

文章编号: 1674-5566(2025)03-0636-15

DOI: 10.12024/jsou. 20240304463

鲢和罗非鱼不同精细分割部位的冷藏品质变化规律

吴菁菁¹, 余欣蕾¹, 田富康², 田明礼², 王锡昌¹, 张龙^{1,2}

(1. 上海海洋大学 食品学院, 上海 201306; 2. 湖南喜味佳生物科技有限公司, 湖南 岳阳 414100)

摘要: 为探究鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)和罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)不同精细分割部位的冷藏品质变化规律, 并筛选出易劣变部位, 以鲢和罗非鱼为研究对象, 将其精细分割为背脊肉、腹肋肉、腩部肉和尾部肉, 在真空条件下4℃贮藏7 d, 分析其贮藏前后的感官评价、生化指标和质构特性等指标。结果显示, 贮藏7 d后, 两种鱼各部位的感官评价都有不同程度的下降, 且鲢腩部的气味劣变程度最大。0 d鲢背脊肉与尾部肉的挥发性气味轮廓相似, 第7天两种鱼各部位间PCA分离度变大。在7 d贮藏期内, 鲢不同部位的鱼肉亮度没有显著差异, 只有罗非鱼背脊肉的亮度由36.29提高到42.57。鲢的汁液流失率、离心损失高于罗非鱼, 且鲢的质构特性更易劣变。从新鲜度指标综合分析, 鲢背脊肉、尾部肉和罗非鱼腩部肉和尾部肉的TVB-N、K值、TVC值均显著上升, 且鲢腩部肉的POV从0.09 mmol/kg显著增加至0.16 mmol/kg。鲢腹肋肉、腩部肉和尾部肉总游离氨基酸显著上升($P<0.05$)。总体而言, 相比腹肋肉, 鲢的背脊肉、腩部肉和尾部肉的感官和鲜度品质更易劣变, 罗非鱼背脊肉的感官品质和质构品质劣变最快。

关键词: 鲢; 罗非鱼; 精细分割品; 冷藏; 品质变化

中图分类号: TS 254.7 文献标志码: A

中国作为世界上最大的淡水渔业国家, 据渔业年鉴统计, 2022年淡水鱼类产量达到2 800万t, 占全国水产总产量的40.79%^[1]。鱼类由于其高水分含量、高蛋白酶活性和高营养价值, 在储存和运输过程中容易变质并产生有害物质^[2]。随着生活水平的提高和对健康理念的追求, 人们对淡水鱼类加工品有了更高的要求。鱼肉不同部位的营养成分与风味物质不同, 鱼类精细分割产品的贮藏特性存在差异^[3-4]。因此, 通过探明淡水鱼肉精细分割品冷藏品质变化规律, 为其货架期预测和调控技术提供理论依据和数据支持。

鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)和罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)作为我国淡水鱼养殖的主要品种, 在全球范围内具有重要商业价值。鲢因为其产量大、价格便宜等优点, 是传统鱼类加工产品的主要原材料之一, 加工产品多以罐头、腌制品和鱼糜制品为主^[5]。另一方面, 随着水产品预制菜行业的发展, 质优价廉的罗非鱼与其分

割产品将成为预制菜产品重要的原料来源。鱼新鲜度的变化与脂肪氧化、蛋白质、三磷酸腺苷(ATP)降解、pH的波动和异味的产生有关^[6]。在过去的几十年里, 研究人员探究了各种技术用于评估鱼类冷藏期间的新鲜度、感官品质、生化品质以及质构特性等^[7]。但此类研究多以整鱼或某一部位为研究对象, 来探究冷藏条件与品质劣变的关系, 或开发保留营养价值并延长货架期的调控技术^[8-9]。近几年, 各鱼种间不同分割部位肉的营养组成和风味物质的研究已有报道, 如俄罗斯鲟(*Acipenser gueldenstaedtii*)越靠近鱼尾的肌肉中粗脂肪与灰分含量越高, 靠近鱼头的鱼肉中氨基酸含量明显高于鱼尾^[10]。对鳙(*Aristichthys nobilis*)不同食用部位的风味研究发现, 白腹肌中肌苷一磷酸和一磷酸腺苷含量最高, 深色肉中等效鲜味浓度值最高^[11]。但系统性针对某一种鱼的各部位, 在低温冷藏期间感官品质劣变与理化性质变化规律的研究较为缺乏。

收稿日期: 2024-03-21 修回日期: 2024-09-12

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFD2100901)

作者简介: 吴菁菁(1999—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水产品品质评价与调控。E-mail:jingjingwux@126.com

通信作者: 张龙, E-mail:l-zhang@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydxxb.com>

因此,本研究旨在对2种淡水鱼(鲢和罗非鱼)的4种肌肉精细分割品在冷藏中的感官品质和理化指标进行系统性研究,并筛选出易劣化部位。采用感官评价、电子鼻(E-nose)、色差和电子照片判定4个部位的感官劣化程度。通过持水力(汁液流失、离心损失、蒸煮损失)和全质构分析(TPA)来比较背脊肉、腹肋肉、腩部肉和尾部肉在冷藏7 d期间的组织结构变化。此外,采用pH、挥发性盐基氮(TVB-N)、硫代巴比妥酸(TBARS)、过氧化值(POV)、K值、菌落总数和游离氨基酸等指标评估贮藏过程中新鲜度变化。为不同营养结构特点的淡水鱼精细分割品筛选关键劣化部位和评价指标,构建快速评价方法提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 原材料与试剂

鲜活鲢[体质量为(3139.3 ± 93.0)g](n=12)和罗非鱼[体质量为(696.6 ± 13.3)g](n=30)购于上海市浦东新区新芦苑集贸市场,30 min内活体运输至实验室。生鲜吸水垫(16 cm×8 cm)购于上海哲求实业有限公司。

高氯酸、氢氧化钠、氢氧化钾、三氯乙酸、氯化钠、三氯甲烷、氯化钡、硫酸亚铁、硫氰酸铵均为分析纯,购于国药集团化学试剂有限公司;甲

醇、磷酸二氢钾、磷酸氢二钾均为色谱纯,购于上海麦克林生化科技有限公司;6种核苷酸标准品、17种氨基酸混标均为色谱纯,购于上海源叶生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

主要仪器与设备:FOX-4000电子鼻,法国Alpha MOS公司;FE20型pH计,上海梅特勒-托利多仪器有限公司;CR400色度计,日本Konica Minolta公司;EOS 700D数码相机,日本佳能有限公司;Kjeltec8400全自动凯氏定氮仪,丹麦FOSS公司;W2690/5高效液相色谱仪,美国Waters公司;UV-1800PC紫外可见分光光度计,上海美谱达仪器有限公司;L-8800型氨基酸自动分析仪,日本Hitachi公司。

1.3 实验方法

1.3.1 鱼肉精细分割处理

敲击鲢和罗非鱼头部致昏,宰杀后去头、去鳞、去内脏,用清水洗净擦干。用刀将鱼体分割为背脊肉、腹肋肉、腩部肉和尾部肉4部分(图1),置于气调包装盒中,并垫上生鲜吸水垫进行真空包装。置于4 °C冰箱内冷藏,第0和7天分别采样进行指标检测,所有试验组均设3个平行。本研究中所有样本采集、实验流程及研究方法均严格按照《上海海洋大学实验室动物伦理规范》和上海海洋大学伦理委员会制定的规章制度执行。

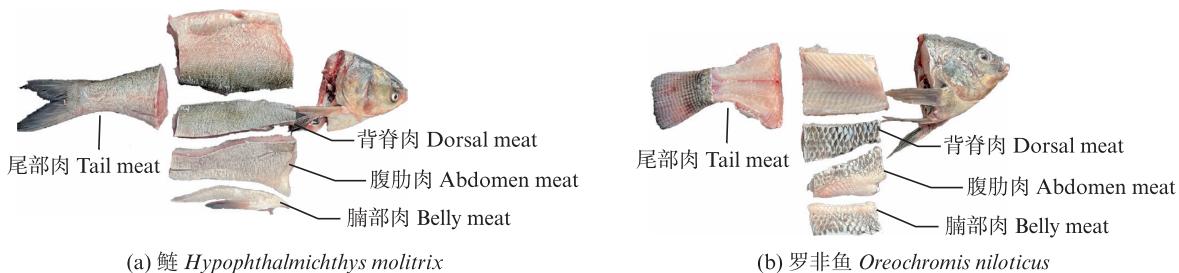


图1 鲢和罗非鱼分割示意图
Fig. 1 Illustration of silver carp and tilapia segmentation

1.3.2 感官评价

由8位经验丰富的感官小组成员(4男4女,22~25岁)使用标准感官评估对生鱼肉样品进行感官评价,参考QIN等^[7]的方法并稍做修改。评分标准见表1,根据4项指标进行评分,整体可接受度按照各指标权重均为25%计算得来,总分5分,3分为不能接受的界限。

1.3.3 电子鼻分析

电子鼻的测定参考文献[12]并略有改动,称取2.0 g鱼肉样品置于10 mL自动进样瓶中。采用动态顶空法采集气体,进样器温度设为60 °C,进样体积500 μL,1 s进样,以干净空气作为载气,流速为150 mL/min。采用电子鼻对其整体气味轮廓进行区分,同时利用电子鼻软件对样品进行主成分分析(Principal component analysis,PCA)。

表1 感官评价表
Tab. 1 Sensory evaluation standards

分值 Score	色泽 Color	气味 Smell	组织形态 Morphology	肌肉弹性 Muscle elasticity
5	色泽正常,肌肉内切面富有光泽	新鲜鱼肉的鱼香味,无异味	肌肉组织致密完整,纹理很清晰	坚实且有弹性,手压后凹陷随即消失
4	色泽正常,肌肉内切面有光泽	鱼香味较淡,无异味	肌肉组织较紧密,纹理较清晰	坚实且有弹性,手压后凹陷较快消失
3	色泽稍暗淡,肌肉内切面稍有光泽	鱼肉香味平淡,略带异味	肌肉组织不紧密,但不松散	较有弹性,手压后凹陷消失较慢
2	色泽较暗淡,肌肉内切面无光泽	无鱼香味,略有腥臭味或氨臭味	肌肉组织不紧密,局部松散	略有弹性,手压后凹陷消失缓慢
1	色泽暗淡,肌肉内切面无光泽	有强烈的腥臭味或氨臭味	肌肉组织不紧密,纹理松散	无弹性,手压后凹陷几乎不消失

1.3.4 色差和电子照片

通过色度计在 L^* 、 a^* 、 b^* 颜色空间中对样品的颜色值进行量化。电子照片在背景、光线一致的摄影棚中用佳能 EOS 700D 数码相机拍摄(1 800 万像素、佳能 EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 IS II 镜头、光圈 f/1.8、感光度 ISO 250、曝光时间 1/100 s)。

1.3.5 持水力测定

汁液流失:称取大小与质量尽可能一致的鱼肉样品,置于真空袋中贮藏。对贮藏后鱼肉进行称重。离心损失:片状样品 2 g,用 2 层滤纸包裹,放入 50 mL 离心管,在 4 °C, 5 000×g 高速冷冻离心机离心 3 min,结束后去掉滤纸称重。蒸煮损失:将鱼肉切成 2 cm×2 cm×1 cm 的大小,置于蒸煮袋中并在 100 °C 下蒸煮 5 min,分别记录蒸煮前后样品质量。持水力测定方法参考文献[13]。计算公式:

$$W_1 = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\% \quad (1)$$

$$W_2 = \frac{M_3 - M_4}{M_3} \times 100\% \quad (2)$$

$$W_3 = \frac{M_5 - M_6}{M_5} \times 100\% \quad (3)$$

式中: W_1 为汁液流失率,%; M_1 为贮藏前质量,g; M_2 为真空贮藏后质量,g; W_2 为离心损失率,%; M_3 为离心前质量,g; M_4 为离心后质量,g; W_3 为蒸煮损失率,%; M_5 为蒸煮前质量,g; M_6 为蒸煮后质量,g。

1.3.6 TPA 测定

将精细分割后的鲢和罗非鱼肉分别切成高度一致的 1 cm 和 0.5 cm 的小块,TPA 测试条件:参考史羽瑶等^[13]的方法。使用 P/6 平底柱形探头,测前、测中和测后速率分别为 2、1 和 2 mm/

s,压缩率为 50%,间隔时间为 5 s,触发力为 5 g,每组样品测定 6 次。

1.3.7 pH 测定

称取 2.0 g 鱼肉于离心管中,加入 18 mL 蒸馏水,均质 2 min,低温离心机(4 °C, 10 000×g)离心 10 min,过滤后迅速取上清液用 pH 计测定^[14]。

1.3.8 TVB-N 测定

挥发性盐基氮按照 GB/T 5009.228—2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》的自动凯氏定氮仪法进行测定。

1.3.9 TBARS 值测定

参考 LI 等^[15]的方法并稍作修改。称取 2.5 g 样品用 12.5 mL 20% 的三氯乙酸溶液和 10 mL 蒸馏水均质 60 s,静置 60 min,4 °C 下 8 000×g 离心 10 min。过滤后取上清液定容到 25 mL。取 5 mL 与 5 mol/L 硫代巴比妥酸溶液(0.052 mol/L)混合,在 95 °C 水浴锅中反应 20 min,冷却后在 532 nm 处测量吸光度。

1.3.10 POV 值测定

参考 LI 等^[15]的方法。将 2.0 g 样品与 15 mL 氯仿-甲醇(体积比为 7:3)溶液混合,然后在 6 000 r/min 转速下均质 30 s,加入 3.0 mL 0.5% NaCl 溶液,4 °C, 3 000×g 离心 10 min。收集 5.0 mL 下层液相与 5.0 mL 氯仿-甲醇(体积比为 7:3)溶液混合,并加入 25.0 μL 30% 的硫氰酸铵溶液和 25.0 μL 氯化亚铁溶液。室温静置 5 min,于 500 nm 处测定吸光度。

1.3.11 K 值测定

参考 ZHANG 等^[16]的方法,准确称取样品 3.0 g(0.000 1 g)置于 50 mL 离心管中,以 10 mL 10% 的高氯酸溶液均质(10 000 r/min 匀浆 30 s,

重复3次),冷水浴超声5 min后离心($10\ 000\times g$ 、15 min、4 °C),收集上清液4 °C存放,沉淀加入5 mL 5%高氯酸溶液,重复操作2次,将3次上清液合并。用KOH调节pH到 5.75 ± 0.02 ,定容后过0.22 μm水相滤膜上机。

高效液相色谱仪参数:色谱柱GL-SCIENCE ODS3 C18(4.6 mm×250 mm, 5 μm);流动相A为纯甲醇溶液,流动相B为20 mmol/L磷酸氢二钾和20 mmol/L磷酸二氢钾(体积比为1:1)混合溶液,并用磷酸调节pH至5.75;柱温25 °C;进样量10 μL;检测波长254 nm。

1.3.12 菌落总数

细菌菌落总数的测定,参照GB 4789.2—2022《食品安全国家标准食品微生物学检验 菌落总数法》。

1.3.13 游离氨基酸测定

参考ZHANG等^[17]的方法。称取样品2.0 g(精确0.000 1 g),用15 mL 15%的三氯乙酸溶液,10 000 r/min均质2 min,4 °C静置2 h,以 $10\ 000\times g$ 离心15 min,过滤后取5 mL上清液,用NaOH调节过滤后溶液的pH到 2.00 ± 0.02 ,定容后过0.22 μm膜,上机检测。操作均在4 °C条件下进行。

氨基酸自动分析仪条件:色谱柱(4.6 mm×150 mm, 7 μm);柱温50 °C;1通道流速:0.40 mL/min, 2通道流速:0.35 mL/min。流动相:柠檬酸钠和柠檬酸的混合缓冲液(pH为3.2、3.3、4.0、4.9)以及茚三酮缓冲液(4%)。

1.4 数据分析

每组实验至少设3组平行,检测结果均以平均值±标准差表示。采用SPSS 17.0对所得数据进行统计分析,其中分割部位间指标差异采用LSD和Duncan's法进行多重比较,t检验用于确定两组平均值之间的显著差异, $P<0.05$ 表示差异显著。采用Origin 2021软件绘图。

2 结果与讨论

2.1 感官评价

感官评价是利用视觉、嗅觉、气味、触觉等来衡量鱼类新鲜度品质的一种方法。鲢和罗非鱼的不同分割品在冷藏过程中感官评分的变化如图2。贮藏7 d后2种鱼各部位的色泽、气味、组织形态、肌肉弹性与整体可接受度的评分均有不

同程度的下降,其中鲢腩部的气味劣变程度大,而背脊肉在肌肉弹性方面保持较好。罗非鱼各部位的气味评分下降明显,而在肌肉弹性与组织形态上维持较好。整体来看,7 d贮藏期后,鲢的色泽会比罗非鱼评分更高,除腩部肉外,鲢维持气味品质的表现也会优于罗非鱼。

鱼类的感官评分在到达3分之前是可接受的。贮藏第7天的整体可接受度均有不同程度的下降,与SHENG等^[18]对河豚鱼(*Takifugu obscurus*)片的研究结果相符。其中真空包装贮藏7 d下鲢的腩部、尾部肉和罗非鱼的背脊肉、腹肋肉和尾部肉均超过可食用的接受范围。

2.2 电子鼻传感器数据分析和主成分分析

采用FOX-4000电子鼻对鲢和罗非鱼不同分割品的气味轮廓进行区分,通过电子鼻的18根传感器对其进行定性分析,传感器及其对应的代表性敏感物质类型见图注。如图3所示,罗非鱼各部位的组分之间可以达到较好的区分效果,0和7 d的分离度分别为71和86,说明各精细分割的部位气味轮廓被很好地区分开。

由图3b雷达图看,鲢和罗非鱼的不同分割品在冷藏7 d后气味轮廓均有所改变,1~13号传感器随着天数的增加响应值变大,而14~18号响应变弱。在腐败之初,鱼肉中的蛋白质、氨基酸等含氮物质在微生物的作用下被分解。随后,一些可溶性和小分子化合物被降解为挥发性代谢产物,如醛类、酯类和低级脂肪酸^[19]。随着体内和体表微生物数量的增加,鱼肌肉被进一步降解,产生氨、吲哚、硫化氢、组胺等有腐臭味的物质,使鱼体进入腐败阶段^[20]。1~13号传感器的敏感物质包括氮氧化合物、硫化物、碳氧化合物、胺类化合物、氨类等,由此可见,真空贮藏7 d后引起的鱼肉气味劣变可能出现在这几类物质上。

此外,贮藏0 d各部位的响应值无较大差异,而第7天的响应曲线之间区分明显,说明分割部位对挥发性化合物含量也有影响。这与PCA图的结果相符,0 d鲢的背脊肉与尾部肉有部分重叠,说明二者整体挥发性气味较为相似,7 d各部位能够完全分离,说明其挥发性成分变化变大,区分度较好。通过这一特性,结合之前研究发现,电子鼻同样在区分竹筍鱼(*Trachurus japonicus*)质量和鱼类新鲜度上有潜在的能力^[21]。

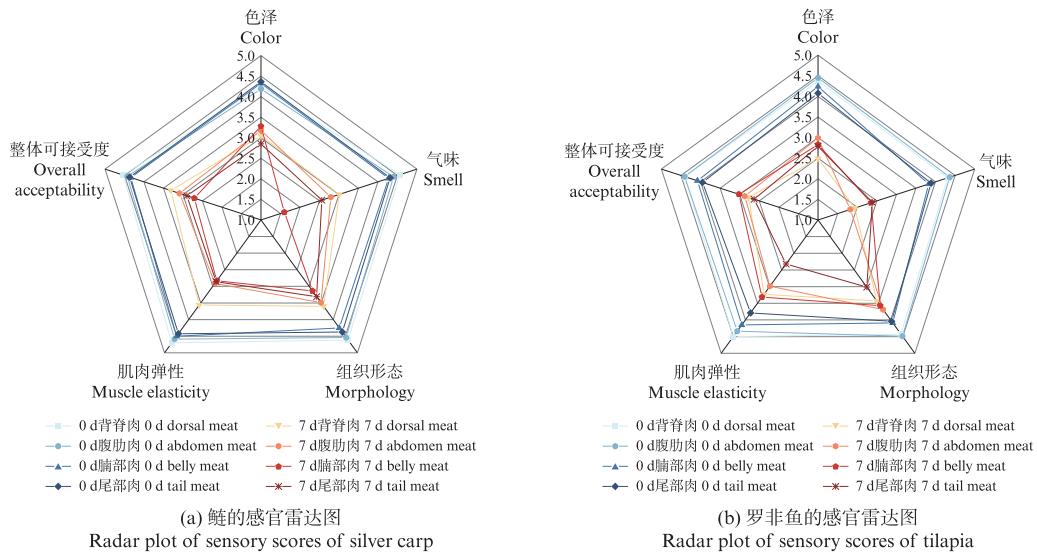


图2 鲢和罗非鱼不同部位4°C贮藏过程中感官评分雷达图

Fig. 2 Radar plot of sensory scores of different parts of silver carp and tilapia during storage at 4 °C

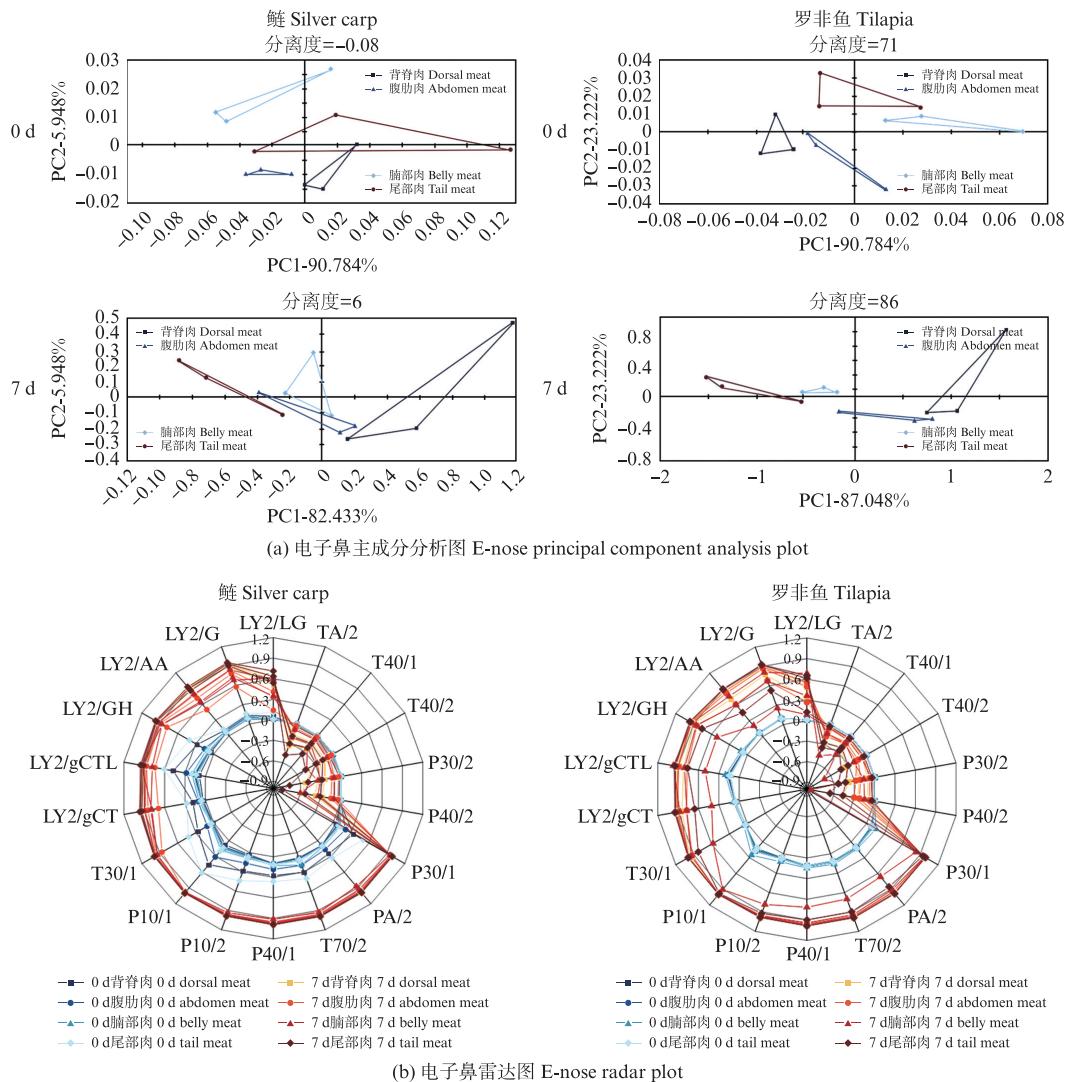


图3 鲢和罗非鱼不同部位4°C贮藏过程中电子鼻主成分分析图和电子鼻雷达图

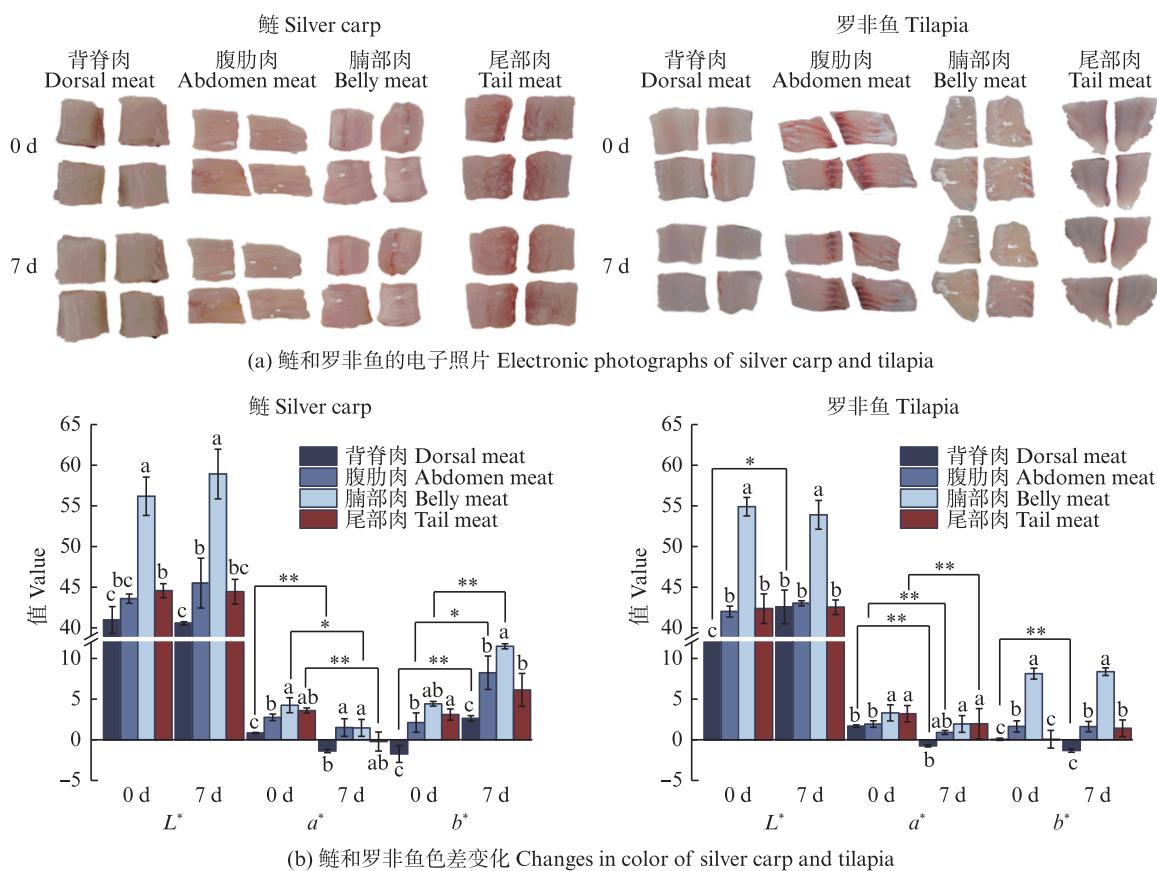
Fig. 3 E-nose principal component analysis plot and E-nose radar plot of different parts of silver carp and tilapia during storage at 4 °C

2.3 色差和电子照片

鱼肉的颜色是表明鱼肉的新鲜度、质量和可接受性的重要标准之一,也是对产品感官属性及化学成分变化的间接评价。鱼肉的颜色取决于各种色素的含量,例如血红蛋白、肌红蛋白等^[22]。

图4是2条鱼不同部位4℃贮藏过程中电子照片和色差变化。在7 d贮藏期内,鲢不同部位的鱼肉亮度没有显著差异,只有罗非鱼背脊肉的亮度显著上升($P<0.05$)。而红度值和黄度值均有显著波动($P<0.05$),除了鲢的腹肋肉和罗非鱼

的腩部肉,其余部位的红度均呈下降趋势。鲢背腹腩的黄度值也同样显著上升($P<0.05$),与之相反的是,罗非鱼仅有背脊肉的黄度值显著降低($P<0.01$)。罗非鱼的颜色变化与ARACATI等^[23]的结果一致。从电子照片辨别色泽变化,可以观察到,罗非鱼的腩部局部出现变绿和发黄的现象,类似研究发现,接种了假单胞菌属和希瓦氏菌的鳙鱼肉在冷藏后期分别呈浅绿色和浅黄色^[24]。与本研究结果相似,表明微生物是导致鱼肉变色的主要因素。



不同字母表示分割品之间存在显著性差异($P<0.05$);*表示不同贮藏时间之间存在显著性差异(*. $P<0.05$; **. $P<0.01$)。

Different letters indicate significant differences between segmented parts ($P<0.05$), and * indicates significant differences between different storage times (*. $P<0.05$; **. $P<0.01$).

图4 鲢和罗非鱼不同部位4℃贮藏过程中电子照片和色差变化

Fig. 4 Electronic photographs and changes in color difference of silver carp and tilapia during storage at 4 °C in different parts of the fish

肌红蛋白在肉中有3种基本形式:脱氧肌红蛋白、含氧肌红蛋白和肌红蛋白,分别对应于这种色素的还原态、含氧态和氧化态^[25]。在本研究中,最初鱼肉中肌红蛋白的浓度,红色占主导地位,随着时间的推移,绿色逐渐占主导地位。MATTJE等^[26]指出,贮藏时间会影响肉质的颜

色,在冷藏结束时,由于脂质氧化鱼肉表面会变得更黄,我们推测这可能是鲢部分部位,尤其是腩部黄度值上升显著($P<0.01$)的原因。色泽、持水性与嫩度之间相互影响,肌肉的持水性及结构会影响肉的色泽和光散射特性^[27]。罗非鱼背脊肉亮度的提升,可能是因为在储存过程中色素构

象和蛋白质凝固的变化。不同加工方法和储存条件诱导的蛋白质凝固也会改变鱼肌肉的表面特性^[28]。

2.4 持水力的变化

持水力可以反映自由水的含量和肌间蛋白截留不易流动水、阻滞水分流失的能力^[29]。在冷藏过程中,水分损失通过蛋白质退化和肌肉降解发生,并且可以使用汁液流失、离心损失和蒸煮损失来评估肌肉组织的持水力。

如图5所示,鲢尾部的汁液流失率会显著高于其他部位(8.59%, $P<0.05$),罗非鱼肉呈现相反的现象,背脊肉的汁液流失率显著高于腹肋肉和尾部肉($P<0.05$),但仍低于鲢的相同部位,这与肌肉的水分含量有关,鱼肉越靠近尾部水分含量越高^[10]。鲢各部位的离心损失均显著增加($P<0.01$),而罗非鱼只有尾部肉有显著上升($P<0.01$)。鲢腩部肉和罗非鱼腹肋肉的蒸煮损失同样是显著上升($P<0.01$),分别从9.11%和8.79%增加到12.61%和9.11%,这表明肌肉的持水力随着储存时间的增加而下降。但腩部肉贮藏前后的蒸煮损失均较低,可能是高脂肪含量的腩部肉在蒸煮过程中油脂流失所造成。整体来看,鲢的汁液流失率和离心损失会高于罗非鱼,推测鲢各分割部位的水分更高。

鱼肉的储存过程中会有一定量的汁液流失,这是由于细菌的增殖引起肌肉组织细胞的裂解。对冷藏鲭鱼(*Scomber scombrus*)鱼片研究发现,在储存过程中鲭鱼片的汁液流失显著增加,这一现象可能部分归因于组织蛋白酶B+L活性的作用^[30]。此外,铺设吸水垫,可以防止出现更高的汁液流失^[31]。

2.5 TPA变化

表2展示了鲢和罗非鱼不同部位4℃贮藏过程中质构特性的变化。据报道,鱼肉经历了较短的僵直期之后会进入成熟期,4℃冷藏的草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)、鲤(*Cyprinus carpio*)硬度在6~12 h内会稳步上升,之后持续下降^[15,31]。实验中鲢和罗非鱼的背脊肉7 d硬度均显著下降($P<0.05$),且鲢腹肋肉、腩部肉和尾部肉的硬度同样显著降低($P<0.01$)。其余的指标(弹性、内聚性、咀嚼性和回复性)均呈下降趋势。各分割品之间初始硬度存在差异,鲢腩部肉的硬度显著高于其他部位达(1 247.95±433.22)g,背脊

肉最为松散,硬度仅为(424.58±83.24)g。而罗非鱼的背脊肉则在所有分割部位中硬度最高,达(462.20±72.91)g,但也最易变软劣变。整体来看,罗非鱼的质构特性较鲢劣化程度小。

鱼类的质构特性(硬度和弹性)主要受pH下降率和肌原纤维分解的影响。鱼死亡后,由于自溶和微生物分解导致的肌原纤维蛋白变性降解,是肌肉变软和失去弹性的主要原因^[32]。冷藏鲭鱼片中组织蛋白酶B+L活性增加与贮藏过程中鱼肉软化之间存在显著相关性($r=0.983$, $P<0.05$)^[33]。此外,还有其他内外部相互作用的因素,水分含量和分布、脂肪含量和分布、胶原蛋白含量、不同的处理方式、储存时间和温度及高压加处理等^[30]。如鲤不同部位的水分含量越高,硬度反而越低,肌肉纤维越短,直径越小,肌肉的硬度越大^[34]。虽然肌肉内脂肪有助于改善肌肉嫩度,但是过高的脂肪含量同样导致结缔组织含量增高,最终导致嫩度较差。

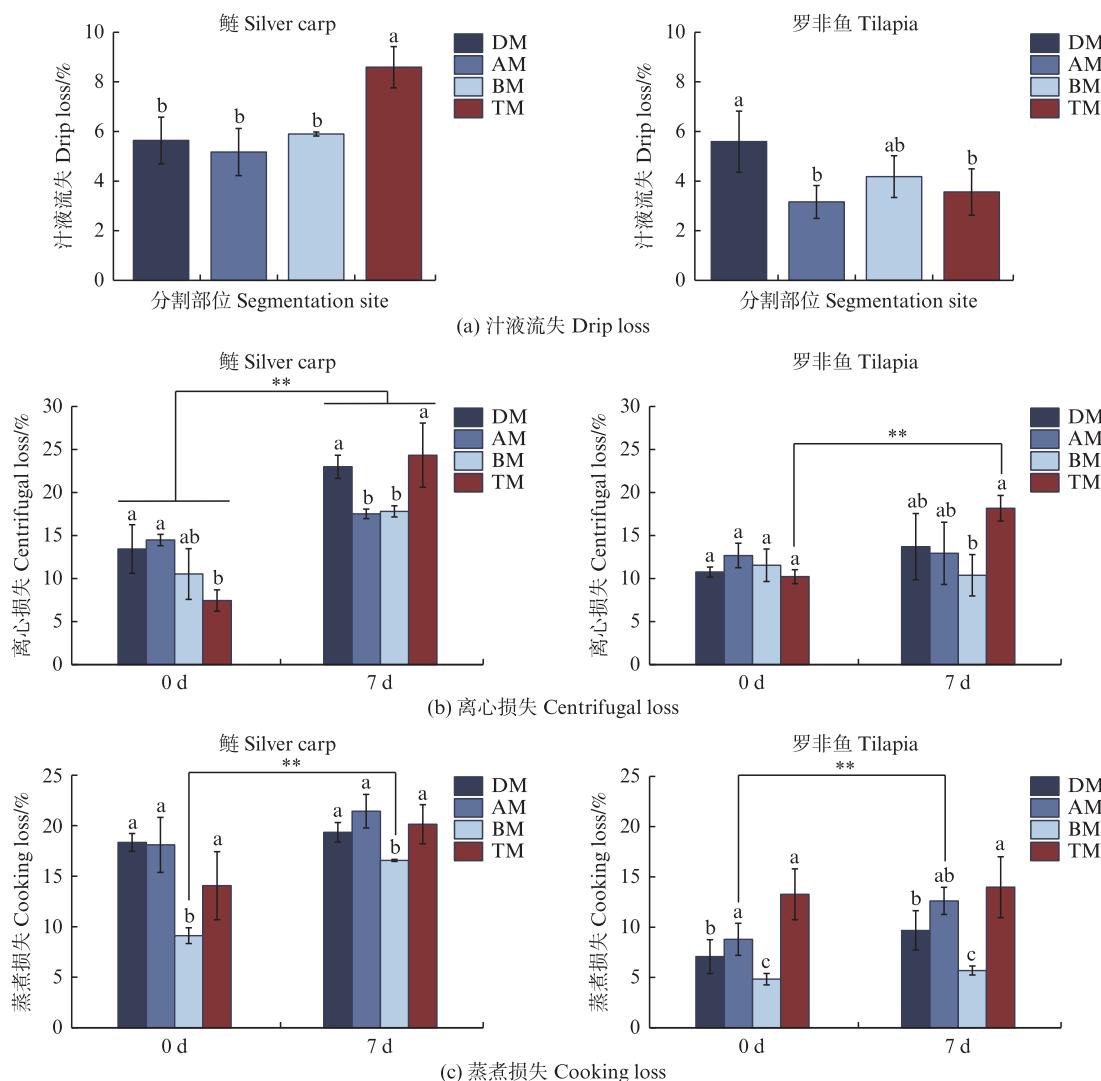
2.6 新鲜度数据分析

pH能反映鱼肉酸碱度,可作为鱼体死后发生的生物和化学变化情况的指标。如图6所示,鲢腩部的pH由初始的6.91上升到7.01,而罗非鱼的腹肋肉分别从7.03下降到6.78($P<0.01$)。说明鱼的种类差异和鱼体分割的部位对pH的测定影响较大。也可能是真空处理可对微生物的繁殖起到抑制作用,所以鱼肉中碱性化合物含量不同。研究发现pH与持水力以及肉品颜色有相关性,pH高,肌肉硬度也高,低pH易使肉质松软,但pH不是唯一影响因素^[35]。

通过TVB-N分析可以准确预测鱼类的腐败过程。TVB-N的产生主要是由蛋白质和非蛋白质含氮化合物的微生物分解引起的。不同部位样本中的TVB-N含量如图6所示,其中鲢背脊肉、尾部肉和罗非鱼腩部肉和尾部肉的TVB-N含量均显著上升($P<0.01$)。其中罗非鱼腩部肉TVB-N含量已经超过我国淡水鱼卫生标准(TVB-N含量≥20 mg/100 g)。与ECHEVERRÍA等^[36]的实验结果基本相同,他们发现蓝鳍金枪鱼(*Thunnus thynnus*)鱼片的TVB-N水平在第一周结束时从最初的13.3 mg N/100 g增加到30 mg N/100 g。腩部肉易腐败的原因可能与传统的剖肚宰杀方式有关,致使细菌进入腩部开放性创口加速腐败。

K值指的是ATP分解的低级产物肌苷酸和次黄嘌呤占ATP分解物的百分比,可以反映鱼体死后降解反应进行的程度,适合鱼类早期鲜度的评定。由图6可知,贮藏初期,鲢和罗非鱼各部位K值均低于15%,各部位间有差异,鲢腩部会显著高于其他部位($P<0.05$)。在第7天,除罗非鱼背脊肉外,其余部位K值均大于40%,其中鲢尾部肉和罗非鱼的腹肋肉、尾部肉的腐败更为明显($P<0.05$),这与pH的变化趋势相似。ANDRADE等^[37]认为,当鱼肉的K值≤20%时,代表鱼肉非常新鲜,适合生吃。20%<K值≤40%时,为烹饪后可食用的鱼类。40%<K值<60%时不建议食用。K值≥60%时鱼肉达到腐败。

TBARS值指不饱和脂肪酸氧化分解后所产生的衍生物如丙二醛(MDA)等与TBA试剂反应的结果,可以反映鱼肉的脂质氧化情况。由图6可知,贮藏第7天,鲢腹肋肉、腩部肉和尾部肉分别显著提升值至(0.53±0.06) mg/kg ($P<0.05$)、(0.77±0.03) mg/kg ($P<0.01$)和(0.57±0.03) mg/kg ($P<0.05$)。作为初级脂肪氧化产物的过氧化物在贮藏初期形成积累的结果^[38],鲢4个部位中POV值的含量随着储存时间的推移而增加。其中鲢腩部肉的脂质氧化率最高,从0.09 mmol/kg 显著增加至0.16 mmol/kg ($P<0.05$),因该部位的脂肪含量更高且脂肪氧化酶活性高。



DM. 背脊肉; AM. 腹肋肉; BM. 脍部肉; TM. 尾部肉。不同字母表示分割品之间存在显著性差异($P<0.05$);*表示不同贮藏时间之间存在显著性差异(*. $P<0.05$; **. $P<0.01$)。

DM. Dorsal meat; AM. Abdomen meat; BM. Belly meat; TM. Tail meat. Different letters indicate significant differences between segmented parts ($P<0.05$), and * indicates significant differences between different storage times (*. $P<0.05$; **. $P<0.01$).

图5 鲢和罗非鱼不同部位4 °C贮藏过程中汁液流失、离心损失和蒸煮损失的变化

Fig. 5 Changes in drip loss, centrifugal loss and cooking loss in different parts of silver carp and tilapia during storage at 4 °C

表2 鲢和罗非鱼4℃贮藏过程中质构特性的变化
Tab. 2 Changes in texture profile of silver carp and tilapia during storage at 4 °C

	背脊肉		腹肋肉		脯部肉		尾部肉		P	
	Dorsal meat		P	Abdomen meat		P	Belly meat			
	0 d	7 d		0 d	7 d		0 d	7 d		
鲢 Silver carp	硬度 Hardness/g	424.58± 83.24 ^c	304.07± 54.87 ^b	*	848.10± 169.70 ^b	421.72± 137.73 ^b	**	1247.95± 433.22 ^a	791.25± 42.46 ^a	**
	弹性 Springiness	0.94± 0.05 ^a	0.82± 0.17 ^a		0.86± 0.07 ^a	0.82± 0.10 ^a		0.84± 0.07 ^a	0.76± 0.04 ^a	**
	内聚力 Cohesiveness	0.38± 0.07 ^a	0.25± 0.05 ^b	**	0.32± 0.03 ^b	0.30± 0.04 ^a		0.25± 0.10 ^b	0.19± 0.04 ^a	**
	咀嚼性 Chewiness/g	149.68± 21.22 ^a	79.56± 14.62 ^b		238.00± 84.79 ^a	104.54± 35.92 ^a	**	282.44± 221.35 ^a	111.45± 28.06 ^a	141.29± 29.74 ^a
	复原力 Resilience	0.18± 0.04 ^a	0.07± 0.03 ^b	**	0.15± 0.04 ^b	0.11± 0.01 ^a	*	0.15± 0.07 ^b	0.09± 0.03 ^{a,b}	*
	硬度 Hardness/g	462.20± 72.91 ^a	380.99± 28.29 ^a	*	314.64± 92.32 ^b	325.53± 141.06 ^b		288.89± 54.49 ^b	231.14± 92.99 ^b	240.82± 88.15 ^b
	弹性 Springiness	0.97± 0.01 ^{ab}	0.92± 0.00 ^a	**	0.94± 0.09 ^{ab}	0.94± 0.06 ^a		0.63± 0.13 ^b	0.87± 0.11 ^a	*
	内聚力 Cohesiveness	0.60± 0.04 ^{ab}	0.50± 0.06 ^b	*	0.61± 0.05 ^a	0.50± 0.06 ^b	**	0.56± 0.02 ^b	0.48± 0.07 ^b	0.57± 0.05 ^{ab}
罗非鱼 Tilapia	咀嚼性 Chewiness/g	278.06± 52.76 ^a	194.35± 89.24 ^a		192.51± 62.96 ^b	165.18± 79.16 ^a		161.67± 36.65 ^b	106.05± 29.74 ^a	137.74± 55.36 ^b
	复原力 Resilience	0.39± 0.04 ^a	0.23± 0.05 ^a	**	0.36± 0.07 ^a	0.23± 0.03 ^a	**	0.21± 0.03 ^b	0.22± 0.04 ^a	0.35± 0.04 ^a
										0.26± 0.02 ^a

注:不同字母表示分割品之间存在显著性差异($P<0.05$);*表示不同贮藏时间之间存在显著性差异(*, $P<0.05$; **, $P<0.01$)。

Notes: Different letters indicate significant differences between segmented parts ($P<0.05$), and * indicates significant differences between different storage times (*, $P<0.05$; **, $P<0.01$).

鱼类新鲜度的变化主要受微生物污染的影响,鱼类腐败与贮藏后期微生物的作用有关。从图6f可知,随着冷藏时间的延长,4个部位菌落总数都显著增加($P<0.05$)。对于淡水鱼和海鱼,当TVC达到 $6\log\text{CFU/g}$ 时,表明鱼肉腐败^[15]。因此,除罗非鱼腹肋肉之外,其余部位均不可再食用。

从TVB-N和K值结果来判断,各部位的变质程度不一致,罗非鱼脯部肉的TVB-N含量达到腐败程度,而鲢尾部肉和罗非鱼的腹肋肉、尾部肉的K值也超过60%,已经腐败。但罗非鱼腹肋肉的菌落总数还未超过限度范围。

2.7 游离氨基酸变化

如表3所示,贮藏7 d后,各部位主要的游离氨基酸是谷氨酸、苏氨酸、甘氨酸、丙氨酸、亮氨酸、赖氨酸和组氨酸。其中,丙氨酸、酪氨酸、赖氨酸、组氨酸和精氨酸在食品安全中起着关键作用,因为它们是食品中主要的生物胺前体^[39]。贮藏后期,这些氨基酸大部分含量均有所上升,说明各部位的食品新鲜度和安全性劣化。各部位中背脊肉的总氨基酸含量最高、其次是尾部肉、腹肋肉和脯部肉。罗非鱼的总氨基酸含量无显著变化,而鲢各分割品氨基酸总和均呈上升趋势,其中腹肋肉

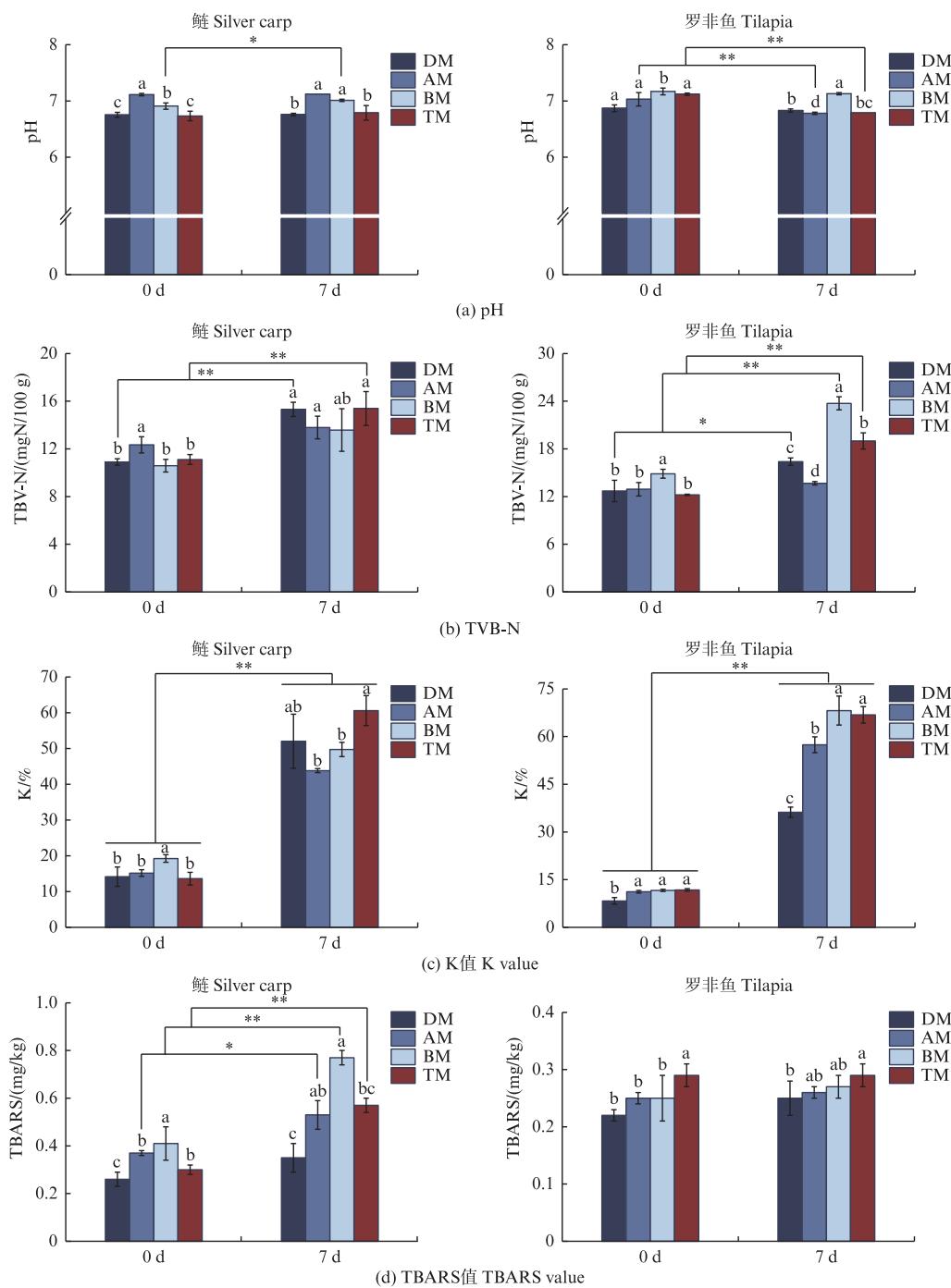
和尾部肉显著上升($P<0.05$),分别达到 $(774.76\pm 20.77)\text{mg}/100\text{ g}$ 和 $(694.76\pm 80.19)\text{mg}/100\text{ g}$ 。研究发现,游离氨基酸会随贮藏时间总体呈上升的趋势,同时,为细菌的生长繁殖创造有利条件^[15]。其消长变化主要是内源蛋白酶和微生物共同作用的结果,特别是微生物中的氨基酸脱羧酶活性^[39]。游离氨基酸是蛋白质逐级结构改变进而发生降解的产物,也是鱼肉中气味物质形成的重要贡献者,可被微生物利用分解产生氨、小分子胺类以及含硫化合物等小分子气味物质的前体物质^[40]。高蛋白水产品中鸟氨酸、赖氨酸和组氨酸发生脱羧作用生成腐胺、尸胺和少量组胺。随着贮藏时间的延长,微生物产生的生物胺的含量升高,有害物质积累,水产品的鲜度逐渐降低。

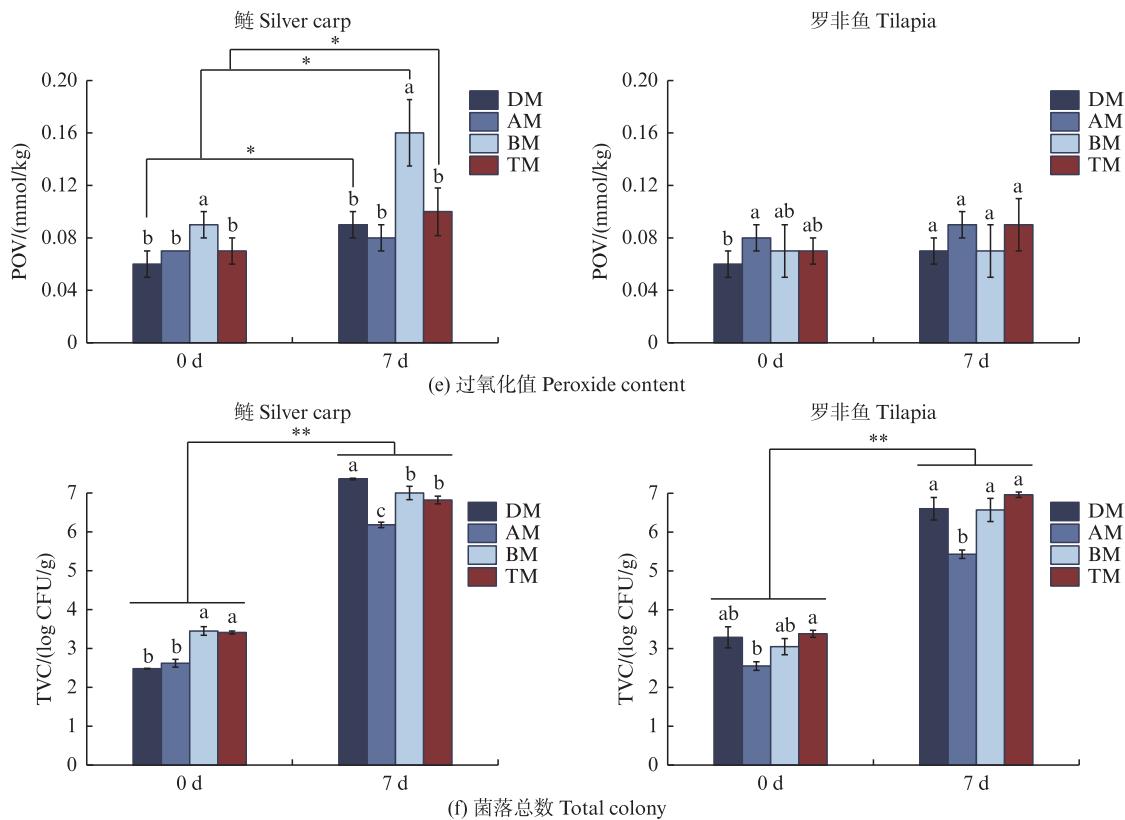
3 结论

本文研究了鲢和罗非鱼4种精细分割部位在4℃冷藏7 d的品质变化,探讨了各部位感官品质与新鲜度指标等的变化,从而筛选出易劣变的分割品部位。结果发现,鲢和罗非鱼精细分割品的劣变程度均有所不同。鲢脯部肉和罗非鱼背脊肉的气味劣变程度大,鲢尾部肉汁液流失率显著高于其他

部位($P<0.05$)。鲢的质构特性较罗非鱼更易劣变,罗非鱼背脊肉的硬度下降明显($P<0.05$)。从新鲜度指标综合分析,鲢背脊肉、尾部肉和罗非鱼腩部肉和尾部肉的TVB-N、K值、TVC值均显著上升($P<0.01$),且鲢腩部肉和的POV显著增加($P<0.05$),罗非鱼肉的脂质氧化变化不大。总体而言,相比腹肋肉,鲢的背脊肉、腩部肉和尾部肉的感官和鲜度品质更易劣变,罗非鱼背脊肉的感官品质和质构特性劣变最快。微生物的作用极大地影响鱼肉的气

味和色泽,使感官品质下降。随着ATP和蛋白质的降解,pH波动,降解产生的游离氨基酸进一步促进了微生物繁殖。TVC与各新鲜度指标的趋势几乎一致。贮藏后期,各部位硬度和持水力显著降低,鱼肉整体感官评分降低,鱼肉新鲜度和可接受度下降。根据筛选出的关键部位,构建快速评价方法为鱼体全方位系统性的冷藏品质监测和搭建货架期模型提供选择对易劣变部位贮藏温度和时间的神经网络模型构建值得后续深入研究。





DM. 背脊肉; AM. 腹肋肉; BM. 脯部肉; TM. 尾部肉。不同字母表示分割品之间存在显著性差异($P<0.05$); *表示不同贮藏时间之间存在显著性差异(*. $P<0.05$; **. $P<0.01$)。

DM. Dorsal meat; AM. Abdomen meat; BM. Belly meat; TM. Tail meat. Different letters indicate significant differences between segmented parts ($P<0.05$), and * indicates significant differences between different storage times (*. $P<0.05$; **. $P<0.01$).

图6 鲢和罗非鱼不同部位4°C贮藏过程中pH、TVB-N、K值、TBARS值、POV值和TVC的变化

Fig. 6 Changes of pH, TVB-N, K value, TBARS, POV, and TVC in different parts of silver carp and tilapia during storage at 4 °C

表3 鲢和罗非鱼贮藏过程中游离氨基酸含量的变化

Tab. 3 Changes in free amino acid content of silver carp and tilapia during storage

mg/100 g

类别 Category	背脊肉 Dorsal meat		P	腹肋肉 Abdomen meat		P	脯部肉 Belly meat		P	尾部肉 Tail meat		P	
	0 d	7 d		0 d	7 d		0 d	7 d		0 d	7 d		
鲢 Silver carp	天冬氨酸 Asp	0.68± 0.04 ^b	1.86± 0.24 ^b	**	0.68± 0.08 ^b	2.33± 0.23 ^a	**	1.60± 0.05 ^b	0.94± 0.00 ^a	**	0.57± 0.04 ^c	1.65± 0.26 ^b	**
	谷氨酸 Glu	1.90± 0.41 ^c	16.65± 2.16 ^a	**	4.90± 0.39 ^a	9.71± 0.24 ^b	**	12.43± 0.58 ^b	5.60± 0.14 ^a	**	2.69± 0.46 ^b	19.48± 2.00 ^a	**
	苏氨酸 Thr	31.30± 1.51 ^a	23.08± 2.21 ^a	**	25.49± 1.14 ^b	24.55± 0.40 ^a		10.32± 0.89 ^b	22.15± 0.92 ^c	**	24.32± 1.50 ^{bc}	21.88± 2.57 ^a	
	丝氨酸 Ser	4.96± 0.19 ^b	5.29± 0.69 ^b		6.92± 0.31 ^a	7.13± 0.34 ^a		1.23± 0.22 ^c	6.95± 0.32 ^a	**	6.48± 0.32 ^a	6.05± 0.66 ^b	
	甘氨酸 Gly	39.32± 2.70 ^b	60.27± 5.72 ^b	**	33.30± 3.02 ^c	69.71± 1.62 ^{ab}	**	26.06± 2.02 ^c	38.23± 1.68 ^b	**	51.21± 2.66 ^a	76.15± 9.10 ^a	*
	丙氨酸 Ala	55.72± 3.17 ^a	66.00± 5.95 ^{ab}		49.55± 2.28 ^b	75.00± 1.11 ^a	**	35.16± 3.44 ^c	42.83± 4.28 ^c		43.13± 2.64 ^c	63.06± 7.01 ^b	*
	精氨酸 Arg	9.59± 0.57 ^b	7.25± 0.60 ^b	**	11.54± 0.85 ^a	11.49± 0.34 ^a		5.23± 0.71 ^c	10.29± 1.22 ^{ab}	**	9.44± 0.53 ^b	11.91± 1.48 ^a	
	脯氨酸 Pro	34.33± 5.33 ^a	23.10± 1.16 ^a	*	40.72± 25.11 ^a	19.08± 5.03 ^a		15.16± 5.22 ^a	24.59± 7.49 ^a		16.24± 0.11 ^a	21.89± 4.32 ^a	
	缬氨酸 Val	10.90± 0.32 ^b	15.99± 0.78 ^a	**	11.93± 0.48 ^a	16.89± 0.60 ^a	**	10.55± 1.26 ^b	9.67± 0.19 ^c		10.17± 0.62 ^{bc}	16.94± 1.02 ^a	**
	蛋氨酸 Met	10.08± 0.36 ^a	11.68± 0.93 ^a		9.66± 0.24 ^a	10.04± 0.30 ^b		8.13± 1.05 ^c	8.06± 0.07 ^b		6.78± 0.24 ^c	12.34± 0.72 ^a	**

·续表3·

类别 Category	背脊肉 Dorsal meat		P	腹肋肉 Abdomen meat		P	脯部肉 Belly meat		P	尾部肉 Tail meat		P
	0 d	7 d		0 d	7 d		0 d	7 d		0 d	7 d	
异亮氨酸 Ile	9.43± 0.37 ^b	11.91± 0.97 ^a	*	10.68± 0.51 ^a	12.75± 0.17 ^a	**	5.34± 0.33 ^b	8.58± 0.58 ^b	**	8.43± 0.60 ^b	12.79± 1.54 ^a	*
亮氨酸 Leu	15.61± 0.66 ^a	18.6± 1.88 ^{ab}		16.26± 0.78 ^a	21.15± 0.22 ^a	**	8.79± 0.41 ^c	13.14± 0.49 ^b	**	13.53± 0.88 ^b	18.03± 1.91 ^b	*
酪氨酸 Tyr	9.40± 0.49 ^b	8.86± 1.16 ^{ab}		11.41± 0.70 ^a	10.15± 0.18 ^a	*	8.03± 0.27 ^b	7.89± 0.16 ^c		7.56± 0.96 ^c	9.74± 0.85 ^a	*
苯丙氨酸 Phe	4.79± 0.32 ^b	8.06± 0.77 ^a	**	6.53± 0.13 ^a	7.96±0.11 ^a	**	5.73± 0.26 ^b	4.31± 0.75 ^b	*	4.30± 0.35 ^b	8.40± 1.03 ^a	**
赖氨酸 Lys	43.48± 2.08 ^{ab}	63.13± 6.08 ^a	**	49.73± 3.33 ^a	64.08± 1.07 ^a	**	28.67± 2.88 ^b	42.69± 7.38 ^{ab}	*	40.07± 2.54 ^b	72.74± 8.27 ^a	**
组氨酸 His	380.80± 16.4 ^a	380.44± 35.83 ^a		303.83± 9.38 ^b	410.16± 8.62 ^a	**	157.50± 11.61 ^c	212.82± 3.91 ^d	**	258.70± 19.06 ^c	319.38± 37.42 ^b	
半胱氨酸 Cys	0.83± 0.05 ^a	1.53± 0.34 ^b	*	0.67± 0.04 ^b	2.58± 0.19 ^a	**	1.71± 0.14 ^b	0.74± 0.02 ^b	**	0.84± 0.06 ^a	2.35± 0.04 ^a	**
总游离氨基酸 Total FAAs	663.13± 34.97 ^a	723.68± 67.47 ^a		593.81± 48.77 ^b	774.76± 20.77 ^a	**	341.66± 31.33 ^d	459.48± 29.61 ^d	*	504.46± 33.58 ^c	694.76± 80.19 ^a	*
天冬氨酸 Asp	4.72± 0.56 ^{ab}	1.05± 0.13 ^c	**	4.69± 0.11 ^{ab}	1.73± 0.08 ^b	**	5.70± 1.07 ^a	2.48± 0.06 ^a	**	3.67± 0.29 ^b	1.87± 0.09 ^b	**
谷氨酸 Glu	8.51± 0.21 ^a	13.10± 1.49 ^a	**	6.70± 0.11 ^b	11.01± 0.42 ^b	**	6.05± 0.99 ^b	7.96± 0.39 ^c	*	6.18± 0.06 ^b	7.15± 0.21 ^c	**
苏氨酸 Thr	15.12± 0.69 ^a	15.38± 0.62 ^b		14.57± 0.27 ^{ab}	17.48± 0.65 ^a	**	10.20± 1.69 ^b	3.93± 0.09 ^d	**	13.75± 0.28 ^a	8.18± 1.01 ^c	**
丝氨酸 Ser	5.65± 0.31 ^a	2.23± 0.41 ^b	**	4.79± 0.20 ^a	4.69± 0.14 ^a		4.97± 0.79 ^a	0.07± 0.01 ^c	**	5.61± 0.47 ^a	4.87± 0.83 ^a	
甘氨酸 Gly	245.75± 11.76 ^a	233.81± 0.18 ^a		215.81± 2.75 ^b	217.42± 7.85 ^b		128.46± 21.26 ^c	136.90± 4.76 ^c		228.73± 4.51 ^{ab}	208.22± 9.68 ^b	*
丙氨酸 Ala	39.28± 1.81 ^a	73.14± 1.05 ^a	**	39.63± 0.68 ^a	51.77± 1.82 ^c	**	29.00± 4.32 ^b	33.95± 1.46 ^d		43.73± 5.68 ^a	64.10± 6.72 ^b	*
精氨酸 Arg	4.47± 0.22 ^{ab}	1.03± 0.12 ^b	**	4.20± 0.02 ^{ab}	4.03± 0.18 ^a		3.96± 0.65 ^b	0.64± 0.17 ^c	**	4.75± 0.18 ^a	0.65± 0.12 ^c	**
脯氨酸 Pro	12.58± 3.12 ^a	7.26± 0.11 ^b	*	14.26± 5.54 ^a	11.32± 2.77 ^a		7.68± 2.36 ^a	13.19± 0.96 ^a	*	12.71± 0.94 ^a	8.13± 1.66 ^b	*
缬氨酸 Val	5.83± 0.36 ^a	4.55± 0.09 ^b	**	5.28± 0.52 ^a	4.87± 0.43 ^b		5.05± 0.39 ^a	7.71± 0.55 ^a	**	5.85± 0.40 ^a	5.04± 0.77 ^b	
罗非鱼 Tilapia	3.22± 0.82 ^a	2.63± 0.07 ^c		2.59± 0.33 ^a	2.52± 0.29 ^c		2.30± 0.33 ^a	5.45± 0.07 ^a	**	3.20± 0.90 ^a	3.28± 0.48 ^b	
蛋氨酸 Met	1.87± 0.17 ^{bc}	0.64± 0.09 ^c	**	2.24± 0.17 ^{ab}	1.28± 0.04 ^b	**	1.70± 0.44 ^c	2.05±0.1 ^a		2.40± 0.10 ^a	0.45± 0.02 ^d	**
异亮氨酸 Ile	4.09± 0.36 ^{ab}	1.89± 0.06 ^c	**	4.35± 0.39 ^{ab}	3.16± 0.20 ^b	**	3.63± 0.69 ^b	3.71± 0.24 ^a		4.90± 0.24 ^a	1.26± 0.03 ^d	**
亮氨酸 Leu	2.99± 0.36 ^{ab}	2.32± 0.18 ^b	*	2.86± 0.13 ^b	2.46± 0.18 ^b	*	2.78± 0.30 ^b	5.31± 0.07 ^a	**	3.39± 0.06 ^a	2.41± 0.15 ^b	**
酪氨酸 Tyr	3.63± 0.13 ^{ab}	2.25± 0.17 ^b	**	3.37± 0.13 ^{bc}	2.49± 0.16 ^b	**	3.18± 0.24 ^s	6.72± 0.50 ^a	**	3.70± 0.12 ^a	2.05± 0.08 ^b	**
苯丙氨酸 Phe	18.68± 0.80 ^b	17.10± 0.64 ^a		19.97± 0.33 ^b	17.91± 0.72 ^a	*	14.75± 2.63 ^c	23.56± 0.63 ^b	**	24.48± 1.24 ^a	26.22± 2.52 ^a	
赖氨酸 Lys	30.86± 1.01 ^a	28.87± 0.82 ^b		29.97± 0.58 ^a	29.45± 1.04 ^b		18.22± 2.92 ^b	22.59± 0.69 ^c		28.85± 0.70 ^a	33.40± 3.52 ^a	
组氨酸 His	1.60± 0.33 ^a	1.03± 0.01 ^a	*	1.03± 0.12 ^b	1.05± 0.05 ^a		0.91± 0.15 ^b	1.00± 0.00 ^a		1.29± 0.23 ^{ab}	1.08± 0.10 ^a	
半胱氨酸 Cys	408.84± 23.03 ^a	408.28± 6.23 ^a		376.31± 12.36 ^a	384.63± 17.02 ^b		248.55± 41.22 ^b	277.24± 10.76 ^c		397.21± 16.38 ^a	378.35± 28 ^b	
总游离氨基酸 Total FAAs												

注:不同字母表示分割品之间存在显著性差异($P<0.05$);*表示不同贮藏时间之间存在显著性差异(*. $P<0.05$; **. $P<0.01$)。

Notes: Different letters indicate significant differences between segmented parts ($P<0.05$), and * indicates significant differences between different storage times (*. $P<0.05$; **. $P<0.01$).

参考文献:

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 中国渔业统计年鉴-2023[M]. 北京: 中国农业出版社, 2023: 17.
- Fishery and Fishery Administration Bureau of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Aquaculture Technology Promotion Station, Chinese Fisheries Society. 2023 China fishery statistical yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2023: 17.
- [2] LI Q, SUN X Y, MUBANGO E, et al. Effects of protein and lipid oxidation on the water holding capacity of different parts of bighead carp: eye, dorsal, belly and tail muscles[J]. Food Chemistry, 2023, 423: 136238.
- [3] WANG H L, ZHANG J J, ZHU Y Z, et al. Volatile components present in different parts of grass carp [J]. Journal of Food Biochemistry, 2018, 42(6): e12668.
- [4] HONG H, FAN H B, WANG H, et al. Seasonal variations of fatty acid profile in different tissues of farmed bighead carp (*Aristichthys nobilis*) [J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(2): 903-911.
- [5] 冯天依, 姜启兴, 杨方, 等. 不同干燥方式对鲢鱼肉品质变化的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(8): 120-125.
- FENG T Y, JIANG Q X, YANG F, et al. Effect of different drying processes on quality changes of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) [J]. Food Science and Technology, 2019, 44(8): 120-125.
- [6] ZHOU J J, WU X Y, CHEN Z, et al. Evaluation of freshness in freshwater fish based on near infrared reflectance spectroscopy and chemometrics [J]. LWT, 2019, 106: 145-150.
- [7] QIN N, LI D P, HONG H, et al. Effects of different stunning methods on the flesh quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets stored at 4°C [J]. Food Chemistry, 2016, 201: 131-138.
- [8] NIE X B, ZHANG R C, CHENG L L, et al. Mechanisms underlying the deterioration of fish quality after harvest and methods of preservation [J]. Food Control, 2022, 135: 108805.
- [9] TAVARES J, MARTINS A, FIDALGO L G, et al. Fresh fish degradation and advances in preservation using physical emerging technologies [J]. Foods, 2021, 10 (4): 780.
- [10] 陈跃文, 蔡文强, 郑立波, 等. 俄罗斯鲟鱼不同部位肌肉营养组成分析与评价[J]. 中国食品学报, 2019, 19 (8): 286-293.
- CHEN Y W, CAI W Q, QI L B, et al. Analysis and evaluation of nutritional components in the muscle of different parts of Russian sturgeon [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(8): 286-293.
- [11] XIAO N Y, HUANG H Y, LIU J Y, et al. Comparison of different edible parts of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) flavor [J]. Journal of Food Biochemistry, 2021, 45(11): e13946.
- [12] ZHANG L, ZHANG R Y, JIANG X D, et al. Dietary supplementation with synthetic astaxanthin and DHA interactively regulates physiological metabolism to improve the color and odor quality of ovaries in adult female *Eriocheir sinensis* [J]. Food Chemistry, 2024, 430: 137020.
- [13] 史羽瑶, 郑尧, 王红丽, 等. 抗冻蛋白对冷冻虾夷扇贝闭壳肌持水性及质构特性的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(10): 22-28.
- SHI Y Y, ZHENG Y, WANG H L, et al. Effect of antifreeze protein on water-holding capacity and texture of frozen scallop (*Patinopecten yessoensis*) adductor muscle [J]. Food Science, 2022, 43(10): 22-28.
- [14] 王红丽. 草鱼死后贮藏过程中品质变化研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.
- WANG H L. Study on changes in the quality of grass carp in the process of postmortem [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019.
- [15] LI D Y, XIE H K, LIU Z Y, et al. Shelf life prediction and changes in lipid profiles of dried shrimp (*Penaeus vannamei*) during accelerated storage [J]. Food Chemistry, 2019, 297: 124951.
- [16] ZHANG L, YIN M Y, ZHENG Y, et al. Short-term rearing in brackish water regulates the taste-related metabolites of abdomen muscle for adult male *Eriocheir sinensis* [J]. LWT, 2021, 142: 110898.
- [17] ZHANG L, YIN M Y, ZHENG Y, et al. Brackish water improves the taste quality in meat of adult male *Eriocheir sinensis* during the postharvest temporary rearing [J]. Food Chemistry, 2021, 343: 128409.
- [18] SHENG X W, YAN L F, PENG L Q, et al. Effect of plasma-activated lactic acid on microbiota composition and quality of puffer fish (*Takifugu obscurus*) fillets during chilled storage [J]. Food Chemistry, 2024, 21: 101129.
- [19] ZHANG Z C, WU R Y, GUI M, et al. Identification of the specific spoilage organism in farmed sturgeon (*Acipenser baerii*) fillets and its associated quality and flavour change during ice storage [J]. Foods, 2021, 10 (9): 2021.
- [20] LIU L, ZHAO Y H, ZENG M Y, et al. Research progress of fishy odor in aquatic products: From substance identification, formation mechanism, to elimination pathway [J]. Food Research International, 2024, 178: 113914.
- [21] LI H Y, WANG Y, ZHANG J X, et al. Prediction of the freshness of horse mackerel (*Trachurus japonicus*) using E-nose, E-tongue, and colorimeter based on biochemical indexes analyzed during frozen storage of whole fish [J].

- Food Chemistry, 2023, 402: 134325.
- [22] SINGH A, MITTAL A, BENJAKUL S. Undesirable discoloration in edible fish muscle: Impact of indigenous pigments, chemical reactions, processing, and its prevention [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2022, 21(1): 580-603.
- [23] ARACATI M F, RODRIGUES L F, DE OLIVEIRA S L, et al. Astaxanthin improves the shelf-life of tilapia fillets stored under refrigeration [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2022, 102(10): 4287-4295.
- [24] LIU X C, HUANG Z, JIA S L, et al. The roles of bacteria in the biochemical changes of chill-stored bighead carp (*Aristichthys nobilis*): proteins degradation, biogenic amines accumulation, volatiles production, and nucleotides catabolism [J]. Food Chemistry, 2018, 255: 174-181.
- [25] HERNÁNDEZ SALUEÑA B, SÁENZ GAMASA C, DIÑEIRO RUBIAL J M, et al. CIELAB color paths during meat shelf life [J]. Meat Science, 2019, 157: 107889.
- [26] MATTJE L G B, TORMEN L, BOMBARDELLI M C M, et al. Ginger essential oil and supercritical extract as natural antioxidants in tilapia fish burger [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2019, 43(5): e13942.
- [27] HUGHES J M, OISETH S K, PURSLOW P P, et al. A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness [J]. Meat Science, 2014, 98(3): 520-532.
- [28] ZHAO Y M, DE ALBA M, SUN D W, et al. Principles and recent applications of novel non-thermal processing technologies for the fish industry—a review [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2019, 59(5): 728-742.
- [29] TEIXEIRA B, MARQUES A, MENDES R, et al. Effects of high-pressure processing on the quality of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets during refrigerated storage [J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(5): 1333-1343.
- [30] CHENG J H, SUN D W, HAN Z, et al. Texture and structure measurements and analyses for evaluation of fish and fillet freshness quality: a review [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2014, 13(1): 52-61.
- [31] LI Q, ZHANG L T, 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 [J]. LWT, 2017, 78: 317-324.
- [32] 周然, 刘源, 谢晶, 等. 电解水对冷藏河豚鱼肉质构及品质变化的影响 [J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 365-369.
- [33] ZHOU R, LIU Y, XIE J, et al. Effects of electrolyzed water on texture and quality of obscure puffer fish (*Takifugu obscurus*) during cold storage [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(10): 365-369.
- [34] CROPOTOVA J, MOZURAITYTE R, STANDAL I B, et al. Superchilled, chilled and frozen storage of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) fillets—changes in texture, drip loss, protein solubility and oxidation [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2019, 54(6): 2228-2235.
- [35] HATAE K, YOSHIMATSU F, MATSUMOTO J J. Role of muscle fibers in contributing firmness of cooked fish [J]. Journal of Food Science, 1990, 55(3): 693-696.
- [36] TSOUKALAS D, KENDLER S, LERFALL J, et al. The effect of fishing season and storage conditions on the quality of European plaice (*Pleuronectes platessa*) [J]. LWT, 2022, 170, 114083.
- [37] ECHEVERRÍA I, LÓPEZ-CABALLERO M E, GÓMEZ-GUILLÉN M C, et al. Active nanocomposite films based on soy proteins-montmorillonite-clove essential oil for the preservation of refrigerated Bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) fillets [J]. International Journal of Food Microbiology, 2018, 266: 142-149.
- [38] ANDRADE S D C S, MÁRSICO E T, GODOY R L D O, et al. Chemical quality indices for freshness evaluation of fish [J]. Journal of Food Studies, 2014, 3(1): 71-87.
- [39] AUBOURG S P, RODRÍGUEZ A, GALLARDO J M. Rancidity development during frozen storage of mackerel (*Scomber scombrus*): effect of catching season and commercial presentation [J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2005, 107(5): 316-323.
- [40] VIRGILI R, SACCANI G, GABBA L, et al. Changes of free amino acids and biogenic amines during extended ageing of Italian dry-cured ham [J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(5): 871-878.
- 谢晶, 叶晶鑫, 杨胜平, 等. 腐败希瓦氏菌和荧光假单胞菌对冷藏凡纳滨对虾虾汁品质的影响 [J]. 食品科学, 2018, 39(13): 1-6.
- XIE J, YE J X, YANG S P, et al. Evaluation of the spoilage potential of *Shewanella putrefaciens* and *Pseudomonas fluorescens* on pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) juice during cold storage [J]. Food Science, 2018, 39(13): 1-6.

Quality changes of fine-segmented silver carp and tilapia products during the refrigeration process

WU Jingjing¹, YU Xinlei¹, TIAN Fukang², TIAN Mingli², WANG Xichang¹, ZHANG Long^{1,2}

(1. College of Food Sciences and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Hunan Xiweijia Biotechnology Co., Ltd., Yueyang 414100, Hunan, China)

Abstract: In order to investigate the deterioration of sensory quality and physicochemical indexes among different fine-segmented fish, and screen out the parts that are susceptible to deterioration, silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*) were finely segmented into dorsal meat, abdomen meat, belly meat and tail meat. The samples were analyzed for organoleptic evaluation, biochemical indexes and textural characteristics before and after storage. The results showed that the sensory evaluation of all parts of the two fish decreased to different degrees after 7 d of storage, and the odor of the belly of silver carp was the most deteriorated. 0 d of silver carp dorsal meat and tail meat had similar volatile odors, and the separation of PCA increased on the 7th day. During the 7-day storage period, there was no significant difference in the brightness of the different parts of silver carp, and only the brightness of the dorsal meat of tilapia increased significantly from 36.29 to 42.57. The drip loss and centrifugal loss of silver carp were higher than tilapia, and the texture profile of silver carp were more likely to deteriorate. From the comprehensive analysis of freshness indexes, the contents of TVB-N, K value, and TVC value of silver carp dorsal, tail meat, tilapia belly, tail meat were significantly increased, and the POV of chub belly meat increased significantly from 0.09 mmol/kg to 0.16 mmol/kg ($P<0.05$). Total free amino acids increased significantly in rib meat, belly meat and tail meat of silver carp. Overall, the sensory and freshness qualities of silver carp belly and tail meat were more susceptible to deterioration, and tilapia backbone meat deteriorated the fastest in terms of sensory quality and textural characteristics. This study provides data support for fine segmentation of freshwater fish and establishment of rapid evaluation methods.

Key words: silver carp; tilapia; fine segmentation products; refrigeration; quality change