

电子鼻技术研究臭氧水处理对罗非鱼鱼片的新鲜度的影响

颜明月, 陆玉芹, 陈德慰*

(广西大学轻工与食品工程学院, 广西 南宁 530004)

摘要: 采用电子鼻PEN3系统对经不同臭氧水处理的罗非鱼肉进行检测。对传感器进行相关性分析与Loadings分析, 由W1C、W5S、W1S、W1W、W2S、W2W和W3S组成新的传感器阵列。对优化后的传感器阵列进行主成分分析, 结合挥发性盐基氮 (total volatile basic nitrogen, TVB-N) 值、硫代巴比妥酸反应物 (thiobarbituric acid reactive substances, TBARS) 值综合评价臭氧水处理对罗非鱼鱼片的新鲜度的影响。结果表明, 利用电子鼻技术得到罗非鱼鱼片的贮藏品质区分结果与TVB-N值、TBARS值0级动力学分析结果基本一致; 1 mg/L臭氧水处理5 min不能明显地减缓罗非鱼鱼片在贮藏期新鲜度下降, 5 mg/L臭氧水处理10 min能明显地减缓罗非鱼鱼片在贮藏期新鲜度下降。

关键词: 电子鼻; 臭氧水处理; 罗非鱼; 新鲜度

Application of Electronic Nose in Freshness Evaluation of Tilapia Fillets as Affected by Ozone Treatment

YAN Mingyue, LU Yuqin, CHEN Dewei*

(Institute of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: In this study, an electronic nose (PEN3) was used to investigate the flavor of tilapia meat samples with different ozone water treatments. Correlation analysis and loading analysis were carried out on the W1C, W5S, W1S, W1W, W2S, W2W and W3S components constituting a new sensor array. The data were analyzed by principal component analysis (PCA) and total volatile basic nitrogen (TVB-N) and thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) were used as indicators to evaluate the freshness of tilapia fillets. The results showed that the detection of electronic nose was basically consistent with the zero-grade reaction of TVB-N and TBARS analysis. The treatment with 5 mg/L ozone water for 10 min rather than with 1 mg/L ozone water for 5 min significantly delayed freshness deterioration of tilapia fillets during storage.

Key words: electronic nose; ozone treatment; tilapia; freshness

中图分类号: TS254.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2015) 20-0264-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201520051

罗非鱼是我国主要养殖水产品, 是世界水产业的重点科研培养的淡水养殖鱼类, 被誉为未来动物性蛋白质的主要来源之一。早在20世纪初期, 国外就开始将臭氧应用于水产品保鲜中。在国内, 臭氧已被广泛的应用于产品加工中。

在贮藏过程中, 水产品的的新鲜度因微生物作用和生化反应的进行而不断下降。目前评价臭氧水处理对罗非鱼鱼肉品质的影响已有研究^[1-2], 但评价方法主要包括理化测定、微生物检测和感官评价等, 其中微生物检测是评价新鲜度常用的指标。挥发性盐基氮 (total volatile basic nitrogen, TVB-N) 值是评价水产品新鲜度最为广

泛的指标之一, 并可用于揭示微生物腐败情况。脂质变质是由于不饱和脂肪酸氧化。不饱和脂肪酸对氧敏感, 可发生自动氧化作用。脂肪氧化产生的许多挥发性化合物可能与感官特性有很好的相关性^[3]。在水产品贮藏过程中脂质氧化产生的挥发性气味物质已经被作为评价水产品腐败变质的指标之一。但是评价鱼的新鲜度的传统方法, 费时费力, 操作繁琐, 因此, 采用方便快捷的物理方法来确定鱼的新鲜度是必要的。气味是判断水产品质量的重要指标之一。电子鼻是一种新颖的能对气味进行感知、分析、识别和检测的人工嗅觉系统, 虽仅获得一个整体信息, 不能获得气体中各组成成分的具体含量等

收稿日期: 2015-01-09

基金项目: 国家星火计划项目 (2012GA790003); 南宁市科技攻关项目 (20142306);

广西高校“广西特色农产品精深加工及安全控制”重点实验室项目

作者简介: 颜明月 (1986—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水产品加工与贮藏。E-mail: yanmingyue@163.com

*通信作者: 陈德慰 (1975—), 男, 教授, 博士, 研究方向为水产品加工与保鲜。E-mail: chendw@gxu.edu.cn

定量信息,但具有便于携带、操作简单、检测准确快速重复性好等优点^[4-5],目前已被广泛地应用于食品新鲜度检测中。

国外将电子鼻应用于检测食品新鲜度的研究开始比较早。Korel等^[6]采用电子鼻和色差仪分别对经0%、4%和8%的乳酸钠处理并分别放置在1.7℃与7.2℃条件下贮藏12 d的罗非鱼鱼片进行检测,结果表明,可利用电子鼻和色差仪根据罗非鱼鱼片的气味和颜色对其进行分类。Balasubramanian等^[7]采用电子鼻并结合微生物检测对牛肉新鲜度进行研究,结果表明,电子鼻可以100%正确鉴别新鲜和变质的牛肉样品。国内将电子鼻应用于检测食品新鲜度的研究开始比较晚。Du等^[8]采用电子鼻可区分-20、4、10℃条件下贮藏的不同感官新鲜度的大西洋鲑鱼片。黄洁等^[9]采用电子鼻检测低温贮藏罗非鱼鱼片获得电子鼻响应值,并结合贮藏过程中罗非鱼肉pH值与TVB-N值变化,建立罗非鱼贮藏时间预测模型。洪雪珍等^[10]采用电子鼻检测不同冷藏时间的牛肉,结合感官评价、TVB-N和微生物含量分析,表明电子鼻可区分不同新鲜度的牛肉。刘寿春等^[11]采用电子鼻采集贮藏过程中罗非鱼鱼片电子鼻响应值,结合感官评价、微生物和理化分析,表明电子鼻可快速检测罗非鱼鱼片的品质劣变进程。但是将电子鼻应用于研究臭氧水处理对罗非鱼鱼片新鲜度的影响的研究少有报道。

本实验主要采用电子鼻PEN3系统对经不同臭氧水处理的罗非鱼鱼片进行检测,优化传感器阵列组合,对优化后的传感器阵列进行主成分分析(principle component analysis, PCA),结合TVB-N值、硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)值综合评价经臭氧水处理的罗非鱼鱼片在贮藏过程中新鲜度的变化情况,探讨臭氧水处理对罗非鱼鱼片新鲜度的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

本实验用罗非鱼均从百货超市购买,每尾罗非鱼的质量为(500±50)g,暂养2 h。参考GB/T 27636—2011《冻罗非鱼片加工技术规范》^[12]对罗非鱼进行宰杀。无任何处理为对照组。臭氧水质量浓度及处理时间设计为:1 mg/L、5 min, 2.5 mg/L、10 min, 5 mg/L、10 min。将臭氧水处理组和对照组用封口袋封装并标记放入(1±1)℃冰箱内贮藏。分别于第0、3、6、9、12、15天取样并对样品进行TVB-N值与TBARS值检测,分别于第0、3、6、7、8、9、12、15天取样进行电子鼻检测。

盐酸、氢氧化钠、硼酸、三氯乙酸(trichloroacetic

acid, TCA)、硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)等均为分析纯;1,1,3,3-四乙氧基丙烷为色谱纯。

1.2 仪器与设备

PEN3便携式电子鼻 德国Airsense公司;臭氧发生器广州市鑫环电器科技有限公司;电子天平 诸暨市超泽衡管设备有限公司;冰箱 广东容声冰箱有限公司。

1.3 方法

1.3.1 TVB-N值测定

参考SC/T 3032—2007《水产品中挥发性盐基氮的测定》^[13]进行样品TVB-N值测定。每组均进行3次平行实验。

1.3.2 TBARS值

依据Faustman等^[14]的方法测定罗非鱼肉的TBARS值。取5 g剪碎的鱼肉到加入25 mL 20% TCA, 20 mL 蒸馏水,均质。静置1 h, 2 000 r/min离心10 min,滤纸过滤。取8 mL滤液于50 mL具塞试管中,加入2 mL 0.01 mol/L TBA,沸水中水浴25 min,取出冷却至室温,在532 nm波长处测吸光度。每组实验重复3次。丙二醛含量由1,1,3,4-四乙氧基丙烷标准曲线确定。

1.3.3 电子鼻检测

参考Huang Lin等^[15]的方法,并略有修改随机选取5.00 g鱼肉放入25 mL烧杯中,用保鲜膜将烧杯密封,室温条件下放置30 min使样品的气体挥发达到一定浓度。用检测探头插入烧杯顶空采集气体,检测时间60 s,参数获取时间间隔为1 s,清洗时间100 s,传感器流速600 mL/min。每组均进行3次平行实验。

PEN3型电子鼻有W1C、W5S、W3C、W6S、W5C、W1S、W1W、W2S、W2W W3S共10个不同的传感器,每个传感器对不同的物质具有最大的响应值,见表1^[16]。

表1 PEN3的标准传感器阵列

阵列序号	传感器名称	性能描述	参数
R1	W1C	芳香成分	甲苯, 10 mL/m ³
R2	W5S	对氮氧化物很灵敏	NO ₂ , 1 mL/m ³
R3	W3C	氨水,对芳香成分灵敏	苯, 10 mL/m ³
R4	W6S	主要对氢化物有选择性	H ₂ , 0.1 mL/m ³
R5	W5C	烷类,芳香成分	丙烷, 1 mL/m ³
R6	W1S	对甲基类灵敏	CH ₃ , 100 mL/m ³
R7	W1W	对无机硫化物灵敏	H ₂ S, 1 mL/m ³
R8	W2S	对乙醇类灵敏	CO, 100 mL/m ³
R9	W2W	芳香成分,对有机硫化物灵敏	H ₂ S, 1 mL/m ³
R10	W3S	对烷烃灵敏	CH ₃ , 10 mL/m ³

1.4 数据分析

应用SPSS软件(Version 17.0)、Excel对数据进行分析处理,Winmuster软件对电子鼻检测数据进行采集与处理,主要分析方法有:PCA、载荷分析(Loadings)。

2 结果与分析

2.1 臭氧水处理对罗非鱼鱼片TVB-N值的影响

TVB-N值是蛋白质在酶和细菌的作用下分解产生的氨以及胺类等碱性含氮挥发性化合物, 这些物质是鱼类腐败后腥味的来源。TVB-N值是评价水产品鲜度的重要指标之一。GB 2733—2005《鲜、冻动物性水产品卫生标准》^[17]中限定, 淡水鱼的TVB-N限量值为20 mg/100 g。一般认为, 如果食品的某种品质的变化是由化学反应引起的, 其反应产物质量浓度随着时间变化而降低或是升高, 用该品质变化表示的货架寿命数据大多遵循0级或是1级模式^[18]。罗非鱼鱼片在贮藏期间TVB-N值变化与贮藏时间之间的关系遵循0级动力学方程, 作经不同处理的罗非鱼鱼片的TVB-N值对贮藏时间的变化曲线, 求其0级动力学方程, 如图1所示。随着贮藏时间延长, 4组罗非鱼鱼片TVB-N值均呈上升趋势。在整个贮藏期间, 对照组TVB-N值增加最为显著, 且始终高于臭氧水处理组。相同的贮藏时间, 5 mg/L、10 min臭氧水处理组TVB-N值最小。对照组, 1 mg/L、5 min, 2.5 mg/L、10 min, 5 mg/L、10 min的 R^2 分别为0.98、0.98、0.99、0.98。

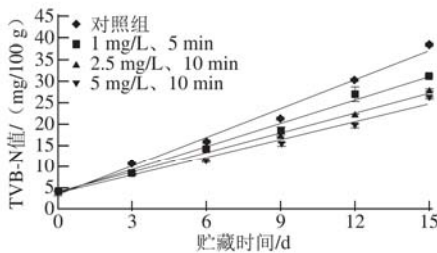


图1 贮藏过程中罗非鱼片TVB-N值变化

Fig.1 Changes in TVB-N value of tilapia during storage

TVB-N值大于20 mg/100 g表明罗非鱼鱼片已变质, 通过求得的0级动力学方程计算可得, 对照组, 1 mg/L、5 min, 2.5 mg/L、10 min, 5 mg/L、10 min变质肉最大可接受的贮藏时间为7.5、9.0、10.4、11.6 d。

2.2 臭氧水处理对罗非鱼鱼片TBARS值的影响

不饱和脂肪酸的氧化产物醛类可与硫代巴比妥酸生成有色化合物, TBARS值可反映脂肪深层氧化程度。普遍研究认为, TBARS值处于0.20~0.66 mg/kg时, 为良质肉; 超过1 mg/kg时, 为变质肉, 被认为已严重氧化, 产品不能食用^[19]。罗非鱼鱼片在贮藏期间TBARS值变化与贮藏时间之间的关系遵循0级动力学方程, 做经不同处理的罗非鱼鱼片的TBARS值对贮藏时间的变化曲线, 求其0级动力学方程, 如图2所示。对照组、1 mg/L、5 min, 2.5 mg/L、10 min, 5 mg/L、10 min的 R^2 分别为0.98、0.98、0.99、0.99。

以TBARS值大于0.66 mg/kg, 表明品质下降, 属非良质肉, 通过求得的0级动力学方程计算可得, 对照组, 1 mg/L、5 min, 2.5 mg/L、10 min, 5 mg/L、10 min最大可接受的贮藏时间分别为8.9、7.7、7.1、6.9 d。

结合TVB-N值与TBARS值, 对照组, 1 mg/L、5 min, 2.5 mg/L、10 min, 5 mg/L、10 min罗非鱼鱼片品质最大可接受的贮藏时间平均值分别为8.2、8.4、8.8、9.3 d。

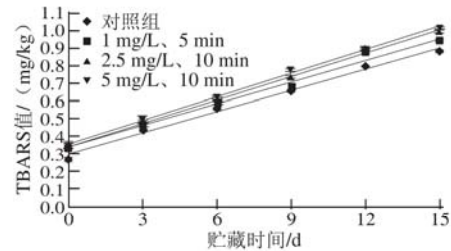


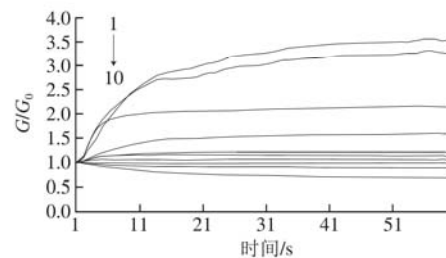
图2 贮藏过程中罗非鱼鱼片TBARS值变化

Fig.2 Changes in TBARS value of tilapia during storage

2.3 电子鼻分析

2.3.1 电子鼻对罗非鱼肉气味特征的响应

分别对不同臭氧水处理的罗非鱼鱼片进行电子鼻分析。检测罗非鱼鱼片气味特征, 获得电子鼻10个传感器的响应图。图3是典型电子鼻响应曲线, 横坐标表示数据采集时间, 纵坐标表示传感器电导率比值 G/G_0 , 图中每一条曲线分别代表一个传感器, 曲线的变化情况对应相对电阻率变化情况。由图3可知, 传感器相对电阻率先增大后减小逐渐趋于稳定, 因此选取48~52 s的数据进行分析。电子鼻对罗非鱼鱼片的挥发性气味有明显的响应, 且不同的传感器对罗非鱼的挥发性气味的响应各不相同。表明可利用电子鼻PEN3系统检测经臭氧水处理的罗非鱼鱼片气味变化情况。



1~10.传感器分别为R9、R7、R6、R2、R8、R10、R4、R5、R3、R1。

图3 典型电子鼻响应曲线

Fig.3 Typical response curves of electronic nose for tilapia during storage

2.3.2 传感器阵列优化

增大传感器数目, 产生的不利影响主要有: 随着传感器增加, 有效信息增加的同时也产生无用的冗余信息; 数据量增大, 增加数据处理技术和数据处理能力的要求^[20-21]。因此对传感器阵列进行优化处理可将一些传

感器去掉,消除初始阵列的冗余信息从而提高电子鼻的判别率。对传感器进行相关性分析,结果如表2所示,传感器W1C和W3C, W3C和W5C在0.01水平差异不显著, W1C和W5C, W6S和W5C在0.05水平差异不显著。

表2 传感器间相关系数

Table 2 Correlation coefficients of ten sensors

传感器	W1C	W5S	W3C	W6S	W5C	W1S	W1W	W2S	W2W	W3S
W1C	1									
W5S	-0.874	1								
W3C	0.995**	-0.908	1							
W6S	-0.939*	0.727	-0.903*	1						
W5C	0.997*	-0.907*	0.999**	-0.918*	1					
W1S	0.918*	-0.789	0.934*	-0.801	0.923*	1				
W1W	-0.543	0.857	-0.601	0.325	-0.596	-0.417	1			
W2S	-0.686	0.889*	-0.709	0.575	-0.718	-0.453	0.927*	1		
W2W	-0.468	0.366	-0.445	0.384	-0.448	-0.221	0.443	0.553	1	
W3S	-0.679	0.665	-0.644	0.745	-0.671	-0.337	0.475	0.837	0.642	1

注: *.显著性水平 $\alpha=0.05$; **.显著性水平 $\alpha=0.01$ 。

采用Loadings分析对传感器贡献率进行分析,某一传感器的响应值接近于零,则表明该传感器的识别作用可以忽略不计;若某一传感器的响应值越偏离零,则说明该传感器的识别能力越强^[22-23]。Loadings因子相似的传感器可以用其中一个来代表其他的传感器。由图4可知, W1S、W1W、W2W传感器对PC1的贡献率较大,其中W1S传感器贡献率最大, W1W、W2W、W5S对PC2贡献率较大,其中W1W传感器贡献率最大, W5C、W6S传感器响应值接近于0,表明二者在此次实验分析中,对结果贡献率最低,在传感器相关性分析中, W5C、W6S传感器差异不显著,因此去掉阵列中W5C、W6S传感器。钟赛意等^[24]研究结果认为W1W与W2W传感器是罗非鱼贮藏过程中气味劣变特征响应传感器。王国超^[25]采用PEN3型电子鼻对贮藏于-18℃不同时间的罗非鱼鱼片进行检测, Loadings分析表明W1S、W2S、W5S、W1W、W2W传感器对结果贡献率最大。因此去掉原有阵列中的W3C、W6S、W5C传感器,由W1C、W5S、W1S、W1W、W2S、W2W和W3S组成新的阵列。

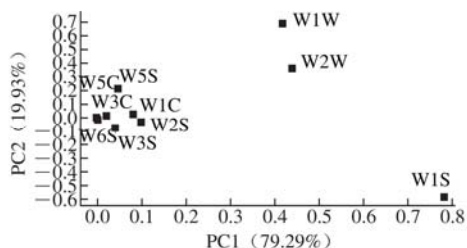


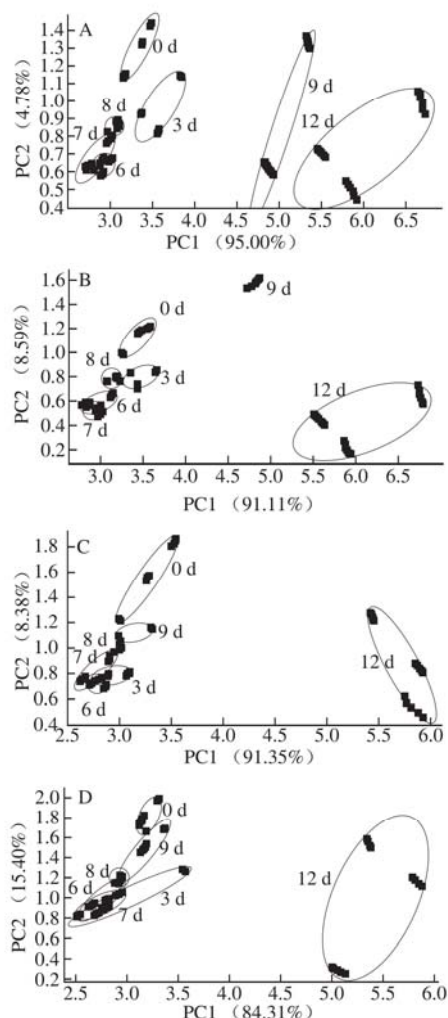
图4 Loading传感器贡献率分析图

Fig.4 Loading analysis for contribution rates of different sensors

2.3.3 PCA

通过传感器相关性分析与Loadings分析去掉原有阵列

中的W3C、W6S、W5C传感器,由W1C、W5S、W1S、W1W、W2S、W2W和W3S组成新的阵列,比较优化前与优化后电子鼻传感器对罗非鱼鱼肉新鲜度区分能力方面的不同。



A.对照组; B.1 mg/L、5 min; C.2.5 mg/L、10 min; D.5 mg/L、10 min。下同。

图5 优化前传感器阵列PCA图

Fig.5 PCA analysis of original sensory array

由图5可知,对对照组、1 mg/L、5 min, 2.5 mg/L、10 min, 5 mg/L、10 min臭氧水处理的罗非鱼鱼片电子鼻响应值进行传感器优化前后的PCA,优化前PC1与PC2累计贡献率分别为99.78%、99.70%、99.73%、99.71%;优化后PC1与PC2累计贡献率分别为97.63%、97.72%、98.54%、98.41%,虽然优化后主成分贡献率略有下降但是各组数据的贡献率均高于95%,表明2个主成分可代表样品的主要信息特征,因此可用于代表罗非鱼鱼片的整体信息。对比优化前后传感器阵列PCA图可知(图5、6),优化前有更多交叉重叠部分,表明优化后区分效果更显著。

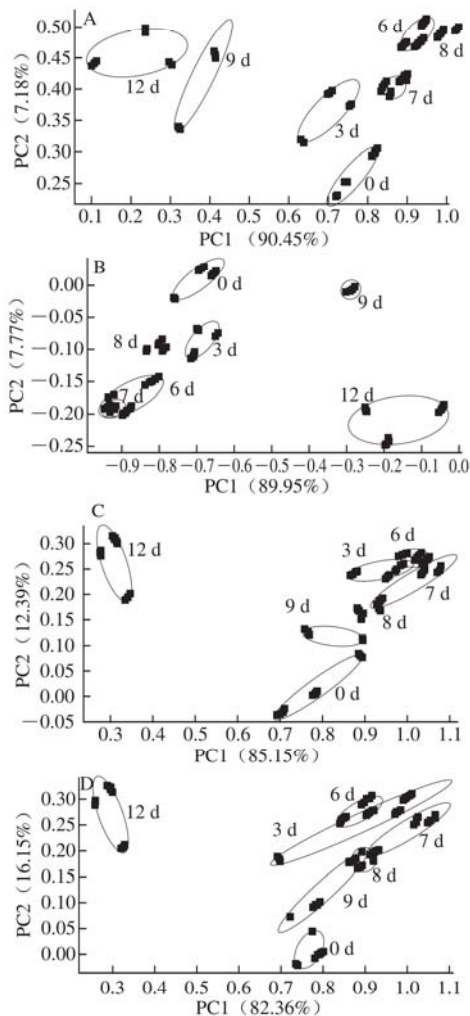


图6 优化后传感器阵列PCA图

Fig.6 PCA analysis of optimized sensory array

对优化后的传感器阵列进行PCA,如图6所示,分布距离相近表明挥发性气味相近,分布距离远表明挥发性气味差异显著。从图6A看出,对照组罗非鱼鱼片0~12 d气味响应值分布明显分为两部分,第一部分为0~8 d,第二部分为9~12 d,表明0~8 d与9~12 d挥发性气味差异显著,8 d可用于表示鱼肉新鲜度的跃变时间。如图6B所示,1 mg/L、5 min罗非鱼鱼片气味分布0~8 d距离较近,9 d均与0~8 d、12 d距离较远,表明9 d与0~8 d、12 d挥发性气味差异显著,该组8 d后品质有一个跃变过程。如图6C、D所示,此两组罗非鱼鱼片0~12 d气味响应值分布明显分为两部分,0~9 d为第一部分,12 d为第二部分,表明此两组9 d后品质均有一个跃变过程,但5 mg/L、10 min组罗非鱼鱼片3~9 d重叠较多,可知3~9 d罗非鱼鱼片新鲜度变化缓慢。

贮藏前期,罗非鱼鱼片微生物含量较少,分解底物产生的挥发性气味物质含量少,鱼片因脂肪氧化等化学反应产生的挥发性气味物质含量少,因此贮藏前期罗非鱼鱼片电子鼻响应值分布距离较近,新鲜度下降缓慢,

鱼肉品质变化不显著。随贮藏时间推移,微生物大量增殖,脂肪氧化程度加深,其气味的变化逐渐增强,气味响应值分布距离增大,表明罗非鱼鱼片新鲜度不断下降。由TVB-N值与TBARS值0级动力学方程可知,对照组、1 mg/L、5 min,2.5 mg/L、10 min,5 mg/L、10 min罗非鱼鱼片品质最大可接受的贮藏时间平均值分别为:8.3、8.4、8.8、9.3 d。由PCA得到罗非鱼鱼片的贮藏品质区分结果与TVB-N值与TBARS值0级动力学分析结果基本一致,表明虽然PCA不能提供具体的罗非鱼鱼片品质最大可接受的贮藏时间,但是可将罗非鱼鱼片准确的区分为良质肉和非良质肉。

由电子鼻PCA可知1 mg/L、5 min臭氧水对罗非鱼鱼片进行处理并没有能明显地减缓罗非鱼鱼片在贮藏过程中新鲜度下降,5 mg/L、10 min臭氧水可明显减缓罗非鱼鱼片在贮藏过程中新鲜度下降,这与TVB-N值与TBARS值0级动力学分析结果相一致。

3 结论

分别建立TVB-N值、TBARS值与贮藏时间的0级动力学方程,求得对照组,1 mg/L、5 min,2.5 mg/L、10 min,5 mg/L、10 min罗非鱼鱼片品质最大可接受的贮藏时间平均值分别为8.3、8.4、8.8、9.3 d。

通过传感器相关性分析与Loadings分析对电子鼻传感器的阵列组合进行优化,由W1C、W5S、W1S、W1W、W2S、W2W和W3S组成新的传感器阵列。

对优化后的传感器阵列进行PCA,结果表明电子鼻可将贮藏过程中的罗非鱼鱼片区分为良质肉与非良质肉,罗非鱼鱼片品质跃变时间与TVB-N值、TBARS值0级动力学方程分析结果一致。1 mg/L臭氧水处理5 min不能明显减缓罗非鱼鱼片在贮藏过程中新鲜度下降,5 mg/L臭氧水处理10 min可明显减缓罗非鱼鱼片在贮藏过程中新鲜度下降。

参考文献:

- [1] 李杉, 马海霞, 李来好, 等. 减菌化预处理对鲜罗非鱼片质量的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(18): 379-384.
- [2] 赵永强. 罗非鱼片臭氧减菌化处理中自由基的产生及其对产品品质与安全性的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [3] LIMBO S, SINELLI N, TORRI L, et al. Freshness decay and shelf life predictive modelling of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) applying chemical methods and electronic nose[J]. LWT- Food Science and Technology, 2009, 42(5): 977-984.
- [4] PERIS M, ESCUDER-GILABERT L. A 21st century technique for food control: electronic noses[J]. Analytica Chimica Acta, 2009, 638(1): 1-15.
- [5] GÓMEZ A H, WANG J, HU G, et al. Electronic nose technique potential monitoring mandarin maturity[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2006, 113(1): 347-353.

- [6] KOREL F, LUZURIAGA D A, BALABAN M. Objective quality assessment of raw tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets using electronic nose and machine vision[J]. *Journal of Food Science*, 2001, 66(7): 1018-1024.
- [7] BALASUBRAMANIAN S, PANIGRAHI S, LOGUE C M, et al. Neural networks-integrated metal oxide-based artificial olfactory system for meat spoilage identification[J]. *Journal of Food Engineering*, 2009, 91(1): 91-98.
- [8] DU W X, LIN C M, HUANG T, et al. Potential application of the electronic nose for quality assessment of salmon fillets under various storage conditions[J]. *Journal of Food Science*, 2002, 67(1): 307-313.
- [9] 黄洁, 李燕, 尹芳缘, 等. 使用电子鼻预测低温贮藏罗非鱼储存时间[J]. *传感技术学报*, 2013, 26(10): 1317-1322.
- [10] 洪雪珍, 韦真博, 海铮, 等. 基于电子鼻和神经网络的牛肉新鲜度的检测[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(4): 279-285.
- [11] 刘寿春, 钟赛意, 李平兰, 等. 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.
- [12] 农业部. GB/T 27636—2011 冻罗非鱼片加工技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [13] 农业部. SC/T 3032—2007 水产品中挥发性盐基氮的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [14] FAUSTMAN C, SPECHT S M, MALKUS L A, et al. Pigment oxidation in ground veal: influence of lipid oxidation, iron and zinc[J]. *Meat Science*, 1992, 31(3): 351-362.
- [15] HUANG Lin, ZHAO Jiewen, CHEN Quansheng, et al. Nondestructive measurement of total volatile basic nitrogen (TVB-N) in pork meat by integrating near infrared spectroscopy, computer vision and electronic nose techniques[J]. *Food Chemistry*, 2014, 145: 228-236.
- [16] HAI Z, WANG J. Electronic nose and data analysis for detection of maize oil adulteration in sesame oil[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2006, 119(2): 449-455.
- [17] 卫生部. GB 2733—2005 鲜、冻动物性水产品卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [18] 谢主兰, 陈龙, 雷晓凌, 等. 采用挥发性盐基氮动力学模型预测低盐虾酱的货架寿命[J]. *现代食品科技*, 2013, 29(1): 29-33.
- [19] 邓明. 栅栏技术在冷却猪肉保鲜中的应用[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
- [20] 占琼. 电子鼻系统中的传感器阵列优化研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
- [21] 赵镭, 史波林, 汪厚银, 等. 电子鼻传感器筛选的组合优化法研究[J]. *食品科学*, 2009, 30(20): 367-370.
- [22] BARBRI N E, AMARI A, VINAIAIXA M, et al. Building of a metal oxide gas sensor-based electronic nose to assess the freshness of sardines under cold storage[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2007, 128(1): 235-244.
- [23] 张红梅, 王俊. 电子鼻传感器阵列优化及其在小麦储藏年限检测中的应用[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(12): 164-167.
- [24] 钟赛意, 刘寿春, 秦小明, 等. 电子鼻系统识别罗非鱼品质劣变的传感器筛选研究[J]. *广东农业科学*, 2013, 40(11): 196-200.
- [25] 王国超. 罗非鱼腥味物质成分检测及脱除方法的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.