

捕后处置对活品底播虾夷扇贝生化代谢的影响

刘金洋¹, 刘俊荣^{1*}, 田元勇¹, 张 龙¹, 刘慧慧¹, 李冬梅²

(1. 大连海洋大学食品科学与工程学院, 辽宁 大连 116023;

2. 大连工业大学食品学院, 辽宁 大连 116034)

摘要: 为了研究干藏与湿藏对活品虾夷扇贝生化代谢的影响, 探讨捕后干露、碰撞和温度3个胁迫因素对活品虾夷扇贝生化代谢的影响。将采捕后的虾夷扇贝分别进行干藏和湿藏处置, 干藏采取冰藏方式, 保藏时间为4 d; 湿藏采取循环海水方式, 同时施加温度与碰撞2种胁迫因素作对比, 保藏时间为7 d。以闭壳肌中糖原、ATP及其关联物、AEC值、pH值和水溶性蛋白为指标, 对4个处置组的活品虾夷扇贝进行跟踪分析。干藏条件下扇贝pH值、ATP含量和AEC值均迅速下降, 生理状态快速恶化, 短期内(1~3 d)扇贝陆续死亡。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。研究表明, 捕后处置方式与活品虾夷扇贝的生化代谢有密切联系, 干露是虾夷扇贝活品流通过程中比较突出的胁迫因素, 温度和碰撞也会在一定程度上影响扇贝的生理状态。

关键词: 虾夷扇贝; 捕后处置; 生化代谢; 胁迫

中图分类号: Q 493; S 984

文献标志码: A

中国是世界上最大的贝类养殖国家, 年产量占世界总产量的60%以上。据《中国渔业统计年鉴2015》统计显示, 2014年我国贝类产量1316.55万t, 其中扇贝164.94万t^[1]。虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)是重要的海洋经济养殖贝类, 具有很高的经济价值。虾夷扇贝主要以活品形式流通, 部分以闭壳肌为主的各类加工品形式流通。

国内外针对采捕后贝类的生化代谢变化的研究报道较少。采捕后的贝类对胁迫的耐受程度会受贝类的种类、规格、贝龄以及生理状态等影响^[2-3]。就扇贝而言, 研究主要局限于冷藏闭壳肌的贮藏性^[4-8], 有关鲜活保藏的研究很少, 而捕后处置中胁迫因素对扇贝生理状态的影响更很少被提及。根据最近研究报道, 采捕后的底播虾夷扇贝在活品流通过程中, 其风味品质受干露、碰撞、堆积、温度、供氧以及饥

饿等胁迫因素影响, 总体呈现下降趋势^[9]。捕后流通过程中的胁迫对活品虾夷扇贝生化代谢的影响直接关系到产品品质。

实地调查研究表明, 采捕后的底播虾夷扇贝在净化前, 历经多次分拣和转运^[10], 期间干露、碰撞、温度是重要的胁迫因素。捕后处置对于活品代谢的影响关系到贮藏阶段贝类的生命状态, 以致影响到终端产品品质。本研究结合生产实践, 重点围绕干露、温度和碰撞3个主要胁迫因素, 对活品虾夷扇贝采捕后的生化代谢规律进行了探讨。

1 材料与方法

1.1 实验材料

底播虾夷扇贝于2015年3月21日采于辽宁獐子岛海域(同区域同批次同规格), 规格为(89.2±

收稿日期: 2015-10-26 修回日期: 2016-06-12

资助项目: 国家自然科学基金(31271980); 国家海洋食品工程技术研究中心开放课题; 辽宁省教育厅一般项目(L2015082)

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

8.5) g/只, 壳长(90.6±3.1) cm。将扇贝置于泡沫保温箱用冰袋干露冷藏, 5 h内运送回大连海洋大学实验室。

1.2 实验仪器

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; OSD-BP C₁₈色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm), 大连依利特公司; 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。

1.3 实验方法

原材料处理 将扇贝置于4种处置条件下进行保藏, 分别为干藏组(D-I)、5 °C湿藏组(W-1)、10 °C湿藏组(W-2)和10 °C伴随机械碰撞湿藏组(W-3), 其中干藏组40只, 其余组均为70只。干藏即在加冰袋的泡沫保温箱内无水保藏, 保藏时间为4 d; 湿藏即在循环海水中进行持续增氧保藏, 保藏时间为7 d。碰撞湿藏即在10 °C的循环海水中进行保藏, 并在保藏过程中人工模拟分拣过程中产生的碰撞(50 cm高处摔落), 每天摔落3次。具体操作参数及样品组代码见表1。

表 1 4组活品虾夷扇贝的捕后处置参数

Tab. 1 Post-harvest handling parameters of 4 treatments for *P. yessoensis*

处置组 groups	代码 code	暂养时间/d deputation time	温度/°C temperature	溶解氧/(mg/L) dissolved oxygen	密度/(kg/L) density	机械碰撞 mechanical shock	介质环境 medium
干藏	D-I	4	0~4			否	空气、冰袋
湿藏-1	W-1	7	5±1	5~9	10/100	否	海水
湿藏-2	W-2	7	10±0.5	5~9	10/100	否	海水
湿藏-3	W-3	7	10±0.5	5~9	10/100	是	海水

注: D. 干藏; W. 湿藏

Notes: D. dry storage; W. wet storage

每天从各处置组取10只扇贝, 迅速去壳取闭壳肌并在低温条件下匀浆, 干冰速冻, 于-80 °C冷藏。0 d样本在獐子岛现场取样后干冰速冻运回实验室。

pH值的测定 称取2 g闭壳肌匀浆贝肉于烧杯中, 加0.02 mol/L碘乙酸钠溶液10 mL, 用玻璃棒充分搅拌, 测定pH值。

ATP及其关联物的测定 参考Hu等^[11]的方法, 对闭壳肌ATP关联物进行提取。取1 g闭壳肌匀浆贝肉, 加入5%的PCA (perchloric acid) 10 mL, 用玻璃棒捣碎, 冰浴15 min后用2 mol/L KOH调pH至2~3.5, 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。

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); 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 (adenylate energy charge)值是用来反映动物受环境胁迫程度的指标。计算公式: AEC (%)=[(ATP+1/2ADP)/(ATP+ADP+AMP)]×100

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)对闭壳肌糖原含量进行测定。

水溶性蛋白含量及组成的测定 称取5 g闭壳肌匀浆贝肉, 加去离子水25 mL, 在8000 r/min条件下均质3次, 每次0.5 min。将匀浆液在10 000×g, 4 °C条件下离心10 min, 上清液即为水溶性蛋白溶液, 双缩脲法测定蛋白浓度。参考Verrez-Bagnis等^[12]的方法, 采用SDS-PAGE电泳分析蛋白质组成。

1.4 数据分析

采用SPSS 20.0统计软件进行线性判别分析(linear discriminant analysis), 以下简称LDA。

2 结果与分析

2.1 捕后处置对活品虾夷扇贝生化代谢的影响

pH值的变化 扇贝闭壳肌pH值的变化可以在一定程度上反映其生理状态。干藏与湿藏的扇贝pH值有明显差异, 随着保藏时间的延长, 干藏组扇贝闭壳肌pH值呈下降趋势(图1)。保藏4 d后, 干藏扇贝的pH值逐渐下降至6.3, 而湿藏扇贝的pH值一直维持在7.0~7.2。干藏条件下, 可能由于扇贝长期处于缺氧的状态, 糖酵解生成的丙酮酸被氧化成乙酸, 导致pH不断下降^[13]。各湿藏条件之间pH值无显著差异($P>0.05$)。

ATP及其关联物的变化 肌肉中ATP含量能较好地反映扇贝的生理状态。干藏与湿藏条

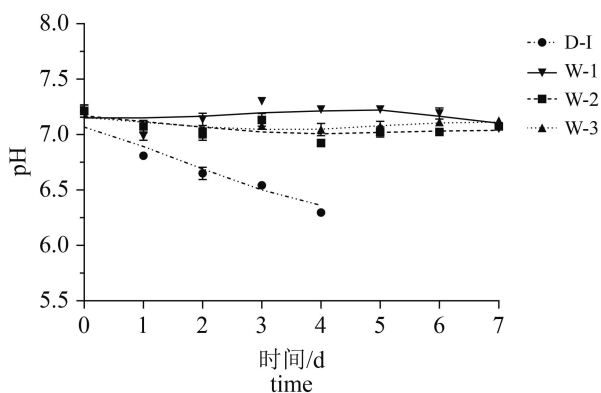


图1 不同处置条件下虾夷扇贝闭壳肌pH值的变化

Fig. 1 Changes of pH value in adductor muscle of *P. yessoensis* under different post-harvest handling

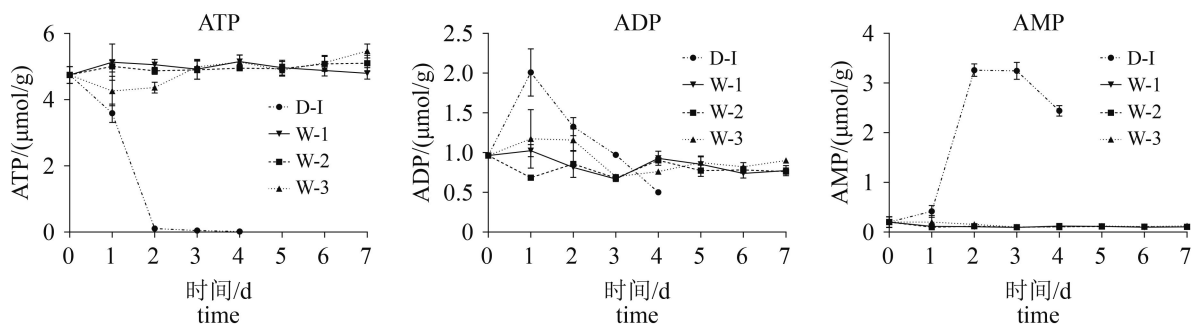


图2 不同处置条件下虾夷扇贝闭壳肌ATP及其关联物的变化

Fig. 2 Changes in content of ATP and its related compounds in adductor muscle of *P. yessoensis* under different post-harvest handling

件下的扇贝有截然不同的ATP变化曲线(图2)。干藏条件下, 扇贝闭壳肌ATP含量呈直线下降趋势, 2 d后降为0。湿藏条件下, 扇贝闭壳肌ATP含量始终保持在较高水平。5 °C和10 °C湿藏组ATP含量无显著差异($P>0.05$), 10 °C条件下, 施加碰撞导致扇贝ATP含量短暂下降, 3 d后恢复到正常水平。实验结果表明, 5~10 °C内, 温度对扇贝ATP含量的变化无显著影响, 而碰撞胁迫会导致扇贝生理状态下降。

ADP和AMP积累越多说明ATP降解越彻底, 扇贝生理状态越差。干藏初期(0~2 d), 扇贝闭壳肌ADP和AMP迅速积累, 生理状态迅速下降; 湿藏条件下扇贝闭壳肌的ADP和AMP含量无明显变化。

AEC值是广泛用于评价贝类生理状态的指标, 能灵敏地反映贝类所受到的胁迫^[14-16], 贝类在未受到胁迫时AEC值一般为87%~94%, 受到胁迫后下降^[17], AEC值与动物生理状态的关系如表2所示。

根据ATP关联物的分析结果, 扇贝的初始AEC值为88.4%(图3)。干藏条件下, 1 d后扇贝的AEC值下降至76.36%, 2 d后迅速下降至16.44%, 根据AEC值与动物生理状态的关系, 干藏扇贝在2 d后进入了不可逆的生理状态(表2)。可见, 干露是扇贝保藏过程中重要的胁迫因素, 致使扇贝生理状态快速恶化, 进而导致死亡。为了保证扇贝在保藏或运输过程中的存活率, 应控制干藏时间在24 h以内。湿藏条件下, 扇贝AEC值均保持在较高水平, 扇贝生理状态良好。5~10 °C湿藏范围内, 温度对扇贝生理状态影响较小。此外, 碰撞胁迫虽然导致扇贝生理状态下降, 但在7 d内未发生死亡; 在Woll等^[18]研究中, 高强度碰撞会导致扇贝在5 d内大量死亡, 而本研究中施

表 2 AEC值与动物生理状态的关系
Tab. 2 The relationship between AEC value and physiological states

AEC/%	生理状态 physiological states
75<AEC<90	最优生长、繁殖条件
50<AEC<75	缓慢生长、不能繁殖(可恢复)
AEC<50	不能生长和繁殖(不可逆)、死亡

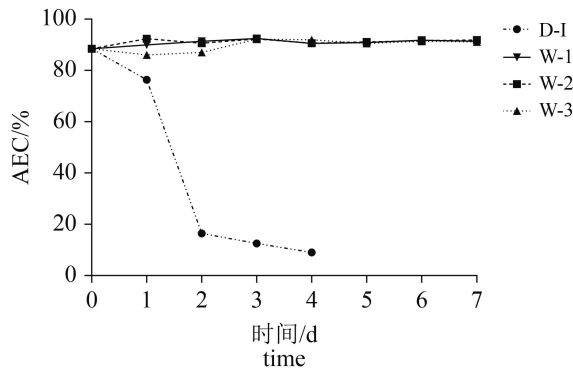


图 3 不同处置条件下虾夷扇贝闭壳肌AEC值的变化
Fig. 3 Changes of AEC value in adductor muscle of *P. yessoensis* under different post-harvest handling

加的碰撞强度较低,尚处在扇贝可耐受范围内。

通过以上的实验结果,短时间(1 d以内)干藏不会导致扇贝死亡,长时间干藏会导致扇贝因缺氧而生理状态进一步恶化,直至死亡。研究中设计的碰撞强度对扇贝生理状态的影响则是可逆的,扇贝经过3 d的适应和调整,ATP含量和AEC值均逐渐恢复到较高的水平。

糖原的变化 糖原是扇贝主要的储能物质,也是扇贝重要的呈味物质,贝类组织中糖原的变化情况是反映贝类生理状态的重要指标^[19-21]。贮藏过程中扇贝闭壳肌糖原含量呈下降趋势(图4)。扇贝在采捕和运输过程中经受了干露、机械碰撞、温度变化等胁迫影响,复水后需大量能量以调整其生理状态,因此会消耗较多糖原。干藏条件下,扇贝处于缺氧状态,ATP大量消耗,糖原利用量增加,但本实验结果显示,糖原含量无明显变化,具体原因还需进一步研究。湿藏条件下,5℃组较10℃组糖原含量高;相同温度(10℃)条件下,施加机械胁迫会进一步加剧糖原的消耗。

2.2 捕后处置对活品虾夷扇贝蛋白质组成的影响

蛋白质组学技术已应用到水产动物的研究

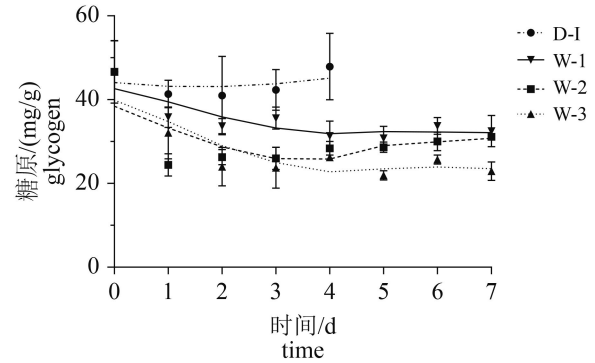


图 4 不同处置条件下虾夷扇贝闭壳肌糖原含量的变化
Fig. 4 Changes in content of glycogen in adductor muscle of *P. yessoensis* under different post-harvest handling

中^[22-23], Yamashita等^[24]报道,大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta*)在长期饥饿条件下,其肌肉组织蛋白酶活性显著升高,蛋白组成发生了显著变化。目前,未见有关贝类在活品流通过程中蛋白组成变化的研究报道,对虾夷扇贝捕后处置过程中的水溶性蛋白组成进行分析,发现4种处置条件下,扇贝闭壳肌水溶性蛋白组成未发生明显变化(图5),可能是由于低温条件下扇贝代谢缓慢,未表现出差异。

4种处置条件下扇贝闭壳肌水溶性蛋白含量均低于初始含量,可见捕后早期胁迫对扇贝的影响不可忽视。4种处置条件下,扇贝水溶性蛋白含量均为25~35 mg/g,干藏组扇贝的蛋白含量略低于其他处置组,但并不显著(图6)。

2.3 不同处置条件对活品虾夷扇贝代谢的差异性分析

用LDA对不同处置条件下虾夷扇贝的各生理指标进行线性判别分析,相同处置条件下的扇贝有一定的归类现象,不同处置条件下的扇贝有一定的区分(图7)。特别是对于干藏和湿藏两类处置方式,扇贝的生化代谢差异较大,再一次验证了干露是影响扇贝生化代谢比较突出的胁迫因素,也说明采用的指标能较好地反映扇贝的生理状态。

3 结论

虾夷扇贝的捕后处置对其生化代谢有非常重要的影响。干露是捕后处置过程中最严重的胁迫因素,干藏条件下扇贝pH、ATP、AEC值均迅速下降,生理状态快速恶化,进而导致死亡。

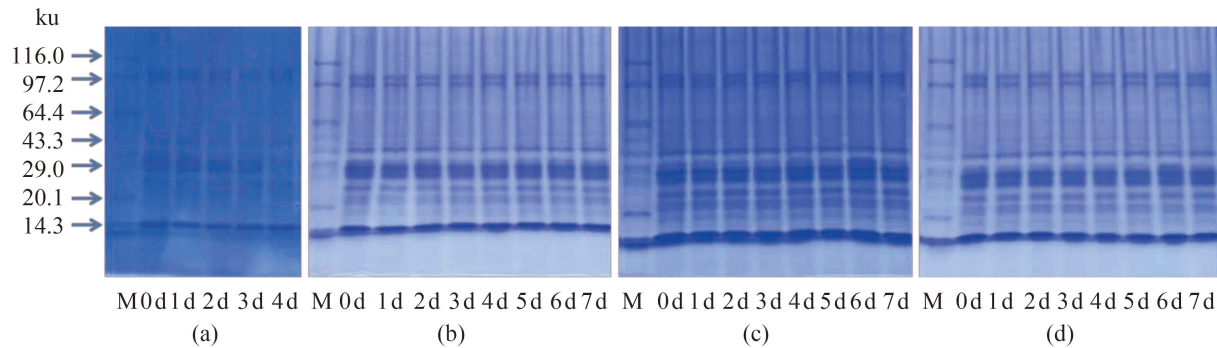


图 5 不同处置条件下虾夷扇贝闭壳肌水溶性蛋白组成的变化

(a)干藏处置组(D-I); (b)5 °C湿藏处置组(W-1); (c)10 °C湿藏处置组(W-2); (d)10 °C伴随机械碰撞湿藏处置组(W-3); M.标准蛋白; 0~7 d.保藏时间

Fig. 5 Changes in constitution of water-soluble protein in adductor muscle of *P. yessoensis* under different post-harvest handling

(a) dry storage group (D-I); (b)5 °C wet storage group (W-1); (c) 10 °C wet storage group (W-2); (d) 10 °C wet storage with mechanical shock group (W-3); M. Marker; 0~7 d. storage time

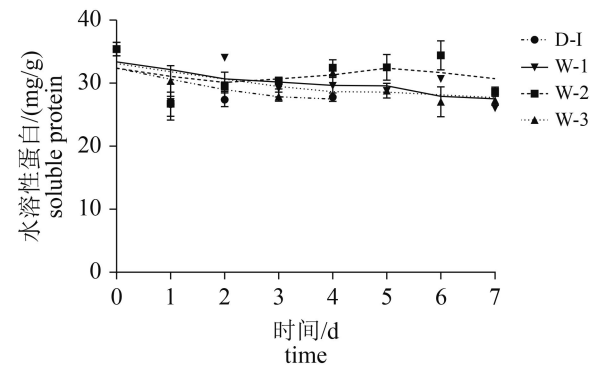


图 6 不同处置条件下扇贝闭壳肌水溶性蛋白含量的变化

Fig. 6 Changes in content of water-soluble protein in adductor muscle of *P. yessoensis* under different post-harvest handling

机械碰撞条件下，糖原的消耗加剧，ATP含量和AEC值降低，扇贝生理状态下降。此外，由于本研究条件下的机械胁迫在可耐受范围内，扇贝生理状态是可恢复的。5~10 °C内，温度对扇贝生化代谢影响较小，扇贝生理状态较好，较低的保藏温度对维持高的糖原含量有积极作用。

参考文献：

[1] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
Ministry of Agriculture and Fisheries. China Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2015 (in Chinese).

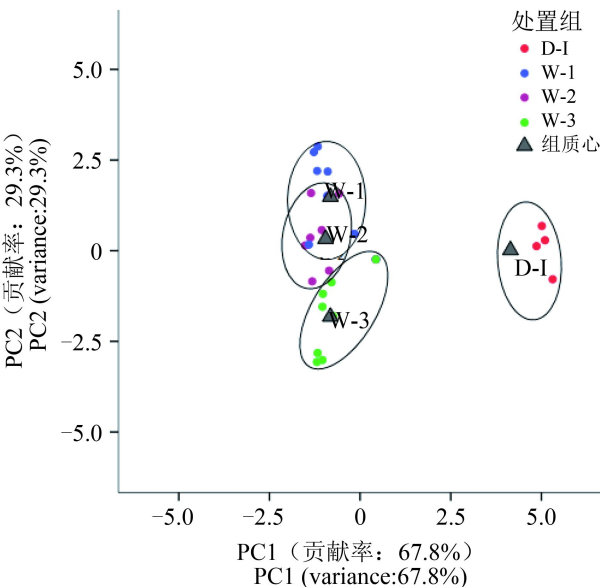


图 7 不同处置条件下的虾夷扇贝代谢指标的LDA分析

Fig. 7 LDA analysis of physiological index of *P. yessoensis* under different post-harvest handling

[2] Yusufzai S I, Singh H, Shirdhankar M M. An evaluation of different methods for transportation of the freshwater mussel *Lamellidens corrianus* (Lea 1834)[J]. Aquaculture International, 2010, 18(4): 679-692.
[3] Christophersen G, Román G, Gallagher J, et al. Post-transport recovery of cultured scallop (*Pecten maximus*) spat, juveniles and adults[J]. Aquaculture International, 2008, 16(2): 171-185.
[4] 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.
- [5] Paheco-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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Yokoyama Y, Sakaguchi M, Kawai K, *et al.* Chemical indices for assessing freshness of shellfish during storage[J]. *Fisheries Science*, 1994, 60(3): 329-333.
- [9] 于笛, 刘俊荣, 杨君德, 等. 海水养殖虾夷扇贝供应链可追溯管理体系的探讨[J]. *水产科学*, 2013, 32(2): 117-124.
- Yu D, Liu J R, Yang J D, *et al.* The supply chain traceability management system for yesso scallop *Patinopecten yessoensis* culture[J]. *Fisheries Science*, 2013, 32(2): 117-124(in Chinese).
- [10] 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).
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Picado A, Le Gal Y. Adenylate energy charges as a tool for evaluating sub-lethal toxicity[J]. *Qatar University Science Journal*, 1999, 19: 36-45.
- [15] Maguire J A, Jenkins S, Burnell G M. The effects of repeated dredging and speed of tow on undersized scallops[J]. *Fisheries Research*, 2002, 58(3): 367-377.
- [16] Marin M G, Moschino V, Meneghetti F, *et al.* Effects of mechanical stress in under-sized clams, *Tapes philippinarum*: a laboratory approach[J]. *Aquaculture International*, 2005, 13: 75-88.
- [17] Lucas A, Beninger P G. The use of physiological condition indices in marine bivalve aquaculture[J]. *Aquaculture*, 1985, 44(3): 187-200.
- [18] Woll A K, Bakke S. Stress and mortality in the supply chain of live scallops *Pecten maximus* L., from scuba diver to market[J]. *Aquaculture Research*, 2015, doi: 10.1111/are.12906.
- [19] Patterson M A, Parker B C, Neves R J. Glycogen concentration in the mantle tissue of freshwater mussels(Bivalvia: Unionidae) during starvation and controlled feeding[J]. *American Malacological Bulletin*, 1999, 15(1): 47-50.
- [20] Uzaki N, Kai M, Aoyama H, *et al.* Changes in mortality rate and glycogen content of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* during the development of oxygen-deficient waters[J]. *Fisheries Science*, 2003, 69(5): 936-943.
- [21] Hummel H, Wolf L D, 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.
- [22] 王志新, 梁海鹰, 杜晓东, 等. 蛋白质组学在贝类研究中的应用[J]. *生命科学研究*, 2014, 18(2): 184-188.
- Wang Z X, Liang H Y, Du X D, *et al.* Applications of proteomic techniques to mollusks research[J]. *Life Science Research*, 2014, 18(2): 184-188(in Chinese).
- [23] 崔军, 闻涛, 王秀利. 差异蛋白质组学技术在水产动物研究中的应用[J]. *生物技术通报*, 2012(1): 46-53.
- Cui J, Wen T, Wang X L. Application of differential proteomics on aquatic animal[J]. *Biotechnology Bulletin*, 2012(1): 46-53(in Chinese).

- [24] Yamashita M, Suzuki M. Elevation of catheptic activity in the muscle of juvenile chum salmon during starvation[J]. Bulletin of National Research Institute of Fisheries Science, 1996(8): 29-34.

Effects of post-harvest handling on biochemical metabolism of bottom cultured live scallop (*Patinopecten yessoensis*)

LIU Jinyang¹, LIU Junrong^{1*}, TIAN Yuanyong¹, ZHANG Long¹, LIU Huihui¹, LI Dongmei²

(1. College of Food Science and Engineering, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;

2. School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

Abstract: The paper studied the effects of dry storage and wet storage on biochemical metabolism of live scallop *Patinopecten yessoensis* during post-harvest process, and discussed the influences of stressors (exposure, mechanical shock and temperature). Dry storage is stored with ice for 4 days. Wet storage is stored with circulating seawater, including three groups: 5 °C, 10 °C and 10 °C with mechanical shock, for 7 days. We analyzed the biochemical index of ATP related compounds, glycogen, AEC value, pH value and water soluble protein. The results showed that under dry storage, the ATP content, AEC and pH value in the adductor muscle of scallop decreased rapidly, eventually leading death. Under wet storage of 5 and 10 °C, the scallop kept higher ATP content, AEC and pH value, and wet storage of 5 °C could maintain higher glycogen content than 10 °C. Also at 10 °C, adding mechanical shock will lead to the decrease of ATP content, AEC value and the increase of the consumption of glycogen. Therefore, the biochemical metabolism of live scallops is closely related to the post-harvest handling. Exposure is the most harmful stressor, the mechanical shock and temperature could also affect the physiological status.

Key words: *Patinopecten yessoensis*; post-harvest handling; biochemical metabolism; stress

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

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (31271980); National Engineering Research Center of Seafood Open Projects; Liaoning Province of Education General Project (L2015082)