

草鱼冷藏过程中新鲜度的综合评价

姜 杨¹, 李婷婷², 晋高伟¹, 励建荣^{1,*}, 李敏镇³

(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院, 辽宁 大连 116600; 3.鞍山嘉鲜农业发展有限公司, 辽宁 鞍山 114100)

摘 要: 为研究养殖草鱼冷藏过程中的鲜度变化, 以菌落总数、挥发性盐基氮 (total volatile basic nitrogen, TVB-N) 含量、pH值以及表征新鲜度的 K 、 K_i 、 F_i 、 G 、 H 、 P 值为指标, 并结合电子鼻分析其新鲜度。结果表明, 草鱼4℃冷藏过程中, 随贮藏时间的延长, 菌落总数和TVB-N含量呈增长趋势, 与贮藏时间分别呈极显著相关 ($r=0.977$) 和显著相关 ($r=0.897$); K 、 K_i 、 F_i 、 G 值和 P 值均与贮藏时间呈极显著相关, 相关系数 r 分别为0.955、0.953、-0.953、0.958和0.957; H 值和pH值与其他实验指标相关性均不显著。菌落总数、TVB-N含量、 K 值及相关值 (H 值除外) 和电子鼻结果能有效区分不同贮藏时间的草鱼。电子鼻检测结果和 K 值及相关值 (H 值除外) 较菌落总数和TVB-N含量对新鲜度评价更为灵敏, pH值和 H 值不适宜作为冷藏草鱼的新鲜度评价指标。4℃冷藏条件下的草鱼, 货架期为8 d, 12 d后不可加工和食用。

关键词: 草鱼; 冷藏; 新鲜度

Comprehensive Freshness Evaluation of Grass Carp (*Ctenopharyngodon idellus*) during Refrigerated Storage

JIANG Yang¹, LI Ting-ting², JIN Gao-wei¹, LI Jian-rong^{1,*}, LI Min-zhen³

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

Abstract: In order to evaluate the freshness of farmed grass carp stored at 4℃, changes in total viable count (TVC), total volatile basic nitrogen (TVB-N), pH value, K value, and related values were investigated. Meanwhile, electronic nose was used to analyze the volatile components. The results showed that total viable count and TVB-N value increased gradually during storage and these changes were correlated with storage time. The values of K , K_i , F_i , G and P firstly increased and then stabilized. These changes were correlated significantly with storage time with correlation coefficients of 0.955, 0.953, -0.953, 0.958, and 0.957, respectively. Neither H value nor pH showed a significant correlation with each of the other parameters. The TVC, K value and the other related values except H value of grass carp could be distinguished effectively during different storage periods. Compared with TVC and TVB-N value, electronic nose as well as K value and the other related values except H value were more sensitive to freshness evaluation, while pH value and H value were not appropriate for the freshness evaluation. The shelf life of grass carp during 4℃ storage was 8 days, and fish samples stored for 12 days reached the upper limit of processing and edibility.

Key words: grass carp; refrigeration; freshness

中图分类号: TS254.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2014) 20-0281-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201420055

新鲜度是评价水产品的一个重要指标, 对水产品品质及原料的加工适性有着巨大影响, 直接决定其食用性和加工品质。新鲜度可以通过化学方法、物理方法、生物方法和感官分析法进行评估^[1]。水产品在贮藏过程中发生的一系列生物化学、物理化学和微生物作用而导致品

质下降, 并伴有挥发性气味物质的变化。这些作用与生物的物种、捕获状态、宰杀方式、贮藏温度和时间息息相关^[2]。其中影响新鲜度和货架期的最重要可控因素是温度。低温冷藏能有效抑制微生物的生长繁殖和鱼自身酶的活性, 是水产品保鲜常用的一种方法^[3]。冷藏保鲜法具

收稿日期: 2014-01-09

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); 辽宁省食品安全重点实验室开放课题项目 (LNSAKF2011008)

作者简介: 姜杨 (1990—), 女, 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: 18553265327@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: lijir6491@163.com

有冷冻保存法所不及的优点, 无需解冻过程, 能够避免冷冻保存导致肌肉组织结构的破坏、解冻过程汁液大量流失、营养价值下降等弊端。

草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 是我国“四大家鱼”之一, 在我国各地均有分布, 是我国重要的淡水经济鱼类, 其养殖产量居淡水鱼之首^[4]。因其肉质鲜美, 营养丰富, 深受消费者喜爱。草鱼目前以鲜食和初加工制品消费为主^[5]。鱼类在冷藏过程中会发生一系列的变化, 包括蛋白质变性、脂肪氧化、三磷酸腺苷降解等, 结果会导致鱼肉新鲜度的下降, 因此, 鱼类在冷藏过程中的新鲜度变化一直是水产品加工领域的研究热点之一。以4℃冷藏环境下的草鱼为研究对象, 通过新鲜度相关理化指标的变化, 包括菌落总数、pH值、挥发性盐基氮 (total volatile basic nitrogen, TVB-N) 含量、K值及其相关值, 结合电子鼻, 对4℃冷藏草鱼进行新鲜度评价, 研究其贮藏过程中品质的变化规律, 以期对草鱼保鲜和加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

养殖草鱼活鱼, 产地辽宁省盘锦市, 购自锦州林西水产市场, 每批次共24条, 每条鱼质量为(1500±50)g。

高温蒸煮袋购于江苏省连云港市伟希铝塑包装公司。

1.2 仪器与设备

PL602-L电子天平、FE20 pH计 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; AF-10制冰机 斯科茨曼制冰机系统(上海)有限公司; MLS-3030CH立式高压灭菌锅 三洋电机(广州)有限公司; LRH系列生化培养箱 上海一恒科技有限公司; SW-CJ-2FD超净工作台 苏景集团苏州安泰技术有限公司; Biofuge stratos台式高速离心机 美国Thermo Fisher公司; PEN3便携式电子鼻系统 德国Airsense公司; CR-400色彩色差计 杭州祥盛科技有限公司; Agilent-1200高效液相色谱 美国安捷伦科技公司。

1.3 方法

1.3.1 贮藏条件

将鲜活草鱼置于洁净泡沫保温箱中, 泡沫箱放于(2±0.5)℃冷库中, 采用层冰层鱼层冰的方式冷冻致死, 然后整鱼(带内脏)用无菌蒸煮袋密封包装, 包装方式为空气包装(非真空非气调包装), 于(4±0.5)℃冰箱中贮藏。每隔3d随机取样进行测定(0、4、8、12、16、20d)。

1.3.2 样品处理

草鱼鱼体大致分为头部、躯干部和尾部, 其中躯干部沿脊椎可分为脊背和腹部。微生物指标采样前样品置

于密封无菌蒸煮袋中, 不清洗, 采样时取距鱼鳃盖骨后缘3cm处的脊背肉(去皮去刺)进行测定, 微生物取样严格无菌操作, 取样工具使用前灭菌处理, 取样环境无菌; 其他指标取躯干部剩余肌肉部分, 避开内脏, 以免内脏破裂影响肉质, 去皮去刺绞碎即可。

1.3.3 菌落总数测定

按照GB 4789.2—2010《食品微生物学检验: 菌落总数测定》^[6]进行稀释平板计数法测定。

1.3.4 pH值测定

参考Arashisar等^[7]的方法稍有修改。取10g绞碎的鱼肉于烧杯中, 加入煮沸冷却的蒸馏水90mL, 匀浆后静置30min, 用pH计测其上层清液pH值。

1.3.5 TVB-N含量测定

按照GB/T 5009.44—2003《肉与肉制品卫生标准的分析方法》^[8], 用微量扩散法进行测定。

1.3.6 新鲜度指标K、K_i、H、F_r、G值和P值的测定

参考Li Tingting等^[9]的方法并稍作修改。取5g绞碎的鱼肉于烧杯中, 加入0.6mol/L高氯酸25mL均质1min后, 3000×g离心10min, 取上层清液, 用1mol/L KOH溶液调其pH值至6.5~6.8, 静置30min后, 再次离心10min后取上层清液置于-80℃冷库中贮藏, 用于后期检测。整个操作过程样品温度均控制在0~4℃。上机前, 将上层清液解冻, 并采用0.45μm水相滤膜过滤。

色谱条件: 色谱柱Thermo Hypersil BDS C₁₈ (250mm×4.6mm, 5μm); 以0.04mol/L KH₂PO₄和0.06mol/L K₂HPO₄混和溶液作为流动相进行平衡和梯度洗脱; 进样量10μL; 流速1mL/min; 柱温37℃; 紫外可变波长检测器检测波长254nm。K值及相关值计算按照式(1)~(6)。

$$K/\% = \frac{HxR + Hx}{ATP + ADP + AMP + IMP + HxR + Hx} \times 100 \quad (1)$$

$$K_i/\% = \frac{Hx}{IMP + HxR + Hx} \times 100 \quad (2)$$

$$H/\% = \frac{Hx}{IMP + HxR + Hx} \times 100 \quad (3)$$

$$F_r/\% = \frac{IMP}{IMP + HxR + Hx} \times 100 \quad (4)$$

$$G/\% = \frac{HxR + Hx}{IMP + HxR + Hx} \times 100 \quad (5)$$

$$P/\% = \frac{HxR + Hx}{AMP + IMP + HxR + Hx} \times 100 \quad (6)$$

式中: ATP、ADP、AMP、IMP、HxR、Hx分别代表三磷酸腺苷、二磷酸腺苷、腺苷酸、肌苷酸、次黄嘌呤核苷、次黄嘌呤的质量摩尔浓度/(μmol/g) (湿基)。

1.3.7 电子鼻检测

取5 g绞碎鱼肉,置于50 mL烧杯中,用保鲜膜密封,静置半小时后顶空进样。设定检测时间120 s、清洗时间100 s、样品流速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1所示。

表1 电子鼻传感器名称与其响应物质

Table 1 Electronic nose sensors and their response characteristics

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

色谱柱为J&W DB-5石英毛细柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm);升温程序为180 ℃保持1 min,以20 ℃/min速率升至280 ℃,保持4 min;载气(He)流速1.2 mL/min;压强2.4 kPa;进样量0.5 μL;分流比10:1。

1.4 数据处理

采用Origin 7.5绘图,SPSS 17.0软件进行数据分析,使用电子鼻Win Muster软件对不同贮藏时间的草鱼挥发性气味进行PCA、LA及LDA分析。

2 结果与分析

2.1 菌落总数

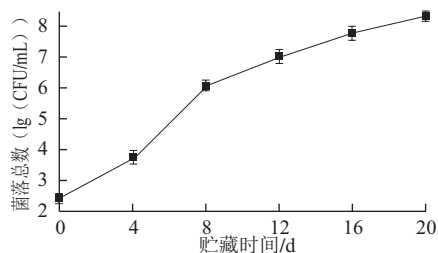


图1 4 ℃贮藏草鱼菌落总数随时间变化

Fig.1 Changes in total viable count of grass carp stored at 4 °C

水产品的腐败主要是由微生物作用引起的,菌落总数可以较好地反映鱼的腐败程度^[10]。由图1可知,随贮藏时间的延长菌落总数呈增长趋势。菌落总数初始值为2.46 (lg (CFU/g)),有报道^[11]指出刚捕获的水产品菌落总数初始值一般为2~4 (lg (CFU/g))。贮藏前

期,微生物处于对数生长期,繁殖迅速,菌落总数呈几何级数增长,8 d达到6.08 (lg (CFU/g)),超过我国无公害水产品安全要求(≤6 (lg (CFU/g)))^[12],以此判定货架期终点。8 d后微生物增长速度减缓,贮藏至12 d时菌落总数达7.02 (lg (CFU/g)),已超过国际微生物规格委员会规定的食品微生物最高安全限值(≤7 (lg (CFU/g)))^[13]。结果表明,4 ℃贮藏的草鱼货架期为8 d,贮藏12 d时样品腐败。贮藏期内,草鱼的菌落总数与贮藏时间呈极显著正相关($r=0.977$)。

2.2 TVB-N含量和pH值

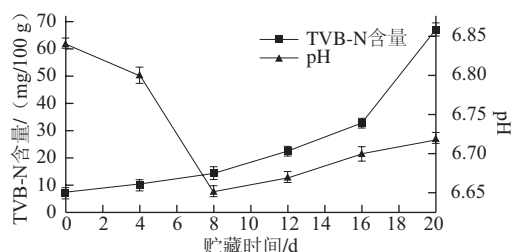


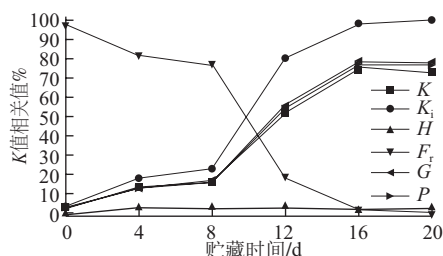
图2 4 ℃贮藏的草鱼TVB-N含量和pH值随时间变化

Fig.2 Changes in TVB-N and pH value of grass carp stored at 4 °C

TVB-N含量能有效表征鱼肉品质,是水产品新鲜度评价的重要指标之一。如图2所示,贮藏0 d草鱼的TVB-N含量为7.81 mg/100 g,随贮藏时间的延长,TVB-N含量呈现增加趋势,这是由于草鱼中蛋白质在酶和微生物的作用下,发生分解产生氨和胺等碱性含氮物,随贮藏时间的延长,碱性含氮物积累,从而导致TVB-N含量持续升高^[14]。4 ℃贮藏8 d的草鱼TVB-N含量为14.45 mg/100 g,超过淡水产品一级新鲜度TVB-N限值(≤13 mg/100 g)^[15];12 d时达到22.54 mg/100 g,超过GB 2733—2005《鲜、冻动物性水产品卫生标准》规定的淡水鱼TVB-N限量值(≤20 mg/100 g),不可食用。这与菌落总数结果一致。研究表明贮藏期内,草鱼的TVB-N含量与贮藏时间呈显著正相关($r=0.879$)。

新鱼在贮藏过程中,微生物和自身水解酶共同作用导致新鲜度下降,同时引起pH值下降,可以通过pH值的变化来评价冷藏草鱼的新鲜度。草鱼的初始pH值为6.84,在贮藏期终点为6.72。如图2所示,在贮藏期内草鱼pH值呈现先下降后上升的趋势,在货架期终点(8 d)达到最低点6.65。这是由于鱼死后在ATP酶和产酸微生物的作用下发生糖类分解反应,生成并积累乳酸等酸性物质,导致鱼肉组织酸度升高,pH值下降,达最低点后,鱼体内的蛋白质在微生物作用下分解生成碱类物质^[16],pH值又逐渐上升。所得结果与贾艳菊等^[17]研究相一致。

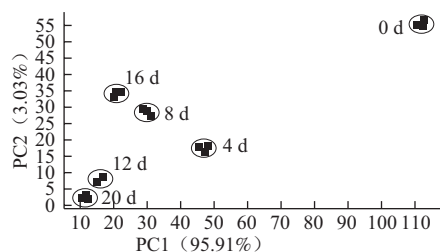
2.3 新鲜度指标K值相关值

图3 4 °C贮藏的草鱼K、 K_1 、H、 F_1 、G值和P值随时间变化Fig.3 Changes in K , K_1 , H , F_1 , G and P values of grass carp stored at 4 °C

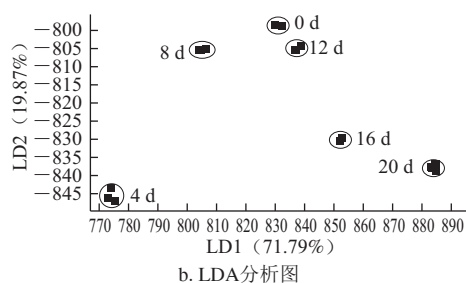
K值及其相关值可通过测定肌肉中的ATP及其降解产物(ADP、AMP、IMP、HxR、Hx)的质量摩尔浓度得到,在一定程度上能够反应水产品的新鲜度变化^[18]。由图3可以看出,在0~16 d内 K 、 K_1 、G值和P值逐渐增加,8~12 d增加速率明显大于其他贮藏阶段,16 d后 K_1 值略有升高, K 、G、P值略有下降,但都基本趋于稳定; F_1 值在贮藏期内呈现逐渐下降趋势,8~12 d下降速率明显大于其他阶段; H 值在贮藏初期(0~12 d)有小幅上升,12 d达到最大值3.85%,贮藏后期(12~20 d)在2.2%~3.5%范围内小幅浮动。研究表明, K 、 K_1 、G、P值快速上升是由于ATP的降解产物IMP迅速消耗导致的^[19]。一般认为, K 值在20%以下为一二级新鲜度,20%~40%为二级新鲜度^[20]。本实验的 K 值初始值为2.98%,贮藏8 d K 值达到16.01%,为一二级新鲜度;12 d达到52.59%,超过二级新鲜度限值,说明鱼肉样品在贮藏12 d时已腐败。这与菌落总数、TVB-N含量及 K 值结果一致。

2.4 电子鼻对于草鱼挥发性气味分析

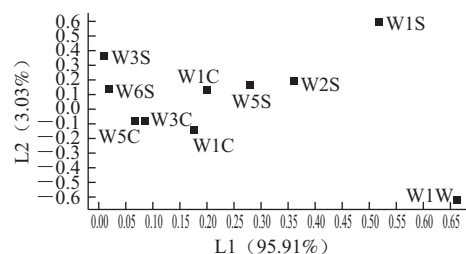
电子鼻通过传感器模拟人的嗅觉系统,通过传感器采集样品挥发性成分整体信息,能够快速客观的区分样品挥发的气体^[21-22]。对不同冷藏时间的草鱼挥发性成分进行PCA、LDA及LA分析,可以有效区分不同贮藏时间的草鱼。PCA分析是将提取的传感器多指标信息进行数据转换和降维,并对降维后的特征向量进行线性分类,最后在PCA分析的散点图上显示主要的两维散点图^[23]。LDA分析在PCA分析的基础上对响应信号进行优化,将样品信号数据通过运算法则投影到某一方向,使得组与组之间的投影尽可能分开^[24]。LA分析能衡量传感器对于样品挥发性气味贡献率的大小^[25]。



a. PCA分析图



b. LDA分析图



c. LA分析图

图4 4 °C草鱼挥发性气味电子鼻分析图

Fig.4 Principal component analysis (PCA) of volatile odor of grass carp stored at 4 °C

由图4a可以看出,草鱼的挥发性气味随冷藏时间的延长变化十分明显,且不同贮藏时间地草鱼气味响应值互不重叠,说明电子鼻能很好地区分不同贮藏时间的草鱼。主成分1和主成分2的贡献率分别为95.91%和3.03%,总贡献率为98.94%,说明两个主成分几乎可以包含样品所有的信息,可以用来表征草鱼的整体信息,且电子鼻能够识别这一信息。沿第1主成分轴看,0~12 d随着贮藏时间的延长,草鱼气味响应值的分布呈现逐渐减少的趋势;沿第2主成分轴看,主成分方向在4、8、12 d发生显著改变。说明冷藏草鱼在第4、8、12天有较大变化,第8天和第12天是新鲜度变化的拐点,与菌落总数和TVB-N含量分析结果一致。因此用PCA分析法能够明显区分不同新鲜度的草鱼。

如图4b所示,判别式LD1和LD2的贡献率分别为71.79%和19.87%,两判别式的总贡献率为91.66%。沿横轴看主成分1呈现先降低后升高的趋势,沿纵轴看主成分2呈先下降后上升再下降的变化趋势。采用LDA线性判别分析能够区分出样品存在一定差异,不同贮藏时间的草鱼响应信号互不重叠,说明LDA分析方法能够较好地区分不同新鲜度的草鱼。响应值分布存在拐点,分别在4、8、12 d时分布方向发生显著的变化,说明在第4、8、12天时草鱼新鲜度发生变化。这与PCA分析吻合,也与理化指标结论相一致。

由图4c可以看出,对4 °C贮藏的草鱼,主成分1贡献率最大的传感器是W1W(7号),其次W1S(1号)和W2S(8号)传感器也有较大贡献,对主成分2的贡献率较大的传感器是1号。W6S(4号)传感器对第1和第2主成分的贡献率接近于零,W3C(3号)传感器对第2主成分

分的贡献率也接近于零。由LA分析可以得出,草鱼在冷藏过程中产生的挥发性成分,含硫化物最多,其次甲烷类和乙醇类。因此,在草鱼冷藏过程中,1号和7号传感器对应的甲烷和硫化物类的变化是电子鼻检测草鱼新鲜度的主要依据。

2.5 理化指标相关性

表2 草鱼冷藏条件下各指标的相关性分析
Table 2 Correlation analysis of freshness indicators for grass carp during refrigerated storage

指标	贮藏时间	菌落总数	TVB-N含量	K	K _i	H	F _r	G	P
贮藏时间	1.000								
菌落总数	0.977**	1.000							
TVB-N含量	0.897*	0.804*	1.000						
K	0.955**	0.914*	0.823*	1.000					
K _i	0.953**	0.922**	0.810	0.995**	1.000				
H	0.506	0.597	0.278	0.369	0.424	1.000			
F _r	-0.953**	-0.922**	-0.810	-0.995**	-1.000**	-0.424	1.000		
G	0.958**	0.916*	0.831*	1.000**	0.996**	0.375	0.000	1.000	
P	0.957**	0.915*	0.830*	1.000**	0.995**	0.371	-0.995**	1.000**	1.000

注: *. 相关性显著 ($P < 0.05$); **. 相关性极显著 ($P < 0.01$)。

由表2可知,菌落总数与贮藏时间呈极显著正相关 ($P < 0.01$),TVB-N含量与贮藏时间呈显著正相关 ($P < 0.05$);H值与其他各指标相关性均不显著;K值及相关值(H值除外)与贮藏时间均呈极显著相关,其中F_r值与贮藏时间呈极显著负相关 ($r = -0.953$),其他值均呈极显著正相关。菌落总数与贮藏时间的相关性最大 ($r = 0.977$),其次为G、P、K值和F_r值。此外,K值与K_i、F_r、G值和P值,P值和G值均表现极显著正相关,K值与K_i值相关系数为-1,其他相关系数为1,由此推测,在冷藏草鱼贮藏过程中,除H值外,K值及其相关值在衡量鱼体新鲜度上可以相互取代,各指标间相关性较好 ($P < 0.05$)。

3 结 论

草鱼4℃冷藏过程中,菌落总数和TVB-N含量随贮藏时间的延长不断升高,与贮藏时间分别呈极显著相关和显著相关,结果表明第8天和第12天是新鲜度变化拐点;pH值与贮藏时间及其他理化指标相关性不显著。贮藏期内,K、K_i、F_r、G值和P值与贮藏时间呈极显著相关,8~12 d变化率最高,在衡量冷藏草鱼新鲜度上可相互取代,且其灵敏性要高于菌落总数和TVB-N含量;H值与其他实验指标相关性均不显著;PCA和LDA分析结果均显示4、8、12 d为新鲜度变化拐点;因此,菌落总数值、TVB-N含量和K值等相关值(H值除外)可以作为评价冷藏草鱼新鲜度的有效指标;电子鼻能较好区分不同新鲜度,其灵敏度较高。通过实验可知,4℃冷藏草鱼0~8 d为一级新鲜度,8~12 d为二级新鲜度,货架期为8 d,12 d后腐败变质,不可加工和食用。

参考文献:

- [1] DELBARRE-LADRAT C, CHÉRET R, TAYLOR R, et al. Trends in postmortem aging in fish: understanding of proteolysis and disorganization of the myofibrillar structure[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2006, 46(5): 409-421.
- [2] LIU Dasong, LIANG Li, XIA Wenshui, et al. Biochemical and physical changes of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fillets stored at -3 and 0℃[J]. Food Chemistry, 2013, 140(1/2): 105-114.
- [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] 农业部渔业局. 中国渔业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 28.
- [5] 付娜. 草鱼鱼丸加工过程中品质变化的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011: 1-2.
- [6] 卫生部. GB 4789.2—2010食品微生物学检验: 菌落总数测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [7] ARASHISAR S, HISAR O, KAYB M, et al. Effects of modified atmosphere and vacuum packaging on microbiological and chemical properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets[J]. Food Microbiology, 2004, 97(2): 209-214.
- [8] 卫生部. GB/T 5009.44—2003 肉与肉制品卫生标准的分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [9] LI Tingting, LI Jianrong, HU Wenzhong, et al. Shelf-life extension of crucian carp (*Carassius auratus*) using natural preservatives during chilled storage[J]. Food Chemistry, 2012, 135(1): 140-145.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 国家质量监督检验检疫总局. GB 18406.4—2001 农产品安全质量-无公害水产品安全要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [13] 刘秀梅. 国际食品微生物规格委员会(ICMSF). 微生物检验与食品安全控制[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2012: 116-117.
- [14] CAKLI S, KILINC B, CADUN A, et al. Quality differences of whole ungutted sea bream (*S. aurata*) and sea bass (*D. labrax*) while stored in ice[J]. Food Control, 2007, 18(5): 391-397.
- [15] 成媛媛, 刘永乐, 王建辉, 等. 普鲁兰多糖在草鱼肌肉保鲜中的应用[J]. 食品科学, 2012, 33(2): 272-275.
- [16] 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.
- [17] 贾艳菊, 马同锁, 刘坤, 等. 不同壳聚糖抗菌膜对草鱼保鲜效果的比较[J]. 中国农学通报, 2010, 26(5): 337-340.
- [18] 干宁, 王鲁雁, 李天华, 等. ATP代谢产物安培酶生物传感器的研制及在鱼肉鲜度测定中的应用[J]. 中国食品学报, 2008, 8(6): 48-52.
- [19] ÖZOGUL F, ÖZOGUL Y, KULEY E. Nucleotide degradation and biogenic amine formation of wild grouper (*Epinephelus aeneus*) stored in ice at chill temperature (4℃)[J]. Food Chemistry, 2008, 108(3): 933-941.
- [20] 杨文鸽, 薛长湖, 徐大伦, 等. 大黄鱼冰藏期间ATP关联物含量变化及其鲜度评价[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 217-222.
- [21] 贾洪峰, 范文教, 陈云川, 等. 基于电子鼻的鲢鱼新鲜度评价[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(7): 191-193.
- [22] 佟懿, 谢晶, 肖红, 等. 基于电子鼻的带鱼货架期预测模型[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 356-360.
- [23] LABRECHE S, BAZZO S, CADE S, et al. Shelf life determination by electronic nose: application to milk[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2005, 106(1): 199-206.
- [24] 赵梦醒, 丁晓敏, 曹荣, 等. 基于电子鼻技术的鲈鱼新鲜度评价[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 143-147.
- [25] 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.