



## 虾夷扇贝易逝期干露处置与活品复水性

周晏琳, 刘俊荣\*, 田元勇, 闫丽新, 王选飞, 徐晔焯

(大连海洋大学食品科学与工程学院, 辽宁 大连 116023)

**摘要:** 为探索捕后初期处置对虾夷扇贝活品品质的延迟效应, 将捕后虾夷扇贝分易逝期及后易逝期两个阶段进行研究, 分别模拟海上及陆基两个处置环节。易逝期处置条件为冷却干露, 分别设置12、24及48 h 3个处理组, 即E12、E24及E48; 后易逝期处置是将经易逝期的活体扇贝重新置于海水中复水24 h, 分别为E12'及E24'。以失重率、存活率、闭壳肌pH、糖原、ATP关联化合物、AEC值及超氧化物歧化酶(SOD)活性等为指标, 对活品品质进行跟踪分析。结果显示: ①易逝期干露处置的扇贝品质有不同程度下降, E48全部死亡; E12和E24具有100%的存活率, 糖原含量在易逝期初期快速下降, 由初始点的18.95降至12 h时的14.66 mg/g。②易逝期处置对后易逝期的扇贝活体有延迟效应, 复水12 h内, 体质量和糖原显著恢复, 同时SOD活性显著下降, 表明了应激状态的缓解; 随着复水时间的延长, 各项生化指标反映出活体再次进入应激状态时, E12'的活品货架期明显优于E24'。研究表明, 扇贝从采捕至陆基暂养净化存在一个品质易逝期, 易逝期处置对后易逝期的活品品质有延迟效应。经易逝期处置的扇贝可恢复, 短时间12 h的易逝期处置更有助于扇贝恢复。有效控制易逝期条件参数, 复水后活品可表现出很好的恢复性; 易逝期胁迫程度越大, 即便在易逝期结束时仍具有良好指标, 但在后易逝期会呈现持续衰竭趋势, 其活力、品质及活品货架期亦将会受影响。

**关键词:** 虾夷扇贝; 捕后; 易逝期; 干露; 复水

**中图分类号:** TS 254.4

**文献标志码:** A

贝类是我国重要的养殖品种, 据《中国渔业统计年鉴2018》统计, 2017年我国养殖贝类产品产量为1 437.1万t, 扇贝产量为200.7万t, 比2016年增加8.52%<sup>[1]</sup>。虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)是重要的经济贝类, 原产自日本, 在我国主要分布于辽宁及山东半岛。环境因素的变化会对动物产生胁迫, 导致动物稳定的生理状态发生改变, 致使动物更易受未来环境变化的侵害, 胁迫程度可以通过动物体内生物学应答程度进行测定<sup>[2]</sup>。在贝类的生长过程中, 季节性的水温变化、潮汐导致的氧气和盐度变化以及捕食等造成的胁迫会使扇贝产生应激反应, 如呼吸代谢

速率及产能的交换途径改变、生化防御体系响应等<sup>[3]</sup>, 捕后贝类在流通过程中会受到氧气、机械振动、温度等胁迫。近年来, 国内外关于贝类捕后品质变化机制的研究主要围绕其生化代谢、风味变化、菌群结构以及非特异性免疫因子等方面展开<sup>[4-7]</sup>, 针对捕后流通过程的研究则基本聚焦在净化环节, 鲜有针对捕后各环节间的关联及重点环节的剖析。

本实验团队早期研究发现, 离水24 h后运抵实验室的扇贝活品风味呈现以苦味为代表的非愉悦特征, 经湿藏暂养1~2 d后, 扇贝风味品质出现明显的恢复性, 以鲜及甜的愉悦性特征为

收稿日期: 2019-06-09 修回日期: 2019-09-08

资助项目: 国家重点研发计划(2018YFD0901001); 国家自然科学基金(31671790)

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

主<sup>[4]</sup>,表明经历离水初期各种胁迫的活品扇贝具有可恢复性。同样地,在针对菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)的研究中也发现了与扇贝相似的品质易逝期,采捕过程及离水初期的急性胁迫会导致蛤仔风味急剧下降,短期的干露静置(3 d内)均使其生化指标及风味品质呈现恢复<sup>[8]</sup>。根据本实验团队多年经验结合实地调研发现<sup>[4,9-10]</sup>,扇贝从采捕开始至陆基净化工厂,存在一个品质易逝期,由于该阶段环境变化剧烈且操作复杂多变,易逝期活品所受到的胁迫叠加,对于活品净化、运输直至销售端具有十分重要的影响。所以,易逝期的处置对后续活品可恢复性的影响非常重要。

从采捕开始,虾夷扇贝就面临各种胁迫,其中最典型的是离水初期频繁暴露于空气中,本研究以此为切入点,重点研究干露处置对易逝期活品扇贝品质的影响,以及不同处置条件对后期可恢复性的延迟效应。

## 1 材料与方法

### 1.1 干露处置分组及采样

**原料** 实验所用虾夷扇贝产自大连獐子岛地区,为市售商品规格的健康活体。原料采购日期为2018年12月17日,自捕捞至市售历时约16 h,销售端的活体扇贝置于20 cm×40 cm×60 cm的玻璃缸中并充氧暂养。230只活体共计20 kg左右,单贝重量为(142.82±12.90)g,长为(11.08±0.42)cm,高为(10.62±0.32)cm,宽为(2.33±0.14)cm,其他原料基本信息经分析测试汇总详见表1。

**缓冲** 活贝运抵实验室后,首先于辽宁省水产设施养殖与装备技术工程研究中心的海水循环系统中进行暂养缓冲15 h(图1)。暂养过程

表1 活体虾夷扇贝原料的基本信息

Tab. 1 Approximate information of raw live *P. yessoensis*

软体组织 soft tissues	质量百分比/% mass percent
外套膜 mantle	24.24
性腺 gonad	9.19
横纹肌 striated muscle	36.74
平滑肌 smooth muscle	2.53
鳃 gill	9.65
内脏团 visceral mass	8.67
其他 other	8.98

中海水溶解氧为7.4 mg/L左右,温度为8℃左右。湿藏对照组扇贝平铺(右壳向下)于网筐(42 cm×63 cm×10 cm)后置于海水中湿藏,采样细则见表2。



图1 活体虾夷扇贝原料暂养缓冲示意图

Fig. 1 Illustration of relaying treatment for live *P. yessoensis*

**易逝期干露** 将缓冲后的活品视作易逝期起点即离水初始点(I)。根据产业实际情况,分设12、24、48 h 3个时间段为不同的易逝期周期,处置条件模拟实际操作,频繁暴露于空气中,同时施加冷却及保湿措施。具体操作:将扇贝置于保温箱(38 cm×18 cm×10 cm)中,每箱放8只,覆盖浸湿的海绵及冰袋,易逝期环境参数的变化如图2所示,温度从2.8℃升至16.5℃,湿度维持在93%左右。

**复水** 将经易逝期干露处置的活贝再次置于图1海水循环系统中复水,模拟陆基净化环节。具体分组及采样细则见表2。

**样品采集及处理** 采样方案如表2,具体操作:将活品虾夷扇贝迅速开壳,立即解剖,分离各软体组织,将收集得到的闭壳肌的横纹肌匀浆后装袋液氮速冻,并于-40℃下贮藏待后续分析。

### 1.2 主要仪器与试剂

**实验仪器** 800 s匀浆机,美国WARING公司; Agilent 1260高效液相色谱仪,美国Agilent公司; OSD-BP C<sub>18</sub>色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm),大连依利特公司; HG-200均质机,日本HSIANGTAI公司; 高速离心机,德国HERMLE Labortechnik GmbH公司; UV-1800PC紫外分光光度计,上海美谱达仪器有限公司; 电热恒温培养箱,上海一恒科学仪器有限公司。

表 2 活品虾夷扇贝分组条件及取样说明

Tab. 2 Information of treatments and sampling specification of live *P. yessoensis*

进程 progress	处理组 treatments	编码 code	采样说明 sampling specification
采捕 capture	原料 raw	Raw	市场当日到货, 抵达实验室后即刻采样
	初始点 Initial	I	原料于海水循环系统中缓冲15 h后采样
易逝期 quality determination period (QDP)	干露12 h 12 h emersed	E12	干露12 h后采样
	干露24 h 24 h emersed	E24	干露24 h后采样
	干露48 h 48 h emersed	E48	干露48 h后采样
后易逝期 post quality determination period (P-QDP)	E12复水 E12 re-immersed	E12'	干露12 h后复水, 于复水后6、12、24 h采样
	E24复水 E12 re-immersed	E24'	干露24 h后复水, 于复水后6、12、24 h采样
对照 control	湿藏组 control	C	分别于湿藏12、18、24、30、36、48 h采样

注: 干露48 h即E48组扇贝全部死亡, 因此后期不再进行复水  
Notes: the scallops of 48 h emersed (E48) all died and not re-immersed anymore

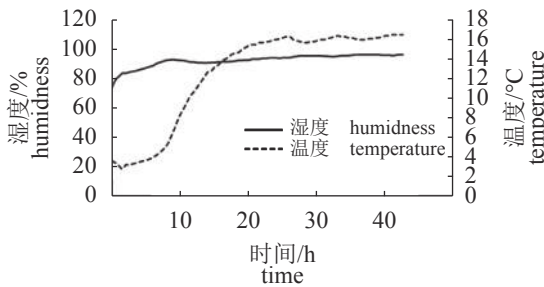


图 2 易逝期冷却干露环境的温度及湿度记录

Fig. 2 Record of atmosphere temperature and humidity in chilled storage emersed during quality determination period

实验试剂 超氧化物歧化酶(SOD)检测试剂盒-WST, 东仁化学科技(上海)有限公司; Tris、氯化钠(均为分析纯), 天津市科密欧化学试剂有限公司。

1.3 理化分析

各组织质量百分比 分别测定各软体组织质量后进行计算:

$$\text{各组织质量百分比 (\%)} = \frac{\text{软体组织质量}}{\text{所有软体组织总质量}} \times 100\% \quad (1)$$

失重率 分别测定虾夷扇贝贮藏前后的体质量:

$$\text{失重率 (\%)} = \frac{\text{初始点扇贝体质量} - \text{干/湿藏扇贝体质量}}{\text{初始点扇贝体质量}} \times 100\% \quad (2)$$

存活判定 轻触扇贝的外套膜, 若有收缩或闭壳反应, 则认定扇贝存活, 若无反应,

则认定死亡。

粗酶提取液 取2.0 g横纹肌匀浆, 加入5倍体积的0.1 mol/L NaCl和20 mmol/L Tris-HCl缓冲溶液(pH=7.5)。在10 000 r/min下均质3次, 每次均质30 s, 间隔30 s后离心10 min(10 000×g, 4 °C), 取上清液即为粗酶提取液, 所有操作均在低温下进行。粗酶蛋白含量用双缩脲法<sup>[11]</sup>进行测定。

ATP及其关联物的测定 参考Hu等<sup>[12]</sup>的方法, 取1 g闭壳肌匀浆, 加入5%的PCA 10 mL, 用玻璃棒捣碎, 冰浴15 min后用2 mol/L KOH调pH至2.0~3.5, 定容至20 mL, 过0.45 μm滤膜。取4 mL滤液, 加入0.1 mol/L磷酸盐缓冲液(pH 7.5) 1 mL。

色谱分析 采用高效液相色谱法, 流动相A为0.05 mol/L K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>-KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>缓冲液(pH 6.5); 流动相B为流动相A: 甲醇溶液(8: 2); 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%。

AEC值的计算 AEC值即核苷酸能荷(adenylic energetic charge)。

$$\text{AEC (\%)} = \frac{2\text{ATP} + \text{ADP}}{2(\text{ATP} + \text{ADP} + \text{AMP})} \times 100\% \quad (3)$$

糖原的测定 取2 g样品加入4 mL 30% KOH,

沸水浴加热20 min后冷却至室温, 加20 mL无水乙醇, 离心(3 000×g, 15 min), 弃上清液后加入10 mL蒸馏水、1滴饱和KCl、15 mL无水乙醇, 搅拌使沉淀溶解, 再次离心(3 000×g, 15 min), 将沉淀定容至100 mL, 取0.5 mL加入4.5 mL蒸馏水稀释。取60 μL稀释液加入240 μL显色液, 100 °C加热反应10 min, 迅速冷却后静置10 min。取200 μL反应液于96孔酶标板中, 在620 nm下测定吸光度, 计算糖原含量。

**显色液的配置** 称取0.1 g蒽酮溶于50 mL 80% 20 mmol/L碘乙酸钠, 用玻璃棒充分搅拌后静置25 min, 测定pH。

**pH** 改进许益民<sup>[13]</sup>的方法, 取2 g样品加入10 mL 20 mmol/L碘乙酸钠, 用玻璃棒充分搅拌后静置25 min, 测定pH。

#### SOD活性

采用东仁化学科技(上海)有限公司的SOD检测试剂盒-WST进行测定。

### 1.4 数据分析

实验结果均以平均值±标准差表示, 实验数据采用SPSS软件进行处理, 用单因素分析法进行方差分析, 显著性水平设为0.05。

## 2 结果

### 2.1 原料缓冲效果及湿藏稳定性

采购的活体原料在运输过程中历经胁迫, 为模拟采捕离水点, 将处于应激状态的活体扇贝进行缓冲恢复处理。缓冲效果如表3所示, 缓冲后扇贝各方面均有明显恢复, 湿重增加9 g, ATP含量恢复至原料时的3.5倍, 由疲劳状态的1.48回升到5.13 μmol/g, 同时, AEC值由42.64%恢复至94.15%; 闭壳肌的SOD活性由623.31下降至308.26 U/mg。从糖原含量和pH来看, 缓冲前后差异不明显。各指标表明, 缓冲过程中扇贝活力显著恢复, 同时无能量损耗, 表明缓冲处理能够有效恢复扇贝活体活力, 使其更加接近实际的离水点生命状态。

本研究中, 对该批次原料进行全程湿藏对照比较。对照组的贮藏稳定性如表4所示, 湿藏过程中, 扇贝存活率均为100%, 失重率为-2.8%~2.1%。扇贝的糖原含量、pH、ATP含量和AEC值虽有所波动但总体趋于稳定, 分别维持在17.32 mg/g、7.20、5.14 μmol/g和94.10%左右。SOD活性变化同样表明, 随着活水贮藏期延长, 扇贝总体上趋于稳定, SOD活性从原料的623.31 U/mg,

表3 活体虾夷扇贝原料暂养缓冲效果

Tab. 3 Recovery effects of relaying on live *P. yessoensis*

处理组 treatments	体质量/g body weight	ATP含量/(μmol/g) ATP content	AEC值/% AEC value	pH	糖原含量/(mg/g) glycogen content	SOD-Mst/(U/mg) SOD activity of Mst
原料 raw	139.31±12.91	1.48±0.13	42.64±1.14	7.04±0.01	18.42±1.95	623.31±26.61
缓冲 initial	148.35±21.55	5.13±0.23	94.15±0.31	7.16±0.01	18.95±2.31	308.26±14.58

表4 湿藏对照组虾夷扇贝的贮藏稳定性

Tab. 4 Storage stability of the immersed control of live *P. yessoensis*

指标 indices	对照组 control					
	12 h	18 h	24 h	30 h	36 h	48 h
存活率/% survival rate	100	100	100	100	100	100
失重率/% mass loss rate	0.91±1.55 <sup>a</sup>	0.98±2.13 <sup>a</sup>	-1.64±2.04 <sup>a</sup>	2.12±1.54 <sup>a</sup>	-1.18±3.53 <sup>a</sup>	-2.82±3.79 <sup>a</sup>
糖原含量/(mg/g) glycogen content	18.68±0.86 <sup>a</sup>	15.29±0.62 <sup>b</sup>	17.68±1.22 <sup>ab</sup>	17.32±0.37 <sup>ab</sup>	17.29±0.41 <sup>ab</sup>	17.66±0.89 <sup>ab</sup>
pH	7.20±0.01 <sup>ab</sup>	7.16±0.005 <sup>b</sup>	7.18±0.02 <sup>b</sup>	7.23±0.02 <sup>a</sup>	7.24±0.01 <sup>a</sup>	7.20±0.03 <sup>ab</sup>
ATP含量/(μmol/g) ATP content	5.08±0.26 <sup>b</sup>	5.18±0.16 <sup>b</sup>	4.93±0.18 <sup>b</sup>	5.0±0.11 <sup>b</sup>	5.58±0.08 <sup>a</sup>	5.06±0.12 <sup>b</sup>
AEC值/% AEC value	94.11±0.54 <sup>a</sup>	93.82±0.15 <sup>a</sup>	92.63±0.44 <sup>b</sup>	94.53±0.46 <sup>a</sup>	94.84±0.43 <sup>a</sup>	94.77±0.32 <sup>a</sup>
SOD-Mst活性/(U/mg) SOD activity of Mst	361.62±82.29 <sup>a</sup>	336.47±41.31 <sup>a</sup>	176.52±41.94 <sup>a</sup>	316.86±81.53 <sup>a</sup>	258.35±21.82 <sup>a</sup>	189.32±49.63 <sup>a</sup>

注: 同一行的不同字母表示有显著性差异( $P<0.05$ )

Notes: the means with different letters in the same line are significantly different at the 0.05 probability level

恢复至缓冲后的308.26 U/mg, 以及湿藏48 h后的189.32 U/mg, 虽然期间有个别波动, 但总体仍处于稳定状态。各指标初步表明, 在湿藏初期, 扇贝活力仍有波动, 至24 h后逐渐趋于稳定, 因此可将原料扇贝缓冲时间延长至40 h左右。

### 2.2 易逝期干露处置对扇贝活力的影响

**失重率及存活率** 将缓冲后的活品视作离水点即易逝期起点, 结合产业实际情况对扇贝进行不同易逝期处置, 并对扇贝活力进行评价。失重率和存活率结果如图3所示。对照组扇贝因接近其自然生存条件未出现失重且无扇贝死亡。与离水点活体相比, 离水后的干露会造成扇贝失重, 时间越长失重率越高, 干露12 h便达到6%, 随后失重率成倍增加至18%。24 h内扇贝存活率均保持在99%以上, 至48 h扇贝存活率为0。综上, 在本实验条件下, 冷却(16 °C)并保湿的干露处理亦会造成易逝期扇贝死亡, 由此推断在不同季节, 环境温度变化会给采捕后易逝期的活体扇贝带来不利影响。

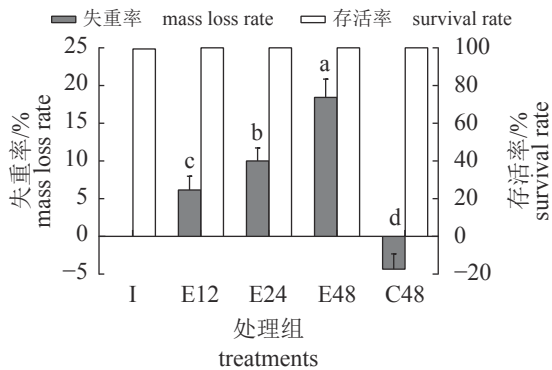


图3 易逝期虾夷扇贝的失重率和存活率

标有不同字母者表示有显著性差异(P<0.05), 下同

Fig. 3 Mass loss and survival rate of *P. yessoensis* in chilled storage emersed during quality determination period

The means with different letters are significantly different at the 0.05 probability level, the same below

**ATP及其关联化合物与扇贝活力状态** ATP及其关联化合物能较好地反映扇贝的鲜度<sup>[14]</sup>, AEC值常用于贝类生理状态评价<sup>[15]</sup>。从图4可见, 与起始点活体相比, 易逝期干露24 h内扇贝ATP含量无显著变化, 维持在5 μmol/g左右, AEC值显著下降至83%, 在此期间虽然扇贝失重率较高, 但活力依然较好, 在实际捕捞过程中可以考虑将采捕上船的扇贝快速(24 h内)运至陆地。48 h后

扇贝ATP含量显著下降至0.85 μmol/g左右, 同时AEC值显著下降至34%左右, 此时扇贝已死亡。对照组扇贝与起始点活体无显著差异。

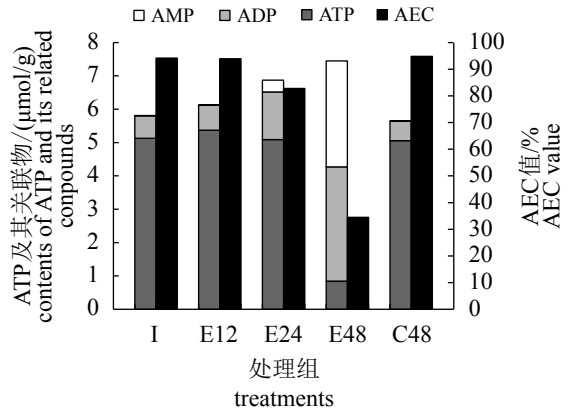


图4 易逝期扇贝的ATP及其关联物和AEC值

Fig. 4 ATP and its related contents and AEC value of *P. yessoensis* in chilled storage emersed during quality determination period

**糖原含量及pH** 易逝期扇贝闭壳肌糖原含量及pH的变化如图5所示, 易逝期间的干露处置使得扇贝肌肉pH呈明显下降趋势, 由起始的7.16, 至干露48 h后的6.83。与对照组pH 7.20相比, 干露处置中的活体处于明显的缺氧胁迫状态。干露给贝类带来的缺氧应激导致无氧酵解产物积累, 从而致使肌肉pH降低<sup>[16]</sup>。扇贝在易

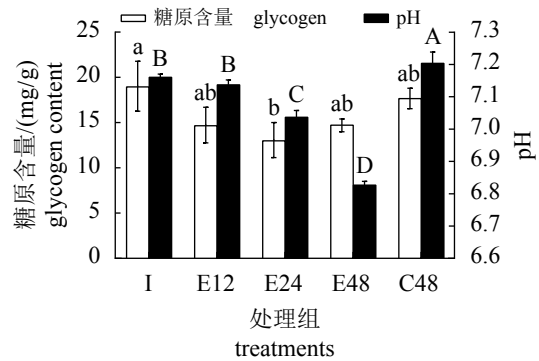


图5 易逝期虾夷扇贝肌肉的糖原含量和pH

不同大写字母表示组间有显著性差异(P<0.05), 不同小写字母表示组间有显著性差异(P<0.05), 下同

Fig. 5 Glycogen content and pH of *P. yessoensis* in chilled storage emersed during quality determination period

The means with different capital letters are significantly different in the groups at the 0.05 probability level, the means with different letters are significantly different in the groups at the 0.05 probability level, the same below

逝期的干露过程中,呼吸方式转变为无氧呼吸,糖酵解生成的丙酮酸被氧化成乙酸,导致肌肉pH下降,此外,章鱼碱、乳酸、琥珀酸等物质也会造成pH降低<sup>[17-18]</sup>。由此进一步推断易逝期控制在24 h之内的必要性。此外,对比起始点(18.95 mg/g)及对照组(17.66 mg/g)的糖原含量,干露期间糖原有波动但下降并不显著。

**SOD活性** 扇贝为无脊椎动物,体内仅具有血细胞介导的较为完善的非特异免疫系统<sup>[9]</sup>,SOD是其抗氧化的第一道防线。扇贝的闭壳肌包括横纹肌和平滑肌两种肌肉类型,其中以横纹肌为主。本课题组前期研究发现,虾夷扇贝闭壳肌SOD活性主要体现在横纹肌。此外,扇贝SOD活性的变化与其所受胁迫程度有关,急剧胁迫条件(高温、缺氧)下的SOD活性更高<sup>[7]</sup>。易逝期间冷却干露条件下扇贝闭壳肌SOD活性变化如图6所示。易逝期的干露处置使扇贝肌肉的SOD活性呈显著上升趋势,由起始的308.26升至24 h的580 U/mg左右,随后扇贝开始处于濒死状态,至48 h时的死体扇贝SOD检测结果为255.24 U/mg;对照组189.32 U/mg的SOD活性表明其处于最稳定的生命状态,干露处置中的缺氧胁迫使扇贝的SOD出现应答。上述结果表明,对于12 h的易逝期,冷却干露处置的扇贝较为稳定,如果易逝期延长至24 h,相同处置条件下的活体则呈现明显的应激,其SOD活性虽然较高,但依然可以维持较好的活力。综上,在实际流通过程中,扇贝采捕后若采取冷却保湿的干露方式而非传统的活水运输船的方式运输,且于12 h内运输至陆地,扇贝仍可以保持较高活力。

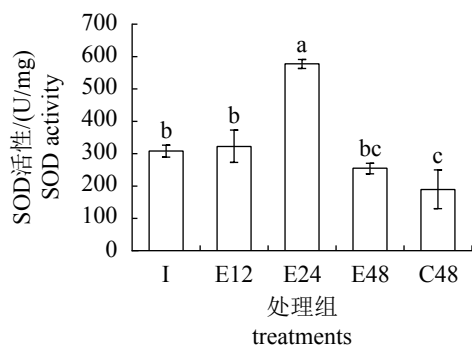


图6 易逝期下虾夷扇贝闭壳肌的SOD活性

Fig. 6 *P. yessoensis* SOD activity in adductor muscle of different treatments in chilled storage emersed during quality determination period

### 2.3 易逝期处置的延迟效应

**复水后的失重率及存活率** 扇贝经采捕及离水初期的冷却干露处置后,再进行复水以观察离水后易逝期处置对到岸后活品的延迟效应。失重率可以直观地表现出贮藏过程中扇贝体质量的变化,经易逝期处理后复水的扇贝失重率和存活率的变化情况如图7所示,鉴于干露48 h的扇贝全部死亡,因此不再作复水处理。处置组E12及E24复水后分别为E12'及E24',与离水点即初始点相比,两个处理组的失重率在24 h复水期间呈现明显恢复,在复水12 h左右,活体单重基本恢复至离水点时的水平且与对照组相当。至24 h, E12'的失重率由E12的6.17%恢复至-2.70%, E24'则恢复至-1.43%。此外,两组扇贝存活率均为100%。由此可见,24 h内的易逝期冷却干露条件处置,使扇贝具有很好的可恢复性,且复水24 h内活体体质量即可恢复至离水点时的水平。

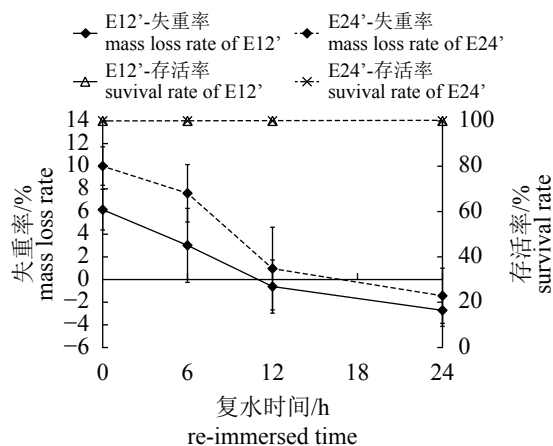


图7 复水后虾夷扇贝的失重率和存活率的变化

Fig. 7 Recovery of mass loss and survival rate of *P. yessoensis* re-immersed in post quality determination period

**ATP及其关联物与AEC值的恢复** 复水后扇贝的ATP及其关联物和AEC值变化见图8, E12'组扇贝的ATP含量和AEC值均呈现稳定状态,分别维持在4.9  $\mu\text{mol/g}$ 和90%左右, E24'组扇贝的ATP含量在复水后12 h内无显著变化,维持在4.5  $\mu\text{mol/g}$ 左右,至24 h显著降低至2.5  $\mu\text{mol/g}$ 。AEC值变化趋势与ATP含量相似。离水点扇贝的ATP含量为5.13  $\mu\text{mol/g}$ , AEC值为94%,湿藏过程中ATP含量维持在5.14  $\mu\text{mol/g}$ , AEC值维持在94.1%左右。E12'组的ATP含量及AEC值在复水过程中

与离水点和对照组水平相近, 且均高于E24'组。有关捕后虾夷扇贝在低温下干藏0、12和24 h后复水的研究发现ATP含量随复水时间的延长呈恢复趋势。易逝期处置对扇贝活体的延迟效应不可忽视。本研究中, 较短的易逝期处置组E12在复水后, ATP及AEC均呈现稳定状态, 这对后期活品流通具有积极意义; 而E24组在复水后ATP显著下降, 伴随着ADP、AMP的上升, 相应的, AEC也呈下降趋势, 对后续的活品流通极为不利。

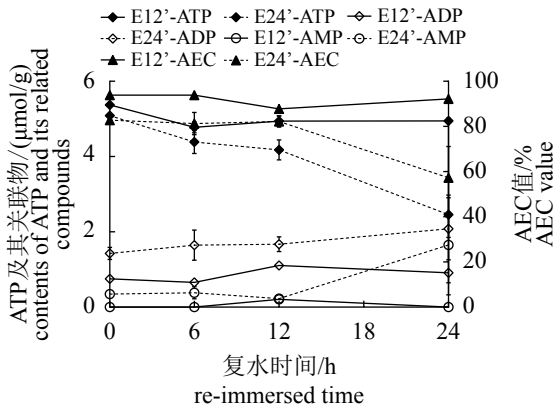


图8 复水后虾夷扇贝闭壳肌ATP及其关联物和AEC值的变化

Fig. 8 Recovery of ATP and its related contents and AEC value of *P. yessoensis* re-immersed in post quality determination period

**糖原及pH的恢复** 复水后扇贝闭壳肌糖原含量和pH的变化见图9, E12'组和E24'组糖原含量均呈现先上升后下降的趋势, E12'组由E12的14.65 mg/g上升至12 h的18.08 mg/g, 后又降至24 h的14.09 mg/g, 而E24'组降至13.49 mg/g。同时发现在复水期间, E12'组扇贝的糖原含量始终低于E24'组。与起始点的18.95 mg/g和对照组的17.32 mg/g左右对比, 复水期间E12'和E24'组扇贝的糖原含量均低于对照组。复水后, E12'组扇贝的pH显著升高, 至24 h升至7.25, 而E24'组短期6 h内由7.04恢复至7.14, 最终降至7.06。与离水点扇贝肌肉的pH 7.16和对照组的7.20对比发现, E12'组可恢复至对照组水平, 而E24'组低于对照组水平。同样表现出易逝期处置对扇贝活体不可忽视的延迟效应。

**复水后的SOD活性** 对复水后扇贝肌肉的SOD活性进行测定发现, E12'组扇贝的SOD活性在复水后的24 h之内无显著变化, 而易逝期干露时间加倍至24 h时, 其复水效果则波动明显。

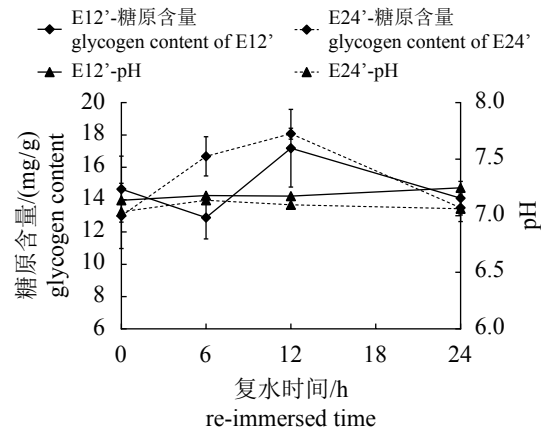


图9 复水后虾夷扇贝闭壳肌糖原含量和pH的变化  
Fig. 9 Recovery of glycogen content and pH in adductor muscle of *P. yessoensis* re-immersed in post quality determination period

E24'组在复水初期12 h内, SOD活性由578显著下降至205 U/mg, 随后显著上升, 至24 h时高达613 U/mg, 与离水点水平相近。上述结果表明, 采捕后短期的干露处置对后续复水效果影响不显著, 而长达24 h的干露处置, 其负面的延迟效应非常明显, 尽管复水早期数小时有明显恢复, 但至24 h后, 其胁迫应激明显高于短期12 h干露处置组(图10)。

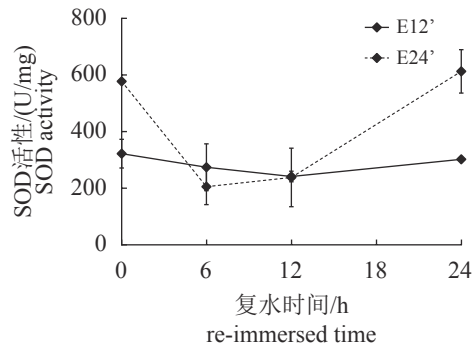


图10 复水后虾夷扇贝横纹肌的SOD活性的变化  
Fig. 10 Recovery of SOD activity of striated muscle in *P. yessoensis* re-immersed in post quality determination period

### 3 讨论

**失重率和存活率** 对于贝类来说, 干露是主要的胁迫之一, 贝类需抵御这种胁迫并控制水分流失以保证存活<sup>[20]</sup>。干露可能会通过降低呼吸速率导致动物死亡, 一方面, 动物体表干燥造成呼吸速率降低, 另一方面, 水分流失导

致渗透浓度增加使细胞内产生生理变化<sup>[21]</sup>。本实验的干露处置过程中,观察到贝体析出液体,同时外套膜出现收缩,分析是干露处置的胁迫导致贝体腔液析出,随后逐渐蒸发而流失,扇贝以外套膜收缩的形式启动了防御应答机制。失重一方面会造成经济损失,但更重要的是对活体保活及其活力状态的负面影响。本研究结果显示,48 h易逝期干露处置导致扇贝失重率达到18%左右,且扇贝全部死亡,12和24 h易逝期干露处置导致扇贝失重率分别达到6%和10%左右,对其复水后,活体体质量得到显著恢复,且复水24 h内失重率即可恢复至离水点时的0左右。Barrento等<sup>[22]</sup>对紫贻贝(*Mytilus edulis*)在干藏和复水处理时的失重率等指标的研究发现,未经净化的紫贻贝干藏48 h后失重率最高可达16.7%,复水后可恢复16%。本实验条件(16 °C冷却)下的干露经易逝期48 h处置的扇贝全部死亡,冷却条件或环境温度给易逝期中的扇贝带来的影响需要进一步研究。初步推断,采捕后12 h的干露对后期复水影响不大,而24 h的干露对后期复水有不利影响。

**ATP及其关联化合物和扇贝活力** ATP及其关联化合物的指标能较好地评价鱼、贝的鲜度<sup>[14]</sup>,主要包括ATP、ADP、AMP、IMP、HxR和Hx。通常认为,鱼类的ATP代谢途径为ATP—ADP—AMP—IMP—HxR—Hx,而贝类可能会生成AdR<sup>[23]</sup>。核苷酸能荷(adenylic energetic charge, AEC)可以用于活品鱼、贝的品质和活力评价, Maguire等<sup>[24]</sup>认为扇贝闭壳肌中的AEC值可作为评价扇贝品质的有效指标。本研究结果显示,经48 h易逝期处置,扇贝ATP和AEC值显著降低,分别降至0.85  $\mu\text{mol/g}$ 和34%左右;易逝期24 h与12 h相比,扇贝ATP无显著变化,维持在5  $\mu\text{mol/g}$ 左右, AEC值显著下降至83%;复水后,经12 h易逝期处置的ATP和AEC分别为4.9  $\mu\text{mol/g}$ 和90%左右;经24 h易逝期处置的扇贝,ATP含量在复水后12 h内无显著变化,维持在4.5  $\mu\text{mol/g}$ 左右,至24 h显著降低至2.5  $\mu\text{mol/g}$ 。刘慧慧等<sup>[8]</sup>对易逝期干露对菲律宾蛤仔活品净化及贮藏特性的影响研究发现,原料蛤仔ATP含量低,短期干露(4 d)内有所恢复,净化过程中同样恢复, AEC值变化呈类似的趋势,与本研究结果相近。同样可以推断易逝期处置的延迟效应,采捕后24 h干露产生的不利影响更为显著。

<http://www.sxuebao.cn>

**糖原和pH** 糖原是扇贝主要的储能物质,有助于贝类在干露、饥饿等条件下维持机体正常生理代谢<sup>[25]</sup>。在本实验的冷却干露条件下,扇贝受到严重的缺氧和干露胁迫,会分解糖原以维持机体的正常生理代谢。pH的变化与无氧环境下的代谢产物章鱼碱等有关<sup>[26]</sup>,此外还与糖酵解的其他酸性产物如乳酸、丙酮酸等有关,扇贝肌肉pH的变化是多种代谢产物共同作用的结果。本研究结果显示,48 h易逝期处置导致扇贝的糖原含量和pH分别降至15 mg/g和6.83;复水后均有所恢复,但复水程度与易逝期处置条件紧密关联, E12'组扇贝的糖原含量在干露12 h后为14.65 mg/g,复水12 h后升至18.08 mg/g,后又降至24 h时的14.09 mg/g; pH显著升高,至24 h升至7.25。而E24'组的糖原含量降至13.49 mg/g, pH短期(6 h)内由7.04恢复至7.14,最终降至7.06。与其他指标变化趋势不同的是,复水后E12'组糖原含量均低于E24'组,可能是因为在实验条件下,复水后扇贝的糖原应答与其他指标相比较迟缓,因此造成差异。复水后,扇贝的呼吸方式由无氧呼吸变为有氧呼吸,生理代谢恢复正常,糖原含量有所积累,但易逝期的干露处置对扇贝机体造成不可逆的损伤,因此在复水12 h后糖原含量出现下降。

**SOD活性** 与脊椎动物不同,扇贝体内的免疫系统为血细胞介导的非特异免疫系统<sup>[19]</sup>, SOD是抗氧化的第一道防线,当机体受到环境胁迫时, SOD能迅速作出应答,因此其活性的变化在一定程度上能反映扇贝免疫机能的变化<sup>[27]</sup>。目前关于贝类抗氧化酶的研究主要围绕环境污染及水产养殖等方面,而对于酶活性应答与活品品质的研究较少。以往研究表明,干露条件下的高温 and 饥饿胁迫,扇贝SOD活性应答显著<sup>[7]</sup>。本研究同样发现,易逝期冷却干露处置亦会造成SOD活性升高,至24 h时升至580 U/mg左右;复水后,经12 h易逝期干露处置扇贝的SOD活性为220 U/mg左右,而经24 h易逝期处置的扇贝在复水初期12 h内, SOD活性由578显著下降至205 U/mg,随后显著上升,至24 h时高达613 U/mg。表明扇贝在复水后期受到胁迫, SOD活性出现应答,进一步证明24 h易逝期干露处置的负面延迟效应。

## 4 结论

采捕至陆基暂养净化存在一个品质易逝期,



易逝期处置对后易逝期的活品品质有延迟效应。有效控制易逝期条件参数, 复水后活品可表现出很好的恢复性; 易逝期胁迫程度越大, 即便在易逝期结束时仍具有良好指标, 但在后易逝期会呈现持续衰竭趋势, 其活力品质及活品货架期亦将会受影响。本研究中易逝期的处置条件参数如温度、干露及干露时间等是扇贝产业重要的实际操作参数, 可为捕捞后品质控制提供参考, 并通过对现有流通模式进行改进, 减少扇贝早期的胁迫以提高活品的活力。

### 参考文献:

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 中国渔业统计年鉴2018[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.
- Fisheries and Fisheries Administration Bureau of the Ministry of Agriculture and Rural Areas, National Aquatic Technology Promotion Station, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook 2018[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2018 (in Chinese).
- [2] Bayne B L, Livingstone D R, Moore M N, *et al.* A cytochemical and a biochemical index of stress in *Mytilus edulis* L.[J]. Marine Pollution Bulletin, 1976, 7(12): 221-224.
- [3] De Almeida E A, Bainy A C D, De Melo Loureiro A P, *et al.* Oxidative stress in *Perna perna* and other bivalves as indicators of environmental stress in the Brazilian marine environment: Antioxidants, lipid peroxidation and DNA damage[J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2007, 146(4): 588-600.
- [4] 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 T T, Liu J R, Yu W W, *et al.* Flavor attributes of scallop *Patinopecten yessoensis* along the live supply Chain[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(1): 136-146(in Chinese).
- [5] 傅润泽, 沈建, 王锡昌. 底播虾夷扇贝活品流通前后挥发性成分的对比分析[J]. 食品科学, 2015, 36(2): 110-113.
- Fu R Z, Shen J, Wang X C. Volatile compounds in sowing enhanced yesso scallop before and after transport[J]. Food Science, 2015, 36(2): 110-113(in Chinese).
- [6] 刘金洋. 虾夷扇贝在活品流通过程中的代谢变化[D]. 中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries 大连: 大连海洋大学, 2016.
- Liu J Y. Post-harvest metabolism changes in live scallop *Patinopecten yessoensis*[D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2016 (in Chinese).
- [7] 周晏琳, 郑尧, 刘慧慧, 等. 干露对活品虾夷扇贝闭壳肌SOD酶活性及其性质的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2018, 33(5): 651-657.
- Zhou Y L, Zheng Y, Liu H H, *et al.* Activity and characteristics of superoxide dismutase in adductor muscle of live dry-stored yesso scallop *Patinopecten yessoensis*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2018, 33(5): 651-657(in Chinese).
- [8] 刘慧慧, 刘俊荣, 田元勇, 等. 易逝期干露对菲律宾蛤仔活品净化及贮藏特性的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2019, 34(1): 109-118.
- Liu H H, Liu J R, Tian Y Y, *et al.* Effects of emersion in crucial perishable period on Manila clam *Ruditapes philippinarum* depuration and live storage[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2019, 34(1): 109-118(in Chinese).
- [9] 郑尧, 刘俊荣, 周晏琳, 等. 捕后虾夷扇贝闭壳肌免疫因子与活品品质评价初探[J]. 大连海洋大学学报, 2017, 32(2): 217-223.
- Zheng Y, Liu J R, Zhou Y L, *et al.* Immunologic factors in adductors and quality evaluation in live and air exposure and wet stored yesso scallop *Patinopecten yessoensis*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2017, 32(2): 217-223(in Chinese).
- [10] 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).
- [11] 路苹, 于同泉, 王淑英, 等. 蛋白质测定方法评价[J]. 北京农学院学报, 2006, 21(2): 65-69.
- Lu P, Yu T Q, Wang S Y, *et al.* A review on determination of protein[J]. Journal of Beijing Agricultural College, 2006, 21(2): 65-69(in Chinese).
- [12] 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.

- [13] 许益民. 肌肉PH测定及其对肉质的重要性[J]. 国外畜牧科技, 1986(5): 41-44.  
Xu Y M. Measurement of muscle pH and its importance to meat quality[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 1986(5): 41-44(in Chinese).
- [14] Hong H, Regenstein J M, Luo Y K. The importance of ATP-related compounds for the freshness and flavor of post-mortem fish and shellfish muscle: a review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2017, 57(9): 1787-1798.
- [15] Lucas A, Beninger P G. The use of physiological condition indices in marine bivalve aquaculture[J]. Aquaculture, 1985, 44(3): 187-200.
- [16] Kawabe S, Takada M, Shibuya R, et al. Biochemical changes in oyster tissues and hemolymph during long-term air exposure[J]. Fisheries Science, 2010, 76(5): 841-855.
- [17] Gäde G, Grieshaber M K. Pyruvate reductases catalyze the formation of lactate and opines in anaerobic invertebrates[J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part B: Comparative Biochemistry, 1986, 83(2): 255-272.
- [18] Márquez-Ríos E, Morán-Palacio E F, Lugo-Sánchez M E, et al. Postmortem biochemical behavior of giant squid (*Dosidicus gigas*) mantle muscle stored in ice and its relation with quality parameters[J]. Journal of Food Science, 2007, 72(7): C356-C362.
- [19] Vosloo A, Laas A, Vosloo D. Differential responses of juvenile and adult South African abalone (*Haliotis midae* Linnaeus) to low and high oxygen levels[J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2013, 164(1): 192-199.
- [20] Morton J E, Boney A D, Corner E D S. The adaptations of *Lasaea rubra* (Montagu), a small intertidal lamellibranch[J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 1957, 36(2): 383-405.
- [21] Duncan P F. Post-harvest physiology of the scallop *Pecten maximus* (L.)[D]. Glasgow: University of Glasgow, 1993.
- [22] Barrento S, Powell A. The effect of transportation and re-watering strategies on the survival, physiology and batch weight of the blue mussel, *Mytilus edulis*[J]. Aquaculture, 2016, 450: 194-198.
- [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] Maguire J A, Fleury P G, Burnell G M. Some methods for quantifying quality in the scallop *Pecten maximus* (L.)[J]. Journal of Shellfish Research, 1999, 18(1): 59-66.
- [25] Hummel H, de Wolf L, Zurburg W, et al. The glycogen content in stressed marine bivalves: the initial absence of a decrease[J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part B: Comparative Biochemistry, 1989, 94(4): 729-733.
- [26] 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.
- [27] 樊甄姣, 杨爱国, 刘志鸿, 等. pH对栉孔扇贝体内几种免疫因子的影响[J]. 中国水产科学, 2006, 13(4): 650-654.  
Fan Z J, Yang A G, Liu Z H, et al. Effect of pH on the immune factors of *Chlamys farreri*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(4): 650-654(in Chinese).

## Delayed influence of quality-determination-period emersion on the recovery of live scallop (*Patinopecten yessoensis*) re-immersed

ZHOU Yanlin, LIU Junrong\*, TIAN Yuanyong, YAN Lixin, WANG Xuanfei, XU Tanye  
(College of Food Science and Engineering, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

**Abstract:** To explore the delayed influence of post-harvest treatment on the quality change of live scallops, the experiment was performed in two post-harvest stages, including a quality determination period (QDP) corresponding to on-board handling and post quality determination period (P-QDP) corresponding to land-based treatment. There were three chilled-emersing treatments of different duration during the QDP: 12 h(E12), 24 h(E24) and 48 h (E48). In the P-QDP scallops are re-immersed into sea water for 24 h (E12'nd E24'). The quality of live scallops was measured by mass loss rate, survival rate, pH, glycogen content, ATP and ATP-related compounds, AEC value and SOD activity. The results show that the quality of QDP scallops declined in different degrees: E48 presented a 100% mortality and the survival rate in 24 h was 100%. Glycogen content declined sharply from 18.95 (Initial) to 14.66 mg/g (12 h). The QDP had a delayed influence on live scallop in the P-QDP: all indicators show E12' and E24' can recover temporarily but the shelf-life of E12' is superior to E24'. The study shows that there is a quality determination period post-harvest during which the handling has delayed influence on the recovery of live scallop after re-immersing. The post-harvest scallops can be recovered and 12 h treatment in the QDP is helpful for recovery. If treatment conditions are effectively chosen during the QDP, live scallops would have better recovery after re-immersing, otherwise, if overstressed during the early post-harvest stage i.e. QDP, even if indicators are good by the end of the period, depletion would continue in the P-QDP, affecting vitality and shelf-life of live products.

**Key words:** *Patinopecten yessoensis*; post-harvest; quality determination period; emersed; re-immersed

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

**Funding projects:** National Key R & D Program of China (2018YFD0901001); National Natural Science Foundation of China (31671790)