

气味指纹技术在肉品品质及安全检测中的应用

侯巧娟, 王锡昌, 刘 源*, 王丹凤, 赵 勇, 谢 晶, 潘迎捷

(上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘 要: 气味指纹技术是借助色谱、质谱以及传感器等技术手段, 结合多元统计分析方法, 对挥发性化合物进行分析用以表征样品信息的技术。近年来在食品中的应用领域越来越活跃, 本文简要介绍气味指纹技术(odor fingerprint technique), 主要包括电子鼻技术、气质联用技术及其数据处理方法, 综述其在肉品品质及安全检测中的应用, 具体阐述其在肉品新鲜度、风味和微生物检测中的应用。同时展望气味指纹技术在肉品品质及安全检测中的存在问题及发展前景, 为更好应用该技术对肉品质量安全控制提供参考。

关键词: 肉品; 品质安全; 气味指纹; 电子鼻; 气质联用; 检测

A Review on Application of Odor Fingerprint Technology in Detection of Meat Quality and Safety

HOU Qiao-juan, WANG Xi-chang, LIU Yuan*, WANG Dan-feng, ZHAO Yong, XIE Jing, PAN Ying-jie

(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Odor fingerprint technology is defined as a technology to analyze the volatile compounds by sensors, chromatography and mass spectrometry combined with multivariate statistical analysis for characterizing sample information. This technology is widely studied and applied in foods. In this paper, odor fingerprint technology is briefly introduced, which includes electronic nose, gas chromatography-mass spectrometry and data analysis. Meanwhile, application of odor fingerprint technology in the detection of meat quality and safety is reviewed. Moreover, its application in meat freshness test, flavor test, and microbial detection are also summarized. Furthermore, current problems and developmental perspectives of this technology in the detection of meat quality and safety are also discussed, which will provide theoretical references for quality and safety control of meat products.

Key words: meat; quality and safety; odor fingerprint technology; electronic nose; gas chromatography-mass spectrometry; detection

中图分类号: TS207.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)07-0327-05

肉品的生产和消费在我国国民经济中占有重要地位, 其品质及安全也因此倍受关注。肉品品质主要包括色泽、风味和质构, 最常用的评价指标是新鲜度。而影响肉品安全的因素主要有生物、物理及化学因素, 其中以生物因素的影响最广泛。生物因素中微生物以其存在广泛、生长繁殖快成为影响肉品安全的罪魁祸首^[1]。近年来肉品安全及品质检测越来越受到关注, 肉品本身较为复杂, 一般的感官及理化方法很难准确定位肉品质量。气味指纹技术是借助色谱、质谱以及传感器等技术手段, 结合多元统计分析方法, 对挥发性化合物进行分析用以表征样品信息的技术。目前气味指纹技术在

食品工业^[2-4]、环境监测^[5-7]、医疗诊断^[8]等领域中得到了广泛的研究与应用。有相关学者报道了它在食品品质及安全检测中的应用^[9-11], 主要包括肉品、谷物、啤酒等的品质及安全。运用气味指纹技术检测肉品, 快速、准确、无损。近年来气味指纹技术应用于肉品的研究也越来越多。

1 气味指纹技术

1.1 仪器分析手段

气味指纹技术包括电子鼻技术、气相色谱技术、质谱技术以及气-质联用技术, 本文主要介绍电子鼻和

收稿日期: 2010-08-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(30901125); 国家“863”计划项目(2008AA100804);

上海市科委重大科技攻关项目(07dz19508); 上海市教委重点学科建设项目(J50704)

作者简介: 侯巧娟(1985—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品营养与安全。E-mail: hqj.123456@163.com

* 通信作者: 刘源(1979—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为食品营养与品质评价。E-mail: yliu@shou.edu.cn

气质联用技术及其数据处理方法。

1.1.1 电子鼻

Gardner^[12]给电子鼻定义为:电子鼻由净化系统、自动采样系统、传感器阵列、信号处理及模式识别系统组成,能识别简单和复杂的气味信息,其简单识别过程见图1。在电子鼻系统中,气体传感器阵列是关键因素。电子鼻传感器主要有金属氧化物传感器、导电型聚合物传感器、石英晶体微天平传感器、声表面波传感器等,各类传感器的比较见表1^[13-14],金属氧化物传感器以其价格便宜在电子鼻系统中应用很广泛,导电型聚合物传感器在一般环境温度下工作而无需加热,因此更容易制造,其电子界面更为直接,从而在便携式仪器应用中有更大优势。其工作原理是模拟人和动物的嗅觉器官对气味进行感知、分析、判断和识别^[15]。1965年,Buck等^[16]等利用电导电位原理进行了“电子鼻”的研究,1982年,Suzanskia等^[17]模仿人的鼻子,通过挥发性物质的分析提出了“人工鼻”概念,1990年掀起了电子鼻的研究热潮,且发展迅速,1995年出现了商品化的电子鼻,以欧洲国家居多。由于电子鼻的应用前景极其广阔,近年来国内也越来越重视电子鼻的研究^[18]。

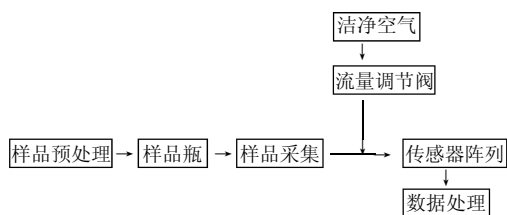


图1 电子鼻系统简明示意图
Fig.1 Schematic diagram of an electronic nose system

1.1.2 气-质联用技术

气-质联用技术(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)是利用气相色谱的高效分离能力和质谱的鉴定能力对样品进行测定的分析技术,其工作原理是将样品打入气相色谱仪进样口,在载气携带下经过色谱柱,由于化合物的分配系数不同而先后流出色谱

柱,接着进入质谱仪的离子化装置,根据离子的质荷比不同而对样品进行分离和检测^[19]。

1.2 数据处理方法

化学计量学(chemometrics)是一门新兴的学科,是数学、化学、统计学与计算机科学的结合,在实验设计、数据处理、信号解析、化学分类的决策及预报方面有着重要的作用^[20]。气味指纹技术所用的化学计量学方法包括主成分分析(principal component analysis, PCA),主要作用是对特征向量进行降维处理,提取有代表性的尽可能少的变量,同时又能较全面地反映原有信息。判别因子分析(discriminant factor analysis, DFA),目的是为了使同组间的差异尽量缩小,不同组间的差异尽可能扩大,进一步优化区分度。最小线性回归分析(partial least square, PLS),目的是建立一个可以用来预测未知样本的定量信息曲线。人工神经网络分析(artificial neural network, ANN)具有强大的信息存储能力,较强的自适应性、自组织性和容纳性及对非线性关系的良好模拟功能,可以准确地建立模型。

2 气味指纹技术在肉品品质及安全检测中的应用

2.1 肉品新鲜度检测

传统新鲜度的仪器评定方法耗时长、前处理复杂,感官分析结果包含人为因素,气味指纹技术可以较准确的判断肉品新鲜度^[21],且样品前处理简单、检测时间短,结果客观真实。基于以上的优点, Musatov等^[22]用金属氧化物微传感器阵列评价肉品的新鲜度,选取4℃和20℃两个条件,用LDA评价新鲜度的变化,3~4个循环去验证,准确率较高。孙钟雷^[23]和柴春祥等^[24]采用传感器对猪肉新鲜度进行识别,柴春祥等^[24]用电子鼻检测了5、15、25℃3种贮藏方式不同时间的猪肉样品新鲜度的变化,孙钟雷^[23]采用不同的传感器进行检测,研究表明乙醇类、硫化氢类、氨气类和卤烃类的传感器可以更好的反映猪肉新鲜度的变化,识别率可以达到95%。在此基础上,顾赛麒等^[25-26]采用含有18根金属氧化物传感器的电子鼻结合气质联用综合评价冷却猪肉的

表1 几种电子鼻常用的传感器及比较^[13-14]
Table 1 Several common electronic nose sensors

传感器类型	工作原理	制造工艺	灵敏度	优缺点	校正建立模型
金属氧化物传感器	金属氧化物涂层与气体物质作用,导电性发生变化,电阻值发生变化	微制造技术	$(5\sim50)\times10^{-6}$	价格低廉,需在高温下工作	可通过标准溶液校正
导电型聚合物传感器	导电型聚合物与气体分子结合,自身导电性发生变化	微制造技术和电镀网格印刷	$(0.1\sim100)\times10^{-6}$	能在室温下工作,对湿度敏感	漂移校正困难
石英晶体微天平传感器	吸附气体分子增加石英晶体的质量,降低共振频率	网格印刷,微电子机械加工	1×10^{-9}	灵敏度高,涉及介面电子学	漂移校正困难
声表面波传感器	吸附气体分子改变声表面波共振频率	微制造技术	1×10^{-9}	灵敏度高,涉及介面电子学	漂移校正困难

新鲜度变化,将猪肉在4℃和20℃储藏一周,建立了预测货架期模型,4、20℃条件下冷却肉货架期分别为120h和12h,为建立冷却猪肉新鲜度的快速检测提供了理论指导。Zhang等^[27]、滕炯华等^[28]、Panigrahi等^[29]采用不同的传感器对牛肉新鲜度进行检测,与传统方法相比较,可以缩短检测时间,样品前处理简单,Panigrahi等^[29]发现5类气体传感器可以很好的识别新鲜度。该技术可以用于家畜肉的新鲜度检测,可以考虑开发针对性强、价格便宜的便携式电子鼻。传统鱼肉的新鲜度评价通过测定胺的变化来测定,这些方法在实际检测中很不方便^[30]。有很多学者尝试用气味指纹技术检测鱼肉新鲜度的变化,近年来更是推起了一个热潮。Schweizer-Berberich等^[31]用气体传感器研究鱼肉新鲜度的变化,O'Connell^[32]采用传感器阵列及PCA法对阿根廷鱼的新鲜度进行分析,El Barbri等^[33]利用电子鼻对4℃时沙丁鱼肉的新鲜度进行测定,采用PCA分析和支持向量机(SVM)进行分析,PCA可以较好地地区分不同贮藏天数的鱼肉,分组准确,SVM模型识别效果较好。气味指纹技术已广泛应用于肉品行业中,它可以快速、准确地评定肉品的新鲜度从而保证肉品的品质。

2.2 肉品风味检测

肉品的风味是指肉品在入口前后,人的味觉器官、嗅觉器官和触觉器官对其产生的综合感觉,是衡量肉品品质的最重要指标之一。Rajamaki等^[34]采用电子鼻测定了气调包装家禽肉的挥发性风味,Boothe等^[35]利用电子鼻研究了鸡肉在储藏过程中挥发性风味的变化,Vainionpaa^[36]用化学传感器分析了鸡肉的风味,对其产生的挥发性风味物质做整体评估,并与感官结果比较发现,电子鼻用于挥发性风味物质成分的鉴定不加入人为的因素,检测灵敏度较高。Carrapiso等^[37]用气相色谱嗅觉仪分析了伊比利亚火腿的风味物质,已经确定的多达70种,并对其中一些特殊的挥发性风味物质的含量进行定量,依此判断伊比利亚火腿原料肉的种类,鉴别不合格产品,可以以此为基础,从中找出产生良好风味的物质,来改变伊比利亚火腿的风味,生产出人们更乐意接受的产品。很多学者研究了与水产品品质变化有关的挥发性物质,Sarnoski等^[38]通过SPME-GC-MS分析了与蟹肉化学腐败有关的风味物质,得出与腐败最相关的化学物质有三甲胺、氨水及吡啶。通过定量分析,在腐败的整个过程中,吡啶含量的变化与传统检测结果一致,可以通过气味物质的变化来预测品质的变化。El Barbri等^[39]联合SPME-GC-MS及电子鼻技术评价冷藏条件下沙丁鱼肉的风味物质变化,前者确定了10种指示性的挥发性风味物质,通过对电子鼻提取到风味物质的特征值进行PCA分析,可将风味物质分成3组,表征新鲜的、次新鲜的及腐败的。用DFA及ANN建立

了分组准确性模型,其中ANN的识别率较高,可以达到96.88%,说明运用气味物质的变化,可以准确的反应品质的变化。

2.3 肉品微生物检测

当前食品安全问题成为一个世界性的问题,微生物危害是导致食品安全问题的最主要因素。肉品营养丰富,可作为微生物生长的良好培养基,因此易受微生物污染,从而引起腐败变质。其次级代谢产物会产生特定的挥发性气味物质,基于这点可利用气味指纹技术来检测畜禽肉中的微生物。El Barbri等^[40]利用电子鼻分析了4℃条件下牛肉和羊肉的变质情况,连续测定15d,建立了电子鼻输出的响应值信号与细菌总数之间的拟合曲线,以电子鼻响应信号为输入值,可以预测细菌的数量。Horvath等^[41]利用电子鼻分析了不同温度下猪肉排骨的细菌数量,王丹凤等^[42]用电子鼻分析了4℃和20℃猪肉中总的微生物数量,通过PCA分析可以很好的区分不同肉样,用PLS拟合菌落总数与电子鼻信号的曲线,4℃相关系数为0.9003,20℃为0.9940。胡惠平等^[43]利用电子鼻和SPME-GC-MS对3株从猪肉中分离的假单胞菌进行检测,结果显示电子鼻能明显区分3株假单胞菌。Balasubramanian等^[44]用电子鼻检测了20℃回接鼠伤寒沙门氏菌后的牛肉的气味变化,预测污染牛肉中的鼠伤寒沙门氏菌数量,分别用DFA和PCA建立预测模型。利用DFA构建的模型的预测能力较PCA模型好,相关系数可达0.91,以后可以尝试用ANN或SVM建立模型,效果可能会更好。瑞典Blixt等^[45]选用传感器阵列定量分析了真空包装牛肉随时间延长腐败微生物数量的变化,对微生物腐败变质的预测与感官评定结果相近,相关系数高达0.94。气味指纹在水产品微生物中的研究较少,国内胡惠平等^[46]采用电子鼻对虾中分离的副溶血性弧菌进行检测,用PCA可以很好的区分空白与菌株。究其原因研究少的原因可能是水产品对新鲜度的要求较高,在前期酶的降解作用比微生物的作用明显,且水产品本身的气味变化较大,可能会影响对微生物挥发性代谢产物的检测,需要扣除本底影响。

3 气味指纹技术在检测肉品品质及安全中存在的问题和发展前景

3.1 存在问题

气味指纹用于肉品的可辨别新鲜程度分析,区分好与坏的风味,并对微生物进行定性及定量分析,但肉品本身基质较复杂,产生的气味物质较丰富,可能会影响到检测结果的准确性。另外,气味指纹技术在发展过程中,也受到仪器灵敏度、模式识别及数据处理等技术方面的影响,与人们的期望还有一定的距离。虽然这些因素直接或间接地影响了气味指纹技术的应用,

但随着信息技术的发展、高灵敏度生物材料的研制、生物计算机的出现、纳米技术的应用, 气味指纹将愈来愈多地在人们生产和生活过程中发挥作用, 取得越来越广泛的应用。

3.2 发展前景

气味指纹技术是一种操作简单、快速、准确的无损分析技术, 且样品前处理简单, 不需要有机溶剂萃取, 不污染环境, 对操作人员无害。应用气味指纹技术在食品中的分析, 现已应用到了很多食品领域。

3.2.1 无损化

用气味指纹检测样品, 样品预处理时通常会采取切碎的方式, 会造成一定的损失, El Barbri 等^[47]用电子鼻结合 GC-MS 检测沙丁鱼品质变化时, 采用自己设计的装置, 将整尾沙丁鱼都放在测量装置内, 可以更大获取挥发性物质, 准确率较高, 且更接近于实际, 无损将成为一个发展的趋势。

3.2.2 精准化

肉品是一个很复杂的基质, 其品质和安全的变化也较为复杂, 易受多种因素的影响, 单一的检测方法无法满足要求, 需要多种检测技术相结合, 气味指纹结合其他的检测技术, 多技术融合共同控制品质的变化, 将成为一个发展方向。

3.2.3 小型便携、智能化

目前的电子鼻和 GC-MS 体积庞大, 价格昂贵, 只能摆在实验室里, 无法实时、在线检测。开发便携式、小型化、针对性的仪器将成为一个研究的热点, 张苗等^[48]设计了集传感器阵列信号驱动、调理功能于一体的硬件电路, 结合便携式设备的信息采集识别软件, 对 5 种不同品牌的香烟做鉴别。电子鼻将逐渐趋于微型化, 从“台式”到“便携式”, 到“手持式”, 成本也将大幅度降低, 估计不久的将来会像计算机一样, 能被普通家庭接受及消费。例如用作家庭医疗诊断工具、牛奶和肉类新鲜度测试仪等。相信随着传感器技术的发展和人们对气味过程的深入了解, 气味指纹技术的功能必将日益增强, 应用领域将会不断扩大, 逐步走向方便化、实用化。

参考文献:

- [1] 周光宏, 罗欣, 徐幸莲, 等. 肉品加工学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 106-115.
- [2] PIAZZA L, GIGLI J, BENEDETTI S, et al. Study of structure and flavor release relationships in low moisture bakery products by means of the acoustic mechanical combined technique and the electronic nose[J]. Journal of Cereal Science, 2008, 48(2): 413-419.
- [3] TIKK K, HAUGEN J E, ANDERSEN H J, et al. Monitoring of warmed-over flavor in pork using the electronic nose correlation to sensory attributes and secondary lipid oxidation products[J]. Meat Science, 2008, 80(4): 1254-1263.
- [4] RAGAZZO-SANCHEZ J A, CHALIER P, CHEVALIER D, et al. Identification of different alcoholic beverages by electronic nose coupled to GC[J]. Sensors and Actuators, 2008, 134(1): 43-48.
- [5] CAPELLI L, SIRONI S, CENTOLA P, et al. Electronic noses for the continuous monitoring of odors from a wastewater treatment plant at specific receptors: focus on training methods[J]. Sensors and Actuators, 2008, 131(5): 53-62.
- [6] GIULIANA D, ADANI F C. Biological compost stability influences odor molecules production measured by electronic nose during food-waste high-rate composting[J]. Science of the Total Environment, 2008, 402(2/3): 274-278.
- [7] LAMAGNA A, REICH S, RODRIGUEZ D, et al. The use of an electronic nose to characterize emissions from a highly polluted river[J]. Sensors and Actuators, 2008, 131(1): 121-124.
- [8] DRAGONIERI S, ANNEMA J T, SCHOT P, et al. An electronic nose in the discrimination of patients with non-small cell lung cancer and COPD[J]. Lung Cancer, 2009, 64(2): 166-170.
- [9] DI NATALE C, MACAGNANO A, DAVIDE F, et al. An electronic nose for food analysis[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 1997, 44(6): 521-526.
- [10] SCHALLER E, BOSSET J O, ESCHER F. "Electronic noses" and their application to food[J]. Lebensm Wiss Technol, 1998, 31(9): 305-316.
- [11] BALASUBRAMANIAN S, PANIGRAHI S, LOGUE C M, et al. Spoilage identification of beef using an electronic nose system[J]. Trans ASAE, 2004, 47(8): 1625-1633.
- [12] GARDNER J W. Electrical conduction in solid-state gas sensors[J]. Sensors and Actuators, 1989, 18(3/4): 373-387.
- [13] GARDNER J W, BARTLETT P N. A brief history of electronic noses [J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 1994, 18(1/3): 210-211.
- [14] 高大启, 杨根兴. 电子鼻技术新进展及其应用前景[J]. 传感器技术, 2001(9): 1-5.
- [15] 刘辉, 牛智有. 电子鼻技术及其应用研究进展[J]. 中国测试, 2009(3): 6-10.
- [16] BUCK H M, DEKKERS H P J M, OOSTERHOFF L J. On the oxidation mechanism of aromatic proton complexes[J]. Tetrahedron Letters, 1965, 6(9): 505-507.
- [17] SUZANSKIA T W, PERSAUD T V N. Early embryonic development in the rat after maternal treatment with PGE₂[J]. Prostaglandins Leukotrienes and Medicine, 1982, 9(4): 401-410.
- [18] 殷勇, 田先亮. 基于 PCA 与 Wilks 准则的电子鼻酒类鉴别方法研究 [J]. 仪器仪表学报, 2007(5): 849-852.
- [19] 李萍, 刘丽芳. 常用中药液相与气相色谱鉴定[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 19-20.
- [20] 倪永年, 杜姗. 化学计量学在生命科学研究中的应用[J]. 化学研究与应用, 2006(5): 76-79.
- [21] 韩丽, 赵勇, 朱丽, 等. 不同保藏方式南美白对虾的电子鼻分析[J]. 食品工业科技, 2008(11): 240-243.
- [22] MUSATOV V Y, SYSOEV V V, SOMMEY M, et al. Assessment of meat freshness with metal oxide sensor microarray electronic nose: a practical approach[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2010, 144(1): 99-103.
- [23] 孙钟雷. 电子鼻技术在猪肉新鲜度识别中的应用[J]. 肉类研究, 2008, 22(2): 50-53.
- [24] 柴春祥, 杜利农, 范建伟, 等. 电子鼻检测猪肉新鲜度的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 444-447.
- [25] 顾赛麒, 赵勇, 刘源, 等. 冷却肉新鲜度变化研究[J]. 食品工业科技, 2010(1): 102-104.

- [26] 顾赛麒, 王锡昌, 刘源, 等. 电子鼻检测不同贮藏温度下猪肉新鲜度变化[J]. 食品科学, 2010, 31(6): 172-176.
- [27] ZHANG Zhe, JIN Tong, CHEN Donghui, et al. Electronic nose with an air sensor matrix for detecting beef freshness[J]. Journal of Bionic Engineering, 2008, 5(1): 67-73.
- [28] 滕炯华, 袁朝辉, 王磊. 基于气敏传感器阵列的牛肉新鲜度识别方法研究[J]. 测控技术, 2002(7): 1-2.
- [29] PANIGRAHI S, BALASUBRAMANIAN S, GU H, et al. Design and development of a metal oxide based electronic nose for spoilage classification of beef[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2006, 119(1): 2-1.
- [30] 周映霞, 武海. 电子鼻及其在肉品感官评定中的应用[J]. 肉类研究, 2009, 23(8): 55-58.
- [31] SCHWEIZER-BERBERICH P M, VAHINGER S, GOPEL W. Characterisation of food freshness with sensor arrays[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 1994, 18(1/3): 282-290.
- [32] O'CONNEL M A. Practical approach for fish freshness determinations using a portable electronic nose[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2001, 80(2): 149-154.
- [33] EL BARBRI N, LLOBET E, EL BARI N, et al. Application of a portable electronic nose system to assess the freshness of *Moroccan sardines*[J]. Materials Science and Engineering, 2008, 28(5/6): 666-670.
- [34] RAJAMAKI T, ALAKOMI H L, RITVANEN T, et al. Application of an electronic nose for quality assessment of modified atmosphere packaged poultry meat[J]. Food Control, 2006, 17(1): 5-13.
- [35] BOOTHE D D, ARNOLD J W. Electronic nose analysis of volatile compounds from poultry meat samples, flesh and after refrigerated storage [J]. Sci Food Agric, 2002, 82(6): 315-322.
- [36] VAINIONPAA J. Comparison of different analytical methods in the monitoring of the quality of modified atmosphere packaged broiler chicken cuts using principal component analysis[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 65(2): 273-280.
- [37] CARRAPISO A I, MARTIN L, GARCIA Á J C. Characterisation of the most odor-active compounds of bone tainted dry-cured Iberian ham[J]. Meat Science, 2010, 85(1): 54-58.
- [38] SARNOSKI P J, O' KEEFE S F, JAHNCKE M L, et al. Analysis of crab meat volatiles as possible spoilage indicators for blue crab (*Callinectes sapidus*) meat by gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2010, 122(3): 930-935.
- [39] EL BARBRI N, AMARI A, VINAIXA 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.
- [40] EL BARBRI N, LLOBET E, EL BARI N, et al. Electronic nose based on metal oxide semiconductor sensors as an alternative technique for the spoilage classification of red meat[J]. Sensors, 2008, 8(1): 142-156.
- [41] HORVATH K M, SEREGELY Z, DALMADI I, et al. Estimation of bacteriological spoilage of pork cutlets by electronic nose[J]. Acta Microbiologica Immunologica Hungarica, 2007, 54(2): 179-194.
- [42] 王丹凤, 王锡昌, 刘源, 等. 电子鼻分析猪肉中负载的微生物数量研究[J]. 食品科学, 2010, 31(6): 148-150.
- [43] 胡惠平, 刘源, 赵勇, 等. 应用气味指纹技术检测猪肉假单胞菌[J]. 食品科学, 2009, 30(18): 198-201.
- [44] BALASUBRAMANIAN S. Independent component analysis-processed electronic nose data for predicting *Salmonella typhimurium* populations in contaminated beef[J]. Food Control, 2008, 19(3): 236-246.
- [45] BLIXT Y, BORVH E. Using an electronic nose for determining the spoilage of vacuum packaged beef[J]. International Journal of Food Microbiology, 1999, 46(2): 123-134.
- [46] 胡惠平, 孙晓红, 潘迎捷, 等. 应用电子鼻技术检测南美白对虾副溶血性弧菌试验[J]. 渔业现代化, 2009(3): 117-120.
- [47] EL BARBRI N, LLOBET E, EL BARI N, et al. Application of a portable electronic nose system to assess the freshness of *Moroccan sardines*[J]. Materials Science and Engineering C, 2008, 28(5/6): 666-670.
- [48] 张苗, 杨建华, 俞俊. 基于虚拟仪器开发平台的便携式电子鼻系统 [J]. 仪表技术与传感器, 2007(5): 37-39.