

多传感器数据融合技术在电子舌中的应用研究

白洁¹, 郑丽敏^{1,3,*}, 方雄武¹, 杨璐¹, 田立军¹, 朱虹¹, 任发政^{2,3}

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083;

2. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083;

3. 食品质量与安全北京实验室, 北京 100083)

摘要:针对传统猪肉新鲜度检测中存在的操作复杂、时间久、易受人为因素影响等缺点,设计了基于多传感器数据融合的电子舌系统。该系统由电位传感器和伏安传感器两部分构成,通过分析计算传感器阵列对猪肉响应曲线的特征值来考量猪肉新鲜度的变化。采用电位传感器与伏安传感器特征融合的方法对猪肉进行了特征向量的提取,使用逐步判别法对所提取的特征向量进行了优化,使用 Bayes 判别法分析了猪肉的新鲜度变化情况。实验结果表明,该电子舌系统能够准确鉴别出 5 组测量间隔时间均为 12h 猪肉新鲜度的不同。该系统为猪肉新鲜度智能化检测提供了新的有效方法。

关键词:电子舌, 数据融合, 特征提取, 逐步判别, Bayes 判别法, 猪肉新鲜度

Research and application of multi sensor data fusion technology in the electronic tongue

BAI Jie¹, ZHENG Li-min^{1,3,*}, FANG Xiong-wu¹, YANG Lu¹, TIAN Li-jun¹, ZHU Hong¹, REN Fa-zheng^{2,3}

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

3. Beijing Laboratory of Food Quality and Safety, Beijing 100083, China)

Abstract: Multi-sensor data fusion technology based electronic tongue system was designed in this paper to avoid the disadvantages in traditional detection methods such as complex operation, long operating time and too many man-made factors. The system consists of potentiometric sensors and voltammetric sensors. The eigenvalue of the response curve detected by sensor array was calculated to analyze the freshness of pork. First, potentiometric sensor and voltammetric sensor feature fusion technology was applied to extract the eigenvector of pork. Then the extracted eigenvector was optimized by stepwise discriminant method. In the end, bayes discriminant method was used to analyze the freshness changes of pork. According to the results, the distinctions of pork of 5 groups with detect time interval of 12 hours was identified precisely, which proved that electronic tongue system provided an effective way to pork freshness intelligent detection.

Key words: electronic tongue; data fusion; feature extraction; stepwise discriminant; bayes discriminant method; pork freshness

中图分类号: TS251

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2014)23-0311-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2014.23.057

近年来随着我国人民生活水平的不断提升,大众的饮食观念也在悄然的发生着变化。绿色、健康、新鲜、无污染的重要性已经被提到了前所未有的高

度上来。猪肉作为我国人民生活必不可少的主要副食品而深受广大人民的喜爱。但是,目前我国的猪肉市场尚不规范,存在着许多问题,各种质量安全事件也时有发生。因此,猪肉新鲜度的检测对于保障消费者的饮食安全和维护消费者的切身利益有着十分重要的意义^[1]。

目前,常用的猪肉新鲜度检测方法主要有感官检测、理化检测和微生物检测等^[2-4]。随着传感器技术和信息处理技术的发展与进步,越来越多的智能化手段开始运用于猪肉的新鲜度检测中来。电子舌技术是一种智能感观技术,是模拟哺乳动物味觉系

收稿日期: 2014-03-10

作者简介: 白洁(1990-),女,研究生在读,研究方向:智能传感技术研究与开发。

* 通讯作者: 郑丽敏(1962-),女,本科,教授,研究方向:计算机视觉、嵌入式系统与物联网系统。

基金项目: 国家生猪产业体系北京市创新团队; 国家科技支撑计划(2013BAD19B09)、(2012BAK17B09)、(2012BAD28B02)。

统而设计的智能分析仪器^[5]。该系统由交互敏感的传感器阵列、信号调整电路以及识别算法等部分构成。但是由于猪肉新鲜度的变化是一个复杂的物理化学过程^[6-7],受多种因素的影响,所以仅使用某一方面的数据往往很难对其进行准确的判别,这直接导致了电子舌的识别率不高。为了克服这种由唯一指标检测所带来的局限性,设计了由电位传感器和伏安传感器特征融合的电子舌系统,并通过逐步判别法对电子舌的特征向量进行了优化,最终使用 Bayes 判别法分析不同存储时间的猪肉新鲜度变化情况^[8]。实验证明创新性的将多传感器信息融合技术应用于猪肉新鲜度检测中可大大提高电子舌对猪肉新鲜度的识别率。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

购买 1 块 5kg 的猪肉,挑选其中肉品一致的部分以 20g 为单位均匀的分割为 65 个样本,将样本平均分为 5 组(编号分别为 1、2、3、4、5)储藏在 4℃ 环境下(储藏时间分别为 12、24、36、48、60h),在各时间点取出相应份数猪肉用于检测。所使用仪器为中国农业大学自行研制的电子舌系统,其主要结构下文将详述。

1.2 实验方法

将每个样本的 20g 猪肉,平分为 2 份(每份 10g)。取其中 1 份用剪刀剪碎至约为 5mm × 5mm × 5mm 的碎块,以 1:100g/mL 比例与蒸馏水混合,静置 15min,室温为 18℃,取 100mL 混合液用于伏安传感器检测。将另一份猪肉样品放置在表面皿上用电位传感器直接进行检测。

2 电子舌系统设计

本研究所使用电子舌由以下几个部分组成:电位传感器、伏安传感器、信号调理模块、数据采集模块和数据分析部分。如图 1 所示。

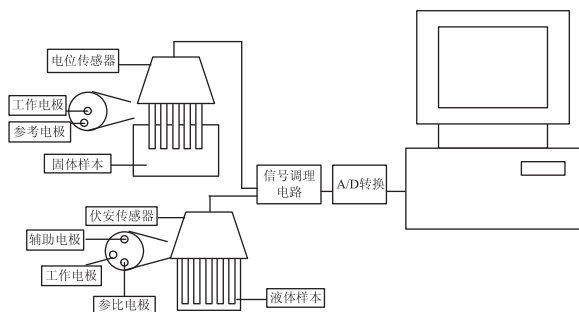


图 1 电子舌系统结构图

Fig.1 The chart of Electronic Tongue System

2.1 实验材料

电位传感器阵列由六根不同材料的工作电极和一根参考电极组成^[9-11]。金电极(Au)、银电极(Ag)、铜电极(Cu)、铅电极(Pb)、锌电极(Zn)和石墨电极(C)为工作电极^[12],每个电极的长度为 3cm 左右,用来直接插到固体肉之中进行测量^[13]。参考电极为甘汞电极。电位传感器的本质是由电极和电解质所组成的原电池。传感器中工作电极的电位能够反应被

测物质的特性,所以被用来作为测量电极,而参考电极的电位不受任何物质的影响,所以我们用它来作为工作电极提供稳定的参考电压。将测量电极和参考电极同时置于待测物质中,待反应完全后两电极之间将形成稳定的电压信号。这个原电池的电动势则为传感器的输出信号^[14]。

伏安传感器阵列由八个工作电极、一个参考电极和一个辅助电极组成^[15]。金(Au)电极、铜(Cu)电极、钨(W)电极、钛(Ti)电极、镍(Ni)电极、铅(Pb)电极、钯(Pd)电极、玻碳电极为工作电极,参考电极为 AgCl,辅助电极是铂电极。利用恒电流电位仪原理对电极进行连接^[16],使工作电极在反应过程中具有稳定的电压。通过脉冲发生电路(采用幅值 1v,周期 1 秒的方波为激励信号)控制电极上电压的输入^[17-19]。我们把工作电极上的电流来作为传感器的输出信号。

2.2 信号调理系统

由于传感器产生的电信号具有幅值小、高输出阻抗和易受噪声干扰等特征^[20]。因此,需要输入阻抗和共模抑制比都很高的放大电路来进行信号的放大^[21]。在对微弱电信号检测时常采用仅用对称放大电路^[22],如图 2 所示。整个电路由两级放大电路组成。第一级是 A1、A2 运放和电阻 R1、R2 及 R3 组成的同相并联差分放大,第二级为运放 A3 和电阻 R4、R5、R6 及 R7 组成的减法器。为了保证有足够大的共模抑制比,该电路的电阻必须满足:R2 = R3、R4 = R5、R6 = R7。此时电路的输出电压为:

$$V_3 = -\frac{R_6}{R_4} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) (V_1 - V_2) \quad \text{式(1)}$$

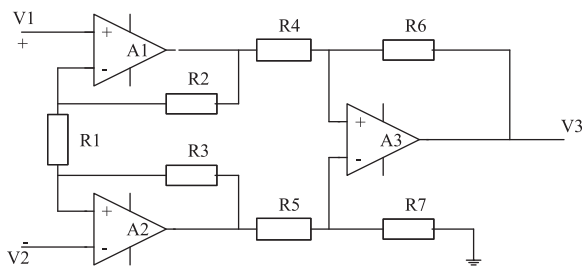


图 2 调理电路放大电路

Fig.2 Amplifier circuit of Conditioning circuit

2.3 数据采集系统

经过信号调理系统放大到 -10v 到 +10v 之间的电压信号被输入到 USB2010(A/D 转换卡)数据采集系统中,该系统用来将信号采集到计算机中,进行实时显示和储存。

3 特征信息处理

3.1 特征数据融合

为了表征猪肉腐败变质这个复杂的过程,避免单一测量手段所带来的局限性,本研究使用多传感器融合技术来提升评测的效果^[23]。多传感器信息融合就是把从不同知识源所获得的信息进行综合处理,从而来消除不同传感器之间所存在的多余、矛盾的信息,同时信息之间的互补也可以大大的降低判别的不确定性。从而大大的提高系统

的综合决策和判断能力。大量实验结果表明多传感器系统的准确性和稳定性都优于单个信息模型。多传感器信息融合模型通常分为数据层融合、特征层融合和决策层融合^[24]3种。本文采用特征层融合。即分别用每个传感器对样本进行检测,然后分别提取每个传感器的信号特征值,最后组合这些特征向量并基于综合特征向量对样本进行识别分类。

本文构建伏安金属传感器与电位型金属传感器融合系统,通过对融合模型特征量的选择、特征的提取以及融合算法的研究来获得更高的识别率。在该融合系统中,由于是两种不同类型的传感器,所以它们的特性不一样,从而它们所获取信息的模式也不相同,所以在融合层次上选择特征层融合,即先分别提取特征信息,然后按特征信息对数据进行分类和综合分析,如图3所示。

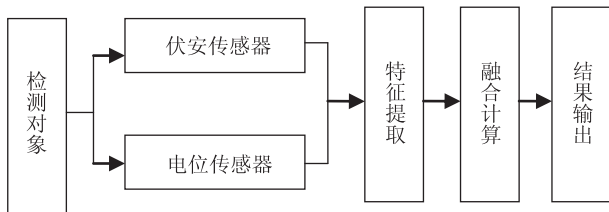


图3 电子舌信息融合流程

Fig.3 The Information fusion process of Electronic Tongue

3.2 特征提取

电位传感器和伏安传感器阵列在检测一个样本时每个电极会采集4000个数据,所以14个电极就有56000个数据,因此,为了明显、简单的表征样本特性需要对传感器采集到的数据进行特征值提取后再进行下一步的分类。本文中电位传感器提取的特征值为每个电极信号的平均电压值。伏安传感器所提取的特征为每个电极任一单个脉冲内脉冲的最大值、最小值、平均值、相对积分值和始末点斜率^[25]。因此共提取46个特征值。

3.3 特征数据归一化处理

由于A/D采集卡所采集到的猪肉原始特征值都比较大,而这些较大的特征值将会导致后续计算的复杂度增加。为此,我们首先要对这些特征值进行归一化处理,具体归一化公式为: $y = \frac{x - \min}{\max - \min}$ 其中 y 是归一化后的样本特征值, x 是归一前的样本特征值, \min 为样本特征向量中的最小值, \max 为样本特征向量中的最大值^[26]。

3.4 特征优化

电子舌所研究的是多特征值问题。而不同特征值具有一定相关性的。所以为了减少分析问题和解决问题的复杂性我们需要对这些特征值进行优化。本文利用SPSS中的逐步判别算法来进行特征值的优化^[27]。逐步判别法的基本原理是:不断的对所筛选的变量进行检验,每引入新的变量进入判别式的时候要考量较早引入判别式的某些变量的判别能力是否因为新引入的变量而变得不显著了,如果是就将这个新引入的变量删除,一直到判别式中不存在

不重要的变量,逐步筛选结束。这样就可以找出表征样本的显著性变量,去除不显著变量。

$$\Lambda_p = \frac{|E|}{|A+E|} = \frac{|E|}{|T|} \Lambda_p(n-k, k-1) \quad \text{式(2)}$$

其中,

$$E = \sum_{a=1}^k \sum_{i=1}^{n_a} (X_i^{(a)} - \bar{X}^{(a)})' (X_i^{(a)} - \bar{X}^{(a)}) \quad \text{式(3)}$$

$$A = \sum_{a=1}^k n_a (X^{(a)} - \bar{X})' (X^{(a)} - \bar{X}) \quad \text{式(4)}$$

由(3)、(4)式可以看出 $|E|$ 和 $|T|$ 的大小分别反映出同一个总体样本间的差异和 k 个总体所有样本间的差异。因此由(2)式可知 Λ_p 值越小,相同总体间的差异越小,样本间的总差异越大,特征值分辨率越大。因此可以用 Λ_p 来筛选特征值。

特征优化后的结果如表1所示,特征值由原来的46个筛选成为最能表征样本特性的7个特征值。表中的统计量代表着区分度。统计量越小数据的区分度越大, sig 为0则表示该特征值对样品的区分度的贡献非常高。

表1 特征优化结果
Table 1 Results of feature optimization

步骤	输入的	统计量	Wilks 的 Lambda			
			精确 F		近似 F	
			统计量	Sig.	统计量	Sig.
1	特征值 42	0.078	133.831	0.000		
2	特征值 45	0.011	92.702	0.000		
3	特征值 02	0.003			71.854	0.000
4	特征值 35	0.002			53.567	0.000
5	特征值 43	0.001			43.736	0.000
6	特征值 40	0.001			37.459	0.000
7	特征值 22	0.001			33.853	0.000

3.5 Bayes 判别法

3.5.1 基本思想 Bayes 判别法的思想是对多个总体判别时分别计算出新给样品属于各总体的条件概率 p , 然后对各个概率进行大小比较。最终将新样本被判别为来自概率最大的总体。即通过先验概率来描述所研究对象,从而由贝叶斯公式导出后验概率,最终由后验概率来作出判别^[29]。

3.5.2 判别方法 判别函数的导出:已知 Bayes 公式为

$$P\left(\frac{g}{x}\right) = \frac{q_g f_g(x)}{\sum_{i=1}^k q_i f_i(x)} \quad g=1, \dots, k \quad \text{式(5)}$$

由于所测得的样本一般都是服从正态分布的, 所以将 p 元正态分布密度函数

$$f_g(x) = (2\pi)^{-p/2} |\Sigma^{(g)}|^{-1/2} \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2}(x - \mu^{(g)})' \Sigma^{(g)-1} (x - \mu^{(g)})\right\} \quad \text{式(6)}$$

带入 $P(x)$ 的表达式中即可得后验概率公式为:

$$P(g/x) = \frac{\exp\{y(g/x)\}}{\sum_{i=1}^k \exp\{y(i/x)\}} \quad \text{式(7)}$$

由上式可知若 $y\left(\frac{h}{x}\right) = \max_{1 \leq g \leq k} \{y\left(\frac{g}{x}\right)\}$ 则把样品 x

表2 分类函数系数
Table 2 Classification function coefficients

样本类	12h	24h	36h	48h	60h
特征值 02	-454	-454	-454	-454	-455
特征值 22	371756	371763	371803	371749	371730
特征值 35	18	18	18	18	18
特征值 40	8064	8066	8070	8070	8071
特征值 42	-62	-62	-62	-62	-61
特征值 43	29	29	29	29	29
特征值 45	20	20	20	20	21
(常量)	-9685764	-96862263	-96886622	-96860096	-96856150

归入第 h 总体。

4 结果与分析

用在 4℃ 下储藏时间分别为 12、24、36、48、60h 的猪肉样本各 10 份共 50 个做为训练样本,另外取每个时间点的其他 3 份猪肉样本共 15 个作为未知识别样本使用 SPSS 软件中的 Bayes 判别分析法^[30]进行判别分析。所得到的分类函数系数如表 2 所示。

利用上述判别函数对 50 个训练样本进行反代分类,结果发现所有样本均分类正确,在进行交叉验证时仅有 3 个样本被错分。由此可知正确率分别达到了 100% 和 94%。在对未知样本进行分类识别时,15 个样本全部分类正确,所以未知样本的识别率达到了 100%。如表 3 所示。

表3 交叉验证及分类结果

Table 3 Cross-validation and classification results

样本	预测组成员					
	12h	24h	36h	48h	60h	
初始	12h	10	0	0	0	0
	24h	0	10	0	0	0
	36h	0	0	10	0	0
	48h	0	0	0	10	0
	60h	0	0	0	0	10
	未知样本(12h)	3	0	0	0	0
	未知样本(24h)	0	3	0	0	0
	未知样本(36h)	0	0	3	0	0
	未知样本(48h)	0	0	0	3	0
	未知样本(60h)	0	0	0	0	3
交叉	12h	10	0	0	0	0
验证	24h	1	9	0	0	0
	36h	0	0	9	1	0
	48h	0	0	1	9	0
	60h	0	0	0	0	10

5 结论

猪肉的新鲜度随着存放时间的改变而时时刻刻发生着变化。本文用存储小时来度量猪肉的新鲜度。实验结果证明:利用多传感数据融合技术结合 Bayes 判别法可很好的区分出 5 组相隔时间为 12h 猪肉新鲜度的差异。所以此研究可以为猪肉新鲜度的检测提供新的简单而有效的方法。

参考文献

- [1] 郭培源,曲世海,陈岩,等.猪肉新鲜度的智能检测方法[J].农业机械学报,2006,37(8):78-81.
- [2] Tahara Y, Toko K. Electronic Tongues—A Review[J]. Sensors Journal, IEEE, 2013, 13(8):3001-3011.
- [3] 袁芳,郭培源,吴浩,等.猪肉新鲜度检测方法发展的文献综述[J].中国农业科技导报,2009,11(z1):72-74.
- [4] 王俊,胡桂仙,于勇,等.电子鼻与电子舌在食品检测中的应用研究进展[J].农业工程学报,2004,20(2):292-295.
- [5] 田晓静,刘丽霞,王俊,等.电子舌技术在肉与肉制品检测中的应用[J].食品工业科技,2013,34(7):397-400.
- [6] 韩剑众,黄丽娟,顾振宇,等.基于电子舌的肉品品质及新鲜度评价研究[J].中国食品学报,2008,8(3):125-132.
- [7] 田晓静,王俊,崔绍庆,等.羊肉纯度电子舌快速检测方法[J].农业工程学报,2013(20):255-262.
- [8] 刘长江,杨添钧,艾莉,等.多传感器信息融合在药材分类系统中的应用[J].四川大学学报:工程科学版,2013, S1:100-105.
- [9] 赵煜,韦真博,王俊,等.电子舌信号与理化指标的信息融合区分不同养殖水的研究[J].农业工程学报,2012,28(1):153-160.
- [10] 谈国凤,田师一,沈宗根,等.电子舌检测奶粉中抗生素残留[J].农业工程学报,2011,27(4):361-365.
- [11] Peris M, Escuder-Gilbert L. On-line monitoring of food fermentation processes using electronic noses and electronic tongues: A review[J]. Analytica chimica acta, 2013, 804:29-36.
- [12] Gil L, Barat J M, Garcia-Breijo E, et al. Fish freshness analysis using metallic potentiometric electrodes[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2008, 131(2):362-370.
- [13] Gil L, Barat J M, Baigts D, et al. Monitoring of physical-chemical and microbiological changes in fresh pork meat under cold storage by means of a potentiometric electronic tongue[J]. Food chemistry, 2011, 126(3):1261-1268.
- [14] 李素芬.电位型电化学传感器噪声及滤波技术的研究[J].内江科技,2007,28(9):95,123.
- [15] Rodríguez-Méndez M L, Gay M, Apetrei C, et al. Biogenic amines and fish freshness assessment using a multisensor system based on voltammetric electrodes. Comparison between CPE and screen-printed electrodes[J]. Electrochimica Acta, 2009, 54(27):7033-7041.

(下转第 328 页)

- [9]徐泽智,刁石强,郝淑贤,等.用臭氧冰延长水产品保鲜期的实验[J].制冷学报,2008,29(5):58-62.
- [10] Daş E, Gürakan G C, Bayındırlı A. Effect of controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and gaseous ozone treatment on the survival of Salmonella Enteritidis on cherry tomatoes[J]. Food Microbiology, 2006, 23(5):430-438.
- [11] Feng Lifang, Jiang Tianjia, Wang Yanbo, *et al.* Effects of tea polyphenol coating combined with ozone water washing on the storage quality of black sea bream (*Sparus macrocephalus*) [J]. Food Chemistry, 2012, 135(4):2915-2921.
- [12] 胡云峰,陈君然,肖娟,等.臭氧处理对切分青椒贮藏品质的影响[J].农业工程学报,2012,28(16):259-263.
- [13] SC/T 3103-2010,鲜、冻鲳鱼[S].
- [14] 高志立,谢晶,杨胜平,等.全程低温陈列柜销售对带鱼品质变化的影响[J].食品工业科技,2013,34(20):360-364.
- [15] 姬长英.感官模糊综合评价中权重分配的正确制定[J].食品科学,1991,(3):9-11.
- [16] GB/T 5750.11-2006,生活饮用水标准检验方法消毒剂指标[S].
- [17] GB 4789.2-2010,食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数的测定[S].
- [18] Uriarte-Montoya M H, Villalba-Villalba A G, Pacheco-Aguilar R, *et al.* Changes in quality parameters of Monterey sardine (*Sardinops sagax caerulea*) muscle during the canning process [J]. Food Chemistry, 2010, 122(3,1):482-487.
- [19] GB/T 5009.179-2003,火腿中三甲胺氮的测定[S].
- [20] Nowzari F, Shúbánpour B, Ojagh S M. Comparison of chitosan-gelatin composite and bilayer coating and film effect on the quality of refrigerated rainbow trout [J]. Food Chemistry, 2013, 141(3,1):1667-1672.
- [21] 施建兵,谢晶,高志立,等.臭氧水浸渍后冰温贮藏提高鲳鱼块的保鲜品质[J].农业工程学报,2013,29(6):274-279.
- [22] 闫师杰,梁丽雅,宋振梅,等.臭氧水对鲢鱼肉保鲜效果的研究[J].食品科学,2010,31(24):465-468.
- [23] Lin Ting, Wang Jingjing, Li Jibing, *et al.* Use of acidic electrolyzed water ice for preserving the quality of shrimp [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(36):8695-8702.
- [24] Campos C A, Rodríguez ó, Losada V, *et al.* Effects of storage in ozonised slurry ice on the sensory and microbial quality of sardine (*Sardina pilchardus*) [J]. International Journal of Food Microbiology, 2005, 103(2):121-130.
- [25] 熊善柏.水产品保鲜储运与检验[M].北京:化学工业出版社,2007,53-59.
- [26] Pastoriza L, Bernárdez M, Sampedro G, *et al.* The use of water and ice with bactericide to prevent onboard and onshore spoilage of refrigerated megrim (*Lepidorhombus whiffiagonis*) [J]. Food Chemistry, 2008, 110(1):31-38.
- [27] Kim W T, Lim Y S, Shin I S, *et al.* Use of electrolyzed water ice for preserving freshness of pacific saury (*Cololabis saira*) [J]. Journal of food protection, 2006, 69(9):2199-2204.
- [28] Manju S, Srinivasa Gopal T K, Jose L, *et al.* Nucleotide degradation of sodium acetate and potassium sorbate dip treated and vacuum packed Black Pomfret (*Parastromateus niger*) and Pearlsport (*Etroplus suratensis*) during chill storage [J]. Food Chemistry, 2007, 102(3):699-706.
- [29] 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.
- [30] Wang Jingjing, Lin Ting, Li Jibing, *et al.* Effect of acidic electrolyzed water ice on quality of shrimp in dark condition [J]. Food Control, 2014, 35(1):207-212.
- [31] 刁石强,吴燕燕,王剑河,等.臭氧冰在罗非鱼片保鲜中的应用研究[J].食品科学,2007,28(8):501-504.
- [16] Winquist F, Olsson J, Eriksson M. Multicomponent analysis of drinking water by a voltammetric electronic tongue [J]. Analytica chimica acta, 2011, 683(2):192-197.
- [17] 韦真博.伏安型电子舌的研发及其在食品检测中的应用[D].杭州:浙江大学,2011.
- [18] Soto J, Campos I, Martínez-Máñez R. Monitoring Wastewater Treatment Using Voltammetric Electronic Tongues [M]. Springer Berlin Heidelberg, 2013:65-103.
- [19] Campos I, Bataller R, Armero R, *et al.* Monitoring grape ripeness using a voltammetric electronic tongue [J]. Food Research International, 2013, 54(2):1369-1375.
- [20] Winquist F. Voltammetric electronic tongues—basic principles and applications [J]. Microchimica Acta, 2008, 163(1-2):3-10.
- [21] Campos I, Alcañiz M, Masot R, *et al.* A method of pulse array design for voltammetric electronic tongues [J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2012, 161(1):556-563.
- [22] 刘海,杨慧中.一种智能在线 pH 检测仪[J].江南大学学报:自然科学版,2012,02:173-177.
- [23] 黄懿,李小昱,王为,等.多源信息融合技术的猪肉新鲜度检测方法研究[J].湖北农业科学,2011,12:2536-2540.
- [24] 王耀南,李树涛.多传感器信息融合及其应用综述[J].控制与决策,2001(5):518-522.
- [25] 白福铭,郑丽敏,朱虹,等.电子舌对不同储藏期鸡蛋识别的研究[J].微计算机信息,2010,13:192-193-188.
- [26] 李学相.基于多指标融合的猪肉新鲜度智能检测方法[J].计算机仿真,2012(9):224-227.
- [27] 庞旭欣,郑丽敏,朱虹,等.电子鼻对不同存储时间纯牛奶的检测分析[J].传感器与微系统,2012(9):67-70.
- [28] 任雪松,于秀林.多元统计分析[M].北京:中国统计出版社,1999:128-149.
- [29] 何晓群.多元统计分析[M].北京:中国人民大学出版社,2004:105-133.
- [30] 任志娟.SPSS 中判别分析方法的正确使用[J].统计与决策,2006(3):157.

(上接第 314 页)