

冷藏过程中草鱼肌肉组织学特性的研究

王建辉¹, 靳娜¹, 刘冬敏^{1,2}, 刘永乐¹, 陈奇¹, 王发祥¹, 李向红¹, 俞健¹

(1. 长沙理工大学, 湖南省水生资源食品加工工程技术研究中心, 湖南长沙 410114)

(2. 湖南科技学院生命科学与化学工程系, 湖南永州 425199)

摘要: 采用透射电镜、气相色谱-质谱法以及 SDS-PAGE 技术, 研究了 2~4 °C 冷藏过程中草鱼肌肉微观组织学特性及典型脂肪酸、蛋白质的变化情况。研究表明, 新鲜草鱼肌纤维膜下积累有大量脂滴, 且多有排出迹象, 腹部肌肉肌原纤维间线粒体周围存在大量粒径约 0.25~0.50 μm 的脂滴, 而背部肌肉肌原纤维间无脂滴存在; 2~4 °C 冷藏过程中, 草鱼肌肉肌丝发生不同程度断裂, 肌细胞结构逐渐模糊, 严重时, 肌原纤维大面积酶解自溶或呈现水样变化, 出现空泡状细胞和变性细胞碎片, 肌浆网、线粒体严重水肿, 胞内脂滴逐渐向肌纤维膜处迁移, 并逐步降解。与此同时, 随着冷藏时间的延长, 草鱼肌肉 MUFA 和 PUFA 及其相应的主要脂肪酸逐渐降解, SFA 及其相应的主要脂肪酸的相对含量逐渐上升; 肌原纤维蛋白和肌浆蛋白逐渐降解, 肌球蛋白重链和肌动蛋白的显著降解导致草鱼肌肉肌丝逐步发生断裂、肌纤维结构模糊, 最终导致鱼肉品质的劣化。

关键词: 草鱼; 冷藏; 微观结构; 脂肪酸; 肌原纤维蛋白; 降解;

文章编号: 1673-9078(2014)10-19-23

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.10.004

Histological Characteristics of Grass Carp Muscle during Cold Storage

WANG Jian-hui¹, JIN Na¹, LIU Dong-min^{1,2}, LIU Yong-le¹, CHEN Qi¹, WANG Fa-xiang¹, LI Xiang-hong¹, YU Jian¹

(1. Hunan Provincial Engineering Research Center for Food Processing of Aquatic Biotic Resources, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China) (2. Department of Biology and chemistry, Hunan University of Science and Engineering, Yongzhou 425100, China)

Abstract: The histological features and changes in lipid and protein characteristics of grass carp muscle during cold storage at 2 °C~4 °C were investigated using transmission electron microscopy, gas chromatography-mass spectrophotometry, and sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis. The results showed that there was a large number of lipid droplets accumulated below the sarcolemma of fresh grass carp muscle and most of these droplets showed signs of discharging. Additionally, there were numerous lipid droplets with diameter of 0.25~0.5 μm around the mitochondria, observed between myofibrils in the abdominal muscle of the fish. However, no lipid droplets were found between the myofibrils in the muscle of the back region. During cold storage at 2 °C~4 °C, varying degrees of rupture were observed in the myofilaments of grass carp muscle, and the cell structure gradually disintegrated. In severe cases, autolysis or watery transformation appeared in a large area of myofibrils; vacuole-like cells and degenerated cell debris were noted; severe edema accumulated in sarcoplasmic reticulum and mitochondria; intracellular lipid droplets gradually migrated toward the sarcolemma, where they slowly degraded. Meanwhile, with increasing cold storage time, monounsaturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, and their main corresponding fatty acids degraded gradually, while saturated fatty acids and their main corresponding fatty acids increased. Furthermore, myofibrillar content and sarcoplasmic proteins gradually degraded. The significant degradation of myosin heavy chains and actin led to a gradual rupture of myofibril in the muscle and visual blurring of cell structures, which eventually led to deterioration of fish meat quality.

Key words: grass carp; cold preservation; microstructure; fatty acid; myofibrillar proteins; degradation

收稿日期: 2014-03-12

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目 (31301564, 31201427); 湖南省科技重大专项 (2010FJ1007); “十二五”国家科技支撑计划项目课题 (2012BAD31B08); 湖南省“十二五”重点学科建设项目

作者简介: 王建辉(1980-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为淡水生物资源开发与功能性食品

通讯作者: 刘永乐(1962-), 男, 博士, 教授, 研究方向为食品生物技术与农副产品加工

我国是世界水产大国,水产品总产量自 1990 年以来稳居世界首位,2013 年全国水产品产量达 5907.68 万 t,同比增长 5.43%^[1]。草鱼 (*Grass carp, Ctenopharyngodon idellus*) 是我国的传统鱼类,为四大家鱼之一,2013 年总产量达 478.17 万 t,占全国淡水产品总量的 20.49%^[1],其养殖产量、消费量和产值均居淡水鱼之首^[2]。鲜活销售一直是我国淡水鱼的主要销售方式,但在鲜销过程中草鱼鱼肉因水分和不饱和脂肪酸含量高、内源组织酶活跃、鳃部及其体表携带有大量细菌等多重原因^[3],在贮藏、运输及加工过程中极易发生腐败变质,从而严重限制了其精深加工及高效利用。肌原纤维的排布和肌内脂肪的存储模式直接影响肌肉蛋白的乳化特性、凝胶性、抗变性能力及脂质的抗氧化性能^[4],进而决定着肌肉的嫩度、保水多汁性等食用品质,也对鱼肉及其制品的风味、储藏性能起到重要作用。因此,综合使用物理手段和化学分析方法,通过观察冷藏过程中草鱼肌肉肌纤维、肌原纤维及部分细胞器的微观结构变化,结合冷藏期间肌肉脂肪酸组成变化和典型蛋白质的降解,探讨此类变化与鱼肉品质间的关联,对草鱼保鲜及加工技术提升具有重要的理论意义和技术指导意义。

本研究旨在明晰微观组织的结构变化与脂肪酸组成变化、典型蛋白质降解的关联,综合采用透射电镜和气相色谱-质谱法,开展了 2~4 °C 冷藏过程中草鱼肌肉微观组织学特性及典型脂肪酸、蛋白质的变化情况研究,为淡水鱼的加工贮藏提供新的理论依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 材料

新鲜草鱼,购于长沙市校园周边菜市场。

1.2 实验试剂与仪器

石油醚(30~60 °C 沸程)、乙醚、乙醇、正己烷、甲醇、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢钾购于天津光复;2-巯代巴比妥酸购于上海雅吉;氢氧化钾、盐酸、酚酞、碘化钾、三氯甲烷、冰乙酸、硫代硫酸钠、可溶性淀粉、乙二胺四乙酸(EDTA)购于国药集团;硼酸购于汕头西陇;戊二醛、饿酸、丙酮、醋酸铀、硝酸铅购于上海金泓;标准蛋白购于加拿大 Fermentas;牛血清蛋白购于上海泽龙。

岛津 GCMS-QP2010 Plus 气质联用仪,北京京科;UV 2600 紫外-可见分光光度计,上海舜宇恒平;BS124S 电子天平,德国赛多利斯;FD-1 冷冻干燥机、

RE-52A 旋转蒸发器、SHZ-DIII 循环水真空泵、HH-ZI 多孔数显水浴锅,西安予辉;DZX180 生化培养箱,上海艾测;DS-1 高速组织捣碎机,上海标准模型厂;DELTA 320 pH 计,上海诚铭;LKB-III 型超薄切片机,瑞典 LKB;HT7700 型透射电镜,日立高新;JYL-C012,九阳料理机;DYCZ-24DN 电泳仪,北京六一仪器厂;电热炉,天平,常用玻璃器皿。

1.3 实验方法

1.3.1 原料鱼块制作

市购草鱼重约 1.2~1.5 kg,长约 40 cm 的新鲜草鱼,经 0~2 °C 水中预冷 30 min 后去鳞、内脏、尾,剔除脊骨及主刺,将鱼肉分割成 3 cm×5 cm×2 cm 的小块,混匀后随机分成 9 等份,用透明塑料袋封装后置于 2~4 °C 冷藏室内冷藏。试验期为 12 d,每 6 d 随机选取鱼肉样品,备用。

1.3.2 典型脂肪酸相对含量的测定

1.3.2.1 鱼油的提取

分别于 2~4 °C 冷藏的第 0、6、12 d,选取原料鱼块去皮去骨搅成肉泥,冻干,粉碎后,石油醚浸提,蒸馏回收石油醚,得鱼油。

1.3.2.2 脂肪酸的衍生

准确称取鱼油 0.200 g,用正己烷定容至 10 mL,移取稀释油样品 2 mL 置于衍生管,加入 4 mol/L 氢氧化钾-甲醇溶液 2 mL,混匀,60 °C 水浴甲酯化 1 min,取出,充分振荡 20 min,加入适量无水 Na₂SO₄ 颗粒,振荡 5 min,静置,取上清液用于 GC/MS 分析。

1.3.2.3 GC-MS 分析

气相色谱条件:色谱柱:HP-88,100 m×0.25 mm×0.20 μm;载气 He,流速 1.04 mL/min,分流比 20:1,进样口温度 250 °C,子源温度 230 °C,程序升温:120 °C 保持 1 min,然后以 10.0 °C/min 升至 175 °C,维持 10 min,5 °C/min 升至 210 °C,保持 5 min,5 °C/min 升至 230 °C,保持 15 min。

MS 条件:离子源温度:200 °C;GC/MS 接口温度:220 °C;电离方式:EI 源;电离电压:70 eV。采集方式:全扫描,质核比扫描范围:m/z 50~600。

1.3.3 不同种类蛋白质的 SDS-PAGE 分析

分别于 2~4 °C 冷藏的第 0、6、12 d,选取原料鱼块去皮去骨搅成肉泥,肌原纤维蛋白和肌浆蛋白的提取参照李强等^[5]的方法进行。电泳分离胶浓度为 12%,恒流 23 mA 电泳分离,0.5 g/L 考马斯亮蓝 R250 染色 2~3 h,脱色至背景透明后拍照分析。

1.3.4 微观结构分析

分别于 2~4 °C 冷藏的第 0、6、12 d,以侧线为中

心线,于背鳍与腹鳍间截取大小为5 mm×3 mm×3 mm的背部和腹部鱼肉各一块,经2.5%的戊二醛固定后,于2%的锇酸中再行固定,丙酮梯度脱水后,经环氧树脂浸泡、包埋,修块后用瑞典产LKB-III型超薄切片机切成厚约500 Å的超薄片,用醋酸铀、硝酸铅双重染色,HT7700型透射电镜观察、拍片。

1.4 数据分析

结果以平均值表示,显著性统计采用SAS 8.0统计软件的单因素方差分析,并进行Duncan氏多重比较, $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 冷藏条件下草鱼背部肌肉的组织学特性的变化

的变化

新鲜草鱼背部肌肉冷藏期间的微观结构变化如图1所示。

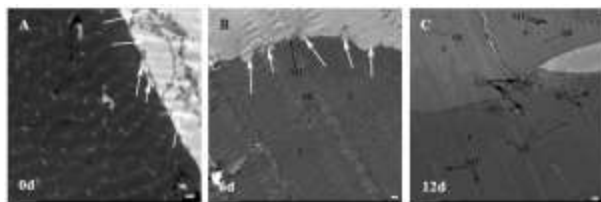


图1 冷藏条件下草鱼背部肌肉的组织学特性变化(标尺=10 μm)

Fig.1 Variation in histological characteristics of grass carp back muscle during cold storage (bar = 10 μm)

注:SR=肌浆网,MT=线粒体,F=肌原纤维,白色箭头=脂滴,CD=细胞碎片。

由图可知,冷藏第0d(新鲜)的草鱼背部肌肉的组织结构都很清晰,肌小节及横纹清晰可辨,肌浆网和线粒体有水肿现象,肌纤维膜下有脂滴堆积,且有排出迹象,肌原纤维间无脂滴存在(图1-A)。冷藏第6d,草鱼背部肌肉组织结构模糊化,大量肌丝发生断裂、溶解,肌小节和横纹消失,肌原纤维轮廓消失并出现水样变化,部分肌浆网和线粒体水肿。肌纤维膜下脂滴减小,变多,且有排出迹象(图1-B)。冷藏第12d,肌原纤维酶解自溶现象严重,肌浆网和线粒体严重水肿、空泡样变,肌纤维间水样变性,出现大量细胞碎片,肌纤维膜破坏,膜下脂滴完全消失。(图1-C)。

2.2 冷藏条件下草鱼腹部肌肉的组织学特性的变化

的变化

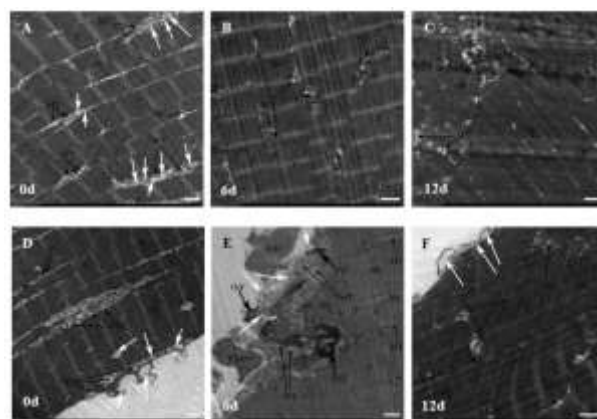


图2 不同冷藏期草鱼腹部肌肉的组织结构和脂肪存储模式(标尺=10 μm)

Fig.2 Histological characteristics and lipid storage mechanisms in grass carp abdominal muscle during cold storage (bar = 10 μm)

注:SR=肌浆网,MT=线粒体,F=肌原纤维,白色箭头=脂滴,INF=间质神经纤维,BRC=红细胞。

2.3 冷藏过程中草鱼肌肉典型脂肪酸的变化

棕榈酸与硬脂酸、棕榈油酸与油酸、亚油酸与α-亚麻酸分别是草鱼肌肉中主要的饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)、单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA)和多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)^[7]。冷藏过程中草鱼肌肉典型脂肪酸变化情况如表1所示,冷藏第6d,肌肉脂肪酸中SFA、MUFA和PUFA的总量及其相应的主要脂肪酸无不显著变化($P>0.05$),而冷藏至第12d,肌肉脂肪酸中SFA总量及其相应的主要脂肪酸(棕榈酸与硬脂酸)含量显著增加($P<0.05$),而MUFA和PUFA的总量及其相应的主要脂肪酸(棕榈油酸与油酸、亚油酸与亚麻酸)含量均显著降低($P<0.05$)。众所周知,油酸、亚油酸和亚麻酸等不饱和脂肪酸是生物膜中磷脂的重要组成部分^[9]。从草鱼肌肉组织学特性来看,肌纤维内脂滴多分布于肌纤维膜下及肌原纤维间线粒体周围,这种存储模式不仅方便脂质与氧接触,线粒体存储的ATP及其膜上聚集的脂酰辅酶A合成酶也为脂肪酸的β-氧化提供了良好条件,使得亚油酸、亚麻酸这些不饱和脂肪酸更容易氧化降解^[9-10]。脂肪酸的降解改变了细胞膜的稳定性,使得冷藏后期肌纤维膜下脂滴逐渐排除胞外,进一步加剧微生物的污染和肉质的腐败。

脂肪酸的降解与其结构类型也存在一定关联。冷藏第6d,ω-6多不饱和脂肪酸总量冷藏前6d亦不存

在显著变化 ($P>0.05$), 而 ω -3 多不饱和脂肪酸的总量显著下降 12.46% ($P<0.05$); 至冷藏第 12 d, ω -6 和 ω -3 多不饱和脂肪酸分别减少 22.31% 和 9.58% ($P<0.05$), 冷藏后期, ω -3 多不饱和脂肪酸存在稍微上升现象 ($P>0.05$), 究其原因, 可能是机体细胞中维持生物膜相对稳定性的各种复杂酶系通过脂肪酸的去饱和化、碳链延长以及脂肪酸在磷脂中的酯化作用等严格调控着磷脂中长链多不饱和脂肪酸的相对含量的缘故^[11]。与 Memon 等^[12]的报道相吻合, 即人工养殖的淡水鱼, 其肌肉在冷藏过程中存在 ω 6 或 ω 3 多不饱和脂肪酸的链延长和去饱和现象。然而由于这部分脂

肪酸占总 PUFA 的比例很小, 在冷藏过程中草鱼肌肉 PUFA 总量仍呈现因脂肪的水解和氧化而出现逐渐减少的趋势。以上研究结果均与前期报道基本一致^[7], 而文献^[8]根据冷藏期间鱼片总脂肪含量、POV 和硫代巴比妥酸反应产物值的变化, 推测鱼片脂肪于冷藏前 4 d 变化不明显, 自第 5、6 d 开始显著变化, 第 8 d 起严重氧化, 此时鱼片完全不可食用, 而本研究结果显示前 6 d 脂肪变化不是很明显, 可能缘于试验鱼的渔获季节不同, 草鱼肌肉初始脂肪含量及其组成不同的缘故, 因此, 有必要进一步开展不同渔获季节或不同鱼体脂肪含量与保藏效果的关联研究。

表 1 冷藏过程中草鱼肌肉典型脂肪酸含量变化

Table 1 Variations in typical fatty acid content in grass carp muscle during cold storage

脂肪酸名称	冷藏第 0 d (新鲜)	冷藏第 6 d	冷藏第 12 d
饱和脂肪酸(SFA)	25.16±1.31 ^b	26.35±1.65 ^b	35.08±1.46 ^a
单不饱和脂肪酸(MUFA)	50.92±1.04 ^a	50.83±1.71 ^a	45.01±1.45 ^b
多不饱和脂肪酸(PUFA)	23.21±0.93 ^a	21.76±1.15 ^{ab}	19.03±0.80 ^b
ω -6 多不饱和脂肪酸(ω -6 PUFA)	17.48±0.58 ^a	16.33±0.57 ^a	13.58±0.34 ^b
ω -3 多不饱和脂肪酸(ω -3 PUFA)	3.13±0.15 ^a	2.74±0.22 ^b	2.83±0.19 ^b
棕榈酸(Hexadecanoic acid)	19.46±1.84 ^b	19.65±1.46 ^b	28.25±1.45 ^a
硬脂酸(Octadecanoic acid)	3.85±0.25 ^b	4.14±0.36 ^b	5.29±0.20 ^a
油酸(9-Octadecenoic acid)	38.56±1.58 ^a	38.21±1.59 ^a	30.47±1.57 ^b
棕榈油酸(9-Hexadecenoic acid)	5.42±0.51 ^a	5.16±0.19 ^a	4.51±0.18 ^b
亚油酸(9, 12-Octadecadienoic acid)	16.46±0.51 ^a	14.97±0.6 ^{0ab}	12.26±0.42 ^b
亚麻酸(9, 12, 15-Octadecatrienoic acid)	2.18±0.18 ^a	1.87±0.12 ^{ab}	1.51±0.06 ^b

注: 同行上标不同表示差异显著($P<0.05$)。

2.4 冷藏过程中草鱼肌肉典型蛋白质的变化

肌原纤维蛋白和肌浆蛋白是鱼肌肉中重要的蛋白质, 二者分别占总蛋白含量的55%和35%左右^[13]。图3是冷藏过程中草鱼肌原纤维蛋白和肌浆蛋白的含量变化情况。可见, 冷藏期间, 肌原纤维蛋白和大分子的肌浆蛋白质含量逐渐降低, 说明冷藏过程中草鱼肌肉蛋白质在不断降解。冷藏第6 d, 肌球蛋白重链(MHC, 210 kD)和肌动蛋白(actin, 42 kD)显著降解, 至冷藏第12 d已基本降解完全, 而此时肌球蛋白轻链(MLC, 15、17 kD)也明显降解。大于100 kD的肌浆蛋白于冷藏的第6 d基本降解完全, 而70~100 kD区间新增了几个蛋白条带, 这可能是由于大分子肌浆蛋白降解分子量减小, 或者低分子量蛋白变性聚合形成大分子的蛋白质。肌球蛋白和肌动蛋白是构成肌肉的主要蛋白, 其降解直接关系到肌肉的组织特性和蛋白质的乳化特性, 进而影响鱼肉的整体质量^[14]。由图3可知, 草鱼肌球蛋白和肌动蛋白于冷藏第6 d已明显降解, 其导致的直接结果于图1、图2中得以证实, 最终导致大部分肌丝发生

断裂, 肌纤维膜破坏, 细胞结构模糊, 肌原纤维间脂滴消失, 肌纤维膜下脂滴也逐渐消失。这说明2~4 °C的冷藏环境对淡水鱼类的保鲜作用有限, 肌肉典型蛋白质的变化可为评判肌肉新鲜度的重要指标。

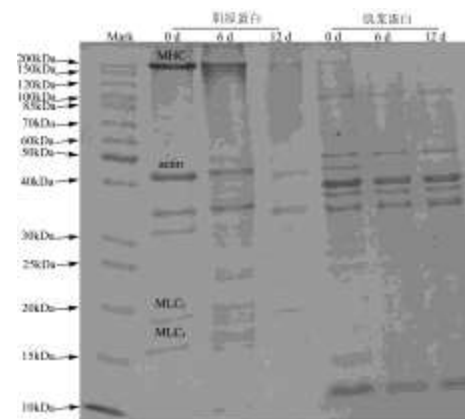


图 3 冷藏过程中草鱼肌肉典型蛋白质的 SDS-PAGE 图
Fig.3 SDS-PAGE patterns of typical muscular proteins in grass carp during cold storage

3 结论

经透射电镜观察发现,草鱼腹部肌肉肌原纤维间线粒体周围存在大量粒径约 0.25~0.50 μm 的椭圆形或圆形脂滴,而背部肌肉肌原纤维间无脂滴存在,且腹部肌肉肌纤维膜下脂滴多于背部肌肉。2~4 $^{\circ}\text{C}$ 冷藏过程中,草鱼腹部肌肉和背部肌肉的肌丝均随着冷藏时间的延长而发生断裂,肌细胞结构逐渐模糊直至肌纤维轮廓消失,大量肌浆网、线粒体水肿、空泡样变,肌原纤维大片酶解自溶或呈现水样变化,严重时出现空泡状细胞和变性细胞碎片。冷藏第 6 d,草鱼腹部肌肉肌原纤维间脂滴逐步消失,肌纤维膜下脂滴也逐渐变少。冷藏第 12 d,肌纤维膜下脂滴几乎完全消失。冷藏过程中,脂肪酸的不饱和程度越高越容易降解。随着冷藏时间的延长,草鱼肌肉 MUFA 和 PUFA 及其相应的主要脂肪酸逐渐降解,相对含量逐渐下降,导致 SFA 及其相应的主要脂肪酸的相对含量逐渐上升。脂肪酸的降解与 PUFA 的构型相关, ω -3PUFA 早于 ω -6 PUFA 降解,但冷藏第 12 d, ω -6 PUFA 降解程度更深。冷藏期间,草鱼肌肉中肌原纤维蛋白和肌浆蛋白不断降解,冷藏第 6 d,肌球蛋白重链及肌动蛋白已明显降解,导致肌丝坏死、肌纤维结构模糊,肌肉组织软烂,腐败加速。综合分析冷藏过程中草鱼肌肉的微观组织学特性、脂肪酸组成及蛋白质的变化可知,冷藏 6 d 后蛋白质已经严重降解,肌纤维结构逐渐破坏,随后肌纤维内脂质逐渐降解,脂滴逐渐向细胞膜外迁移,脂肪酸组成显著改变,冷藏 12 d 后,鱼肉品质严重劣化。

参考文献

- [1] 中华人民共和国农业部渔业局.中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2013
Bureau of National Fisheries. China yearbook of fishery statistics [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2013
- [2] 蒋高中,赵永峰.中国综合养鱼发展的历史回顾与发展趋势研究[J].中国农学通报,2011,27(20):79-86
JIANG Gao-zhong, ZHAO Yong-feng. The history retrospect and development trend of integrated fish farming in China [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(20): 79-86
- [3] 林洪,曹立民,刘春娥,等.水产品资源有效利用[M].北京:化学工业出版社,2007,4:1-2
LIN Hong, CAO Li-ming, LIU Chun-e, et al. Effective utilization of resources of aquatic products [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007, 4: 1-2
- [4] Damez J L, Clerjon S. Quantifying and predicting meat and meat products quality attributes using electromagnetic waves: An overview [J]. Meat science, 2013, 95(4): 879-896
- [5] 李强,刘永乐,王发祥,等.草鱼肌肉蛋白质在冷藏过程中的变化[J].食品科学,2013,34(3):55-58
LI Qiang, LIU Yong-le, WANG Fa-xiang, et al. Changes of grass carp muscle proteins during chilled storage period [J]. Food Science, 2013, 34(3): 55-58
- [6] Nanton D A, Vegusdal A, Rørå A M B, et al. Muscle lipid storage pattern, composition, and adipocyte distribution in different parts of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed fish oil and vegetable oil [J]. Aquaculture, 2007, 265(1): 230-243
- [7] 王建辉,刘冬敏,刘永乐,等.自然光照对冷藏条件下草鱼肌肉脂肪酸组成及含量的影响[J].食品科学,2013,34(16):336-340
WANG Jian-hui, LIU Dong-min, LIU Yong-le, et al. Effect of natural light on fatty acid composition of grass carp muscle during chilled storage [J]. Food Science, 2013, 34(16): 336-340
- [8] 王建辉,刘永乐,刘冬敏,等.冷藏期间草鱼鱼片脂肪氧化变化规律研究[J].食品科学,2013,34(6):243-246
WANG Jian-hui, LIU Yong-le, LIU Dong-min, et al. Dynamics of fat oxidation in grass carp fillets during cooling storage [J]. Food Science, 2013, 34(6): 243-246
- [9] Faustman C, Sun Q, Mancini R, et al. Myoglobin and lipid oxidation interactions: mechanistic bases and control [J]. Meat Science, 2010, 86(1): 86-94
- [10] Fu X, Xu S, Wang Z. Kinetics of lipid oxidation and off-odor formation in silver carp mince: the effect of lipoxygenase and hemoglobin [J]. Food Research International, 2009, 42: 85-90
- [11] Buzzzi M, Handerson R J, Sargent J R. The biosynthesis of docosahexanoic acid [22:6(n-3)] from linolenic acid in primary hepatocytes isolated from wild northern pike [J]. Journal of Fish Biology, 1997, 51(6): 1197-1208
- [12] Memon N, Talpur N, Bhangar M I, et al. Changes in fatty acid composition in muscle of three farmed carp fish species (*Labeo rohita*, *Cirrhinus mrigala*, *Catla catla*) raised under the same conditions [J]. Food Chemistry, 2011, 126(2): 405-410
- [13] Kim Y S, Yongsawatdigul J, Park J W, et al. Characteristics of sarcoplasmic proteins and their interaction with myofibrillar proteins [J]. Journal of Food Biochemistry, 2005, 29(5): 517-532
- [14] 高儒松,张春霞,赵红艳.肌肉组织学特性与肉品质的关

系[J].肉类研究,2009,5:11-15

Meat Research, 2009, 5: 11-15

GAO Ru-song, ZHANG Chun-xia, ZHAO Hong-yan.

Muscular histological characteristics and meat quality [J].

(下转第 41 页)

现代食品科技