

# 鲢鱼片在微冻贮藏中品质、ATP 关联物及关联酶活性变化规律研究

张龙腾 吕健 李清正 罗永康\*

(中国农业大学 食品科学与营养工程学院,北京 100083)

**摘要** 为更好地了解鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)在微冻贮藏过程中的相关品质变化,对微冻条件(-3℃)下生鲜鲢鱼片品质指标,ATP 关联产物及 ATP 关联酶活性的变化规律进行试验研究。结果表明:微冻条件下,挥发性盐基氮的质量分数呈现不断上升的趋势,但在 30 d 贮藏时间内未超过国家规定的二级新鲜度标准(20 mg/100 g);随着贮藏时间的延长,菌落总数的对数值不断增加;而感官分值、盐溶性蛋白质质量分数、Ca<sup>2+</sup>-ATPase 活性、质构特性(弹性、硬度、内聚性)等呈现下降趋势。此外,三磷酸腺苷(ATP)、肌苷酸(IMP)含量随贮藏时间的延长显著下降( $P<0.05$ );次黄嘌呤核苷(HxR)含量先升高后降低并在第 9 天时达到最大值;次黄嘌呤(Hx)含量不断增加。相关性分析表明,酸性磷酸水解酶(ACP)和腺苷脱氨酶(ADA)的活性变化不能表征 ATP 关联物含量的变化情况。

**关键词** 鲢鱼;微冻;品质;ATP 关联物;ATP 关联酶

**中图分类号** S 984.1

**文章编号** 1007-4333(2016)11-0077-07

**文献标志码** A

## Changes of quality, ATP-related compounds and enzyme activities in silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fillets during partial freezing

ZHANG Long-teng, LV Jian, LI Qing-zheng, LUO Yong-kang\*

(College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** In order to obtain the quality changes of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*), quality indicators, ATP-related compounds and enzyme activities of silver carp were measured during partial freezing. The results indicated that: During partial freezing, mass fraction of total volatile base nitrogen (w (TVB-N)) increased but didn't reach the limitation on country's regulation of 20 mg/100 g; With the increasing of storage time, logarithmic value of total aerobic counts (lg[TAC/(CFU/g)]) went up, while sensory scores, salt soluble protein content, Ca<sup>2+</sup>-ATPase activity, texture properties decreased; ATP-related compounds and enzyme activities, content of ATP, IMP came down, Hx rose up with time and HxR increased at first and then decreased, and reached peak on nine days of storage. In conclusion, changes in acid phosphatase (ACP) and AMP-deaminase (ADA) activities cannot perfectly represent the variations on ATP-related compounds.

**Keywords** silver carp; partial freezing; quality indicators; ATP-related compounds; ATP-related enzyme activity

鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)又名白鲢,广泛分布于我国东北部、中部、东南部等地区的江河湖泊中,是我国主要养殖的淡水鱼类。2014年,我国鲢鱼总产量为 422.6 万 t,较 2013 年增长 9.74%,产量位居国内淡水鱼前列<sup>[1]</sup>。鲢鱼具有较高的营养价值,含有丰富的蛋白质、多不饱和脂

肪酸等多种营养成分<sup>[2]</sup>,但由于其死后组织蛋白酶以及微生物的作用,极易发生腐败变质。因此,研究其死后不同贮藏条件对品质指标的影响十分重要。

生鲜鱼片的保鲜方式根据原理可以分为低温保鲜、化学保鲜、酶法保鲜、气调保鲜以及其他保鲜技

收稿日期:2015-11-15

基金项目:国家自然科学基金面上项目(31471683);现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-46)

第一作者:张龙腾,硕士研究生,E-mail:zhanglongteng92@163.com

通讯作者:罗永康,教授,博士生导师,主要从事水产品贮藏与加工研究,E-mail:luoyongkang@263.net

术等。低温保鲜又可根据贮藏温度分为冰藏保鲜、冷藏保鲜、微冻保鲜、冻藏保鲜等<sup>[3]</sup>。微冻保鲜是指在-4~0℃对鱼片进行贮藏保鲜的技术。微冻条件对鱼体自身内源性蛋白酶活性、微生物活动等具有抑制作用,减缓了鱼体的腐败变质进程,因此广泛地应用于鱼类的保鲜中。近年来,国内外对不同的淡水鱼类,如松江鲈<sup>[4]</sup>、团头鲂<sup>[5]</sup>、鳊鱼<sup>[6]</sup>等进行了微冻条件下品质指标的研究,结果表明,微冻贮藏条件下不同鱼片的菌落总数的对数值、挥发性盐基氮质量分数等的增长均有所减缓。因此,将微冻条件应用到鲢鱼保鲜之中具有重要的前景与价值。本研究拟通过测定鲢鱼片品质指标,ATP 关联产物及 ATP 关联酶活性,分析微冻条件下鲢鱼相关理化指标的变化规律,以期对鲢鱼贮藏保鲜方式的研究提供更深层次的理论支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料及处理

18 条鲜活鲢鱼购于北京市小月河市场,平均体重(1.96±0.15) kg,体长(49.20±2.04) cm。鲢鱼

击毙后,去鳞、去内脏、去头、去尾,并将每条鱼沿背部鱼骨切成 2 片鱼片,用自来水清洗干净鱼片表面的血迹,沥干后放入聚乙烯保鲜袋中。鱼片置于-3℃条件下贮藏。分别在第 0、3、6、9、12、15、18、21、24、27、30 天取样进行各项指标测定,每个指标做 3 组平行。

### 1.2 测定方法

1)挥发性盐基氮质量分数( $\omega$ (TVB-N))的测定。采用半微量蒸馏法进行测定<sup>[7]</sup>。

2)菌落总数的测定。参照 Zhang<sup>[8]</sup>的方法并稍作改动。使用倾倒在平板法,根据平板计数测定菌落总数。培养温度为 30℃,培养时间 72 h。

3)感官分值的测定。感官评价根据黄晓春等<sup>[9]</sup>的方法并进行相关修改。感官分值由 5 人评定小组给出,根据对生鲜鲢鱼片的色泽、组织形态、气味、肌肉弹性 4 个方面进行感官评价。每个指标最高分为 5 分,最低分为 1 分。将 4 个指标的分数加和获得感官分值。分数越高,表示鱼体越新鲜,鱼肉质量越好;低于 8 分则表示鱼片品质已达到不可接受的程度(表 1)。

表 1 鲢鱼感官评定评分标准

Table 1 Standard of sensory evaluation on silver carp

分值 Point	色泽 Color	气味 Odor	组织形态 Form of organization	肌肉弹性 Muscle elasticity
5	色泽正常,肌肉切面富有光泽	鲢鱼固有的香味,清新	肌肉组织致密完整,纹理很清晰	坚实富有弹性,手指压后凹陷立即消失
4	色泽正常,肌肉切面有光泽	固有香味,较清新	肌肉组织紧密,纹理较清晰	坚实有弹性,手指压后凹陷较快消失
3	色泽稍暗淡,肌肉切面稍有光泽	固有香味清淡,略带异味	肌肉组织不紧密,但不松散	较有弹性,手指压后凹陷消失较慢
2	色泽较暗淡,肌肉切面无光泽	固有香味消失,有腥臭味或氨臭味	肌肉组织不紧密,局部松散	稍有弹性,手指压后凹陷消失很慢
1	色泽暗淡,肌肉切面无光泽	有强烈腥臭味或氨味	肌肉组织不紧密,松散	无弹性,手指压后凹陷不消失

4)盐溶性蛋白质质量分数及  $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 酶活性的测定。参照 Xiong<sup>[10]</sup>及 Pan<sup>[11]</sup>的方法。

5)质构特性的测定。参照 Li<sup>[12]</sup>的方法并稍作改动。将鱼片切成 2.0 cm×2.0 cm×1.5 cm 的立方体,使用博勒飞 CT3 质构仪(Brookfield, USA)进行鲢鱼片质构特性的测定。采用 TPA 模式进行分析,测定探头为 TPAP/50 圆柱形,测试速度 1 mm/s,

鱼肉的形变量为高度的 50%,触发力 0.07 N。

6)ATP 关联物含量及关联酶活性的测定。ATP 关联物的提取方式参照万建荣<sup>[13]</sup>的方法并稍作改动。准确称取 1.00 g 鱼肉,置于研钵中,加入 2 mL 10%高氯酸(体积分数,下同)研磨后离心(1 430g, 5 min)并收集上清液。沉淀加入 2 mL 5%高氯酸,旋涡振荡后离心并重复 1 次。之后,用

1 mol/L 及 10 mol/L KOH 溶液将上清液 pH 调整至 6.40 后离心(800g, 3 min)。沉淀加入 2 mL 经浓氨水调至 pH 为 6.40 的高氯酸溶液, 离心(800g, 3 min)。将上清液定容至 10 mL, 装入离心管中并置于  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  冰箱贮存。

ATP 关联产物的含量由高效液相色谱(HPLC)测定。色谱条件: 反相分配柱  $\mu$ -Bondapak C18(4.6 mm $\times$ 250 mm); 流动相: 0.05 mol/L 磷酸盐缓冲液; 流速: 1.0 mL/min; 柱温:  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 检测波长: 254 nm; 进样量: 50  $\mu\text{L}$ 。

酸性磷酸水解酶(ACP)和腺苷脱氨酶(ADA)活性的测定采用 ACP、ADA 试剂盒进行(试剂号: A060-1; A098, 南京建成生物工程研究所)。

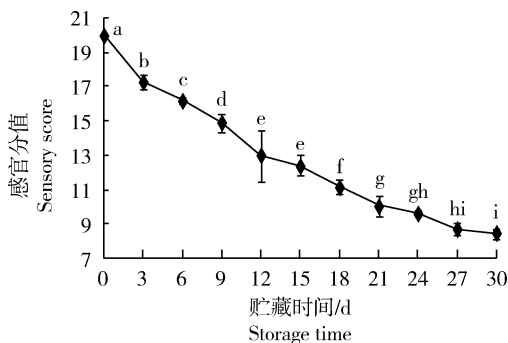
7) 数据分析。试验数据均为 3 个平行。采用 Excel 作图, 采用 SPSS18.0 进行相关性及显著性分析, 差异显著水平  $P < 0.05$ 。

## 2 结果与讨论

### 2.1 感官品质的变化

感官品质是产品对人的视觉、触觉、嗅觉等多种感官的刺激, 直观地表达了鱼肉品质的变化情况, 也直接影响消费者对鱼肉的可接受性。

鲢鱼片的感官品质随着贮藏时间的延长显著下降( $P < 0.05$ )(图 1)。在微冻条件下贮藏 30 d 后, 鲢鱼片的气味、色泽、肌肉弹性、组织形态均有一定程度的劣变, 产生了轻微的氨味且肉质色泽暗淡, 肌肉紧实度大大降低, 此时的感官分值为 8.5, 与初始值相比下降了约 57.5%, 但仍在可接受的范围内。



小写字母表示显著性差异水平, 下同。

Significant differences were represented by lowercase letters. The same below.

图 1 微冻( $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ )贮藏期间鲢鱼片感官分值的变化

Fig. 1 Changes in sensory score of silver carp fillets stored at partial freezing conditions ( $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

而鲢鱼在冷藏( $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ )、冰藏( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ )条件下达到 8.5 分的贮藏时间分别为 12 和 21 d, 且在 15 和 21 d 时鲢鱼的品质已经达到不可接受的程度<sup>[14]</sup>。因此, 与冷藏和冰藏保鲜相比, 生鲜鲢鱼片在微冻条件下的品质劣变程度有所减缓。

### 2.2 挥发性盐基氮质量分数的变化

鲢鱼片在微冻条件下挥发性盐基氮质量分数( $w(\text{TVB-N})$ )随贮藏时间的延长显著增大( $P < 0.05$ )(图 2)。 $w(\text{TVB-N})$ 的初始值为 9.89 mg/100 g。贮藏前期,  $w(\text{TVB-N})$ 呈现较为缓慢的增长趋势, 这可能是由于低温抑制了鲢鱼内源性蛋白酶的活性与微生物的增长。贮藏 24 d 后, 由于微生物的大量生长繁殖, 产生的外源蛋白酶作用于鱼体蛋白质, 加速了蛋白质分解, 最终导致挥发性盐基氮质量分数不断增长, 加速了鱼肉的腐败进程。贮藏至第 30 天时,  $w(\text{TVB-N})$  达到 16.43 mg/100 g, 与初始值相比, 增长了 66.43%, 但仍未超过国家规定的淡水鱼二级鲜度指标(20 mg/100 g)。而在 0 和  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  贮藏条件下, 鲢鱼的  $w(\text{TVB-N})$  分别第 15 和 18 天时超过 20 mg/100 g<sup>[14]</sup>, 因此微冻贮藏能够有效地延缓鲢鱼品质的劣变趋势。

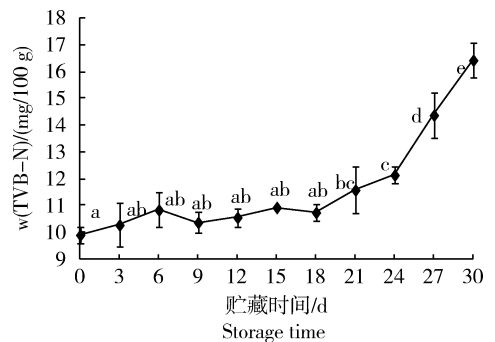


图 2 微冻贮藏期间鲢鱼片  $w(\text{TVB-N})$  的变化  
Fig. 2 Changes in mass fraction of total volatile base nitrogen of silver carp fillets stored at partial freezing conditions

### 2.3 菌落总数的变化

水产品的腐败与细菌的生长繁殖密切相关, 以菌落总数的对数值表示淡水鱼的新鲜程度以及腐败状况, 微生物的生长和大量繁殖会对鱼肉贮藏过程中风味、色泽、质构特性等带来不利影响。

微冻贮藏条件下生鲜鲢鱼片的  $\lg$ [菌落总数/(CFU/g)] 变化见图 3。菌落总数对数值的初始值为 3.79  $\lg$  (CFU/g), 随着贮藏时间的延长, 菌落总

数的对数值显著升高( $P < 0.05$ ),最终达到 6.27 lg (CFU/g)。虹鳟鱼在微冻条件下菌落总数对数值的也呈现同样的增长趋势<sup>[15]</sup>。微冻条件下贮藏 30 d 后,菌落总数的对数值仍未超过国家标准(SC/T 3116—2006)的限定值 7 lg (CFU/g),而在 3 °C 贮藏的鲢鱼在第 15 天时已经超过 7 lg (CFU/g),与微冻条件相比减少了约 15 d<sup>[14]</sup>。这表明微冻条件具有延缓细菌增长的效果。

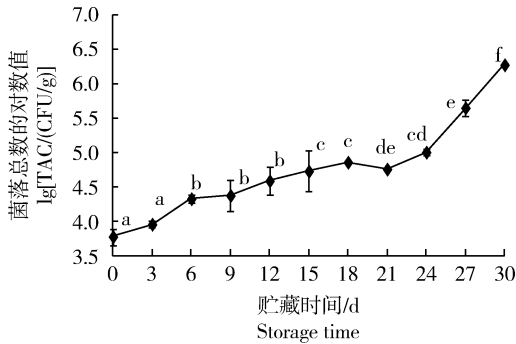


图3 微冻贮藏期间鲢鱼片菌落总数对数值的变化

Fig. 3 Changes in logarithmic value of total aerobic counts of silver carp fillets stored at partial freezing conditions

## 2.4 盐溶性蛋白质质量分数和 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的变化

盐溶性蛋白质质量分数和  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性是评价鱼肉蛋白质冷冻变性程度的重要指标。在鱼肉肌肉的冻结过程中,由于蛋白质分子表面水化层

水分子的冻结,疏水性氨基酸残基暴露,蛋白质分子间发生聚集和交联,肌原纤维蛋白变性,引起盐溶性蛋白质质量分数以及肌球蛋白头部  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的下降。

微冻条件下生鲜鲢鱼片盐溶性蛋白质质量分数和  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性存在显著( $P < 0.05$ )的变化趋势(图4)。

盐溶性蛋白质质量分数的初始值为 130.66 mg/g,这与罗非鱼<sup>[16]</sup>盐溶性蛋白质质量分数初值(160 mg/g)有所差别,这可能由于鱼种的差异引起。随着贮藏时间的延长,盐溶性蛋白质质量分数呈现下降趋势并最终降至 121.86 mg/g,下降了约 6.74%,盐溶性蛋白质质量分数的下降将会对鱼肉的质构特性、持水性、凝胶特性等带来不利影响。

$\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性同样存在显著( $P < 0.05$ )下降的趋势,由初始值  $0.32 \mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{min})$  最终降至  $0.29 \mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{min})$ 。Xiong 等<sup>[10]</sup>及 Wang 等<sup>[17]</sup>的研究结果显示,草鱼在  $-18 \text{ }^\circ\text{C}$  冻藏条件下盐溶性蛋白质质量分数和  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性均显著下降( $P < 0.05$ ),在贮藏 30 d 时分别降至初始值的 40%及  $0.10 \mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{min})$ 。因此,相对于冻藏条件下的变化情况,微冻条件对鲢鱼盐溶性蛋白质质量分数和  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的影响较小,即肌原纤维蛋白变性程度较低,对鱼肉品质变化影响较小。

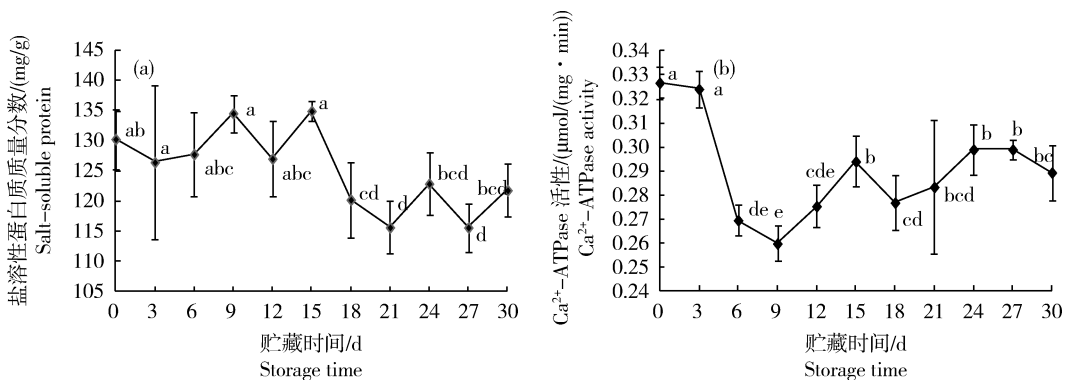


图4 微冻贮藏期间鲢鱼片盐溶性蛋白质质量分数(a)及  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性(b)的变化

Fig. 4 Changes in salt soluble protein content (a) and  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase activity (b) of silver carp fillets stored at partial freezing conditions

## 2.5 质构特性的变化

鱼肉的质构特性同样也是评价鱼体品质的重要指标,肌肉的组织形态与弹性也是感官评价的重要标准。

微冻条件下鲢鱼硬度、弹性、内聚性的变化见图5。硬度、弹性、内聚性的初始值分别为 5 667 g、4.36 mm、0.36。随着贮藏时间的延长,鱼体内部组织蛋白酶和微生物导致鱼肉中蛋白质的分解,鱼肉

肌纤维之间发生断裂,鱼肉的质地变软,肌肉结构结合逐渐松弛,质构特性均呈现显著下降的趋势( $P < 0.05$ )。在贮藏至第 30 天时,硬度、弹性、内聚性的终值分别达到 1 766 g、2.48 mm 和 0.19,与初始值

相比分别降低了 68.84%、43.12%、47.22%。而这种降低的趋势与赵进<sup>[18]</sup>等的研究结果相一致,随着贮藏时间的延长,冷藏条件下鲮鱼和草鱼的硬度、弹性、凝聚性等均显著( $P < 0.05$ )下降。

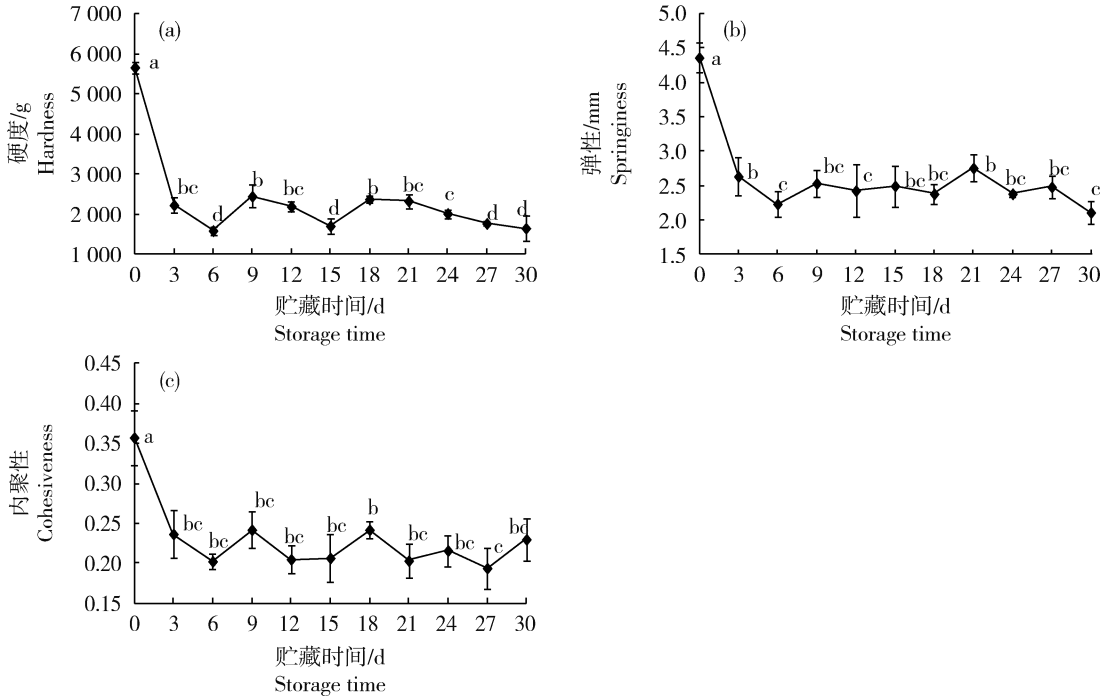


图 5 微冻贮藏期间鲢鱼片硬度(a)、弹性(b)、内聚性(c)的变化

Fig. 5 Changes in springiness (a), hardness (b) and cohesiveness (c) of silver carp fillets stored at partial freezing conditions

## 2.6 ATP 关联物含量的变化

鱼死后,腺苷三磷酸(ATP)在相关酶作用下发生降解并依次生成腺苷二磷酸(ADP)、腺苷酸(AMP)、肌苷酸(IMP)、次黄嘌呤核苷(HxR)和次黄嘌呤(Hx);其中 IMP 是鱼肉中重要的鲜味成分,而 HxR 和 Hx 则是鱼肉中不可接受气味的主要来源。HxR 和 Hx 含量占 ATP 关联物总含量的比例越高,鱼体新鲜程度越差<sup>[19]</sup>。

ATP 初值为 2.23  $\mu\text{mol/g}$ ,随着贮藏时间的延长,ATP 含量显著下降( $P < 0.05$ )并在第 9 天后趋于稳定(图 6(a))。IMP 含量初值为 2.31  $\mu\text{mol/g}$ ,由于 IMP 在磷酸水解酶的作用下分解,在贮藏 30 d 后降至 1.04  $\mu\text{mol/g}$ ,下降了 54.98%(图 6(b))。HxR 含量呈现先显著上升( $P < 0.05$ )后下降的趋势,并在第 9 天达到最大值 2.58  $\mu\text{mol/g}$ ;随后由于其分解,HxR 含量不断下降并最终降至 1.25  $\mu\text{mol/g}$ 。Hx 由 HxR 分解产生,初始值为 0.06  $\mu\text{mol/g}$ ,在贮藏 30 d 后,Hx 最终达到 0.55  $\mu\text{mol/g}$ ,与初始值相

比增长了约 10 倍(图 6(d))。HxR 和 Hx 含量的增加最终导致贮藏后期鱼肉品质的劣变。

## 2.7 酸性磷酸水解酶、腺苷脱氨酶活性的变化及相关性分析

酸性磷酸水解酶和腺苷脱氨酶是 ATP 关联物降解过程中的重要酶类。酸性磷酸水解酶(ACP)催化 IMP 的分解并生成 HxR;腺苷脱氨酶(ADA)则催化 AMP 脱氨基,生成 IMP<sup>[20-21]</sup>。2 种酶的初始活性分别为 0.009 6 和 1.493 4 U/mg(图 7),酶活性在贮藏前期的变化均没有明显的规律性;而在贮藏后期,2 种酶活性出现显著增长的趋势( $P < 0.05$ ),这可能与微生物产生的外源酶而导致其活性升高有关。ACP 活性与 IMP、HxR 含量的相关系数分别为 0.206 及 0.608,ADA 活性与 IMP 含量的相关系数仅为 0.366。由相关性分析可知,2 种酶活性与 ATP 关联物含量的变化相关性较弱。因此,ACP 和 ADA 活性不能准确地表征 ATP 关联物含量的变化。

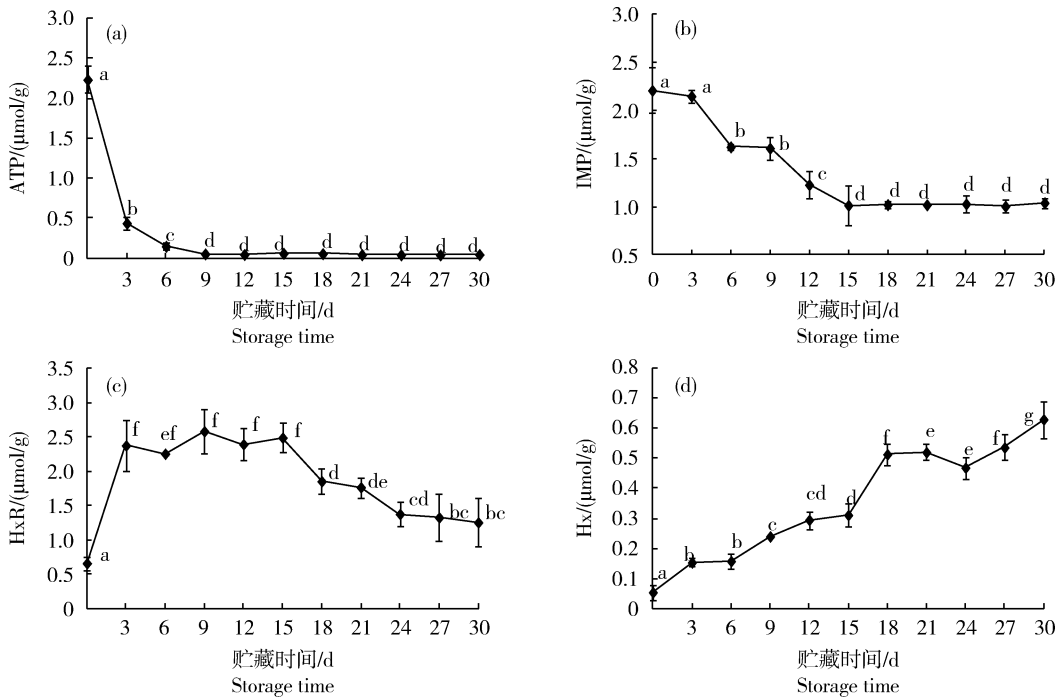


图6 微冻贮藏期间鲢鱼片ATP(a)、IMP(b)、HxR(c)、Hx(d)含量的变化

Fig. 6 Changes in content of ATP (a), IMP (b), HxR (c) and Hx (d) in silver carp fillets stored at partial freezing conditions

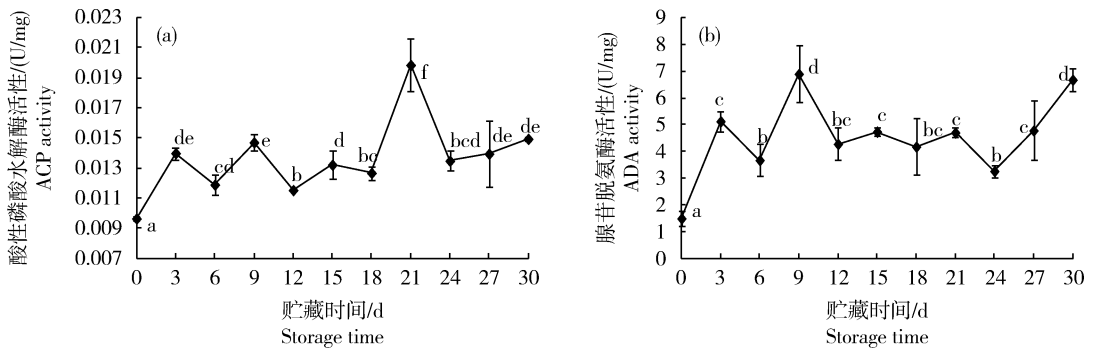


图7 微冻贮藏期间鲢鱼片酸性磷酸水解酶(a)、腺苷脱氨酶(b)活性的变化

Fig. 7 Changes in acid phosphatase (a) and AMP-deaminase (b) activity of silver carp fillets stored at partial freezing conditions

### 3 结论

微冻条件下,随着贮藏时间的延长,鲢鱼片 $w$ (TVB-N)、菌落总数的对数值显著上升,而感官分值、质构特性(硬度、弹性、内聚性)显著下降;盐溶性蛋白质质量分数、 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase活性呈现降低趋势;ACP、ADA活性的变化没有明显的规律性,且与ATP关联物含量的变化相关性不强;与3和0℃贮藏的鲢鱼品质变化相比,微冻条件(-3℃)可以更好地延缓鲢鱼品质劣变,延长货架期。

### 参考文献

- [1] 农业部渔业渔政管理局. 2015 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015  
The Ministry of Agriculture Fishery and Fishery Administration. *China Fishery Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015 (in Chinese)
- [2] 秦娜, 张月美, 罗永康. 长丰鲢各部位主要营养成分分析及比较[J]. 中国农业大学学报, 2015, 20(1): 129-134  
Qin N, Zhang Y M, Luo Y K. Comparison and analysis of major nutritional components in different body parts of Changfeng

- silver carp [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2015, 20(1): 129-134 (in Chinese)
- [3] 秦娜, 宋永令, 罗永康. 鱼类贮藏保鲜技术研究进展[J]. 肉类研究, 2014, 28(12): 28-32
- Qin N, Song Y L, Luo Y K. Fish storage and preservation: A review[J]. *Meat Science*, 2014, 28(12): 28-32 (in Chinese)
- [4] Lu H, Luo Y K, Zhou Z Y, Bao Y L, Feng L G. The quality changes of Songpu mirror carp (*Cyprinus carpio*) during partial freezing and chilled storage [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2014, 38(3): 948-954
- [5] Song Y L, Luo Y K, You J, Shen H X, Hu S M. Biochemical, sensory and microbiological attributes of bream (*Megalobrama amblycephala*) during partial freezing and chilled storage[J]. *Journal of the Science of Food and Agricultural*, 2012, 92(1): 197-202
- [6] Hong H, Luo Y K, Zhu S C, Shen H X. Application of the general stability index method to predict quality deterioration in bighead carp (*Aristichthys nobilis*) heads during storage at different temperatures [J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 113(4): 554-558
- [7] 董伟坤. 食品检验与分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1989
- Dong W K. *Food Inspection and Analysis* [M]. Beijing: China Light Industry Press, 1989 (in Chinese)
- [8] Zhang L N, Luo Y K, Hu S M, Shen H X. Effects of Chitosan coatings enriched with different antioxidants on preservation of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) during cold storage [J]. *Journal of Aquatic Product Technology*, 2012, 21(5): 508-518
- [9] 黄晓春, 侯温甫, 杨文鸽, 徐大伦. 冰藏过程中美国红鱼生化特性的变化[J]. 食品科学, 2007, 28(1): 337-340
- Huang X C, Hou W F, Yang W G, Xu D L. Study on changes of biochemical properties of *Sciaenops ocellatus* during frozen storage[J]. *Food Science*, 2007, 28(1): 337-340 (in Chinese)
- [10] Xiong G Q, Cheng W, Li X Y, Du X, Zhou M, Lin R T, Geng S R, Chen M L, H Corke, Cai Y Z. Effect of konjac glucomannan on physicochemical properties of myofibrillar protein and surimi gels from grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Food Chemistry*, 2009, 116(2): 413-418
- [11] Pan J F, Shen H X, You J, Luo Y K. Changes in physicochemical properties of myofibrillar protein from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) during heat treatment[J]. *Journal of food biochemistry*, 2011, 35(3): 939-952
- [12] Li K F, Luo Y K, Shen H X. Postmortem changes of crucian carp (*Carassius auratus*) during storage in ice [J]. *International Journal of Food Properties*, 2015, 18(1): 205-212
- [13] 万建荣. 水产食品化学分析手册[M]. 上海: 科学技术出版社, 1993
- Wan J R. *Aquatic Food Chemical Analysis Manual* [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technology Publishers, 1993 (in Chinese)
- [14] Shi C, Lu H, Cui J Y, Shen H X, Luo Y K. Study on the predictive models on the quality of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fillets stored under variable temperature conditions[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2014, 38(1): 356-363
- [15] Shen S, Jiang Y, Liu X C, Luo Y K, Gao L. Quality assessment of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during super chilling and chilled storage[J]. *Journal of Food Science and Technology* 2015, 52(8): 5204-5211
- [16] 周爱梅, 龚杰, 邢彩云, 刘欣, 陈永泉. 罗非鱼与鳙鱼鱼糜蛋白在冻藏中的生化及凝胶特性变化[J]. 华南农业大学学报, 2005, 26(3): 103-107
- Zhou A M, Gong J, Xing C Y, Chen X, Chen Y Q. Changes in biochemical and gelling properties of tilapia and bighead surimi during frozen storage [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2005, 26(3): 103-107 (in Chinese)
- [17] Wang L, Xiong G Q, Peng Y B, Wu W J, Li X, Wang J, Qiao Y, Liao L, Ding A Z. The cryoprotective effect of different konjac glucomannan (KGM) hydrolysates on the grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) myofibrillar during frozen storage [J]. *Food Bioprocess Technology*, 2014, 7(12): 3398-3406
- [18] 赵进, 葛凌燕, 孟怡幡, 孙婵骏, 赵意娜, 关荣发, 励建荣. 真空包装冷冻鳙鱼和草鱼鱼片肉质变化特性研究[J]. 中国食品学报, 2013, 13(9): 217-226
- Zhao J, Ge L Y, Meng Y F, Sun C J, Zhao Y N, Guan R F, Li J R. Quality changes of *Mugil cephalus* and *Ctenopharyngodon idellus* L fillets stored under vacuum packaging at 0 °C [J]. *Journal of China Institute of Food Science and Technology*, 2013, 13(9): 217-226 (in Chinese)
- [19] 夏文水, 罗永康, 熊善柏, 许艳顺. 大宗淡水鱼贮运保鲜与加工技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014
- Xia W S, Luo Y K, Xiong S B, Xu Y S. *Freshwater Fish Preservation and Processing Technology* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2014 (in Chinese)
- [20] Lushchak V I, Husak V V, Storey K B. Regulation of AMP-deaminase activity from white muscle of common carp *Cyprinus carpio* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, Part B, 2008(149): 362-369
- [21] Johnsen S O, Skipnes D S, Hendrickx M E. Thermal inactivation kinetics of acid phosphatase (ACP) in cod (*Gadus morhua*) [J]. *European Food Research and Technology*, 2007, 224(3): 315-320