

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2024.80161

运输方式对活鲍品质的影响

闫欣 姚艳艳 张筱雨 孙飞 倪甜

(威海长青海洋科技股份有限公司, 山东 荣成 264300)

摘要: [目的]探究运输方式对活鲍品质的影响。[方法]采用海水恒温与无水低温方式分别模拟运输 60 h, 并对活鲍的品质指标、代谢酶活性、显微结构进行测定和评价。[结果]随着运输时间的延长, 两组运输方式下活鲍的水分、粗蛋白、粗脂肪、糖原、pH、感官均呈下降趋势, 挥发性盐基氮(TVB-N)含量呈上升趋势; 海水恒温组活鲍的所有指标变化缓慢, 60 h 时的存活率达 90% 以上; 无水低温组活鲍在运输第 30 h 开始死亡, 鲍的活力、气味、腹足评分在 30~60 h 内显著降低($P < 0.05$), 尤其在运输 48 h 后各项评分均低于 3 分; 活鲍的糖原、粗蛋白等含量快速降低, 乳酸和 TVB-N 含量分别第 30, 54 h 显著上升($P < 0.05$), 乳酸脱氢酶(LDH)和超氧化物歧化酶(SOD)活性先降低后升高再降低; 运输 60 h 时, 海水恒温组鲍的腹足肌纤维结构变化较小, 而无水低温组发生了明显变化。[结论]当运输时间 < 30 h 时, 两种运输方式均可以较好地保证活鲍的存活率及产品质量, 若运输时间 > 48 h, 采用海水恒温运输方式能更好地保持皱纹盘鲍的品质和风味, 且存活率更高。

关键词: 活鲍; 产品质量; 无水低温; 运输

Effects of different transport modes on the quality of live abalone

YAN Xin YAO Yanyan ZHANG Xiaoyu SUN Fei NI Tian

(Weihai Changqing Ocean Science Thechnology Co., Ltd., Rongcheng, Shandong 264300, China)

Abstract: [Objective] Investigated the effects of different transport modes on the quality of live abalone. [Methods] Constant temperature transportation with seawater and low temperature transportation without water were used to simulate transportation for 60 h respectively, and the quality index, metabolic enzyme activity and microstructure of live abalone were determined and evaluated. [Results] As time went on, water, crude protein, crude fat, glycogen, pH, and sensory evaluation decreased in both groups, while TVB-N increased. All indicators of abalone in seawater constant temperature group changed slowly, the survival rate of abalone was over 90% by simulated transport for 60 h. However, in no water low temperature group, the abalone began to die at 30 h, and the vitality, odor and abdominal foot score of live abalone decreased significantly from 30 h to 60 h ($P < 0.05$), especially after 48 h, all the scores were lower than 3 points. the glycogen and crude protein of abalone decreased rapidly, and the content of lactic acid and TVB-N increased significantly from 30 h and 54 h respectively ($P < 0.05$), LDH activity and SOD activity decreased first, then increased, and decreased finally. The abdominal muscle microstructure of abalone showed at 60 h, the muscle fiber structure of abalone in the seawater constant temperature group did not change much, while in the no water low temperature group changed significantly. [Conclusion] The simulated transportation time within 30 h, both transportation modes could better ensure the surviving and product quality of live abalone, when exceeds 48 h, the seawater constant temperature transportation could better maintain the quality and flavor of the abalone, and the survival rate was higher.

Keywords: live abalone; quality; no water low temperature; transportation

皱纹盘鲍 (*Haliotis discus hannai*) 肉细味鲜, 营养丰富, 被称为“海味之冠”。活体皱纹盘鲍的流通主要包括采捕、分拣、净化、运输及销售等环节, 各环节均会出现不同程度的胁迫因素, 使鲍鱼产生应激反应^[1-2], 引起体内

能源及风味物质的变化, 从而导致品质下降^[3]。

目前, 市场大规模流通的活体皱纹盘鲍主要采取模拟保活法, 通过模拟鲍鱼生长环境进行低温封闭式的集装箱卡车陆路运输或海路船运^[4]。随着电子商务的发展,

基金项目: 山东省农业良种工程项目 (编号: 2020LZGC016)

通信作者: 姚艳艳 (1986—), 女, 硕士。E-mail: yaoyanyan101@163.com

收稿日期: 2024-02-23 改回日期: 2024-10-24

网上的零售模式也成为活体鲍鱼销售的途径之一,商家常采用无水低温保活法运输,但由于受保温技术的制约,鲍鱼常因为泡沫箱内温度升高而死亡。

有关鲍鱼的保活流通方式研究主要包括模拟保活法、生态冰温保活法和低温保活法等^[5],而有关电商采用的简易低温保活运输方式的研究较少,尤其是此种方式下活体鲍的营养与品质是如何变化的,适宜的运输时长等尚未见报道。简易低温保活的关键在于包装,泡沫箱内温度变化与箱子厚度、冷冻介质以及冰量有直接关系,泡沫箱越厚,冰量越多,保冷效果越好,但考虑运输成本以及保活目的,在实际操作中泡沫箱不能太厚,冰量也不能太多。研究拟结合市场实践和企业能接受的包装成本,选择市场常见的EPS泡沫箱,蓄冷效果较好的保鲜冰袋^[6],作为无水低温运输的保冷材料,对比分析海水恒温运输与无水低温运输条件下活体皱纹盘鲍的产品质量变化规律,推断不同运输方式的最佳运输时长,为活体鲍鱼在电商消费市场的供应提供技术依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

皱纹盘鲍:壳长(70.32±5.47) cm,体重(50.23±3.68) g,山东荣成桑沟湾筏式养殖;

EPS泡沫箱:长×宽×高为360 mm×210 mm×140 mm,壁厚25 mm,荣成亿源包装材料有限公司;

水箱:PP材质,长×宽×高为320 mm×230 mm×180 mm,广州万智塑胶制品有限公司;

食品级铝箔保温袋:壁厚3 mm,济南历下精美塑料包装厂;

保鲜冰袋:材质为PE复合膜+无纺布+高分子蓄冷剂,吸水3~5 min后冷冻12 h,爱斯小熊(沧州)制冷科技有限公司;

肝/肌糖原测定试剂盒、乳酸(LD)测试盒、总超氧化物歧化酶(T-SOD)测定试剂盒、乳酸脱氢酶(LDH)测定试剂盒:南京建成生物工程研究所;

其他试剂均为国产分析纯。

1.2 主要仪器

智能光照培养箱:GXZ-280B型,宁波江南仪器厂;

温光度记录仪:MX2202型,美国Onset公司;

分析天平:AL104型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

电热鼓风干燥箱:DHG-9203A型,中仪国科(北京)科技有限公司;

实验室pH计:PHSJ-4F型,上海仪电科学仪器股份有限公司;

索式提取器:SXT-02型,上海洪纪仪器设备有限公司;

凯式定氮仪:KDN-2008型,上海纤检仪器有限公司;

紫外可见分光光度计:UV-1750型,岛津仪器(苏州)有限公司;

生物显微镜:Eclipse E200型,尼康仪器(上海)有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 皱纹盘鲍暂养 鲍在码头冲洗干净后,直接装入周转箱内,30 min内运回实验室。按照 $m_{\text{鲍}}:m_{\text{海水}}$ 为1:6暂养1 d,持续充氧,保持溶解氧质量浓度≥6 mg/L,海水为沉淀砂滤后的天然海水(后同),水温(15±1) °C,暂养和试验期间均不投喂食物。

1.3.2 鲍无水低温组加冰量的确定

(1) 包装方式:用铝箔保温袋铺在EPS泡沫箱内,保温袋内底层放置不同质量(1.0,1.5,2.0,2.5 kg)保鲜冰袋,冰上铺一层浸湿海水的毛巾,再摆放1 kg鲍(鲍中间放置一个监测温度的温光仪),鲍上再放一层湿毛巾,保温袋封口,用胶带密封后置于室温(温度变化范围为22~30 °C)贮藏,分别于贮藏第24,36,48 h记录鲍的存活数,并按式(1)计算存活率。

$$S = \frac{B}{A} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

S ——存活率,%;

A ——鲍的总数量,个;

B ——鲍的存活数量,个。

(2) 鲍存活的辨别方法:将鲍置于(15±1) °C的充氧海水中暂养30 min,取出,腹足朝上,用手指按压腹足,观察腹足是否有收缩反应,无反应即可判断鲍已死亡。

1.3.3 鲍的包装与处理 鲍暂养后,将其分为海水恒温组和无水低温组,每组取样时间设3个平行,每个平行各1 kg。海水恒温组[(15±1) °C智能光照培养箱中,不设置光周期]置于充氧水箱中,其内装有已预冷至(15±1) °C的海水, $m_{\text{鲍}}:m_{\text{海水}}$ 为1:5,试验期间不换水、不投喂;无水低温组采用1.3.2中的方式包装,泡沫箱封口后于室温存放(温度变化范围为22~30 °C),周围堆积空的泡沫箱,模拟快递运输。两组分别于运输第0,6,12,24,30,36,42,48,54,60 h取样监测产品质量相关指标。

1.3.4 主要指标测定方法

(1) 感官评价:参考GB 2733—2015和GB/T 29605—2013,挑选10位感官评价人员组成评价小组,按表1对活鲍的气味、腹足、活力进行评价。

(2) 水分:按GB 5009.3—2016执行。

(3) 粗蛋白:按GB 5009.5—2016执行。

(4) 粗脂肪:按GB 5009.6—2016执行。

(5) 糖原:使用肝/肌糖原测定试剂盒(比色法)测定。

表 1 感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation criteria

气味	腹足	活力	分值
固有新鲜气味,无异味	腹足黄褐色、饱满肥厚,弹性较强,压痕立即消失	腹足受刺激后,能迅速收缩,倒置后可扭转	3.5~4.0
较新鲜,无异味	腹足黄褐色、略饱满,有弹性,压痕较快消失	腹足刺激后,可迅速收缩,但倒置后不可扭转	3.0~3.4
略有腥味	腹足黄褐色、略饱满,微有弹性,压痕慢慢消失	腹足刺激后,可慢慢收缩	2.0~2.9
腥味较大	腹足褐色、较瘦,无弹性,压痕不消失	腹足刺激后,不收缩	1.0~1.9

(6) pH值:按 GB 5009.237—2016 执行。

(7) 挥发性盐基氮(TVB-N):按 GB 5009.228—2016 执行。

(8) 乳酸:参照乳酸试剂盒说明书。

(9) 乳酸脱氢酶(LDH)活力:参照乳酸脱氢酶测定试剂盒说明书。

(10) 总超氧化物歧化酶(SOD)活力:参照总超氧化物歧化酶测定试剂盒说明书。

1.3.5 活鲍腹足的显微结构观察 试验前取活鲍腹足样品,计作初始 0 h,将其切成 0.5 cm×0.5 cm×0.5 cm 的正方体,浸入 Bouin 液中常温固定 24 h 以上,再经乙醇脱水、二甲苯透明、石蜡包埋、切片,HE 染色等步骤,制成组织切片,用光学显微镜观察拍照。60 h 试验结束后,分别取海水恒温组和无水低温组活鲍腹足进行显微观察。

1.4 数据处理

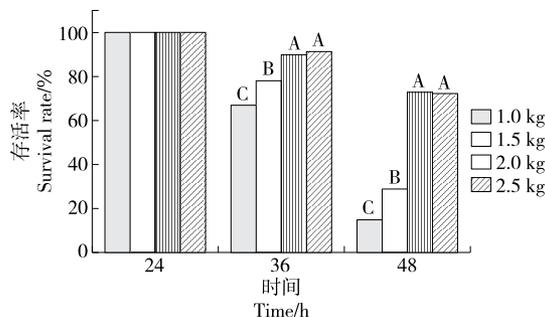
所有试验结果采用 3 次试验的平均值和标准误差表示,利用 Excel 和 Origin 50 软件进行数据处理和作图,使用 SPSS 19.0 软件进行数据间显著性和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 加冰量对鲍存活率的影响

皱纹盘鲍生长的最适温度一般为 10~22℃,当水温高于 26℃ 就会出现死亡^[7],在无冰低温运输过程中,鲍常常会因箱内温度过高而致死,因此初始冰量是保持泡沫箱内低温的关键因素之一。由图 1 可知,24 h 时,4 种鲍存活率均为 100%;36 h 时,鲍存活率存在显著性差异($P < 0.05$),加冰量为 1.0 kg 的鲍存活率为 67%,加冰量为 2.5 kg 的鲍存活率仍可达 91.3%;48 h 时,加冰量为 2.0、2.5 kg 的鲍存活率最高,且达到 70% 以上。

由图 2 可知,泡沫箱内温度随着加冰量的增加而降低,当加冰量为 1.0、1.5、2.0、2.5 kg 时,泡沫箱内温度最低分别为 8.45、4.54、3.13、1.34℃,维持在 15℃ 以下的时长分别是 26、31、34、41 h。2.5 kg 的加冰量虽然可以使箱内温度更低且维持较低温度的时间更长,但鲍存活率在 48 h 时无显著优势,可能与温度骤变有关^[8],也可能与鲍互相挤压有关。因此,为了保证皱纹盘鲍的最大存活率,综合考虑包装及运输成本、温度等情况,选用 2.0 kg 加冰量进行后续试验。



字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

图 1 不同加冰量下鲍存活率随时间的变化

Figure 1 Change of abalone survival rate over time at different ice addition amounts

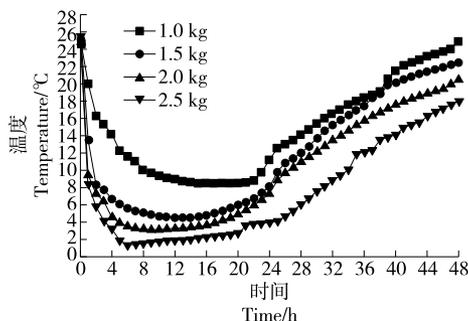


图 2 不同加冰量下泡沫箱内温度随时间的变化

Figure 2 Temperature change of time in the foam chamber under different ice amounts

2.2 运输方式对活鲍品质的影响

2.2.1 鲍存活率 由表 2 可知,随着运输时间的延长,两种运输方式下鲍的存活率均呈下降趋势。海水恒温组在 36 h 出现死亡,无水低温组在 30 h 出现死亡;30~60 h,无水低温组的存活率低于海水恒温组,可能是无水低温组的泡沫箱内温度慢慢升高,不利于鲍的存活;当模拟运输 60 h 时,海水恒温组鲍存活率 $\geq 90\%$,无水低温组鲍存活率仅为 57% 左右。从存活率结果看,两组在 36 h 内存活率均较高,42 h 后差异显著($P < 0.05$)。

2.2.2 感官评价 由图 3 可知,海水恒温组的感官评分高于无水低温组,海水恒温组的感官品质变化不明显,无水低温组则呈下降趋势。18 h 内,两组均能保持较好的感官

表2 不同运输方式下鲍存活率随时间的变化[†]

Table 2 Abalone survival rate over time under different transport modes

时间/h	存活率/%	
	海水恒温组	无水低温组
0	100.00	100.00
6	100.00	100.00
12	100.00	100.00
18	100.00	100.00
24	100.00	100.00
30	100.00	98.41±2.75
36	98.33±2.89	93.63±2.36
42	96.82±2.75 ^a	89.03±2.88 ^b
48	96.82±2.75 ^a	74.20±2.48 ^b
54	95.15±0.13 ^a	66.66±4.77 ^b
60	93.64±2.74 ^a	57.86±3.73 ^b

† 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

品质;24 h后,无水低温组感官评分显著降低($P<0.05$)。

由表3可知,18 h内两组鲍的气味、腹足、活力均较好;30 h时,无水低温组的活力略有降低,但气味和腹足状态仍保持良好;说明运输时间30 h内,两种运输方式都可

表3 不同运输方式下活鲍的感官评分

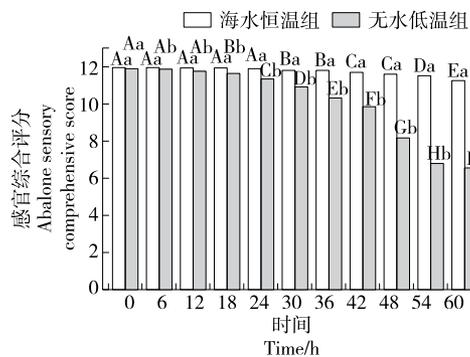
Table 3 Scores sensory of abalone under different transport modes

时间/h	气味		腹足		活力	
	海水恒温组	无水低温组	海水恒温组	无水低温组	海水恒温组	无水低温组
0	3.99±0.01	3.97±0.04	4.00±0.00	3.98±0.05	3.99±0.01	3.99±0.01
6	3.99±0.00	3.97±0.02	3.99±0.01	3.96±0.04	3.99±0.01	3.97±0.03
12	3.98±0.03	3.91±0.04	3.99±0.01	3.97±0.02	3.98±0.02	3.90±0.07
18	3.98±0.02	3.91±0.03	3.99±0.02	3.94±0.03	3.98±0.02	3.82±0.10
24	3.97±0.02	3.89±0.04	3.80±0.01	3.74±0.09	3.97±0.02	3.75±0.12
30	3.93±0.06	3.82±0.05	3.97±0.03	3.57±0.07	3.94±0.07	3.58±0.12
36	3.92±0.05	3.74±0.07	3.97±0.03	3.21±0.14	3.95±0.05	3.42±0.16
42	3.86±0.04	3.55±0.15	3.97±0.03	3.04±0.13	3.89±0.09	3.29±0.17
48	3.82±0.06	2.86±0.20	3.95±0.04	2.55±0.17	3.86±0.07	2.81±0.12
54	3.81±0.06	2.30±0.19	3.94±0.06	2.18±0.12	3.81±0.08	2.34±0.11
60	3.62±0.08	2.23±0.18	3.94±0.05	2.15±0.15	3.74±0.10	2.10±0.09

2.2.3 活鲍腹足水分及主要储能物质 由表4可知,海水恒温组和无水低温组鲍的水分、糖原、粗脂肪、粗蛋白含量均呈下降趋势。

水分是水产品的重要组成部分,与其食用品质紧密相关,当水产品肌肉中的水分流失,其咀嚼性变差,品质也逐渐下降^[9]。海水恒温组的水分缓慢降低,而无水低温组的水

使鲍保持鲜活状态,并维持良好的感官质量。30~60 h,无水低温组可能由于长时间的干露、缺氧,以及随环境温度的升高,鲍活力、气味、腹足评分降低,感官评分低于海水恒温组($P<0.05$),尤其在48 h后,无水低温组鲍各感官评分均低于3分,此时存活率已低于80%,因此推断运输时间 >48 h,可采用海水恒温充氧的方式运输,更能保持活鲍的存活、风味及品质。



大字字母不同表示组内差异显著($P<0.05$);小写字母不同表示组间差异显著($P<0.05$)

图3 不同运输方式下活鲍的感官综合评分

Figure 3 Abalone sensory comprehensive score at different times under different transport modes

分消耗较大,两组分别在6,42 h之后呈显著性差异($P<0.05$)。海水恒温组鲍的水分含量降低主要是其生理代谢消耗所致,降低缓慢;而无水低温组鲍可能是代谢消耗、干露及温度变化刺激引起水分流失,因此无水低温组鲍体内的水分含量较低。

糖原是鲍腹足中重要的储能物质,可及时有效地为

表 4 不同运输方式下活鲍腹足主要成分随时间的变化[†]

Table 4 Changes of the main components of abalone abdominal feet with time under different transport modes

时间/ h	水分/%		糖原/(mg·g ⁻¹)		粗脂肪/%		粗蛋白/%	
	海水恒温组	无水低温组	海水恒温组	无水低温组	海水恒温组	无水低温组	海水恒温组	无水低温组
0	79.05±1.46 ^{Aa}	79.05±1.46 ^{Aa}	54.40±0.35 ^{Aa}	54.40±0.35 ^{Aa}	2.65±0.05 ^{Aa}	2.65±0.05 ^{Aa}	73.60±1.85 ^{Aa}	73.60±1.85 ^{Aa}
6	78.85±0.27 ^{ABa}	77.64±0.29 ^{Bb}	53.89±0.39 ^{Aa}	50.62±0.54 ^{Bb}	2.63±0.02 ^{Aa}	2.67±0.01 ^{Aa}	73.24±0.42 ^{Aa}	73.35±0.16 ^{ABa}
12	77.10±0.22 ^{Ca}	77.54±1.70 ^{Ba}	52.15±0.56 ^{Ba}	48.35±0.62 ^{Cb}	2.60±0.01 ^{ABa}	2.64±0.08 ^{Aa}	73.22±1.04 ^{Aa}	73.03±0.20 ^{ABCa}
18	77.60±0.13 ^{Ca}	76.94±0.96 ^{BCa}	50.85±0.93 ^{Ca}	47.92±1.24 ^{Cb}	2.54±0.03 ^{Bb}	2.64±0.01 ^{Aa}	72.96±0.96 ^{ABa}	72.93±0.68 ^{ABCa}
24	77.76±0.73 ^{BCa}	76.87±0.34 ^{BCa}	49.38±0.58 ^{Ca}	47.62±1.16 ^{Cb}	2.48±0.02 ^{Cb}	2.59±0.02 ^{Aa}	72.10±0.97 ^{BCa}	72.54±0.53 ^{BCa}
30	76.74±0.29 ^{Ca}	76.50±0.49 ^{BCDa}	47.55±0.59 ^{Da}	45.15±0.12 ^{Db}	2.45±0.01 ^{CDa}	2.49±0.03 ^{Ba}	71.84±0.59 ^{Ca}	72.31±0.47 ^{Ca}
36	76.54±1.32 ^{Ca}	75.63±1.76 ^{DEFa}	45.31±0.95 ^{Ea}	43.10±0.33 ^{Eb}	2.41±0.06 ^{Da}	2.44±0.03 ^{Ba}	71.73±0.13 ^{Ca}	71.11±0.61 ^{Da}
42	77.03±0.23 ^{Ca}	75.85±0.54 ^{CDEb}	44.20±0.43 ^{Ea}	40.26±0.83 ^{Fb}	2.39±0.03 ^{Da}	2.28±0.04 ^{Cb}	70.63±0.29 ^{Da}	69.59±0.25 ^{Eb}
48	77.37±2.14 ^{Ca}	75.47±0.28 ^{DEFa}	42.12±1.17 ^{Fa}	38.18±0.88 ^{Gb}	2.30±0.02 ^{Ea}	2.12±0.08 ^{Db}	70.44±0.56 ^{Da}	68.39±0.80 ^{Fb}
54	76.95±1.06 ^{Ca}	75.01±0.16 ^{EFb}	39.06±0.54 ^{Ga}	37.83±0.85 ^{Gb}	2.24±0.00 ^{Ea}	2.12±0.04 ^{Db}	70.18±0.57 ^{Da}	67.69±0.54 ^{Fb}
60	75.18±0.35 ^{Da}	74.58±0.08 ^{Fb}	37.56±2.46 ^{Ha}	37.30±0.53 ^{Ga}	2.15±0.06 ^{Fa}	2.10±0.07 ^{Da}	69.88±0.11 ^{Da}	65.65±0.76 ^{Gb}

† 大写字母不同表示组内差异显著($P<0.05$);小写字母不同表示组间差异显著($P<0.05$)。

机体提供能源物质——葡萄糖,当应对外界胁迫时会主动消耗糖原供机体维持生命活动^[10-11]。有研究^[12]表明,糖原含量高会影响鲍可口程度,腹足中糖原含量越高,鲍越可口。两组糖原的含量随时间变化呈下降趋势,6~54 h 两组的糖原含量有显著性差异($P<0.05$)。海水恒温组糖原含量呈平稳下降,可能因环境温度维持在(15±1)℃,与其生长环境接近,应激反应少,同时试验期间未投喂饵料,需要消耗糖原来维持生命活动。无水低温组的糖原先快速降低后又趋于平稳,主要与环境温度和代谢有关。当环境温度快速降低时,鲍可能需要增加供能以应对低温变化来维持生理活动,糖原消耗量增加^[13],当温度降至最低点(3.3℃)后鲍进入休眠状态,因此在 12~24 h 时糖原消耗减缓,仅维持基础代谢;当温度为 15~20℃时,糖原含量随着温度的升高而降低,当温度超过 20℃时,鲍的代谢率减缓^[7];因此,48~60 h 时,鲍腹足中糖原消耗趋于平稳,糖原含量稳定在 37.3~38.2 mg/g。

为维持生命活动,鲍除了消耗糖原为机体供能,一段时间后还会消耗脂肪,两组的粗脂肪随时间延长呈逐渐降低趋势,但消耗量不大。两组在 0~36 h 的粗脂肪含量整体差异较小,在 42~60 h 呈显著性差异($P<0.05$)。海水恒温组因一直在恒温条件下,粗脂肪缓慢降低,且在前 36 h,海水恒温组的粗脂肪消耗比无水低温组的大,42 h 后,无水低温组的粗脂肪消耗量明显提高,并在 54 h 后趋于稳定,可能是环境温度升高,鲍代谢随之加强直至最后紊乱。

两组的粗蛋白含量在 42~60 h 呈显著性差异($P<0.05$)。据报道^[14],高温胁迫会使蛋白质的代谢水平提高。无水低温组的粗蛋白在前 30 h 消耗较慢,可能是泡沫箱

内温度较低,鲍的代谢降低^[15];36 h 后蛋白消耗量逐渐提高,可能是机体供能不足,鲍需进行蛋白质代谢来维持生理活动^[16];海水恒温组的粗蛋白含量较为平稳且缓慢降低,42 h 后,无水低温组的粗蛋白含量显著低于海水恒温组($P<0.05$)。

综上,无水低温组鲍经历了先降温后升温的过程,后期可能还遭受缺氧胁迫,尤其在 42 h 后,活鲍腹足的水分及储能物质发生了明显变化,48 h 后鲍的存活率也快速下降;而海水恒温组鲍的存活率和上述成分在 48 h 后具有明显优势。

2.2.4 腹足 pH 值 pH 值是判定水产品中营养物质分解产生小分子物质的重要指标^[17]。由图 4 可知,活鲍的初始 pH 值为 7.02±0.02,近中性,试验期间无水低温组的 pH 值显著下降($P<0.05$)。在模拟运输过程中,无水低温组鲍的 pH 值在 0~24 h 变化较小,可能是随着保温箱内温度的降低,鲍进入短暂的休眠状态;在 30~48 h, pH 值出现快速下降,可能由于鲍的无氧呼吸代谢加强,二氧化碳产量增加,引起腹足中碳酸的增加^[18],同时乳酸的合成率逐渐提高^[19],从而导致 pH 值下降;54 h 后 pH 值下降缓慢,60 h 时 pH 值略有提高,可能是随着温度的升高,鲍代谢系统逐渐加强并紊乱,且鲍腹足中蛋白质开始分解产生各种氨基酸、氨及胺类化合物等碱性物质^[20]中和了 pH 值。海水恒温组的鲍正常代谢,腹足肌肉中的 pH 值基本稳定,在 6.90~7.02 内波动,48 h 后 pH 值缓慢升高,可能与蛋白质的消耗有关。

2.2.5 挥发性盐基氮(TVB-N) TVB-N 是评价水产品储藏过程中品质优劣程度的重要指标,是蛋白质、游离氨基酸等含氮物质在内源酶和微生物作用下,分解产生的盐

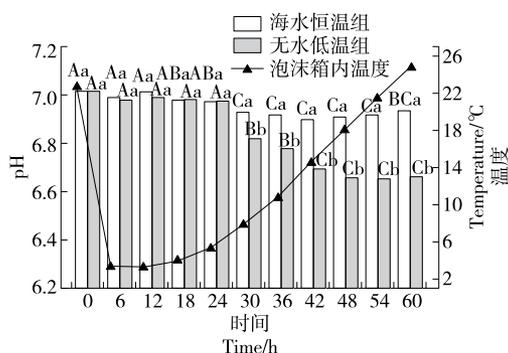


Figure 4 pH value of abalone abdominal feet over time under different transport modes

Figure 4 pH value of abalone abdominal feet over time under different transport modes

Figure 4 pH value of abalone abdominal feet over time under different transport modes

基氮类物质^[21]。由图5可知,模拟运输60h时,TVB-N值均呈上升趋势,但未超过15 mg/100 g,表明模拟运输60h存活的鲍是符合标准的。活鲍的TVB-N初始值为5.11 mg/100 g,高于王莹等^[22]的初始值,低于袁超等^[23]、张墨言等^[24]的初始值,这可能是由于鲍鱼品种、大小、取样时间及处理方式不同。海水恒温组鲍的TVB-N值随时间变化缓慢上升,但整体增长量较低,可能是水环境温度较低,一直处于(15±1)°C的环境中,氧气充足;而试验期间未投食未换水,海水受其排泄物及水中微生物共同作用,鲍腹足蛋白发生少量自溶反应,但可以保持其新鲜品质。无水低温组的TVB-N值在0~18h与海水恒温组差异不显著;24~42h,无水低温组的TVB-N值显著低于海水恒温组($P<0.05$),可能是此时泡沫箱内温度低于15°C,鲍的自溶较慢;48~60h时,随着泡沫箱内温度的快速上升,无水低温组鲍的TVB-N值快速增长,由(6.08±0.18) mg/100 g快速升高到(9.06±0.15) mg/100 g,可能是鲍代谢增强,同时表面的微生物随着温度升高,酶活性升高,腐败效应变大^[25],TVB-N产生较多。TVB-N值的变化与感官评分结果一致。因此,48h后的TVB-N值反映了无水低温组鲍的存活状态越来越差,劣变程度加剧,不利于活鲍的存活。

2.3 运输方式对活鲍代谢的影响

2.3.1 乳酸脱氢酶(LDH)活性和乳酸含量 在缺氧环境下,糖酵解的终产物丙酮酸可在LDH的催化下生成乳酸,在长时间的低氧或缺氧条件下,海洋生物体内会积累大量乳酸而威胁其生存^[2]。由图6可知,两组鲍的LDH活力和乳酸含量均在24h后差异显著($P<0.05$),无水低温组的LDH活力和乳酸含量显著高于海水恒温组。

海水恒温组在整个试验过程中一直处于温度恒定和氧气充足的水环境中,LDH活力相对比较稳定,乳酸含量变化也较小。无水低温组在0~18h,LDH活力和乳酸含

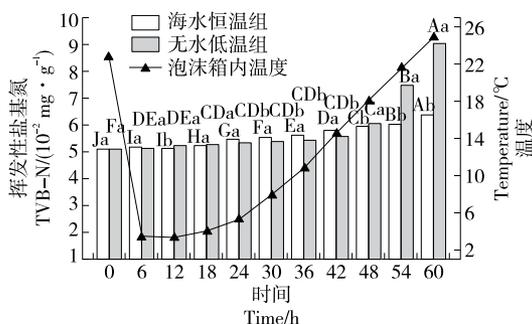


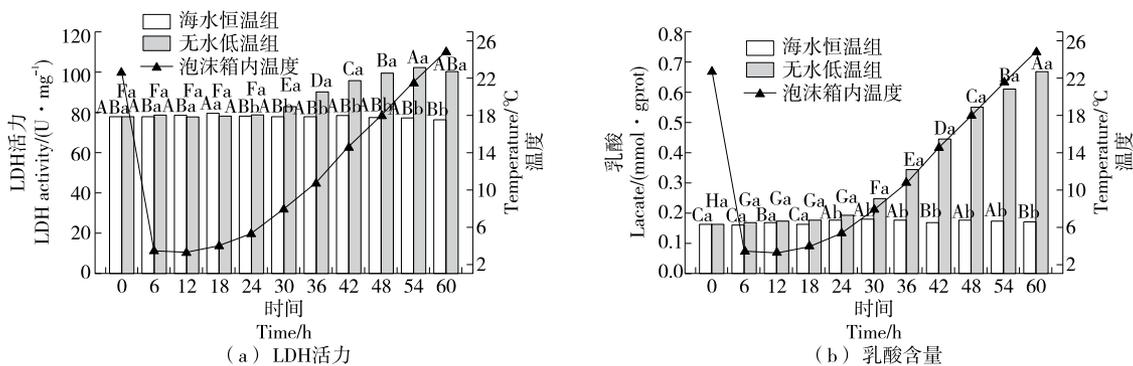
Figure 5 TVB-N values of abalone abdominal feet over time under different transport modes

Figure 5 TVB-N values of abalone abdominal feet over time under different transport modes

量无明显变化,且与海水恒温组相差较小,可能是鲍在干露初期仍进行有氧呼吸,同时因环境温度较低,鲍代谢缓慢,乳酸脱氢酶活性减弱^[2,26],乳酸积累量少;24h后,随着泡沫箱内温度逐渐升高,鲍代谢逐渐加强,并慢慢从有氧代谢转变为无氧代谢,LDH活力逐渐增加,乳酸积累速率逐渐加强^[27];48h时乳酸含量已由初始的(0.166±0.014) mmol/g增至(0.551±0.001) mmol/g;48h后,乳酸积累速率变缓,可能是鲍代谢开始出现紊乱;60h模拟运输结束时,LDH活力下降,乳酸含量为(0.670±0.038) mmol/g,此时鲍的自我调节及耐受能力变差,乳酸的大量积累致使部分鲍死亡。综上,随着泡沫箱内温度的升高,鲍腹足肌肉中的LDH活力和乳酸含量升高,48h时,两者的累积速率达到最大,48h后LDH活力和乳酸含量的升高速率减缓,甚至降低。

2.3.2 超氧化物歧化酶(SOD)活性 鲍的免疫功能主要依靠非特异性免疫来维持,SOD活力可以用来评价鲍免疫功能的强弱。研究^[28]表明,当贝类受到外界刺激时,在其抗氧化防御系统中首先被激活的酶为SOD。

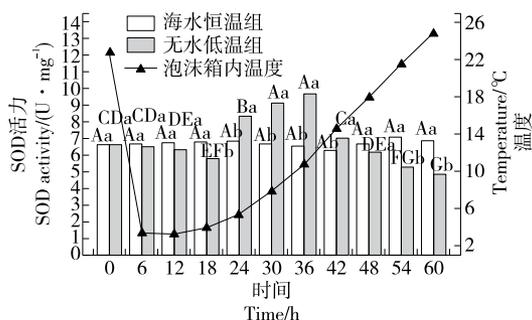
由图7可知,SOD活力分别在18~36,54~60h有显著性差异($P<0.05$)。海水恒温组的SOD活力在试验过程中比较稳定;无水低温组的SOD活力呈先降低后升高再降低的趋势,0~18h,SOD活力略有降低,可能是受鲍代谢降低的影响,也可能是抗氧化系统受到一定程度的损伤,体内超氧阴离子自由基(ROS)急剧增加^[1];24~36h,随着保温箱内温度升高,鲍代谢增强,SOD活性被积累的ROS激活;但随着温度的继续升高以及干露时间的延长,鲍的代谢慢慢发生紊乱,42h后,SOD活力又呈下降趋势,此时过多的ROS致使机体进一步受到氧化损伤。综上,无水低温组运输超过42h后,鲍的抗氧化系统机能逐渐丧失,48h后低于初始水平,而海水恒温组在48h后无明显变化。



大写字母不同表示组内差异显著 ($P < 0.05$); 小写字母不同表示组间差异显著 ($P < 0.05$)

图 6 运输方式对活鲍 LDH 活力和乳酸含量的影响

Figure 6 Effects of different transport modes on abalone LDH activity and lactate content



大写字母不同表示组内差异显著 ($P < 0.05$); 小写字母不同表示组间差异显著 ($P < 0.05$)

图 7 运输方式对活鲍 SOD 活力的影响

Figure 7 Effects of different transport modes on abalone SOD activity

2.4 运输方式对活鲍腹足显微结构的影响

肌纤维是保持水产品肌肉质地和完整性的重要骨架之一, 当其降解产生纤维间隙, 则表明肌肉质构发生了变化^[29]; 对于海洋软体动物来说, 纤维束的直径、粗细及纤维与纤维间的距离等均会影响鲍腹足肌肉质地, 纤维束越小, 肌肉越紧实^[30]。由图 8 可知, 初始 0 h 时, 鲍的腹足肌肉纤维排列致密, 间隙较小, 红色的点状纤维束小而边缘整齐、清晰, 肌肉紧实。60 h 时, 两组鲍的腹足肌肉结构出现了明显的不同, 海水恒温组鲍的腹足肌肉纤维依然排列紧密, 间隙小, 红色的点状纤维束略有增大, 但边界清晰, 肌肉细胞比较紧实; 无水低温组鲍的腹足肌肉纤维排列疏松, 间隙变大, 且偶见变形的肌纤维, 红色的点状纤维束边缘模糊不清, 肌肉发生了明显变化。综上, 模拟运输 60 h 内, 海水恒温组可以较好地保持腹足肌肉的质地和完整性。

3 结论

试验表明, 运输方式对活鲍的产品质量有显著影响。模拟运输 60 h 内, 海水恒温组和无水低温组的各项指标

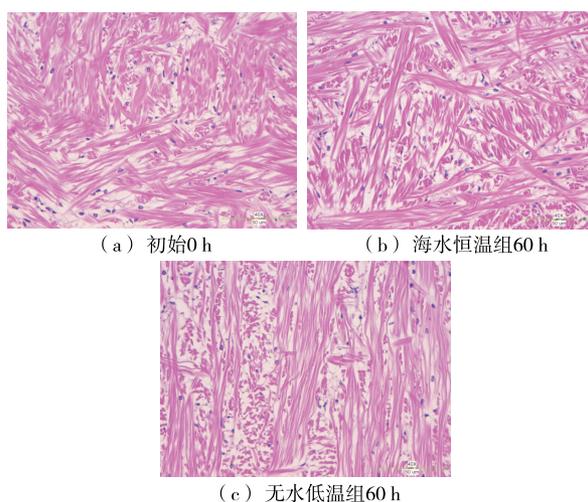


图 8 不同运输方式下活鲍腹足的显微结构变化

Figure 8 Microstructure changes of live abalone feet under different transport modes

均存在显著差异 ($P < 0.05$)。海水恒温组活鲍的产品质量在整个试验过程中变化较小, 存活率高达 90% 以上; 当泡沫箱内温度较低 ($< 10^{\circ}\text{C}$) 时, 无水低温组活鲍在 30 h 时产品质量变化较小; 当泡沫箱内温度持续升高并超过 15°C , 运输时间超过 48 h 时, 鲍的存活率、营养、感官品质等快速降低, 乳酸及乳酸脱氢酶随之积累, 超氧化物歧化酶活性先升高后降低, 抗氧化系统也慢慢崩溃, 最终影响了鲍的自我调节, 60 h 时组织结构也发生了明显改变, 不利于维持活鲍的鲜活状态。因此, 当环境温度为 $22\sim 30^{\circ}\text{C}$ 时, 电商常用的无水低温包装适宜的运输时长不超过 30 h, 若运输时间超过 48 h, 建议采用海水恒温运输。后续还可在不同环境温度下, 探究无水低温包装的加冰量与鲍的质量关系。

参考文献

[1] 姜妮妮. 扇贝和皱纹盘鲍对温度变化的生理响应研究[D]. 青

- 岛:中国科学院海洋研究所,2017:1-9.
- JIANG W W. Effects of temperature variation on physiological activities of scallops and abalone[D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2017: 1-9.
- [2] 刘毅,张继红,吴文广,等.不同温度条件下黑足鲍干露耐受能力和生化响应的模拟研究[J].中国水产科学,2020,27(11):1316-1324.
- LIU Y, ZHANG J H, WU W G, et al. Dry exposure stress tolerance and physiological response of black abalone *Haliotis iris* at different temperatures[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(11): 1316-1324.
- [3] 赵茜,李学鹏,王金厢,等.低温液态速冻技术及其在水产品加工中应用研究进展[J].食品与机械,2020,36(12):189-193,217.
- ZHAO Q, LI X P, WANG J X, et al. Research progress of cryogenic liquid quick-freezing and its application in the processing of aquatic products[J]. Food & Machinery, 2020, 36(12): 189-193, 217.
- [4] 倪锦,傅润泽,沈建.高值贝类保活运输车与鲍鱼应用效果分析[J].渔业现代化,2015,42(6):37-42.
- NI J, FU R Z, SHEN J. Development of live transportation vehicle for high-value shellfish and the application effect analysis of abalone[J]. Fishery Modernization, 2015, 42(6): 37-42.
- [5] 欧阳杰,陈文秀,沈建.贝类保活流通技术研究现状与展望[J].中国渔业质量与标准,2021,11(5):44-49.
- OUYANG J, CHEN W X, SHEN J. Current status and prospect of research on shellfish keeping alive distribution technology[J]. Chinese Fishery Quality and Standards, 2021, 11(5): 44-49.
- [6] 胡佳,李艳华,罗杰.不同冷冻介质与EPS泡沫箱在模拟冷藏运输中的效果研究[J].农产品加工,2020(11):18-22.
- HU J, LI Y H, LUO J. Study on the cold holding effect of different refrigerants and EPS foam box in simulated refrigerated transportation[J]. Farm Products Processing, 2020(11): 18-22.
- [7] 段骄阳,刘慧,陈四清,等.温度对皱纹盘鲍摄食和耗氧率的影响[J].中国农学通报,2020,36(27):153-157.
- DUAN J Y, LIU H, CHEN S Q, et al. Temperature effects on feeding and oxygen consumption rate of *Haliotis discus hannai* Ino[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(27): 153-157.
- [8] 刘力源,姚艳艳,杨晓斌,等.急性低温对南北越冬后皱纹盘鲍的影响探究[J].农业科学,2020,10(1):18-25.
- LIU L Y, YAO Y Y, YANG X B, et al. Effect of abrupt low-temperature on *Haliotis discus hannai* after overwintering in south and north coasts[J]. Hans Journal of Agricultural Sciences, 2020, 10(1): 18-25.
- [9] 吕颖,谢晶.温度波动对冻藏水产品品质影响及控制措施的研究进展[J].食品与发酵工业,2020,46(10):290-295.
- LU Y, XIE J. Research progress on the impact of temperature fluctuations on frozen aquatic product quality and control measures[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(10): 290-295.
- [10] 王腾,赵新楠,林怡辰,等.鲍营养品质及影响因素研究进展[J].大连海洋大学学报,2024,39(1):172-184.
- WANG T, ZHAO X N, LIN Y C, et al. Research progress on nutritional quality and influencing factors related to nutrients in abalone: a review[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2024, 39(1): 172-184.
- [11] 唐雪影,徐欣悦,田芝林,等.皱纹盘鲍糖原合成酶基因多态性与糖原含量的相关性分析[J].中国食品工业,2023(24):83-85,88.
- TANG X Y, XU X Y, TIAN Z L, et al. Correlation analysis of the glycogen synthase gene polymorphism and glycogen content[J]. China Food Industry, 2023(24): 83-85, 88.
- [12] BROWN M R, SIKES A L, ELLIOTT N G, et al. Physicochemical factors of abalone quality: a review[J]. Journal of Shellfish Research, 2008, 27(4): 835-842.
- [13] 牟雅甜.贮藏方式对扇贝贝柱营养品质及多糖性质的影响[D].大连:大连海洋大学,2023:18-20.
- MU Y T. Effect of storage method on nutritional quality and polysaccharide properties of scallop shell[D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2023: 18-20.
- [14] LIN S H, WU F C, ZHANG G F. Analysis of monthly variation of biological conditions, metabolic parameters and antioxidative capacities in sea-based farmed Pacific abalone during summer days[J]. Aquaculture International, 2017, 25(3): 1345-1359.
- [15] 陈文秀,欧阳杰,徐文其,等.贮藏条件对活品虾夷扇贝营养及品质的影响[J].渔业现代化,2019,46(6):83-89.
- CHEN W X, OUYANG J, XU W Q, et al. Effects of storage conditions on nutrition and quality of live *Patinopecten yessoensis*[J]. Fishery Modernization, 2019, 46(6): 83-89.
- [16] 刘力源,卢龙飞,常丽荣,等.低温对南北越冬后皱纹盘鲍的影响[J].江苏农业科学,2020,48(20):195-199.
- LIU L Y, LU L F, CHANG L R, et al. Effect of low-temperature on *Haliotis discus hannai* overwintering in southern and northern coast[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(20): 195-199.
- [17] 贾世亮,杨月,郑雅丹,等.干冰冻结对大黄鱼冻藏期间冰晶及品质的影响[J].食品与机械,2023,39(6):134-142.
- JIA S L, YANG Y, ZHENG Y D, et al. Effects of dry ice freezing on ice crystal and quality of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) during frozen storage[J]. Food & Machinery, 2023, 39(6): 134-142.
- [18] SHEN Y W, ZHANG Y, XIAO Q Z, et al. Distinct metabolic shifts occur during the transition between normoxia and hypoxia in the hybrid and its maternal abalone[J]. ICES

- Journal of Marine Science, 2021, 794: 148698.
- [19] ALFARO A C, NGUYEN T V, VENTER L, et al. The effects of live transport on metabolism and stress responses of abalone (*Haliotis iris*) [J]. *Metabolites*, 2021, 11(11): 748.
- [20] 范映辰, 于曼曼, 倪众, 等. 鲍鱼冷藏期间内源酶对质构特性的影响[J]. *大连工业大学学报*, 2023, 42(6): 391-396.
FAN Y C, YU M M, NI Z, et al. Effect of endogenous enzymes on the texture characteristics of abalone during cold storage[J]. *Journal of Dalian Polytechnic University*, 2023, 42(6): 391-396.
- [21] 张克烽, 王艺磊, 张子平. 鲍低氧胁迫响应机制的研究进展[J]. *水产学报*, 2023, 47(9): 3-28.
ZHANG K F, WANG Y L, ZHANG Z P. Research progress on response mechanism to hypoxia stress in abalone[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2023, 47(9): 3-28.
- [22] 王莹, 朱思圆, 蒋丹, 等. 低温贮藏皱纹盘鲍货架期与特征指标的研究[J/OL]. *食品与发酵工业*. (2024-04-07) [2024-05-11]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.038505>.
WANG Y, ZHU S Y, JIANG D, et al. Study on shelf-life and characteristic indexes of abalone (*Haliotis discus hannai*) during low-temperature storage[J/OL]. *Food and Fermentation Industry*. (2024-04-07) [2024-05-11]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.038505>.
- [23] 袁超, 赵峰, 周德庆, 等. 超高压处理对冷藏鲍鱼保鲜效果与品质变化的影响[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(17): 312-316.
YUAN C, ZHAO F, ZHOU D Q, et al. Effect of high pressure processing (HPP) on the preservation and quality of abalone [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(17): 312-316.
- [24] 张墨言, 陈雪, 谢庆超, 等. 微酸性电解水暂养的杂色鲍存活率及品质变化[J]. *中国农业科技导报*, 2019, 21(11): 157-162.
ZHANG M Y, CHEN X, XIE Q C, et al. Survival and quality change of *Haliotis diversicolor* in slightly acidic electrolyzed water[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2019, 21(11): 157-162.
- [25] 王丽, 闫子康, 杜金, 等. 基于 MFO 优化 BP 神经网络构建冷鲜肉品质预测模型[J/OL]. *食品工业科技*. (2024-04-30) [2024-05-22]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023120367>.
WANG L, YAN Z K, DU J, et al. Establishment of a predictive model for the quality assessment of chilled meat using a moth-flame optimization BP neural network[J/OL]. *Science and Technology of Food Industry*. (2024-04-30) [2024-05-22]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023120367>.
- [26] 王琪, 梅俊, 谢晶. 低温保活运输对海鲈鱼应激及品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2022, 22(7): 203-213.
WANG Q, MEI M, XIE J. Effects of low temperature and alive transportation on stress and meat quality of sea bass (*Lateolabrax maculatus*) [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2022, 22(7): 203-213.
- [27] 吕惠蓉. 温度和水流对大黄鱼越冬影响的研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2022: 18-21.
LU H R. The effect of temperature and current velocity on the overwintering of large yellow croaker[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2022: 18-21.
- [28] 周晏琳, 刘洋, 李亚烜, 等. 虾夷扇贝抗氧化酶 SOD 和 CAT 与活品贮藏稳定性的关联[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(6): 254-258, 271.
ZHOU Y L, LIU Y, LI Y X, et al. Correlation of antioxidant enzyme SOD and CAT to live storage stability of yesso scallop (*Patinopecten yessoensis*) [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(6): 254-258, 271.
- [29] 李桢桢, 尹明雨, 王红丽, 等. 水产品肌肉组织微观结构变化及其检测方法研究进展[J]. *食品科学*, 2023, 44(9): 278-286.
LI Z, YIN M Y, WANG H L, et al. Microstructural change of muscle tissues of aquatic products and methods for its detection: a review[J]. *Food Science*, 2023, 44(9): 278-286.
- [30] ØISETH S K, DELAHUNTY C, COCHET M V, et al. Why is abalone so chewy? structural characterization and relationship to textural attributes[J]. *Journal of Shellfish Research*, 2013, 32(1): 73-79.