

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20180810003

http://www.yykxjz.cn/

王红丽, 施文正, 邱伟强, 王锡昌. 草鱼死后常温贮藏过程中的品质变化. 渔业科学进展, 2018, 39(6): 97-105

Wang HL, Shi WZ, Qiu WQ, Wang XC. Quality changes of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) in the process of postmortem stored at room temperature. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(6): 97-105

草鱼死后常温贮藏过程中的品质变化*

王红丽 施文正^① 邱伟强 王锡昌

(上海海洋大学食品学院 国家淡水水产品加工技术研发分中心(上海) 上海 201306)

摘要 为了研究草鱼死后常温贮藏过程中的品质变化,以草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)背肉为研究对象,测定了草鱼死后 30 h 内质构、pH、乳酸、游离氨基酸、ATP 及其关联化合物等指标的变化。结果显示,草鱼肉的硬度和咀嚼性在死后 23 h 时达到最大值,弹性、内聚性及回复性均随着时间的延长而降低。pH 呈先降低后升高的趋势,在 23 h 达到最大值。乳酸含量则先增加后减少。在整个贮藏过程中,鲜甜味游离氨基酸的总含量逐渐减少,而苦味游离氨基酸的总含量则逐渐增加。ATP 含量在草鱼死后 10 h 内显著增加,具有鲜味的 IMP 含量则迅速减少,呈苦味的 HxR 和 Hx 含量逐渐增加。在整个贮藏过程中,K 值一直增加。K 值的变化情况表明,草鱼死后常温贮藏 10 h 内可保持较高鲜度,27 h 时,K 值达到 68.99%,表明鱼肉已经腐败。研究表明,草鱼死后室温贮藏时应在 10 h 内尽快加工。

关键词 草鱼; 死后变化; 游离氨基酸; ATP 及其关联化合物; K 值

中图分类号 TS254.7 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2018)06-0097-09

草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)是我国主要的淡水经济鱼类,与青、鲢、鳙并称为“四大家鱼”,2016 年养殖产量为 590 万 t(中国渔业年鉴,2017),居淡水鱼之首。草鱼营养丰富、肉质鲜美,但由于其具有水分含量高、富含营养素、pH 中性等特点,货架期相对较短(Abdollahi *et al.*, 2014)。

鱼死后通常经历 4 个阶段:初期生化反应、僵硬期、解僵期、自溶与腐败。这些过程发生的快慢以及持续时间与鱼的种类、捕获季节、致死方式、宰前生理状况、贮藏温度、微生物污染等因素有关。Iwamoto 等(1987)比较了 0~20℃ 不同贮藏温度对褐牙鲈(*Paralichthys olivaceus*)宰后僵直的影响,发现 0℃ 条件下,褐牙鲈宰后 3 h 开始僵直,15 h 僵直达到最大;

在 5~15℃ 贮藏时,死后 28 h 僵直达到最大。Okamoto 等(2006)比较了不同季节捕获的三线矶鲈(*Parapristipoma trilineatum*)在 0~20℃ 不同贮藏温度下的僵直情况,结果显示,冬季和夏季捕获的三线矶鲈均是在 10℃ 贮藏时可以延长其僵硬期。

有关鱼类死后变化的研究主要集中在海水鱼类,而淡水鱼死后变化的研究相对较少,且温度多为 4℃ 贮藏(刘晓畅等,2016)、冰上贮藏(Ocaño-Higuera *et al.*, 2009)。本研究测定了草鱼死后常温贮藏 30 h 内质构、pH、乳酸、游离氨基酸、ATP 及其关联化合物、K 值等的变化,旨在丰富鱼类死后变化的基础理论,为草鱼流通过程中的品质控制及保鲜加工提供参考。

* 国家自然科学基金面上项目(31471685)资助[This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (31471685)]. 王红丽, E-mail: 18221338903@163.com

① 通讯作者: 施文正, 教授, E-mail: wzshi@shou.edu.cn

收稿日期: 2018-08-10, 收修改稿日期: 2018-08-14

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲜活草鱼购于上海市临港新城古棕路农工商超市, 每尾体重为(1600±100) g、体长为(42.5±3.2) cm。

腺嘌呤核苷三磷酸(Adenosine triphosphate, ATP)、二磷酸腺苷(Adenosine diphosphate, ADP)、肌苷酸(Inosine monophosphate, IMP)、次黄嘌呤(Hypoxanthine, Hx)(均为色谱纯, Sigma公司, 美国); 一磷酸腺苷(Adenosine monophosphate, AMP)、次黄嘌呤核苷(Inosine, HxR)(TCI公司, 日本); KH_2PO_4 、 K_2HPO_4 (色谱纯)、三氯乙酸(分析纯)、高氯酸、NaOH、KOH(优级纯)(国药集团化学试剂有限公司); 17种氨基酸混标(色谱纯)(中国计量科学研究院化学计量与分析科学研究所); 乳酸测试盒(南京建成生物工程研究所)。

1.2 仪器与设备

TA-XT Plus 型质构仪 (Stable Micro System 公司, 英国); SHP-2500 型低温生化培养箱 (上海精宏实验设备有限公司); H2050R 型高速冷冻离心机(长沙湘仪有限公司); L-8800 型氨基酸自动分析仪(Hitachi 公司, 日本); W2690/5 型高效液相色谱仪(Waters 公司, 美国); UV-1800PC 型紫外-可见分光光度计(上海美谱达仪器有限公司); FE20 型 pH 计(梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 原料预处理 鲜活草鱼经充氧运回实验室, 采用即杀(重击头部致晕)方式, 去除内脏, 用流动自来水冲洗干净, 沥干后整条装入聚乙烯保鲜袋中, 置于 25℃ 培养箱中贮藏。分别在 0、5、10、15、19、23、27、30 h 时, 随机选取 3 条鱼进行指标测定。

1.3.2 质构的测定 参考马海建(2016)的方法, 略作修改。采取横向切片, 将样品切成 2 cm×2 cm×1 cm 大小的肉块。测定模式为 TPA, 采用 P/6 平底柱形探头, 测试前速率为 3.00 m/s, 测试速率为 1.00 mm/s, 返回速率为 1.00 mm/s、压缩程度为 50%, 2 次压缩间停留时间为 5 s, 触发值为 5 g, 数据采集速率 200 pps。每组样品测定 8 次。

1.3.3 pH 的测定 参考吕斌等(2001)的方法, 略作修改。称取绞碎、混合均匀的 2.0 g 鱼肉于离心管中, 加 18 ml 蒸馏水, 均质 2 min, 10000 r/min 离心 10 min, 过滤, 取上清液, 用 pH 计测定。

1.3.4 乳酸的测定 采用比色法, 按照南京建成生物工程研究所乳酸测试试剂盒说明进行。取 2.0 g 草

鱼背肉, 用 18 ml 0.85% 生理盐水匀浆 30 s, 4℃ 条件下匀浆, 以 10000 g 离心 10 min, 收集上清液, 使用双缩脲法(Torten *et al.*, 2010)测定上清液的蛋白质浓度, 用测定试剂盒(No.A019, 南京建成生物工程研究所)在 530 nm 处用分光光度法测定乳酸, 结果显示为乳酸/g 蛋白质(mmol/g 蛋白质)。

1.3.5 游离氨基酸含量的测定 参考陈剑岚等(2017)的方法, 略作修改。称取样品 2.0 g, 加入质量分数为 15% 的三氯乙酸溶液 15 ml, 匀浆 2 min 后, 静置 2 h, 4℃ 条件下, 10000 r/min 离心 15 min, 过滤, 取上清液 5 ml, 用浓度为 3 mol/L 的 NaOH 溶液调节 pH 至 2.0, 定容至 10 ml, 摇匀, 过 0.22 μm 膜, 滤液上机检测。

1.3.6 核苷酸类化合物含量及 K 值的测定 参考 Yokoyama 等(1992)的方法, 略作修改。称取样品 5.0 g 置于 50 ml 离心管中, 加入 10 ml 质量分数为 10% 的 HClO_4 , 高速匀浆 2 min, 4℃ 条件下, 10000 r/min 离心 15 min, 过滤, 取上清液。用 5 ml 质量分数为 5% 的 HClO_4 洗涤沉淀, 再次离心, 合并上清液。调节上清液 pH 至 6.5, 静置 30 min 后, 定容至 50 ml, 摇匀, 过 0.45 μm 膜待测。

高效液相色谱条件: ODS-SP C18 色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm), ODS-SP 保护柱柱芯(4 mm×10 mm, 5 μm); 流动相 A 为 pH 是 6.5 的 0.05 mol/L KH_2PO_4 和 K_2HPO_4 (1:1) 溶液, 流动相 B 为甲醇溶液, 流速 1 ml/min 等梯度洗脱; 柱温 28℃; 进样量 10 μl; 检测波长 254 nm。

K 是 ATP 降解的产物 HxR 和 Hx 含量之和与 ATP 关联物总和的百分比(汤水粉等, 2014)。其计算公式:

$$K(\%) = \frac{(\text{HxR} + \text{Hx})}{(\text{ATP} + \text{ADP} + \text{AMP} + \text{IMP} + \text{HxR} + \text{Hx})} \times 100\%$$

式中, ATP、ADP、AMP、IMP、HxR 和 Hx 分别为相应化合物, 即腺苷三磷酸、腺苷二磷酸、腺苷酸、肌苷酸、肌苷(次黄嘌呤核苷)和次黄嘌呤的浓度, 以 μmol/g 湿重表示(李辉等, 2011)。

1.4 数据处理

实验数据以 3 个平行样品的平均值±标准差 (Mean±SD) 表示, 采用 SPSS 22.0 软件进行数据分析, 采用 Duncan 法进行多重比较, 采用 Origin 8.5 (OriginLab Corp, Hampton, 美国) 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 草鱼死后贮藏过程中质构特性的变化

草鱼死后 30 h 内硬度、弹性、内聚性、咀嚼性

以及回复性的变化见表 1。从表 1 可以看出, 鱼肉的硬度可用于评价其新鲜度, 刚宰杀的草鱼硬度为(423.91±8.88) g, 在草鱼死后 23 h 时, 硬度达到最大值, 为(538.96±11.80) g, 随后急剧下降。这与 Abe 等(1991)的研究结果基本一致。鱼肉的弹性和内聚性均随着时间的延长呈下降趋势, 但变化幅度不大。咀嚼性和回复性在贮藏后期下降明显。鱼死后, 肌肉

质构特性的变化不仅与胶原蛋白等基质蛋白的破坏有关, 而且与肌原纤维蛋白的变化有关(Martinez *et al*, 2011)。Li 等(2017)研究表明, 鱼死后硬度和弹性的变化与 pH 降低速率和肌原纤维的破坏有关。Sato 等(1991)提出酶的作用也是引起鱼贮藏过程中质构变化的重要因素。Bahaud 等(2010)也发现, 大西洋鲑鱼(*Salmo salar*)组织蛋白酶的作用导致弹性下降。

表 1 草鱼死后 25℃贮藏过程中质构的变化

Tab.1 Changes in texture of postmortem grass carp during storage at 25℃

贮藏时间 Storage time(h)	硬度 Hardness(g)	弹性 Springiness	内聚性 Cohesiveness	咀嚼性 Chewiness(g)	回复性 Resilience
0	423.91±8.88 ^c	0.89±0.04 ^a	0.43±0.02 ^a	179.38±8.27 ^b	0.25±0.01 ^a
5	440.42±19.80 ^{de}	0.88±0.03 ^{ab}	0.39±0.02 ^b	233.43±9.75 ^a	0.22±0.001 ^b
10	457.42±19.97 ^{cd}	0.85±0.04 ^{bc}	0.35±0.02 ^c	141.77±3.83 ^c	0.16±0.01 ^c
15	469.52±19.78 ^{bc}	0.84±0.01 ^c	0.31±0.02 ^d	128.13±4.66 ^d	0.14±0.01 ^d
19	480.25±22.44 ^b	0.84±0.03 ^c	0.30±0.01 ^d	110.95±3.99 ^d	0.13±0.00 ^e
23	538.96±11.80 ^a	0.78±0.04 ^d	0.23±0.01 ^e	84.56±3.66 ^e	0.10±0.00 ^g
27	363.13±14.89 ^f	0.79±0.00 ^d	0.21±0.01 ^f	76.00±2.80 ^f	0.10±0.00 ^g
30	336.57±17.34 ^g	0.76±0.02 ^d	0.20±0.00 ^f	62.16±4.30 ^f	0.10±0.00 ^g

注: 同列标注不同字母表示差异显著($P<0.05$), 下同

Note: The different superscript letters in the same column indicates significant difference ($P<0.05$), the same as below

2.2 草鱼死后贮藏过程中 pH 的变化

从图 1 可知, 刚宰杀草鱼的 pH 为 7.26±0.02, 高于鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)的初始 pH(史策, 2015)。鱼肉的初始 pH 值与种类、季节、饲料、死前活动水平以及肌肉类型等因素有关。草鱼死后的 30 h 内, pH 呈先下降后上升的趋势, 死后 23 h 时, 下降至 6.74±0.02, 在 30 h 时升高至 7.15±0.03。刘晓畅等(2016)研究发现, 长丰鲢(*Changfeng silver carp*)宰杀后在 4℃条件下, pH 在 24 h 时达到最低值, 之后

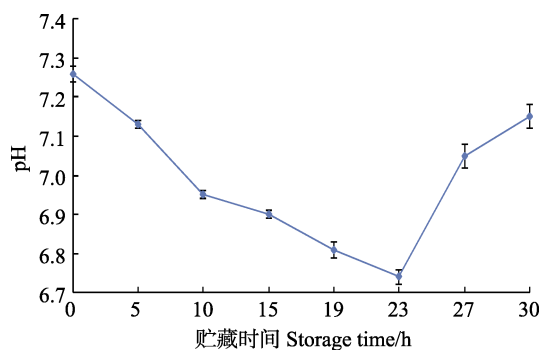


图 1 草鱼死后 25℃贮藏过程中 pH 的变化
Fig.1 Changes in pH value of postmortem grass carp during storage at 25℃

开始升高, 与本研究的结果基本一致。草鱼死后 pH 下降是由于糖原无氧酵解产生乳酸以及 ATP 和磷酸肌酸等物质逐渐分解产生磷酸所致(Hong *et al*, 2012; 熊雄等, 2012)。之后, 由于内源酶和鱼肉表面细菌分解蛋白质等含氮化合物, 产生碱性物质, 导致鱼肉 pH 逐渐升高(Fan *et al*, 2014)。

2.3 草鱼死后贮藏过程中乳酸含量的变化

从图 2 可以看出, 草鱼死后贮藏过程中, 乳酸含

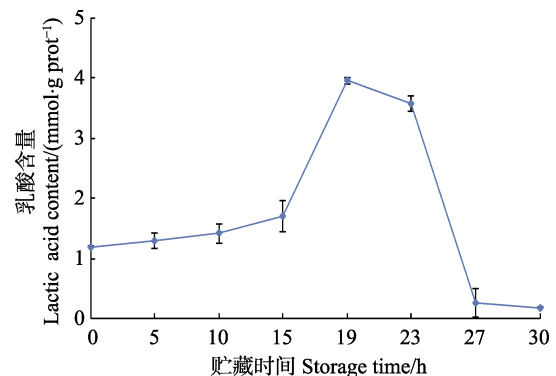


图 2 草鱼死后 25℃贮藏过程中乳酸含量的变化
Fig.2 Changes in lactic acid content of postmortem grass carp during storage at 25℃

量呈先增加后减少的趋势。刚宰杀草鱼的乳酸含量为(1.20±0.08) mmol/g prot, 随后逐渐增加, 在 19 h 时达到最大值, 为(3.96±0.05) mmol/g prot, 23 h 后, 乳酸含量急剧下降, 30 h 时, 乳酸含量仅为(0.20±0.02) mmol/g prot。草鱼死后, 肌肉中的糖元在无氧条件下经过糖酵解生成乳酸(Poli *et al*, 2015), 乳酸的生成造成 pH 降低, 导致肌质网积蓄 Ca^{2+} 的功能下降, Ca^{2+} 溶出促进了草鱼死后僵硬的进程(宋永令等, 2010)。

2.4 草鱼死后贮藏过程中游离氨基酸含量的变化

游离氨基酸是一类重要的滋味成分, 可以呈现出酸、鲜、甜、苦、硫味等, 对鱼肉的感官品质有重要影响。鱼死后, 肌肉中的蛋白质会发生分解, 使游离氨基酸的含量增加, 同时, 为细菌的生长繁殖创造了有利条件, 加速了鱼体的解僵和自溶过程。当鱼肉中的某些游离氨基酸浓度足够高时, 能够独立于其他成分对鱼的整体风味起作用(任仙娥等, 2003)。如组氨酸(His)、酪氨酸(Tyr)、赖氨酸(Lys)等具有苦味(施文正等, 2014), 天冬氨酸(Asp)、谷氨酸(Glu)、甘氨酸(Gly)、丙氨酸(Ala)等呈鲜味。鲜味氨基酸与呈味核苷酸还具有协同作用(杨阳等, 2015; 陈剑岚等, 2017)。

草鱼死后游离氨基酸含量的变化见表 2。从表 2 可以看出, 游离氨基酸总量随贮藏时间的延长呈总体增加的趋势, 其中, 组氨酸、甘氨酸、丙氨酸含量相对较高。游离氨基酸的呈味作用不仅与绝对含量有关, 更与阈值相关。草鱼死后贮藏过程中, 组氨酸的含量远高于其阈值(20 mg/100 g), 表明对草鱼死后滋味有着重要的作用, 而其他种类的游离氨基酸含量均在阈值水平以下。从图 3 可以看出, 草鱼死后贮藏过程中, 鲜甜味氨基酸的总含量呈下降趋势, 而苦味游离氨基酸的总含量则逐渐增加, 这可能与僵硬后期以

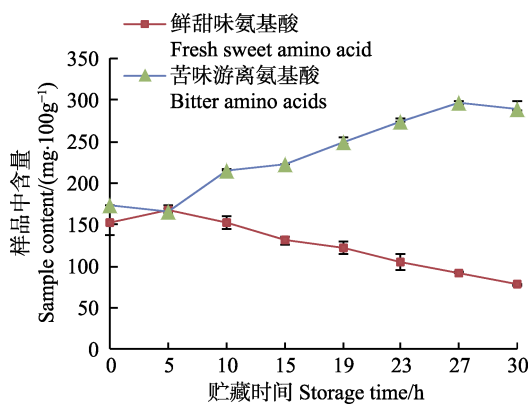


图3 草鱼死后 25°C 贮藏过程中鲜甜味和苦味氨基酸含量的变化

Fig.3 Changes in content of fresh sweet and bitter amino acids of postmortem grass carp during storage at 25°C

及自溶和腐败变质阶段鱼肌肉中不同类型的蛋白质降解有关。此外, 氨基酸的分解和汁液流失等也会产生一些影响(Erkan *et al*, 2011)。

2.5 草鱼死后贮藏过程中 ATP 关联化合物及 K 值的变化

从表 3 可以看出, 刚宰杀的草鱼 ATP 含量为(3.68±0.37) mg/100 g, 在 10 h 时上升至(12.54±0.41) mg/100 g, 随后略微下降。ADP 含量变化相对较小。

AMP 能抑制苦味, 使食品产生理想的咸味与甜味, 且与 IMP 具有协同作用(张佳琪, 2013), 草鱼死后, AMP 含量在 30 h 内略有波动, 整体呈增加趋势。IMP 是重要的鲜味物质(Okamoto *et al*, 2006), 刚宰杀的草鱼 IMP 含量较高, 随后, 在内源性 IMP 磷酸水解酶和微生物的作用下降解为 HxR 和 Hx; 30 h 时, IMP 含量降至(12.66±0.79) mg/100 g。Hx 和 HxR 具有苦味, 其含量在贮藏过程中明显增加, 是导致鱼肉整体风味劣化的重要原因。

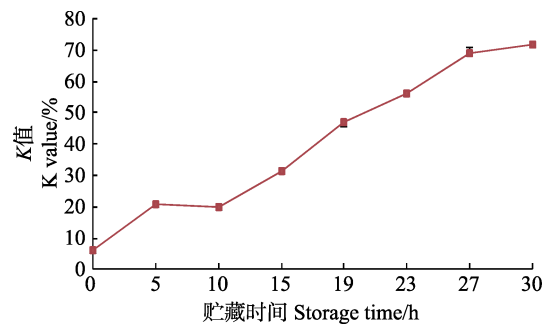


图4 25°C 贮藏条件下草鱼死后过程中 K 值的变化
Fig.4 Changes in K-value of postmortem grass carp during storage at 25°C

草鱼死后 30 h 内 K 值的变化见图 4。从图 4 可以看出, K 值是反映鱼死后鲜度变化以及风味相关的生化指标。K 值一般记为 HxR 和 Hx, 二者含量之和与 ATP 及其关联化合物总量的百分比, K 值越小说明其鲜度越好。低于 20% 为非常新鲜, 20%~50% 为相对新鲜, 高于 70% 时表明已经腐败(Saito *et al*, 1959)。本研究中, 刚宰杀草鱼的 K 值为 6.19%, 此后, 在贮藏过程中迅速增加, 在 10 h 内鱼肉保持较高鲜度, 27 h 时 K 值已达到 68.99%, 表明鱼肉已达到腐败程度。

3 结论

草鱼死后, 常温贮藏过程中, 鱼肉的硬度和咀嚼性在死后 23 h 时达到最大值, 弹性、内聚性及回复性则随时间的延长呈整体下降趋势。草鱼死后 pH 迅速降低, 23 h 时达到最小值, 在僵硬后期 pH 又逐

表 2 草鱼死后 25°C 贮藏过程中游离氨基酸含量的变化
 Tab.2 Changes in the contents of free amino acids of postmortem grass carp during storage at 25°C

氨基酸种类 Amino acid species	呈味特征 Taste attribute	阈值 Threshold (mg/100 g)	含量 Content (mg/100 g)							
			0 h	5 h	10 h	15 h	19 h	23 h	27 h	30 h
天冬氨酸 Asp*	鲜/酸(+) Fresh/Acid	3	0.56±0.03 ^b	0.67±0.05 ^a	0.64±0.04 ^a	0.55±0.04 ^b	0.48±0.02 ^c	0.41±0.02 ^d	0.40±0.02 ^d	0.40±0.05 ^d
苏氨酸 Thr*	甜(+) Sweet	260	17.87±0.77 ^{bc}	24.06±0.83 ^a	18.97±2.94 ^b	16.31±0.91 ^{cd}	15.83±0.40 ^{cd}	15.04±0.72 ^d	14.97±1.06 ^d	12.36±0.53 ^e
丝氨酸 Ser*	甜(+) Sweet	150	8.80±0.32 ^b	11.46±0.08 ^a	9.61±0.61 ^b	6.41±0.48 ^c	5.84±0.92 ^c	5.01±0.22 ^d	4.93±0.33 ^d	3.60±0.31 ^e
谷氨酸 Glu*	鲜/酸(+) Fresh/Acid	30	3.84±0.07 ^c	6.58±0.23 ^a	4.30±0.10 ^b	3.18±0.02 ^d	3.08±0.08 ^{de}	2.92±0.08 ^{ef}	2.84±0.06 ^{fg}	2.66±0.10 ^g
甘氨酸 Gly*	甜(+) Sweet	130	86.48±4.14 ^{ab}	91.24±3.92 ^a	84.62±4.01 ^{ab}	75.19±4.76 ^{bc}	71.10±4.99 ^c	58.62±9.45 ^d	47.83±2.17 ^{de}	41.83±0.84 ^e
丙氨酸 Ala*	甜(+) Sweet	60	21.45±0.53 ^a	22.12±1.03 ^a	21.26±0.76 ^a	19.12±0.15 ^b	17.40±0.11 ^c	15.54±0.35 ^d	14.21±0.28 ^e	11.88±0.63 ^f
半胱氨酸 Cys	苦/甜/硫(-) Bitter/Sweet/ Sulfur	ND	6.88±0.26 ^d	5.33±0.21 ^f	5.56±0.43 ^f	6.19±0.09 ^e	4.32±0.04 ^g	8.08±0.11 ^c	10.14±0.01 ^b	19.39±0.35 ^a
缬氨酸 Val [▲]	甜/苦(-) Sweet/Bitter	40	5.44±0.23 ^e	2.04±0.13 ^g	4.37±0.05 ^f	6.49±0.37 ^d	6.39±0.35 ^d	9.91±0.23 ^c	13.06±0.58 ^b	14.47±0.28 ^a
蛋氨酸 Met [▲]	苦/甜/硫(-) Bitter/Sweet/ Sulfur	30	3.52±0.40 ^{ab}	2.30±0.05 ^b	4.21±0.45 ^{ab}	4.04±0.15 ^{ab}	3.78±0.51 ^{ab}	4.79±0.17 ^a	4.46±0.61 ^a	3.78±0.51 ^{ab}
异亮氨酸 Ile [▲]	苦(-) Bitter	90	5.30±0.21 ^b	4.42±0.68 ^c	4.13±0.22 ^c	5.46±0.47 ^b	5.63±0.13 ^b	7.19±0.30 ^a	7.40±0.24 ^a	7.47±0.03 ^a
亮氨酸 Leu [▲]	苦(-) Bitter	190	8.42±0.16 ^c	7.38±0.81 ^{cd}	7.25±0.01 ^d	9.82±0.58 ^b	9.97±0.40 ^b	12.40±0.47 ^a	12.12±0.56 ^a	12.88±0.13 ^a

续表 2

氨基酸 种类 Amino acid species	呈味特征 Taste attribute	阈值 Threshold (mg/100 g)	含量 Content (mg/100 g)							
			0 h	5 h	10 h	15 h	19 h	23 h	27 h	30 h
酪氨酸 Tyr [▲]	苦(-) Bitter	ND	4.76±0.18 ^b	5.28±0.04 ^b	7.89±0.08 ^a	7.61±0.50 ^a	8.07±0.62 ^a	7.88±0.95 ^a	8.35±0.11 ^a	8.44±0.52 ^a
苯丙氨酸 Phe [▲]	苦(-) Bitter	90	4.86±0.06 ^c	5.65±0.03 ^{bc}	6.34±0.49 ^{ab}	6.44±0.21 ^{ab}	6.82±0.46 ^a	6.21±0.01 ^{ab}	6.03±0.01 ^{ab}	6.85±0.08 ^a
赖氨酸 Lys [▲]	甜/苦(-) Sweet/Bitter	50	19.49±0.98 ^e	16.38±0.01 ^e	28.12±0.30 ^f	30.31±1.46 ^d	33.91±1.21 ^d	41.84±1.56 ^c	41.40±0.49 ^b	47.01±0.49 ^a
组氨酸 His [▲]	苦(-) Bitter	20	112.45±0.23 ^d	115.87±1.92 ^d	138.39±0.21 ^c	139.29±2.28 ^c	158.70±2.91 ^b	166.26±4.63 ^b	184.72±5.47 ^a	168.12±8.85 ^b
精氨酸 Arg [▲]	甜/苦(-) Sweet/Bitter	50	9.96±0.04 ^c	6.20±0.15 ^d	14.97±0.28 ^b	13.75±0.95 ^b	15.14±1.51 ^b	17.72±1.03 ^a	19.30±0.52 ^a	19.10±0.11 ^a
脯氨酸 Pro [★]	甜/苦(+) Sweet/Bitter	300	12.60±0.45 ^a	11.33±0.38 ^b	12.80±0.62 ^a	10.33±0.38 ^c	8.18±0.59 ^d	7.51±0.15 ^{de}	6.84±0.60 ^e	5.15±0.15 ^f
总和 Total			340.87±5.45 ^e	341.79±3.71 ^e	369.36±4.67 ^{cd}	363.11±0.37 ^d	377.95±0.88 ^{bc}	381.96±1.99 ^b	398.67±3.40 ^a	385.35±9.50 ^b

“★”代表鲜甜味氨基酸，“▲”代表苦味氨基酸，“+”代表味道愉悦，“-”代表味道不好，“ND”表示阈值未检测到。同行标注不同字母表示差异显著($P<0.05$)

“★” means fresh sweet amino acids; “▲” means bitter amino acids; “+” means pleasant taste; “-” means unpleasant taste; “ND” means the threshold is not detected. The different superscript letters in the same row indicates significant difference ($P<0.05$)

表 3 草鱼死后 25℃贮藏过程中 ATP 及其关联化合物的变化

Tab.3 Changes in ATP-related compounds of postmortem grass carp during storage at 25℃

时间 Time(h)	含量 Content (mg/100 g)					
	肌苷酸 IMP	腺嘌呤核苷 三磷酸 ATP	二磷酸腺酸 ADP	一磷酸腺苷 AMP	次黄嘌呤 Hx	次黄嘌呤核苷 HxR
0	212.53±9.81 ^a	3.68±0.37 ^c	14.69±0.22 ^c	8.36±0.43 ^d	2.16±0.20 ^d	13.46±1.22 ^f
5	157.68±7.43 ^b	4.57±0.45 ^c	15.87±0.16 ^b	8.09±0.70 ^d	3.12±0.25 ^{cd}	46.26±2.46 ^e
10	161.71±7.33 ^b	12.54±0.41 ^a	17.87±0.63 ^a	11.74±0.37 ^a	4.17±0.20 ^c	46.95±0.32 ^e
15	111.69±4.96 ^c	9.32±0.04 ^b	17.86±0.18 ^a	9.83±0.96 ^c	4.95±0.13 ^c	63.27±0.14 ^d
19	57.74±2.94 ^d	10.44±0.00 ^b	16.00±0.08 ^b	10.42±1.15 ^{ab}	7.36±0.11 ^b	75.76±2.01 ^c
23	41.61±4.45 ^e	10.16±0.01 ^b	15.48±0.32 ^{bc}	11.32±0.18 ^{ab}	8.47±0.66 ^b	92.66±6.80 ^b
27	14.66±0.62 ^f	10.17±1.33 ^b	16.22±0.62 ^b	11.60±0.23 ^a	19.40±0.08 ^a	97.52±4.75 ^b
30	12.66±0.79 ^f	10.20±0.11 ^b	15.52±0.37 ^{bc}	11.40±0.03 ^a	21.30±0.27 ^a	105.17±1.48 ^a

渐增高。乳酸含量呈现先增加后减少的趋势。鲜甜味游离氨基酸的总含量逐渐减少,而苦味游离氨基酸的总含量则逐渐增加,同时,具有鲜味的 IMP 含量迅速减少,而呈现苦味的 HxR 和 Hx 含量则逐渐增加。K 值的变化情况表明,草鱼死后常温贮藏 10 h 内可保持较高鲜度,27 h 时达到腐败。因此,应尽量在草鱼死后 10 h 内进行加工。

参 考 文 献

- Abdollahi M, Rezaei M, Farzi G. Influence of chitosan/clay functional bio-nanocomposite activated with rosemary essential oil on the shelf life of fresh silver carp. *International Journal of Food Science and Technology*, 2014, 49(3): 811–818
- Abe H, Okuma E. Rigor-mortis progress of carp acclimated to different water temperatures. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1991, 57(11): 2095–2100
- Anonymous. Fishery yearbook in China in 2017. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2017 [农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2017]
- Bahuaud D, Gaarder M, Veiseth-Kent E, *et al.* Fillet texture and protease activities in different families of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 2010, 310(1–2): 213–220
- Chen JL, Chen SS, Shi WZ, *et al.* Study of water-soluble flavor components in fish meat of different size of grass carp. *Food and Fermentation Industry*, 2017, 43(1): 213–217 [陈剑岚, 陈舜胜, 施文正, 等. 大小草鱼肉呈味水溶性成分的比较. *食品与发酵工业*, 2017, 43(01): 213–217]
- Erkan N, Uretener G, Alpas H, *et al.* The effect of different high pressure conditions on the quality and shelf life of cold smoked fish. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2011, 12(2): 104–110
- Fan HB, Luo YK, Yin XF, *et al.* Biogenic amine and quality changes in lightly salt- and sugar-salted black carp (*Mylopharyngodon piceus*) fillets stored at 4 °C. *Food Chemistry*, 2014, 159: 20–28
- Hong H, Luo Y, Zhou Z, *et al.* Effects of low concentration of salt and sucrose on the quality of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fillets stored at 4 °C. *Food Chemistry*, 2012, 133(1): 102–107
- Iwamoto M, Yamanaka H, Watabe S, *et al.* Effect of storage temperature on Rigor-Mortis and ATP degradation in place *Paralichthys olivaceus* muscle. *Journal of Food Science*, 1987, 52(6): 1514–1517
- Li H, Liu LF, Yang BF, *et al.* Studies on the texture and rheological properties of *Paralichthys olivaceus* under controlled freezing point storage. *Progress in Fishery Sciences*, 2011, 32(03): 63–68 [李辉, 刘莲凤, 杨博峰, 等. 冰温保鲜条件下牙鲈的鲜度及质构变化. *渔业科学进展*, 2011, 32(3): 63–68]
- Li Q, Zhang LT, Lu H, *et al.* Comparison of postmortem changes in ATP-related compounds, protein degradation and endogenous enzyme activity of white muscle and dark muscle from common carp (*Cyprinus carpio*) stored at 4 °C. *Food Science and Technology*, 2017, 78: 317–324
- Liu XC, Jiang Y, Shen S, *et al.* Postmortem changes of Changfeng sliver carp during storage at 4 °C. *Meat Research*, 2016, 30(5): 20–24 [刘晓畅, 蒋妍, 申松, 等. 4 °C 冷藏条件下长丰鲢尸僵过程中的品质变化规律. *肉类研究*, 2016, 30(5): 20–24]
- Lü B, Chen SS, Deng DW. Variations of glycogen, lactic acid content and pH value in muscle of three species of cultured freshwater fishes during storage. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2001, 10(3): 239–242 [吕斌, 陈舜胜, 邓德文. 三种淡水鱼肌肉的糖元、乳酸含量和 pH 值及在冷藏中的变化. *上海水产大学学报*, 2001, 10(3): 239–242]
- Ma HJ. Effects of ultra-high pressure treatment on the quality of grass carp meat and surimi. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2016 [马海建. 超高压处理对草鱼鱼肉和鱼糜制品品质的影响. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2016]

- Martinez I, Wang PA, Slizyte R, *et al.* Protein expression and enzymatic activities in normal and soft textured Atlantic salmon (*Salmo salar*) muscle. *Food Chemistry*, 2011, 126(1): 140–148
- Ocaño-Higuera VM, Marquez-Ríos E, Canizales-Dávila M, *et al.* Postmortem changes in cazon fish muscle stored on ice. *Food Chemistry*, 2009, 116(4): 933–938
- Okamoto A, Hamada Y, Miura K, *et al.* Influence of killing procedures and storage temperatures on post-mortem changes in the muscle of cultured three-line grunt *Parapristipoma trilineatum*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 2006, 72(5): 918–923
- Poli BM, Parisi G, Scappini F, *et al.* Fish welfare and quality as affected by pre-slaughter and slaughter management. *Aquaculture International*, 2005, 13(1–2): 29–49
- Ren XE, Zhang SH. The research status of fish flavor. *China Condiment*, 2003, 28(12): 17–21 [任仙娥, 张水华. 鱼肉风味的研究现状. *中国调味品*, 2003, 28(12): 17–21]
- Saito T, Arai K, Matsuyoshi M. A new method for estimating the freshness of fish. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1959, 24(9): 749–750
- Sato K, Ohashi C, Ohtuki, K, *et al.* Type V collagen in trout (*Salmo gairdneri*) muscle and its solubility change during chilled storage of muscle. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 1991, 39(7): 1222–1225
- Shi C. Changes of the ATP-related compounds and biochemical properties of silver carp during early stage post-mortem and chilled storage. Doctoral Dissertation of China Agricultural University, 2015 [史策. 鲢鱼尸僵及贮藏过程中 ATP 关联物及生化特性变化规律的研究. 中国农业大学博士研究生学位论文, 2015]
- Shi WZ, Chen QY, Wan JQ, *et al.* Effect of frozen on freshness and taste of grass carp mea. *Food Industry Technology*, 2014, 35(16): 334–336, 341 [施文正, 陈青云, 王金庆, 等. 冷冻对不同部位草鱼肉鲜度和滋味的影响. *食品工业科技*, 2014, 35(16): 334–336, 341]
- Song YL, Luo YK, Zhang LN, *et al.* Study on bream (*Megalobrama amblycephala*) quality variation during storage under different temperatures. *Journal of China Agricultural University*, 2010, 15(4): 104–110 [宋永令, 罗永康, 张丽娜, 等. 不同温度贮藏期间团头鲂品质的变化规律. *中国农业大学学报*, 2010, 15(4): 104–110]
- Tang SF, Qian ZZ, Luo FF, *et al.* Determination of ATP-related compounds in aquatic products by high performance liquid chromatography. *Progress in Fishery Sciences*, 2014, 35(2): 110–116 [汤水粉, 钱卓真, 罗方方, 等. 高效液相色谱法测定水产品中 ATP 关联化合物. *渔业科学进展*, 2014, 35(2): 110–116]
- Torten J, Whitaker JR. Evaluation of the biuret and dye-binding methods for protein determination in meats. *Journal of Food Science*, 2010, 29(2): 168–174
- Xiong X, Peng ZQ, Jin HG, *et al.* Changes in muscle pH and rigor index of big head carp during ice storage and their effects on gel properties of salt-soluble proteins from big head carp. *Journal of Food Science*, 2012, 33(9): 87–90 [熊雄, 彭增起, 靳红果, 等. 鲢鱼宰后 pH 值和僵直指数的变化及其对盐溶蛋白凝胶特性的影响. *食品科学*, 2012, 33(9): 87–90]
- Yang Y, Shi WZ, Wang ZH, *et al.* Effect of ultra-high pressure on the flavor of cooked white shrimp meat. *Food Industry Technology*, 2015, 36(18): 87–92, 98 [杨阳, 施文正, 汪之和, 等. 超高压对南美白对虾熟制虾仁风味的影响. *食品工业科技*, 2015, 36(18): 87–92, 98]
- Yokoyama Y, Sakaguchi M, Kawai F, *et al.* Change in concentration of ATP-related compounds in various tissues of oyster during ice storage. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1992, 58(11): 2125–2136
- Zhang JQ. A simplified method for extration of ATP related compounds in fish meat and its application. Master's Thesis of Zhejiang University, 2013, 2–4 [张佳琪. 鱼肉中 ATP 关联化合物提取方法的改进及应用. 浙江大学硕士研究生学位论文, 2013, 2–4]

(编辑 陈辉)

Quality Changes of Grass Carp (*Ctenopharyngodon idellus*) in the Process of Postmortem Stored at Room Temperature

WANG Hongli, SHI Wenzheng^①, QIU Weiqiang, WANG Xichang

(College of Food Science and Technology, National R&D Branch Center for Freshwater Aquatic Products Processing
Technology (Shanghai), Shanghai Ocean University, Shanghai 201306)

Abstract In order to study the quality changes of grass carp during postmortem at room temperature (25°C), the changes in texture, pH, lactic acid, free amino acids, and ATP-related compounds in the dorsal meat of grass carp were measured using texture analyzer, pH meter, lactic acid kit, automatic amino acid analyzer, and high-performance liquid chromatography method in the postmortem process within 30 h. The results showed that hardness and chewiness of the grass carp reached its maximum at 23 h and then rapidly decreased, while springiness, cohesiveness, and resilience of grass carp decreased with the extension of storage time. pH showed a trend of decreasing first and then increasing, and it reached its maximum at 23 h. The content of lactic acid increased initially and then decreased, which reached its minimum value at 23 h. The total amount of fresh sweet amino acids gradually decreased during the postmortem process, while bitter amino acids were just the opposite, which increased during the postmortem process. The content of ATP increased significantly within 10 h, while the content of IMP with umami taste decreased rapidly¹. Furthermore, the content of HxR and Hx with bitter taste increased gradually during the storage process. The K value increased during the postmortem process. The change in K value indicated that grass carp could maintain high freshness after storage for 10 h at room temperature, and it reached 68.99% at 27 h, which showed that the fish had spoiled at that time. Therefore, it should be processed as soon as possible, ideally within 10 hours after the death of grass carp at room temperature. This study will enrich the basic theory of postmortem variation of fish and provide support for the quality change of aquatic products.

Key words *Ctenopharyngodon idellus*; Postmortem; Free amino acids; ATP-related compounds; K-value

① Corresponding author: SHI Wenzheng, Email: wzshi@shou.edu.cn