白鲢鱼片在0 ℃贮藏条件下鲜度和品质的变化

陈　思[1]，李婷婷[2]，李　欢[1]，励建荣[1,*]，陈　颖[3]，李敏镇[4]

（1. 渤海大学食品科学研究院，辽宁省食品安全重点实验室，辽宁 锦州　121013；2. 大连民族学院生命科学学院，辽宁 大连　116600；3.中国检验检疫科学研究院，北京　100123；4.鞍山嘉鲜农业发展有限公司，辽宁 鞍山　114100）

摘　要：以白鲢鱼为研究对象，以菌落总数、挥发性盐基氮（total volatile basic nitrogen，TVB-N）值、pH值、色差值、三甲胺（trimethylamine，TMA）值、2-硫代巴比妥酸（2-thiobarbituric acid，TBA）值为指标，结合电子鼻、质构和感官评价，探究0 ℃条件下鲢鱼片新鲜度变化规律。结果表明，在0 ℃条件下贮藏的鲢鱼片TVB-N值、TMA值、菌落总数值均随贮藏时间的延长而呈增长趋势；pH值先降低后增高；感官评分、硬度和弹性呈降低趋势；电子鼻可以对不同贮藏时间的鲢鱼片进行有效区分；色差值和TBA值对白鲢鱼鱼片品质的判断不具有参考价值。理化指标之间具有相关性，TVB-N值和TMA值与菌落总数值呈显著正相关（$R_{\text{TVB-N值}}$=0.964、$R_{\text{TMA值}}$=0.951）。0 ℃贮藏条件下鲢鱼片的货架期为12 d。

关键词：鲢鱼片；理化指标值；鲜度变化；质构；电子鼻

Changes in Freshness and Quality of Silver Carp Fillets during Storage at 0 ℃

CHEN Si[1], LI Tingting[2], LI Huan[1], LI Jianrong[1,*], CHEN Ying[3], LI Minzhen[4]

(1. Food Safety Key Laboratory of Liaoning Province, Food Science Research Institute, Bohai University, Jinzhou　121013, China; 2. College of Life Science, Dalian Nationality of University, Dalian　116600, China; 3. Chinese Academy of Inspection and Quarantine, Beijing　100123, China; 4. Anshan Jiaxian Agricultural Development Co. Ltd., Anshan　114100, China)

Abstract: In this research, we evaluated the changes in the freshness of silver carp fillets during storage at 0 ℃ by monitoring physical, chemical and microbial indexes including total volatile basic nitrogen (TVB-N) value, pH value, color difference value, trimethylamine (TMA) value, 2-thiobarbituricacid (TBA) value and the total number of bacterial colonies, volatile aroma compounds, and texture and sensory characteristics. The volatile odor released from the fish fillets was determined by electronic nose and analyzed using principal component analysis (PCA), loadings analysis (LA) and linear discriminant analysis (LDA). The results showed the TVB-N value, TMA value and the total number of colonies of silver carp fillets stored at 0 ℃ increased with the extension of storage time, pH value increased after an initial decrease, and color difference and TMA value did not have reference value for the determination of fish quality. Sensory evaluation scores, hardness and springiness showed a decreasing trend. Meanwhile, electronic nose was able to distinguish silver carp fillet samples stored for different periods. In addition, the total number of colonies displayed significantly positive correlations with TVB-N value and TMA value (R = 0.964 and 0.951, respectively). Based on the microbiological, physical and chemical changes observed throughout the storage period at 0 ℃, the shelf life of silver carp fillets was 12 days.

Key words: silver carp fillets; physical and chemical indexes; freshness change; texture; electronic nose

中图分类号：TS254.4　　文献标志码：A　　文章编号：1002-6630（2015）10-0227-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201510045

白鲢鱼（*Hypophthalmichthys molitrix*）又名水鲢、跳鲢、鲢子，属于鲤形目，鲤科，是著名的四大家鱼之一，分布在全国各大水系，产量常年位居我国淡水鱼类前3 位，2012年产量高达367万 t[1]。白鲢鱼肉质鲜嫩，蛋白质含量丰富，深受我国广大消费者喜爱。近年来，随着我国人民生活水平的提高和消费习惯的改变，我国超

收稿日期：2014-10-08

基金项目：国家自然科学基金青年科学基金项目（31301572）；“十二五”国家科技支撑计划项目（2012BAD29B06）；中国博士后科学基金项目（2014M552302）；高等学校博士学科点专项科研基金项目（优先发展领域）（20113326130001）；重庆市博士后科研项目（Xm2014041）

作者简介：陈思（1991—），男，硕士研究生，主要从事水产品贮藏加工与质量安全控制研究。E-mail：shiancs@163.com

*通信作者：励建荣（1964—），男，教授，博士，主要从事水产品和果蔬贮藏加工、食品安全研究。E-mail：lijr6491@163.com

市生鲜食品市场快速发展，经宰杀、清洗、分切包装的生鲜鱼片已成为一种发展趋势。

鱼类产品富含营养物质和水分，肌肉组织脆弱，内源性蛋白酶活跃，自溶速度快，水产品易在物理、化学、微生物等方面发生变化，使产品失去鲜度，最终导致腐败[2]。低温贮藏能有效抑制多种微生物的生长和繁殖，同时能抑制鱼体自身酶的活性，是保鲜渔获物普遍采用的一种方法[3]。近年来，我国白鲢鱼产量逐年增加，规模化鲢鱼的贮运、加工技术问题日益突出，而对于白鲢鱼的研究多集中白鲢鱼保鲜[4-6]和鲢鱼鱼糜及鱼糜制品上，但对于低温贮藏白鲢鱼片的鲜度变化规律还鲜有报道。因此，对冰温贮藏的白鲢鱼鱼片进行新鲜度评价，研究其品质变化规律，可以为鲢鱼的贮藏、销售和加工以及提高其货架期提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料及预处理

养殖鲜活白鲢鱼，购自锦州林西水产市场。平均质量1.3～1.5 kg。冰冻致死，去头、去内脏，沿脊椎剖为两半，剥皮后取脊背肉，切成5～7 cm的鱼片，装入已经灭菌的食品保鲜袋中，置于0 ℃冰箱中贮藏以备后续实验。

1.2 仪器与设备

AF-10制冰机　斯科茨曼制冰机系统（上海）有限公司；PEN3电子鼻　德国Airsense公司；TA.XT-plus质构仪　美国Stable Micro Systems公司；PL602-L电子天平　梅特勒-托利多仪器（上海）有限公司；UV2550紫外-可见分光光度计　杭州惠尔仪器设备有限公司；CR-400色彩色差计　杭州祥盛科技有限公司；Biofuge Stratos台式高速离心机　美国Thermo Fisher公司；LRH系列生化培养箱　上海一恒科技有限公司。

1.3 方法

将贮藏于0 ℃的白鲢鱼样品，每隔2 d随机取样测其理化指标，包括挥发性盐基氮（total volatile basic nitrogen，TVB-N）值、三甲胺（trimethylamine，TMA）值、2-硫代巴比妥酸（2-thiobarbituric acid，TBA）值、细菌总数值、pH值、色差值。挥发性气味用电子鼻测定。

1.3.1 菌落总数的测定

按照GB 4789.2—2010《食品微生物学检验：菌落总数测定》[7]进行稀释平板计数法测定。

1.3.2 pH值的测定

参考Arashisar等[8]的方法。取10 g绞碎样品于烧瓶中，加入煮沸冷却的蒸馏水90 mL，匀浆后静置30 min后过滤，用pH计测其pH值。

1.3.3 TVB-N值的测定

TVB-N的测定依照GB/T 5009.44—2003《肉与肉制品卫生标准的分析方法》中的微量扩散法测定。

1.3.4 TMA值的测定

参照GB/T 5009.179—2003《火腿中三甲胺氮的测定》和许龙福等[9]的修订方法，采用苦味酸法测定。

1.3.5 TBA值的测定

参考Siu等[10]的TBA值测定方法略有修改。取10 g绞碎后的鱼肉，加入25 mL蒸馏水以及25 mL 10%的三氯乙酸溶液，均质过滤后取5 mL上清液，加入0.02 mol/L硫代巴比妥酸溶液5 mL，在80 ℃条件下水浴40 min，冷却后在532 nm波长处测吸光度。TBA值用丙二醛（malondialdehyde，MDA）质量分数表示。

1.3.6 色差值的测定

取适量绞碎的鱼肉做成直径大约1 cm厚度均匀的圆饼状样品，用色差计进行检测并读取L^*、a^*、b^*值。总色差值ΔE值由以下公式计算。

$$\Delta E=\sqrt{(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2}$$

1.3.7 质构分析

取鱼肉切成1.5 cm^3大小的立方体，用质构分析仪分析。设定参数：测量前探头下降速率2.0 mm/s；测试速率1.0 mm/s；测量后探头回程速率1.0 mm/s；样品压缩形变量50%；触发力5 g；2 次压缩时间间隔5 s；探头类型P/50；数据的采集速率200.00 pps。

1.3.8 感官评价

生鲜鱼片以色泽、气味、组织形态和肌肉弹性为检验项目，各项目分别为好、较好、一般、较差和差 5 个级别，分值分别为5、4、3、2、1 分，满分20 分。感官评分低于10 分失去食用价值。由10 名品评员组成固定的感官评价小组，对鲢鱼片的感官品质进行评定，具体评分标准见表1[3]。

表1 0 ℃冷藏白鲢鱼片的感官评价标准

Table 1 Criteria for sensory evaluation of silver carp slices stored at 0 ℃

评分	气味	色泽	组织状态	肌肉弹性
5	固有的香味，清新	色泽正常，肌肉内切面富有光泽	肌肉组织致密完整，纹理很清晰	坚实有弹性，手压后凹陷立即消失
4	固有的香味，较清新	色泽正常，肌肉内切面有光泽	肌肉组织紧密，纹理较清晰	坚实有弹性，手压后凹陷较快消失
3	略带异味	色泽稍暗淡，肌肉切面稍有光泽	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	固有香味消失，有腥臭味或氨臭味	色泽较暗淡，肌肉切面无光泽	肌肉组织不紧密，局部松散	稍有弹性，手压后凹陷消失很慢
1	有强烈的腥臭味或氨臭味	色泽暗淡，肌肉切面无光泽	肌肉组织不紧密，松散	无弹性，手压后凹陷不消失

1.3.9 电子鼻检测

取5 g鱼肉绞碎的鱼肉，置于50 mL烧杯中，用保鲜膜密封，静置0.5 h后顶空进样。设定检测时间100 s，清洗时间100 s，样品流量300 mL/min。利用电子鼻自带Win Muster软件对挥发性气味进行主成分分析（principal component analysis，PCA）、负荷加载分析（loadings

analysis，LA）以及线性判别分析（linear discriminant analysis，LDA）。10 个传感器所感应物质如表2所示。

表 2 电子鼻传感器名称与其响应物质

Table 2 Electronic nose sensors and their responses to the substances

传感器序号	传感器名称	传感器响应特性
1	W1S	对甲烷灵敏
2	W5S	对氮氧化合物灵敏度大
3	W3C	对氨水、芳香成分灵敏
4	W6S	对氢气有选择性
5	W5C	对烷烃、芳香成分灵敏
6	W1C	对芳香成分灵敏
7	W1W	对硫化成分（硫化氢等）灵敏
8	W2S	对乙醇灵敏
9	W2W	对芳香成分、有机硫化物灵敏
10	W3S	对烷烃灵敏

1.4 数据分析

用SPSS 17.0软件及Origin 7.5软件进行数据统计分析，$P<0.01$为差异极显著，$P<0.05$为差异显著。

2 结果与分析

2.1 菌落总数与TVB-N值分析

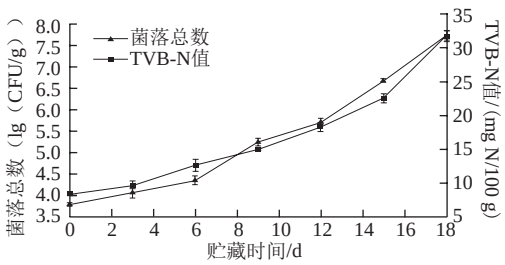


图 1 0 ℃贮藏的白鲢鱼片菌落总数和TVB-N值变化趋势

Fig.1 Changes in total number of colonies and TVB-N value of silver carp fillets during storage at 0 ℃

微生物的繁殖和代谢是引起鱼类腐败的主要原因，菌落总数可以较好地评价鱼类的新鲜程度[11]。由图1可知，菌落总数初始值为3.79 （lg（CFU/g））， 较范文教等[4]初始值偏高，可能与白鲢鱼的养殖环境与运输方式有关。在贮藏至第12天时菌落总数值达到5.69 （lg（CFU/g）），在贮藏至第15天达到6.67（lg（CFU/g））。按照GB 18406.4—2001《农产品安全质量无公害水产品安全要求》规定，细菌总数应不大于6 （lg（CFU/g）），以此判断水产品货架期终点。由此可以看出，白鲢鱼片在12 d的贮藏过程中，可以保持较好的品质。与卢涵等[5]的研究结果相近，其研究的白鲢鱼在0 ℃条件下货架期为15 d。

TVB-N是动物性食品由于自身酶或腐败微生物所分解的胞外酶的作用，蛋白质被分解而产生氨以及胺类等碱性含氮物质，此类物质具有挥发性，它已经被世界上绝大多数国家认定为水产品腐败程度的指标[12]。冷藏鲢鱼片的TVB-N值如图1所示，贮藏0 d白鲢鱼片的TVB-N值为8.33 mg N/100 g，随贮藏时间的延长，TVB-N值呈现增加趋势，12 d时TVB-N值为18.33 mg N/100 g，超过淡水产品一级新鲜度TVB-N限值（不大于13 mg N/100 g[13]），食用和加工品质降低。15 d时达到22.65 mg N/100 g，超过国标《鲜、冻动物性水产品卫生标准》规定的淡水鱼TVB-N限量值（不大于20 mg N/100 g），不可食用。与姚燕佳等[6]的研究结果相似，其研究结果认为白鲢鱼在－1 ℃贮藏12 d时TVB-N值为22 mg N/100 g，达到货架期终点。

2.2 pH值与TMA值分析

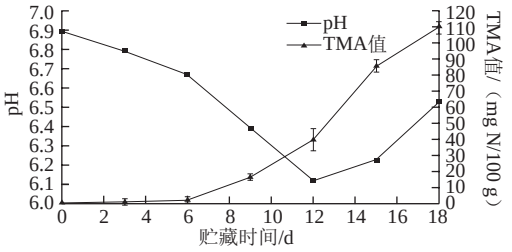


图 2 0 ℃贮藏的白鲢鱼片pH值与TMA值变化趋势

Fig.2 Changes in pH value and TMA value of silver carp fillets during storage at 0 ℃

0 ℃的贮藏过程pH值和TMA值的变化如图2所示。其中，pH值呈现出先下降后上升的趋势。在贮藏初期pH值迅速减小，在第12天左右pH值达到最小值为6.12，之后呈上升趋势直至贮藏期结束。pH值的降低，与糖原的含量和肌肉的缓冲能力有关，鲜活鱼死后，ATP和磷酸肌酸等物质分解产生磷酸等酸性物质[14]，同时糖原酶解产生乳酸，使pH值降低。在pH值达到最低点后，鱼体内的蛋白质在微生物作用下分解生成碱类物质[15]，pH值升高。所得结果与史策等[16]差距较大，可能与鱼生长环境和养殖方式有关。

TMA和组胺同样也是鱼体组织蛋白质细菌腐败的产物。氧化TMA广泛分布于猪肉、鱼和虾中，氧化TMA会在微生物和酶的作用下降解生成TMA和二甲胺，随着鲜度下降，TMA的体积分数会越来越高[17]。马成林等[18]认为，尽管新鲜淡水鱼体内氧化TMA含量很少，但在鲜度发生变化的过程中，TMA含量亦有一个由零至迅速增加的过程，可以作为淡水鱼的指标。从图2可以看出，新鲜的鲢鱼片中的TMA值极低，贮藏前期增长缓慢，0～6 d趋近于零，新鲜度良好，9 d后TMA值增长速率加快，12 d TMA值达到40.05 mg N/100 g，变化趋势与细菌总数和TVB-N值的变化趋势基本一致，与姚燕佳等[6]的研究结果相似，说明TMA值适合作为评价白鲢鱼新鲜度的指标。

2.3 感官评价与TBA值分析

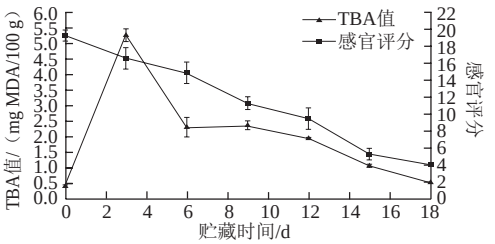


图 3 0 ℃贮藏的白鲢鱼片TBA值和感官评分变化趋势

Fig.3 Changes in TBA value and sensory evaluation score of silver carp fillets during storage at 0 ℃

TBA值能表示脂肪氧化酸败程度，是评判脂肪氧化的一个良好的指标[19]。它主要是依据脂类食品中不饱和脂肪酸氧化降解产物MDA与TBA反应生成稳定的红色化合物[20]。TBA值的变化如图3所示，TBA值在贮藏0 d时含量很小，为0.374 mg MDA/100 g，3 d时达到最大值为5.26 mg MDA/100 g，此后随着时间的延长TBA值逐渐降低。Auburg[21]认为TBA值并不能很好地反映脂肪的氧化情况，主要是因为MDA可能和鱼体的其他成分如胺类、核苷和核苷酸、蛋白质、磷脂类氨基酸以及醛类化合物发生反应，这些物质的产生终止了脂肪氧化的进程。可能是由于上述原因，TBA值在第3天后一直下降。因此，TBA值并不适合评价白鲢鱼的品质变化。

感官分析被广泛应用于鱼类的新鲜度评价[22]。感官评价快速、简便，是消费者判断水产品新鲜度的主要方式，虽然存在一些的主观因素，但对于鱼类的品质变化评价具有一定的参考价值。从图3可以看出，感官综合评分均随着时间的延长而降低，新鲜鲢鱼片评分接近满分，没有获得满分的主要原因是刚刚宰杀的鲢鱼肉质偏硬，第9天时略带异味，感官评分为11.2，感官尚能接受，第12天时感官评分为9.4，色泽黯淡，固有香味消失，新鲜度明显降低。12 d以后，肌肉无弹性，腥臭味显著，18 d时评分值降到最低，与理化指标评价结果相似。

2.4 色差值分析（*L**、*a**、*b**、Δ*E*值）

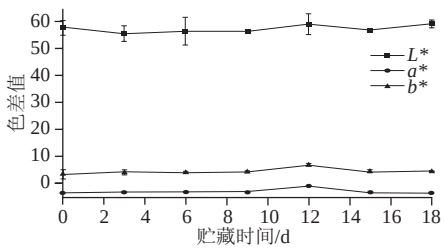


图 4 0 ℃贮藏的白鲢鱼片色差值变化趋势

Fig.4 Changes in color difference value of silver carp fillets during storage at 0 ℃

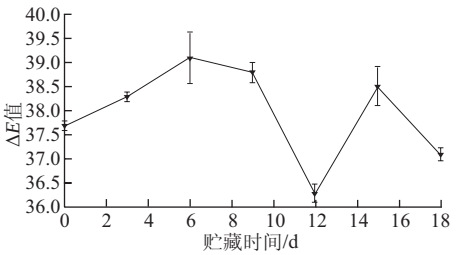


图 5 0 ℃贮藏的白鲢鱼片Δ*E*值变化趋势

Fig.5 Changes in Δ*E* value of silver carp fillets during storage at 0 ℃

色差计利用人眼睛对颜色判断的三变数原理，模拟人眼判断颜色的过程，可研究其色差值与感官品评值的相关性，去除人为因素对测定结果的影响，使得色泽的判定更加客观[23]。总色差Δ*E*值也可以表示样品颜色的变化[24]。Δ*E*在0～0.5为极小的差异；0.5～1.5为稍有差异；1.5～3.0为感觉到有点差异；3.0～6.0为显著性差异；6.0～12.0为极显著差异；12.0以上为不同颜色。由图4可以看出，*L**、*a**值与*b**值趋势平稳，在12 d时略有上升，但是变化不明显，这可能是由于微生物活动产生有害物质积累和蛋白质氧化使颜色发生变化所致。由图5可以看出，总色差Δ*E*值上下波动不均，变化无规律，且相对差值不大于3。因此，在冷冻贮藏期内，鲢鱼鱼肉的色泽保持相对稳定。从外观色泽上来看，品质的变化对其影响相对较小。

2.5 质构分析

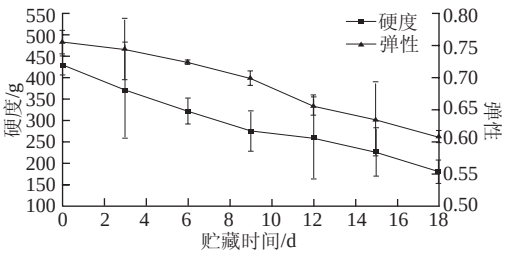


图 6 0 ℃贮藏的白鲢鱼片硬度和弹性变化趋势

Fig.6 Changes in hardness and springiness of silver carp fillets during storage at 0 ℃

硬度是描述食品变形或穿透产品所需的力有关的机械质地特性，是食品保持形状的内部结合力；而弹性表示物体在外力作用下发生形变，撤去外力后恢复原来状态的能力[25]。从图6可以看出，白鲢鱼片的硬度和弹性在贮藏过程中逐渐降低，说明随着时间的延长白鲢鱼片逐渐失去新鲜的质构特征。鱼肌肉的质构特征主要与鱼体的肌原纤维、脂肪和胶原蛋白含量有关。鱼死亡后，自溶和微生物分解会导致肌原纤维蛋白发生变化，使肌肉变软失去弹性。

2.6 电子鼻对于白鲢鱼片挥发性气味分析

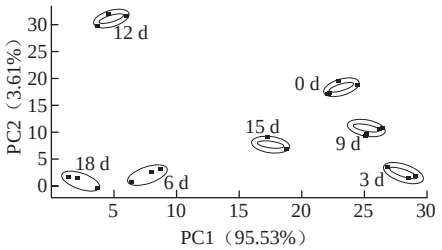


图 7 0 ℃白鲢鱼片挥发性气味PCA图

Fig.7 Principal component analysis (PCA) of volatile odor of silver carp fillets stored at 0 ℃

白鲢鱼片的新鲜度随着贮藏时间的延长而逐渐下降，气味有着明显的区别，其挥发性成分也明显不同。电子鼻是模仿人和动物的鼻子，用于分析、识别、检测复杂气味和挥发性成分，具有客观、准确、灵敏度高、重现性好等优点[26]。从图7可以看出，鲢鱼的挥发性气味随贮藏时间的延长变化十分明显，且不同贮藏时间的鲢鱼气味响应值互不重叠，PC1和PC2的贡献率分别为95.53%和3.61%，总贡献率为99.14%，说明2 个主成分几乎可以代表白鲢鱼所有的信息，且电子鼻能够对其贮藏时间加以区分。贮藏12 d以后由于感官品质变化较为明显，不作考虑。在第3～6天、第6～9天、第9～12天间距较大，说明鲢鱼片鲜度在6、9、12 d有变化，可以作为新鲜度变化的拐点。因此用PCA法可以对不同新鲜度的白鲢鱼进行区分。

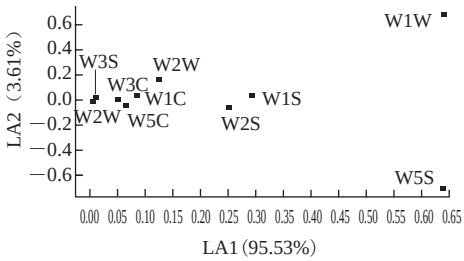


图 8 0 ℃白鲢鱼片挥发性气味LA图

Fig.8 Loadings analysis of volatile odor of silver carp fillets stored at 0 ℃

LA可以判断传感器对于样品挥发性气味贡献率的大小[27]。负载值越大贡献率越大，反之则小。从图8可以看出，对0 ℃贮藏的鲢鱼片挥发性成分贡献率最大的是W1W（7号）和W5S（2号）2 个传感器；W2W（9号）、W1S（1号）2 个传感器也有较大贡献。由LA可知：电子鼻的传感器对于鱼肉腐败过程中产生的对硫化成分（硫化氢等）和氮氧化合物灵敏度大，对芳香成分、有机硫化物和甲烷较为灵敏，能够对其进行有效地区分。因此，在对鲢鱼的低温贮藏中，7号和2号对应的硫化成分和氮氧化合物，以及9号和1号对应的芳香成分和甲烷类的变化是电子鼻检测鲢鱼新鲜度的主要依据。

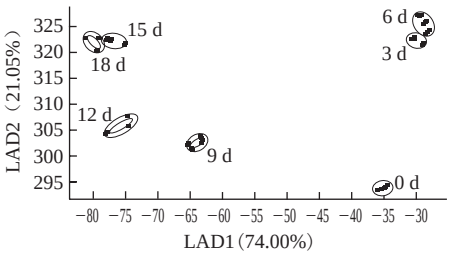


图 9 0 ℃白鲢鱼片挥发性气味LDA图

Fig.9 LDA of volatile odor of silver carp fillets stored at 0 ℃

LDA更加注重样品在空间中的分布状态及彼此之间的距离分析，将样品信号数据通过运算法则投影到某一方向，使得组与组之间的投影尽可能分开[28]。从图9可以看出，0 ℃条件下贮藏的鲢鱼，LDA1和LDA2的贡献率分别为74.00%和21.05%，两判别式的总贡献率为95.05%，说明可以较好检测鲢鱼肉挥发性物质的变化。椭圆区域在图中有较好变化趋势且几乎不重叠，说明LDA分析能很好地区分不同时间条件下的鲢鱼片挥发性成分。同时，从图9可以看出鲢鱼挥发性成分分布存在拐点，分别在6、9 d和12 d时分布方向发生显著的变化，说明在6、9、12 d时白鲢鱼片鲜度发生变化。这与PCA吻合。

2.7 理化指标的相关性分析

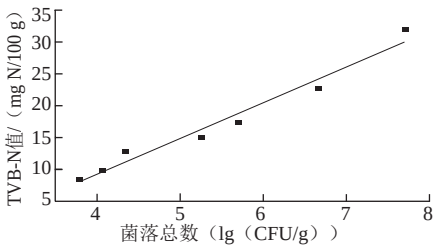


图 10 TVB-N值和菌落总数值相关性分析图

Fig.10 Correlation between TVB-N and total number of colonies

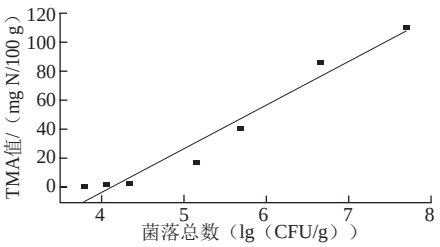


图 11 TMA值和菌落总数值相关性分析图

Fig.11 Correlation between TMA and total number of colonies

以0 ℃鲢鱼片菌落总数为自变量，分别以0 ℃鲢鱼片的TVB-N值及TMA值为拟合目标进行曲线拟合，获得相关系数*R*值。菌落总数、TVB-N值及TMA值是分别按照相关测定方法按天取样3 次测量的平均值。从图10和11可

以看出，菌落总数与TVB-N值及TMA值都有很好的相关性，*R*分别为0.964和0.951；*P*值都小于0.01，呈极显著相关。这可以说明，0 ℃贮藏的鲢鱼片理化指标值之间有较好的线性相关性。

3 结 论

在0 ℃鲢鱼片的贮藏实验过程中，菌落总数、TVB-N值及TMA值都随着时间的延长而呈现不同的增长趋势，且相互之间相关性良好（$P<0.01$）。pH值先降低后升高；感官评分、硬度和弹性逐渐降低；冷冻贮藏期内，鲢鱼鱼肉的色泽保持相对稳定，无法判断鲢鱼片的新鲜程度；TBA值先升高后降低，变化规律与时间无相关性；电子鼻能很好地区分不同贮藏时间鲢鱼片的挥发性气味，通过对挥发性成分的PCA、LA以及LDA能很好地综合鲢鱼片在贮藏期间挥发性气味的变化情况。在0 ℃贮藏中，根据菌落总数值、TVB-N值、TMA值等相关值和感官评定的结果，认为鲢鱼片在9～12 d出现初期腐败，贮藏至12 d达到货架期终点。

参考文献：

[1] 农业部渔业局. 中国渔业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.

[2] 励建荣, 李婷婷, 李学鹏. 水产品鲜度品质评价方法研究进展[J]. 北京工商大学学报, 2010, 28(6): 1-8.

[3] 黄晓春, 候温甫, 杨文鸽, 等. 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.

[4] 范文教, 孙俊秀, 陈云川, 等. 茶多酚对鲢鱼微冻冷藏保鲜的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 294-297.

[5] 卢涵, 罗永康, 史策, 等. 0 ℃冷藏条件下鲢阻抗特性与鲜度变化的相关性[J]. 南方水产科学, 2012, 8(5): 80-85.

[6] 姚燕佳, 张进杰, 顾伟钢, 等. 不同贮藏温度对鲢鱼鲜度品质的影响[J]. 浙江大学学报, 2011, 37(2): 212-218.

[7] 卫生部. GB 4789.2—2010 食品微生物学检验: 菌落总数测定[S].

[8] ARASHISAR S, HISAR O, KAYB M, et al. Effects of modified atmosphere and vacuum packaging on microbiological and chemical properties of rainbow trout (*Oncorynchus mykiss*) fillets[J]. Food Microbiology, 2004, 97(2): 209-214.

[9] 许龙福, 俞飞兰, 胡振友, 等. 火腿中三甲胺氮测定方法的修订及验证[J]. 预防医学论坛, 2001, 11(6): 641-643.

[10] SIU G M, DRAPER H. A survey of the malonaldehyde content of retail meats and fish[J]. Journal of Food Science, 1978, 43(4): 1147-1149.

[11] KOUTSOUMANIS K, STAMATIOU A, SKANDAMIS P, et al. Development of a microbial model for the combined effect of temperature and pH on spoilage of ground meat and validation of the model under dynamic temperature conditions[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2006, 72(1): 124-134.

[12] RUIZ-CAPILLAS C, MORAL A. Changes in free amino acids during chilled storage of hake (*Merluccius* L.) in controlled atmospheres and their use as a quality control index[J]. European Food Research and Technology, 2001, 212(3): 302-307.

[13] 成媛媛, 刘永乐, 王建辉, 等. 普鲁兰多糖在草鱼鱼肉保鲜中的应用[J]. 食品科学, 2012, 33(2): 272-275.

[14] 张丽娜, 胡素梅, 王瑞环, 等. 草鱼片在冷藏和微冻条件下品质变化的研究[J]. 食品科技, 2010, 35(8):175-179.

[15] SIRIPORN R, SOOTTAWAT B, WONNOP V, et al. Effect of iced storage of bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*) on the chemical composition, properties and acceptability of Som-fug, a fermented Thai fish mince[J]. Food Chemistry, 2007, 102(1): 270-280.

[16] 史策, 罗永康, 宋永令, 等. 鲢鱼鱼肉冷藏过程中理化性质的变化[J]. 食品科技, 2011, 36(10): 116-119.

[17] 胡彩虹, 许梓荣. 气相色谱法测定猪肉、鱼和虾中三甲胺的含量[J]. 食品科学, 2001, 22(5): 62-64.

[18] 马成林, 陈琦昌, 李力权, 等. 应用三甲胺评价淡水鱼新鲜度的研究[J]. 兽医大学学报, 1992, 12(4): 398-399.

[19] 杨胜平, 谢晶, 佟懿, 等. 壳聚糖结合茶多酚涂膜保鲜带鱼的效果[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(4): 818-821.

[20] YANAR Y, FENERCIOGLU H. The utilization of carp (*Cyprinus carpio*) flesh as fish ball[J]. Turkish Journal of Veterinary and Animal Science, 1998, 23(4): 361-365.

[21] AUBURG S P. Review: interaction of malondialdehyde with biological molecules-new trends about reactivity and significance[J]. International Journal of Food Science and Technology, 1993, 28(4): 323-335.

[22] CALANCHE J, SAMAYOA S, ALONSO V, et al. Assessing the effectiveness of a cold chain for fresh fish salmon (*Salmosalar*) and sardine (*Sardina pilchardus*) in a food processing plant[J]. Food Control, 2013, 33(1): 126-135.

[23] 徐吉祥, 楚炎沛. 色差计在食品品质评价中的应用[J]. 现代面粉工业, 2010(3): 43-45.

[24] 沈雨辰, 胡更生, 赵龙, 等. Δ*Eab*计算色差值与视觉观察一致性的实验分析[J]. 广东印刷, 2010(5): 18-19.

[25] 郝红涛, 赵改名, 柳艳霞, 等. 肉类制品的质构特性及其研究进展[J]. 食品与机械, 2009, 25(3): 125-128.

[26] 柴春祥, 凌云. 电子鼻检测虾新鲜度的研究[J]. 食品科技, 2010, 35(2): 246-249.

[27] 刘寿春, 钟赛意. 基于电子鼻技术判定冷鲜罗非鱼片品质劣变进程[J]. 食品科学, 2012, 33(20): 189-195.

[28] 周亦斌, 王俊. 基于电子鼻的番茄成熟度及贮藏时间评价的研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(4): 113-117.