蔡 琰, 李 杨, 李 漫, 支慧敏, 田元勇\*

(大连海洋大学食品科学与工程学院, 大连 116023)

**摘 要:** **目的** 研究虾夷扇贝活力变化对于呈味特性的影响。**方法** 将活品虾夷扇贝在 4℃干藏 0、6、24 h 后, 使其分别处于不同的活力状态。通过扇贝组织形态、扇贝闭壳肌中三磷酸腺苷(adenosine triphosphate, ATP)及其关联化合物、腺苷酸能荷 (adenylate energy charge, AEC)值、线粒体活性、能量代谢物水平等指标分析活力; 对加热熟制后的各样品进行感官评价, 测定呈味化合物含量、计算味觉活度值; 最后分析扇贝活力变化对呈味特性的影响。**结果** 干藏期间扇贝外套膜收缩, 活力轻微下降, 但 ATP 及其关联化合物、AEC 值均无显著变化 ( $P>0.05$ )。线粒体活性由 85.59%显著下降至 59.21% ( $P<0.05$ ), 线粒体功能下降。另外, 干藏导致糖酵解代谢物糖原由 4.32 g/100 g 下降至 3.14 g/100 g, 同时葡萄糖 1-磷酸、果糖 6-磷酸、磷酸二羟丙酮等代谢物含量显著上升 ( $P<0.05$ ), 三羧酸循环代谢物丙氨酸含量由 0.44 mg/g 增加至 0.71 mg/g。干藏导致扇贝中呈味化合物谷氨酸含量由 0.93 mg/g 下降至 0.51 mg/g, 精氨酸含量由 9.05 mg/g 上升至 10.56 mg/g, 滋味中鲜味降低、苦味上升。**结论** 虾夷扇贝活力下降导致了谷氨酸含量的下降和精氨酸含量的上升, 进而造成扇贝滋味中鲜味的下降和苦味的上升。

**关键词:** 虾夷扇贝; 活力; 能量代谢; 呈味特性; 感官评价

## Effects of vitality changes of *Mizuhopecten yessoensis* on taste characteristics

CAI Yan, LI Yang, LI Man, ZHI Hui-Ming, TIAN Yuan-Yong\*

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

**ABSTRACT: Objective** To study the effect of vitality changes of *Mizuhopecten yessoensis* on taste characteristics. **Methods** After dry storage at 4℃ for 0, 6 and 24 h, the live *Mizuhopecten yessoensis* were kept in different vitality states. The vitality of *Mizuhopecten yessoensis* was analyzed by tissue appearance, adenosine triphosphate (ATP) and its related compounds, adenylate energy charge (AEC) value, mitochondrial activity and energy metabolite level in *Mizuhopecten yessoensis* adductor muscle. Sensory evaluation was taken each adductor muscle after heating, the content of taste properties compounds was determined, and taste activity value was calculated. Finally, the influence of *Mizuhopecten yessoensis* vitality on taste characteristics was analyzed. **Results** The mantle of *Mizuhopecten yessoensis* shranked and the *Mizuhopecten yessoensis* decreased viability slightly during the dry storage, but there were no significant changes in ATP and its related compounds and AEC value ( $P>0.05$ ). The mitochondrial activity decreased significantly from 85.59% to 59.21% ( $P<0.05$ ) and the mitochondrial function decreased. In addition, dry storage led to a decrease in glycogen, a glycolytic metabolite, from 4.32 g/100 g to 3.14 g/100 g, and a significant increase in glucose 1-phosphate, fructose 6-phosphate and dihydroxyacetone phosphate metabolites ( $P<0.05$ ), as well as an increase in alanine, a TCA metabolite, from 0.44 mg/g to 0.71 mg/g. The dry storage resulted in a decrease in glutamate content

基金项目: 辽宁省教育厅科研基金项目(LJKZ0714)

Fund: Supported by the Research Fund of Liaoning Provincial Education Department of China (LJKZ0714)

\*通信作者: 田元勇, 博士, 副教授, 主要研究方向为水产品加工。E-mail: tianyuanyong@foxmail.com

\*Corresponding author: TIAN Yuan-Yong, Ph.D, Associate Professor, College of Food Science and Engineering, Dalian Ocean University, No.52, Heishijiao Street, Shahekou District, Dalian 116023, China. E-mail: tianyuanyong@foxmail.com

from 0.93 mg/g to 0.51 mg/g and an increase in arginine content from 9.05 mg/g to 10.56 mg/g in the *Mizuhopecten yessoensis*, with a decrease in umami and an increase in bitterness in the taste. **Conclusions** The decrease in the vitality of *Mizuhopecten yessoensis* lead to a decrease in glutamate content and an increase in arginine content, which in turn lead to a decrease in umami and an increase in bitterness in the taste of *Mizuhopecten yessoensis*.

**KEY WORDS:** *Mizuhopecten yessoensis*; vitality; energy metabolism; taste characteristics; sensory evaluation

## 0 引 言

虾夷扇贝(*Mizuhopecten yessoensis*)是我国辽宁地区重要的养殖经济贝类之一,营养价值丰富、味道鲜美,深受广大消费者的喜爱。活力状态是影响虾夷扇贝售价的最主要因素。近年来,有关虾夷扇贝活力的评价包括感官评价和生化评价。感官评价是最直观的手段,通常以外套膜的状态<sup>[1]</sup>、刺激后的外壳闭合反应时间<sup>[2]</sup>、闭合力<sup>[3]</sup>进行判断,感官评价操作简单但评价精度尚需提升。生化评价主要针对闭壳肌中能量水平进行评价,如三磷酸腺苷<sup>[4]</sup>(adenosine triphosphate, ATP)、磷酸精氨酸<sup>[5]</sup>(arginine phosphate, ArP)、腺苷酸能荷<sup>[6]</sup>(adenylate energy charge, AEC)值等,生化评价已被广泛使用,但依然存在操作复杂、耗时长等缺点。此外,ATP 和 AEC 值对活力评价存在延迟效应,如扇贝经历短时间干露处置后 ATP 含量无显著变化,但干露处置会显著影响复水后的存活率、ATP 水平和 AEC 值<sup>[7-8]</sup>。这是由于干露胁迫消耗了糖原、游离氨基酸、ArP 等能量储备,以补充消耗的 ATP,维持机体能量恒定。代谢物水平的变化影响了熟制后的呈味特性。但由于评价指标具有延迟效应,“活而不鲜”问题非常突出,亟需开发更为灵敏的活力评价指标。虾夷扇贝中呈味物质除甘氨酸、谷氨酸、精氨酸、丙氨酸等游离氨基酸外,还包括一磷酸腺苷(adenosine monophosphate, AMP)、肌苷酸(inosinic acid, IMP)、琥珀酸等呈味核苷酸和有机酸<sup>[9]</sup>。糖原虽没有特定滋味,但被认为能够增加滋味的浓厚感<sup>[10]</sup>。杨婷婷等<sup>[11]</sup>首次建立了完整的活品虾夷扇贝感官评价方案,将活品虾夷扇贝熟制后进行评价,并研究了活力变化对风味的影响<sup>[12]</sup>,发现活品风味变化与生命代谢存在一定的相关性。

线粒体是生物对外界胁迫感受最灵敏的细胞器,也是生物体内最主要的能量合成场所,因此线粒体被称为生命活动的“能量工厂”。当生物感受到外界胁迫后 ATP 含量尚未发生变化,但线粒体呼吸活性显著下降,因此线粒体活性可以用来评价早期胁迫对扇贝造成的影响<sup>[13-14]</sup>,更灵敏地反应扇贝活力变化<sup>[15]</sup>。线粒体内三羧酸循环(tricarboxylic acid cycle, TCA)循环涉及柠檬酸、琥珀酸、苹果酸、延胡索酸、 $\alpha$ -酮戊二酸等有机酸浓度的改变,其对扇贝风味的影响有待于深入研究。

本研究将采捕的活品虾夷扇贝分别干露贮藏 0、6、24 h 以达到不同活力状态,通过测定其横纹肌中代谢物、ATP 及其关联化合物、AEC 值等传统活力指标和线粒体呼

吸活性来判断贮藏过程中活力变化,同时对部分扇贝加热熟制后进行感官评价并测定呈味化合物变化,以分析其活力对呈味特性的影响,为虾夷扇贝活力评价提供新的方法参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

90 只活品虾夷扇贝,2022 年 12 月 2 日购自大连海洋岛水产集团股份有限公司,壳长约 10 cm,体质量为(135.12 $\pm$ 6.27) g。

无水甲醇、乙腈(色谱纯,美国 Sigma 公司);硫酸、磷酸氢二钾、磷酸二氢钾、高氯酸(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);氯化钠、氯化钾、KOH(分析纯,中国天津市科密欧化学试剂有限公司);碘乙酸钠(分析纯,上海麦克林生化科技有限公司);葡萄糖、蒽酮(分析纯,中国北京索莱宝科技有限公司);氨基酸分析试剂盒(大连依利特分析仪器有限公司)。

### 1.2 仪器与设备

Agilent 1260 高效液相色谱仪(美国 Agilent 公司);HG-200 高速分散均质机(日本 HSIANGTAI 公司);GL-21M 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);JXFSTPRP-24 破碎仪(上海净信实业发展有限公司);BS224S 型精密电子天平(精度 0.0001 g,北京赛多利斯仪器系统有限公司)。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 样品前处理

底播虾夷扇贝采捕后,以泡沫箱内干藏、冰袋降温方式送至实验室后,立即于充氧循环海水中缓冲 12 h,以消除运输胁迫的影响。缓冲结束后,分组置于 4℃冷柜中干藏 0、6、24 h。为防止水分蒸发的影响,贮藏期间扇贝表面应覆盖海水润湿的纱布,每隔 6 h 更换一次。具体分组及取样说明见表 1。生品组(F)扇贝经针刺探活力后,对半剖开,拍照记录外套膜收缩情况,随后迅速分离闭壳肌横纹肌,切碎混匀,取部分肌肉立即分析,其余肌肉液氮速冻后保存在-80℃冰箱中,用于生化指标分析。熟品组(H)扇贝经沸水蒸锅加热熟化 8 min 并冷却 40 s 后,分离闭壳肌,一部分用于感官评价,另一部分切碎混匀,保存在-40℃冰箱中,用于呈味化合物分析。

表 1 样品分组说明  
Table 1 Sample grouping and sampling instructions

| 分组     | 干藏时间/h |      |       | 采样说明                                                             |
|--------|--------|------|-------|------------------------------------------------------------------|
|        | 0      | 6    | 24    |                                                                  |
| 生品组(F) | D0-F   | D6-F | D24-F | 每个时间点取 9 只扇贝, 分离闭壳肌, 测定 ATP 及其关联化合物、线粒体活性、糖原、能量代谢物。              |
| 熟品组(H) | D0-H   | D6-H | D24-H | 每个时间点取 17 只扇贝, 加热熟化后, 8 只用于感官评价, 9 只用于测定 AMP、IMP、游离糖、有机酸、游离氨基酸等。 |

1.3.2 ATP 及其关联化合物测定

准确称取 0.20 g 横纹肌放入 5 mL 离心管, 加入 1 颗中号钢珠和 2.0 mL 5%高氯酸, 破碎仪 800 r/min 破碎 60 s 后用 2 mol/L KOH 调 pH 至 2.0~3.5, 定容至 4 mL, 5000×g 离心 5 min, 取上清, 过 0.45 μm 滤膜, 取 2 mL 加入 0.5 mL 0.1 mol/L 磷酸盐缓冲溶液后, 参照姜明慧等<sup>[16]</sup>的方法测定分析。AEC 值按公式(1)计算:

$$AEC/\% = \frac{2ATP + ADP}{2(ATP + ADP + AMP)} \times 100\% \quad (1)$$

式中: ATP、ADP、AMP 为肌肉中各物质的含量(μmol/g)。

1.3.3 线粒体呼吸活性测定

线粒体呼吸活性参照 YIN 等<sup>[17]</sup>的方法测定。

1.3.4 糖原测定

糖原含量参照曲秦坤等<sup>[18]</sup>的方法测定。

1.3.5 能量代谢物/有机酸测定

准确称取 0.50 g 横纹肌放入 5 mL 离心管中, 加入 1 颗中号钢珠和 3.0 mL 提取液(甲醇:乙腈:水=1:1:1, V/V/V)后放入破碎仪, 800 r/min 破碎 60 s, 冰浴超声 30 min, 10000×g 离心 10 min, 取上清, 过 0.45 μm 滤膜, 取 1 mL 冻干后, 参照李鑫月<sup>[19]</sup>的方法测定。

1.3.6 感官评价

感官评价根据闫丽新等<sup>[20]</sup>的方法进行。

1.3.7 游离氨基酸测定

游离氨基酸提取与 ATP 提取一致。在 5 mL 棕色容量瓶中依次加入 100 μL 提取液、衍生缓冲溶液、衍生液, 混匀, 封口, 置于 60℃水浴锅中避光反应 60 min, 冷却至室温后, 加入平衡缓冲溶液定容, 过 0.45 μm 滤膜。参照 LI 等<sup>[21]</sup>的方法使用高效液相色谱进行分析。

1.3.8 游离糖测定

游离糖提取与 ATP 提取一致, 使用蒽酮比色法进行定量。

1.3.9 味觉活度值计算

味觉活度值(taste active value, TAV)按公式(2)计算:

$$TAV = \frac{C}{T} \quad (2)$$

式中: C 为呈味化合物的浓度; T 为呈味化合物对应的滋味阈值(mg/g)。

1.3.10 味精当量的计算

味精当量(equivalent umami concentrations, EUC)是指氨基酸与核苷酸协同增鲜作用产生的鲜度相当于多少浓度

味精(monosodium glutamate, MSG)产生的鲜味强度。参照崔妍春等<sup>[22]</sup>的方法进行计算, 稍作修改。按公式(3)计算:

$$EUC/(g \text{ MSG}/100 \text{ g}) = \sum a_i b_i + 1218(\sum a_i b_i)(\sum a_j b_j) \quad (3)$$

式中:  $a_i$  为谷氨酸浓度(g/100 g);  $a_j$  为 AMP、IMP 浓度(g/100 g);  $b_i$  为谷氨酸相当于 MSG 的相对鲜度系数(谷氨酸=1);  $b_j$  为 AMP、IMP 相当于 MSG 的相对鲜度系数(AMP=0.18, IMP=1), 1218 为基于所有浓度的协同作用常数。

1.4 数据处理

实验至少重复 3 次测定, 使用 Origin 2018 软件对感官评价数据进行分析。采用 Graphpad Prism 7 软件对测定数据进行整理统计并绘图。实验数据均以平均值±标准偏差的形式表示。使用 IBM SPSS Statistic 25 进行方差分析, 用单因素方差分析(analysis of variance, ANOVA)对组间显著性进行检验, 显著性水平为 0.05。

2 结果与分析

2.1 不同干藏时间虾夷扇贝的组织形态

D0-F、D6-F、D24-F 组分别对应刚到达市场源头、流通 6 h、流通 24 h 后的扇贝状态。D0-F 组扇贝外套膜较为饱满, 无明显收缩(图 1), D6-F 组扇贝外套膜轻微收缩, D24-F 组扇贝外套膜明显收缩。以针灸针触碰外套膜, D0-F、D6-F、D24-F 组扇贝分别在 2、4、7 s 时闭合, 均能在 10 s 内快速有力闭合, 根据本团队构建的表观活力评价方法<sup>[2]</sup>认为贮藏期间扇贝活力轻微下降, 但始终较强。

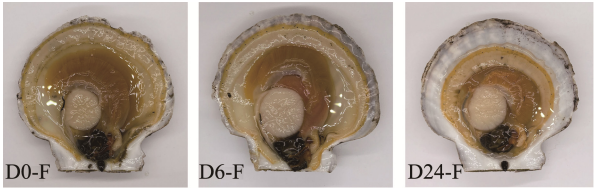
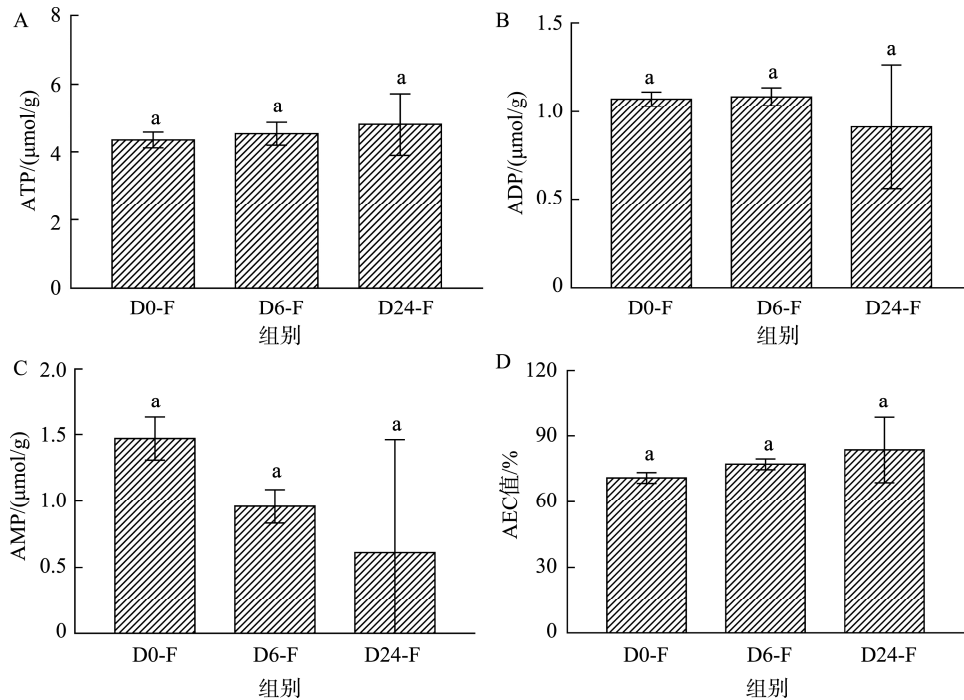


图 1 不同干藏时间虾夷扇贝的组织形态  
Fig.1 Tissue appearance of Mizuhopecten yessoensis at different dry storage time

2.2 不同干藏时间虾夷扇贝闭壳肌 ATP 及其关联化合物含量

不同干藏时间虾夷扇贝闭壳肌 ATP 及其关联化合物含量的变化如图 2 所示, D0-F 组 ATP、ADP、AMP 含量分



注: A~D 分别为干藏期间扇贝 ATP、ADP、AMP、AEC 值含量的变化, 不同小写字母表示组间具有显著性差异,  $P<0.05$ , 下同。

图 2 不同干藏时间虾夷扇贝闭壳肌中 ATP 及其关联化合物含量的变化

Fig.2 Changes in ATP and its related compounds of adductor muscle in *Mizuhopecten yessoensis* at different dry storage time

别为 4.36、1.07、1.47  $\mu\text{mol/g}$ 。与 D0-F 组相比, D6-F 组和 D24-F 组中 ATP、ADP、AMP 含量均无显著性变化 ( $P>0.05$ )。干藏期间扇贝通过无氧糖酵解供能, ATP 合成效率低, 为维持生命活动, 磷酸精氨酸在精氨酸激酶作用下将 ADP 转化为 ATP, 保证机体能量平衡<sup>[23]</sup>。D0-F 组扇贝 AEC 为 70.93%, 由于 D6-F 组扇贝未出现死亡, 存活率为 100%, AEC 值未发生变化, 即扇贝活力并未发生变化, D24-F 组扇贝开始死亡, 但存活率仍高达 95%, 此时 AEC 值仍未发生变化, 但活力已开始下降。

扇贝中 ATP 及其关联化合物含量、AEC 值变化不能准确指示扇贝贮藏期间活力变化, 因此利用新的指标线粒体活性来衡量虾夷扇贝贮藏期间活力的变化。

### 2.3 不同干藏时间虾夷扇贝闭壳肌线粒体功能

此前研究发现, 线粒体形态能够反映死后冷藏期间鱼、贝类的早期鲜度变化<sup>[16,24]</sup>, 线粒体活性作为扇贝冷藏期间鲜度评价指标的有效性已经被验证<sup>[17]</sup>。活品虾夷扇贝贮藏过程中线粒体活性变化如图 3 所示, D0-F 组扇贝线粒体活性为 85.59%。与 D0-F 组相比, D6-F 组线粒体活性显著下降至 69.77%, D24-F 组线粒体活性显著下降至 59.21% ( $P<0.05$ ), 线粒体功能均出现下降。证明线粒体可作为评价虾夷扇贝早期活力变化的方法。

### 2.4 虾夷扇贝活力变化对代谢物含量的影响

#### 2.4.1 不同活力虾夷扇贝闭壳肌中糖酵解代谢物含量

不同活力虾夷扇贝闭壳肌中糖酵解代谢物含量如图 4

所示, D0-F 组扇贝中糖原含量为 4.32 g/100 g, D24-F 组显著下降至 3.14 g/100 g ( $P<0.05$ )。在糖原磷酸化酶作用下, 糖原会分解为葡萄糖 1-磷酸<sup>[25]</sup>, 经磷酸葡萄糖变位酶作用下无需消耗能量就可转变为葡萄糖 6-磷酸, 迅速进入无氧呼吸糖酵解。D0-F 组中葡萄糖 1-磷酸、果糖 6-磷酸、磷酸二羟丙酮、3-磷酸甘油醛、3-磷酸甘油酸、2-磷酸甘油酸含量分别为 0.26、1.50、4.54、0.39、11.60、15.20  $\mu\text{g/g}$ 。与 D0-F 组相比, D6-F 组中 3-磷酸甘油醛、3-磷酸甘油酸、2-磷酸甘油酸含量显著上升, D24-F 组中葡萄糖 1-磷酸、果糖 6-磷酸、磷酸二羟丙酮含量显著上升 ( $P<0.05$ )。虾夷扇贝在干藏 6 h 后, 糖原大量消耗, 导致糖酵解后半段产物 3-磷

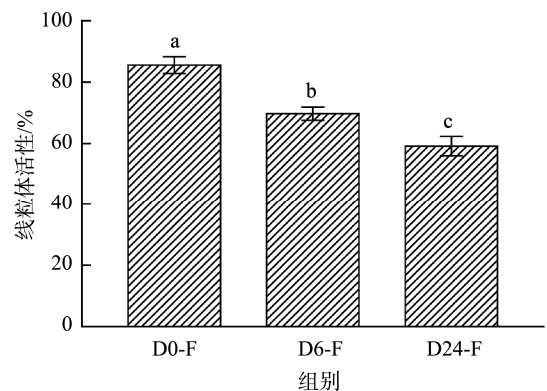


图 3 不同干藏时间虾夷扇贝闭壳肌中线粒体功能的变化  
Fig.3 Changes in mitochondrial function of adductor muscle in *Mizuhopecten yessoensis* at different dry storage time

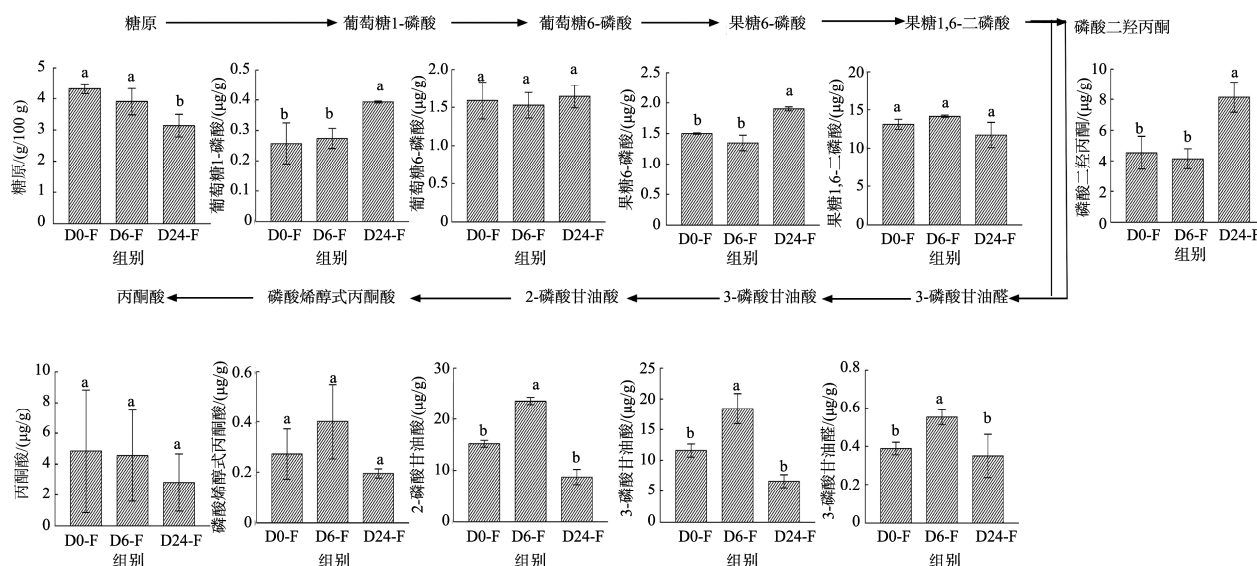


图 4 不同活力虾夷扇贝闭壳肌中糖酵解代谢物含量

Fig.4 Glycolytic metabolites content of different vitality of adductor muscle in *Mizuhopecten yessoensis*

酸甘油醛等的积累。为避免能量快速消耗导致机体死亡,干藏 24 h 后通过抑制磷酸果糖激酶活性来降低 ATP 消耗,导致果糖 6-磷酸含量和磷酸二羟丙酮的积累。刘洋等<sup>[8]</sup>发现扇贝在干藏期间的磷酸果糖激酶活性始终处于较低的水平,这可能也与果糖 6-磷酸的积累存在相关性。

#### 2.4.2 不同活力虾夷扇贝闭壳肌中 TCA 循环代谢物含量

TCA 循环发生在线粒体内,是生物体将糖代谢解产物转化成能量的最主要方式。不同活力虾夷扇贝闭壳肌中 TCA 循环代谢物含量如图 5 所示, D0-F 组中柠檬酸、琥珀酸、苹果酸、草酰乙酸含量分别为 0.41、0.17、7.00、17.01 µg/g。与 D0-F 组相比, D6-F 组中苹果酸含量显著下降, D24-F 组中苹果酸含量显著下降,琥珀酸含量显著上升( $P<0.05$ ),其余 TCA 循环代谢物含量在各组中均无显著性差异( $P>0.05$ )。在本研究中,苹果酸含量的下降伴随着琥珀酸的生成,可能是由于扇贝在干藏期间,酸性物质逐渐积累导致闭壳肌 pH 下降,磷酸烯醇式丙酮酸开始催化磷酸烯醇式丙酮酸转化为苹果酸<sup>[26]</sup>,苹果酸逆向循环生成琥珀酸导致的。苹果酸含量下降导致草酰乙酸含量的下降, TCA 正向循环受到抑制。此外氨基酸也是扇贝中重要的储能物质,通过草酰乙酸、 $\alpha$ -酮戊二酸、琥珀酰 CoA、延胡索酸等关键物质与 TCA 循环相连接。在本研究中,与 D0-F 组相比, D24-F 组扇贝闭壳肌中丙氨酸含量由 0.44 mg/g 显著增加至 0.71 mg/g ( $P<0.05$ ),其余氨基酸无显著变化( $P>0.05$ )。无氧糖酵解会导致丙酮酸和乙酰 CoA 积累,且缺氧会导致烟酰胺腺嘌呤二核苷酸的积累,这两种情况均会导致天冬氨酸通过转氨作用,转化为丙氨酸,因此,丙氨酸也被认为是许多海洋无脊椎动物在环境缺氧期间无氧糖酵解的最终产物<sup>[27]</sup>。

## 2.5 不同活力虾夷扇贝熟制后呈味特性比较

### 2.5.1 不同活力虾夷扇贝的感官分析

感官评价能够快速、直接地反映扇贝的风味品质。将

不同活力的扇贝(干藏 0、6、24 h)同等条件下蒸熟后进行感官评定,结果如图 6 所示,扇贝颜色、气味由于扇贝个体差异和表面附着物影响,无明显规律。和 D0-H 组相比, D6-H 和 D24-H 组扇贝光泽、质地中弹性和多汁性评分持续下降,这可能与扇贝贮藏过程中体腔液流失有关。周晏琳等<sup>[7]</sup>报道扇贝在冷却干露 12 h 和 24 h 后的失重率分别为 6%和 10%左右,且时间越长,失重率越高。其中滋味变化最明显,和 D0-H 组相比, D6-H 和 D24-H 组扇贝滋味中鲜味均显著下降,苦味显著上升( $P<0.05$ )。滋味中甜味、咸味、酸味在三组间无显著变化( $P>0.05$ )。李亚炬等<sup>[2]</sup>研究发现扇贝在无水贮运期间,风味呈下降趋势,气味和滋味中鲜、香、甜味均下降,且扇贝质地变软,与本研究结论一致。

### 2.5.2 不同活力虾夷扇贝呈味化合物含量及味觉活度值分析

将不同活力的扇贝(干藏 0、6、24 h)同等条件下蒸熟后,对闭壳肌中呈味化合物含量进行分析。不同活力虾夷扇贝闭壳肌中呈味化合物含量如表 2 所示,呈味核苷酸主要有 AMP 和 IMP 两种, D0-H 组的 AMP、IMP 含量为 2.53、0.02 mg/g,相比之下 D6-H 和 D24-H 组中 AMP 含量在贮藏期间无显著性变化, D24-H 组中 IMP 含量显著增加。甘氨酸是扇贝闭壳肌中含量最高的游离氨基酸,其次是精氨酸、谷氨酸、丙氨酸和丝氨酸,占游离氨基酸总量的 90%。与闫丽新等<sup>[20]</sup>研究结果一致。与 D0-H 组相比, D24-H 组中谷氨酸含量由 0.93 mg/g 显著下降至 0.51 mg/g ( $P<0.05$ ),精氨酸含量由 9.05 mg/g 显著上升至 10.56 mg/g ( $P<0.05$ ),这与感官评价结果中 T-鲜味的下降和苦味的上升是一致的,其余氨基酸均无显著变化( $P>0.05$ )。在 D0-H 组扇贝中检测出的有机酸有苹果酸、琥珀酸、柠檬酸,其中苹果酸含量最高, D24-H 组中苹果酸含量无显著变化( $P>0.05$ ),柠檬酸和琥珀酸含量显著增加( $P<0.05$ )。琥珀酸被认为赋予



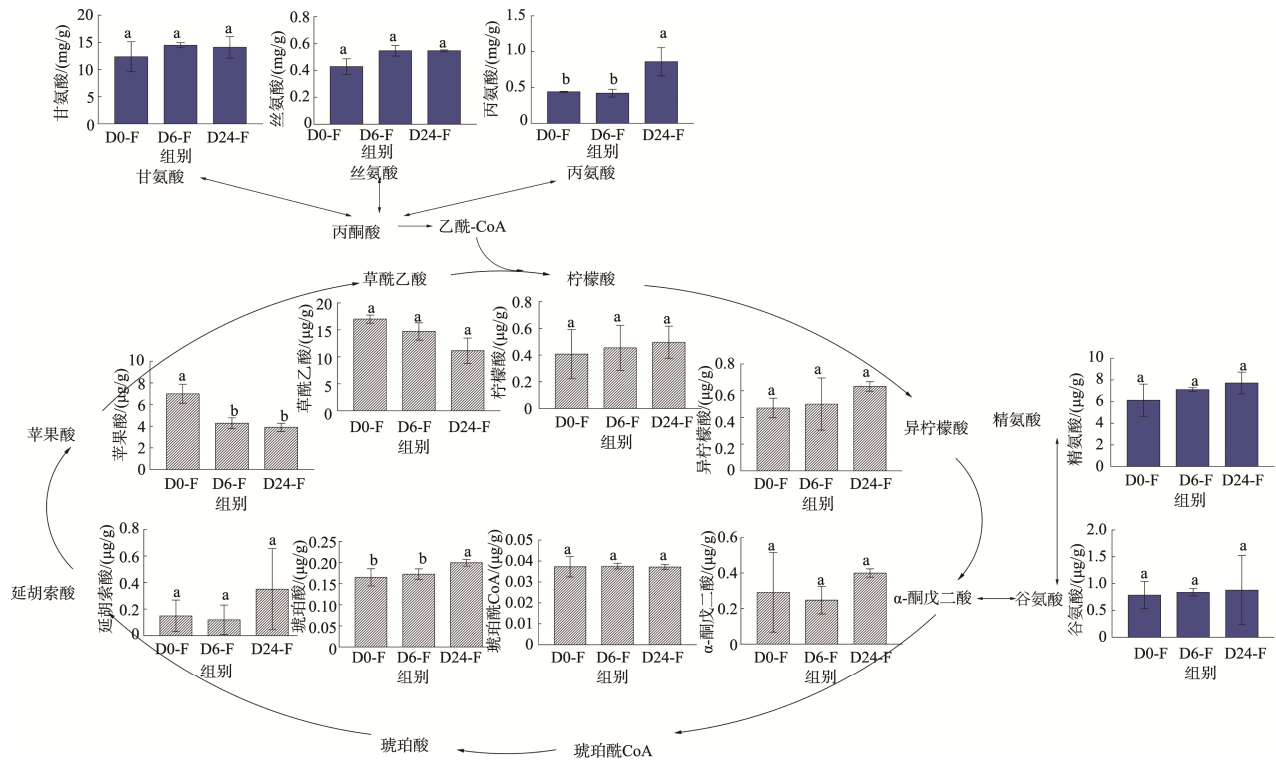


图 5 不同活力虾夷扇贝闭壳肌中 TCA 循环代谢物含量  
Fig.5 TCA metabolites content of different vitality of adductor muscle in *Mizuhopecten yessoensis*

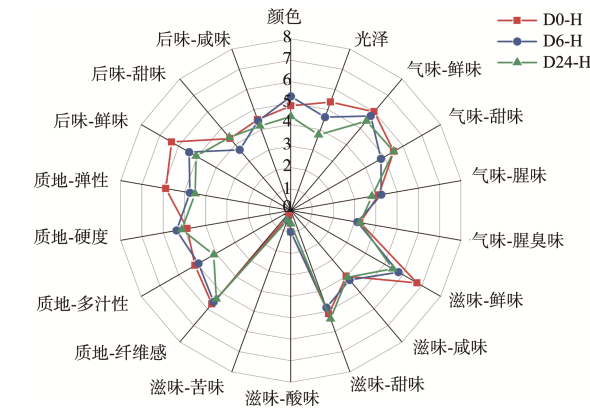


图 6 不同活力虾夷扇贝的感官评价  
Fig.6 Sensory evaluation of different vitality of *Mizuhopecten yessoensis*

了贝类独特的愉悦风味<sup>[28]</sup>, 而其余有机酸均会造成酸味的增加, 降低食用品质。与 D0-H 相比, D24-H 组扇贝闭壳肌中游离糖含量由 41.79 mg/g 显著下降至 17.33 mg/g。一般认为游离糖都具有还原性且呈现一定的甜味<sup>[22]</sup>, 这可能与甜味下降相关。

AMP、谷氨酸、甘氨酸、精氨酸和游离糖的 TAV 均大于 1, 是扇贝中主要的呈味化合物, 除精氨酸外均呈愉悦的味道, 对风味影响较为显著; 而 IMP、柠檬酸、苹果酸、琥珀酸、丝氨酸 TAV 小于 1, 对扇贝风味几乎没有影

响。MORIHIKO<sup>[29]</sup>认为糖原与风味存在一定的相关性, 虽然糖原本身没有特定的味道, 但它被认为可以增强风味的连续性、复杂性和丰满度, 并能够与贝类的各种风味融合。2.5.3 氨基酸与呈味核苷酸之间的鲜味协同效应分析

呈味化合物之间会发生相互作用, 对虾夷扇贝的风味产生不同的影响。鲜味是水产品中重要的特征滋味, 因此使用 EUC 值来评价氨基酸(谷氨酸)和呈味核苷酸(AMP、IMP)之间的协同作用。结果如图 7 所示, D0-H 组 EUC 值为 5.55, 相比之下牡蛎中 EUC 值(6.47 g MSG/100 g)更高<sup>[30]</sup>。与 D0-H 组相比, D6-H 组扇贝 EUC 值无显著变化( $P>0.05$ ), D24-H 组 EUC 值显著下降( $P<0.05$ )。HIRABAYASI 等<sup>[31]</sup>发现活贻贝(*Mytilus galloprovincialis*) EUC 值在冰藏 1 d 后无显著变化, 冰藏 3 d 后显著下降。EUC 值下降主要与谷氨酸下降相关。YANG 等<sup>[32]</sup>发现适当的热处理能提高水产品的 EUC 值, 这意味着加热后食用可能比生食有更好的鲜味。

### 3 结 论

扇贝在干藏期间 ATP 含量、AEC 值无显著变化, 但是外套膜形态变化明显, 并且线粒体活性显著下降。缺氧代谢影响了肌肉中丙氨酸、琥珀酸、苹果酸的含量, 其余代谢物含量无明显变化。不同活力的虾夷扇贝加热后滋味中鲜味下降、苦味上升, 可能与闭壳肌中谷氨酸的下降和精氨酸的上升密切相关。

表 2 不同活力虾夷扇贝中呈味化合物含量及 TAV 值  
Table 2 Taste properties compounds content and TAV value of different vitality of *Mizuhopecten yessoensis*

| 呈味物质       | 呈味特征 | 阈值<br>/(mg/g) | 含量                      |                         |                         | TAV 值                   |                          |                         |
|------------|------|---------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
|            |      |               | D0-H                    | D6-H                    | D24-H                   | D0-H                    | D6-H                     | D24-H                   |
| 组I: 呈味核苷酸  |      |               |                         |                         |                         |                         |                          |                         |
| AMP        | 甜/鲜味 | 0.50          | 2.53±0.07 <sup>a</sup>  | 2.46±0.01 <sup>a</sup>  | 2.83±0.05 <sup>a</sup>  | 5.06±0.14 <sup>a</sup>  | 4.91±0.02 <sup>a</sup>   | 5.66±0.10 <sup>a</sup>  |
| IMP        | 鲜味   | 0.25          | 0.02±0.00 <sup>a</sup>  | 0.02±0.00 <sup>a</sup>  | 0.03±0.00 <sup>b</sup>  | <1                      | <1                       | <1                      |
| 组II: 游离氨基酸 |      |               |                         |                         |                         |                         |                          |                         |
| 谷氨酸        | 鲜味   | 0.30          | 0.93±0.08 <sup>a</sup>  | 1.07±0.08 <sup>a</sup>  | 0.51±0.08 <sup>b</sup>  | 3.11±0.27 <sup>a</sup>  | 3.58±0.26 <sup>a</sup>   | 1.69±0.25 <sup>b</sup>  |
| 丝氨酸        | 甜味   | 1.50          | 0.66±0.09 <sup>a</sup>  | 0.63±0.07 <sup>a</sup>  | 0.63±0.09 <sup>a</sup>  | <1                      | <1                       | <1                      |
| 精氨酸        | 苦/甜味 | 0.50          | 9.05±0.25 <sup>b</sup>  | 9.78±0.44 <sup>ab</sup> | 10.56±0.15 <sup>a</sup> | 18.11±0.50 <sup>b</sup> | 19.57±0.88 <sup>ab</sup> | 21.13±0.30 <sup>a</sup> |
| 甘氨酸        | 甜味   | 1.30          | 15.00±0.18 <sup>a</sup> | 16.35±0.07 <sup>a</sup> | 14.15±1.39 <sup>a</sup> | 11.54±0.14 <sup>a</sup> | 12.58±0.05 <sup>a</sup>  | 10.88±1.07 <sup>a</sup> |
| 丙氨酸        | 甜味   | 0.60          | 0.89±0.07 <sup>a</sup>  | 0.58±0.06 <sup>b</sup>  | 0.71±0.02 <sup>ab</sup> | 1.49±0.12 <sup>a</sup>  | 0.96±0.11 <sup>b</sup>   | 1.18±0.03 <sup>ab</sup> |
| 组III: 有机酸  |      |               |                         |                         |                         |                         |                          |                         |
| 柠檬酸        | 酸味   | 0.45          | 0.15±0.01 <sup>b</sup>  | 0.17±0.02 <sup>b</sup>  | 0.32±0.07 <sup>a</sup>  | <1                      | <1                       | <1                      |
| 苹果酸        | 酸味   | 0.50          | 2.07±0.23 <sup>a</sup>  | 2.11±0.52 <sup>a</sup>  | 1.43±0.16 <sup>a</sup>  | <1                      | <1                       | <1                      |
| 琥珀酸        | 酸/鲜味 | 0.11          | 0.10±0.03 <sup>a</sup>  | 0.12±0.02 <sup>a</sup>  | 0.24±0.03 <sup>b</sup>  | <1                      | <1                       | <1                      |
| 组IV: 游离糖   |      |               |                         |                         |                         |                         |                          |                         |
| 游离糖        | 甜味   | 8.60          | 41.79±6.22 <sup>a</sup> | 30.95±4.14 <sup>a</sup> | 17.33±0.72 <sup>b</sup> | 4.86±0.72 <sup>a</sup>  | 3.60±0.40 <sup>a</sup>   | 2.02±0.06 <sup>b</sup>  |

注：同行中标有不同字母表示组内有显著性差异( $P<0.05$ )，标有相同字母者表示组内无显著性差异( $P>0.05$ )。有机酸含量单位为  $\mu\text{g/g}$ ，其余呈味化合物含量的单位为  $\text{mg/g}$ 。

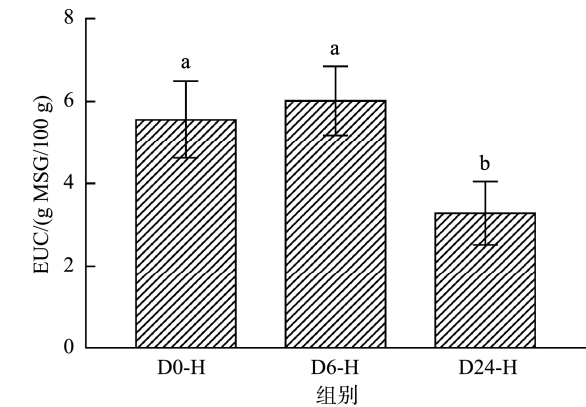


图 7 不同活力虾夷扇贝 EUC 值的变化  
Fig.7 Changes on EUC value of different vitality of *Mizuhopecten yessoensis*

参考文献

[1] 李亚烜, 刘俊荣, 刘洋, 等. 易逝期胁迫强度对虾夷扇贝活力可恢复性的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2020, 35(5): 733–740.  
LI YX, LIU JR, LIU Y, et al. Re-immersion physiologic recovery of yesso scallop following different stress treatments in the quality determined period [J]. J Dalian Ocean Univ, 2020, 35(5): 733–740.

[2] 李亚烜, 刘俊荣, 周进, 等. 基于束缚的胁迫调控对潜水捕捞虾夷扇贝活品贮运稳定性的影响[J]. 水产学报, 2022, 46(4): 605–615.  
LI YX, LIU JR, ZHOU J, et al. Effects of tied-up relaying stress reduction on storage stability of live dived *Patinopecten yessoensis* [J]. J Fish China, 2022, 46(4): 605–615.

[3] 刘洋. 捕后虾夷扇贝能量代谢与活力表征[D]. 大连: 大连海洋大学, 2020.  
LIU Y. Energy metabolism and vitality characterization of scallop *Muzihopecten yessoensis* during post-harvest [D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2020.

[4] XU T, LI Y, TIAN Y, et al. Effects of post-harvest hypoxic stress on post-landing recovery of live scallops (*Mizuhopecten yessoensis*) revealed by untargeted metabolomics based on UPLC-Q-TOF-MS [J]. Food Control, 2021, 123: 107671.

[5] BROKORDT K, HIMMELMAN J, NUSETTI O, et al. Reproductive investment reduces recuperation from exhaustive escape activity in the tropical scallop *Euvola zizac* [J]. Mar Biol, 2000, 137(5–6): 857–865.

[6] TIAN Y, XU T, LI Y, et al. An untargeted LC-MS metabolomics approach to the metabolic profiles of bottom cultured scallops (*Mizuhopecten yessoensis*) subjected to mechanical shock in early post-harvest handling [J]. Aquaculture, 2021, 533: 736061.

[7] 周晏琳, 刘俊荣, 田元勇, 等. 虾夷扇贝易逝期干露处置与活品复水性[J]. 水产学报, 2020, 44(6): 1025–1035.  
ZHOU YL, LIU JR, TIAN YY, et al. Delayed influence of quality-determination-period emersion on the recovery of live scallop (*Patinopecten yessoensis*) re-immersed [J]. J Fish China, 2020, 44(6): 1025–1035.

[8] 刘洋, 李亚烜, 徐美禄, 等. 糖代谢关键酶活性指示的虾夷扇贝活品品质变化[J]. 大连海洋大学学报, 2019, 34(5): 704–709.  
LIU Y, LI YX, XU ML, et al. Activities of key sugar metabolism enzymes refer to change in quality of live stored yesso scallop *Patinopecten yessoensis* [J]. J Dalian Ocean Univ, 2019, 34(5): 704–709.

[9] KONOSU S, WATANABE K, KORIYAMA T, et al. Extractive components of scallop and identification of its taste-active components by omission test [J]. J Jpn Soc Food Sci, 1988, 35(4): 252–257.

[10] MURATA Y, TOUHATA K, MIWA R. Correlation of extractive components and body index with taste in oyster *Crassostrea gigas* brands [J]. Fisher Sci, 2020, 86(3): 561–572.

[11] 杨婷婷, 刘俊荣, 沈建, 等. 活品底播虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)感官评价描述词的建立[J]. 食品科学, 2014, 35(19): 16–22.

- YANG TT, LIU JR, SHEN J, *et al.* Development of sensory descriptors for live bottom cultured scallop *Patinopecten yessoensis* [J]. Food Sci, 2014, 35(19): 16–22.
- [12] 杨婷婷, 刘俊荣, 俞微微, 等. 活品流通过程中虾夷扇贝风味品质的变化[J]. 水产学报, 2015, 39(1): 136–146.
- YANG TT, LIU JR, YU WW, *et al.* Flavor attributes of scallop *Patinopecten yessoensis* along the live supply chain [J]. J Fish China, 2015, 39(1): 136–146.
- [13] IVANINA A, SOKOLOVA I. Effects of intermittent hypoxia on oxidative stress and protein degradation in molluscan mitochondria [J]. J Exp Biol, 2016, 219(23): 3794–3802.
- [14] IVANINA A, NESMELOVA I, LEAMY L, *et al.* Intermittent hypoxia leads to functional reorganization of mitochondria and affects cellular bioenergetics in marine molluscs [J]. J Exp Biol, 2016, 219(11): 1659–1674.
- [15] 殷中专, 田元勇, 徐昱辉, 等. 鱼类肌肉品质变化与能量代谢关联[J]. 水产学报, 2022, 46(7): 1143–1153.
- YIN ZZ, TIAN YY, XU TY, *et al.* Relationship between muscle quality changes and energy metabolism in fish and shellfish [J]. J Fish China, 2022, 46(7): 1143–1153.
- [16] 姜明慧, 田元勇, 闫丽新, 等. 冷藏过程中虾夷扇贝横纹肌微观结构变化与肌原纤维蛋白稳定性[J]. 食品科学, 2020, 41(21): 175–181.
- JIANG MH, TIAN YY, YAN LX, *et al.* Microstructure change and myofibrillar protein stability of *Patinopecten yessoensis* striated adductor muscle during chilling storage [J]. Food Sci, 2020, 41(21): 175–181.
- [17] YIN Z, TIAN Y, CAI Y, *et al.* Mitochondrial activity as an indicator of scallop (*Mizuhopecten yessoensis*) adductor muscle in early cold storage [J]. J Food Sci, 2022, 87(1): 206–215.
- [18] 曲秦坤, 刘俊荣, 赵前, 等. 基于品质易逝期的模拟中转基地处置对凡纳滨对虾活品和锁鲜品贮藏稳定性的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2022, 37(1): 148–156.
- QU QK, LIU JR, ZHAO Q, *et al.* Effects of quality-determination-period handling in collection and distribution center on storage stability of live and freshness-locked shrimp *Litopenaeus vannamei* farmed [J]. J Dalian Ocean Univ, 2022, 37(1): 148–156.
- [19] 李鑫月. 冷暴露通过泛素化干预海马体突触可塑性以及能量代谢[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2021.
- LI XY. Cold exposure interferes with hippocampal synaptic plasticity and energy metabolism though ubiquitination [D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2021.
- [20] 闫丽新, 田元勇, 姜明慧, 等. 无水运输—湿藏销售中虾夷扇贝活力和呈味特性变化[J]. 水产科学, 2022, 41(1): 44–51.
- YAN LX, TIAN YY, JIANG MH, *et al.* Characteristics changes of activity and taste properties in *Patinopecten yessoensis*: From waterless transportation to wet storage selling [J]. J Fish China, 2022, 41(1): 44–51.
- [21] LI R, SUN Z, ZHAO Y, *et al.* Effect of different thermal processing methods on water-soluble taste substances of tilapia fillets [J]. J Food Compos Anal, 2022, 106: 104298.
- [22] 崔妍春, 张化贤, 王爱辉, 等. 三种贝类蒸煮液主要滋味化合物的分析与比较[J]. 中国调味品, 2022, 47(1): 1–7.
- CUI YC, ZHANG HX, WANG AIH, *et al.* Analysis and comparison of main taste compounds in three kinds of shellfish boiling liquid [J]. China Cond, 2022, 47(1): 1–7.
- [23] CHIH C, ELLINGTON W. Energy metabolism during contractile activity and environmental hypoxia in the phasic adductor muscle of the bay scallop *Argopecten irradians concentricus* [J]. Physiol Zoology, 1983, 56(4): 623–631.
- [24] 冷寒冰, 刘俊荣, 衣鸿莉, 等. 红鳍东方鲀易逝期锁鲜处置对冰藏品质的延迟效应[J]. 水产学报, 2021, 45(6): 958–970.
- LENG HB, LIU JR, YI HL, *et al.* Effects of freshness-locked performance during the quality determination period on the iced *Takifugu rubripes* freshness quality [J]. J Fish China, 2021, 45(6): 958–970.
- [25] GUTIERREZ-CORREA J, HOD M, PASSONEAU J, *et al.* Glycogen and enzymes of glycogen metabolism in rat embryos and fetal organs [J]. Neonatology, 2004, 59(5): 294–302.
- [26] HAMMEN C, LUM S. Fumarate reductase and succinate dehydrogenase activities in bivalve mollusks and brachiopods [J]. Comp Biochem Phys, 1966, 19(4): 775–781.
- [27] GRIESHABER M, HARDEWIG I, KREUTZER U, *et al.* Physiological and metabolic responses to hypoxia in invertebrates [J]. Rev Physiol Biochem Pharmacol, 1994, 125: 143–147.
- [28] 饶梦微, 章超桦, 林海生, 等. 菲律宾蛤仔肉不同提取物呈味特性[J]. 广东海洋大学学报, 2022, 42(1): 90–97.
- RAO MW, ZHANG CY, LIN HS, *et al.* Sensory characteristic of different extracts from *Ruditapes philippinarum* [J]. J Guangdong Ocean Univ, 2022, 42(1): 90–97.
- [29] MORIHIKO S. Nitrogenous low-molecular-weight components and palatability of fish and shellfish [J]. J Jpn Soc Food Sci, 2001, 67(5): 787–793.
- [30] LIU C, GU Z, LIN X, *et al.* Effects of high hydrostatic pressure (HHP) and storage temperature on bacterial counts, color change, fatty acids and non-volatile taste active compounds of oysters (*Crassostrea ariakensis*) [J]. Food Chem, 2022, 372: 131247.
- [31] HIRABAYASI M, OKAZAKI T, TANIMOTO S. Changes in extractive components in live *Mytilus galloprovincialis* mussels during ice storage [J]. Fisheries Sci, 2022, 88(1): 181–189.
- [32] YANG W, SHI W, ZHOU S, *et al.* Research on the changes of water-soluble flavor substances in grass carp during steaming [J]. J Food Biochem, 2019, 43(11): 12993.

(责任编辑: 韩晓红 于梦娇)

## 作者简介



蔡 琰, 硕士研究生, 主要研究方向为食品科学与工程。

E-mail: caiyyan@foxmail.com



田元勇, 博士, 副教授, 主要研究方向为水产品加工。

E-mail: tianyuanyong@foxmail.com