

# 电子鼻技术在肉与肉制品检测中的应用进展

田晓静<sup>1,2</sup>, 王 俊<sup>2</sup>

(1. 西北民族大学生命科学与工程学院, 甘肃 兰州 730024;

2. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 浙江 杭州 310058)

**摘 要:** 电子鼻是一种通过模拟哺乳动物嗅觉识别食品中挥发性成分进而快速检测、分析食品品质的仪器, 越来越广泛地应用于食品检测。本文主要介绍电子鼻在肉品新鲜度检测、肉制品品质判定和肉品掺假检测等方面的应用情况。

**关键词:** 电子鼻; 肉与肉制品; 快速检测; 应用

## Research Progress on Application of Electronic Nose in Meat and Meat Products

TIAN Xiao-jing<sup>1,2</sup>, WANG Jun<sup>2</sup>

(1. College of Life Science and Engineering, Northwest University for Nationalities, Lanzhou 730024, China;

2. School of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

**Abstract:** An electronic nose is an instrument that allows rapid determination and analysis of food quality by simulating the mammalian olfactory system to identify the volatile components in foods. This technique is increasingly being applied to food analysis. This review mainly summarizes its recent applications in meat freshness monitoring, quality identification and adulteration detection.

**Key words:** electronic nose; meat; fast detection; application

中图分类号: TS251.7

文献标识码: A

文章编号: 1001-8123(2012)06-0042-04

肉类提供了人类所需的蛋白质、氨基酸、脂肪等营养物质, 是人们膳食中的重要组成部分, 但是易受微生物的污染, 导致腐败变质, 同时产生有毒有害物质。传统肉与肉制品检测方法, 如感官评定、气相色谱、液相色谱、气质联用等技术均存在耗时长、样品预处理繁杂、需要特殊训练的人员等问题。电子鼻作为一种分析、识别和检测复杂嗅味和挥发性成分的仪器随即发展起来。

近年来电子鼻技术由于其检测快速、操作简单、重现性好等优点, 使其广泛的应用于很多领域内, 尤其是食品行业中<sup>[1-2]</sup>。作为一种有效的肉品检测工具, 电子鼻通过分析肉类食品中挥发性物质, 进而达到检测的目的。在肉类工业中, 电子鼻系统可以用于肉品新鲜度检测、肉制品品质的判定和肉品掺假检测等方面的应用。

## 1 电子鼻系统

电子鼻是由气敏传感器阵列、信号处理系统和模式识别系统三大部分组成的<sup>[3]</sup>。在工作时, 气味分子被气

敏传感器吸附, 产生信号, 生成的信号被传送到信号处理系统进行处理和加工, 最终由模式识别系统对信号处理的结果做出综合的判断。目前商业用电子鼻所用的传感器主要有以下几种: 金属氧化物传感器、金属氧化物半导体场效应管传感器、有机导电聚合物传感器和质量传感器; 最常用的信号处理方法主要是人工神经网络和统计模式识别<sup>[4]</sup>, 如主成分分析(principal component analysis, PCA)、判别分析(discriminant analysis, DA)、最小二乘回归法(partial least squares regression, PLSR)、因子分析(factor analysis, FA)等。

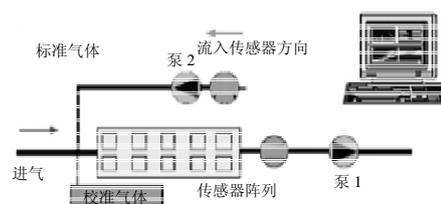


图 1 气体识别的过程示意图

Fig.1 Schematic diagram of electronic nose measurement and gas flow of PEN 2 during experiment

收稿日期: 2012-05-02

基金项目: 西北民族大学中央高校基本科研业务费专项(zyz2012071)

作者简介: 田晓静(1982—), 女, 讲师, 博士研究生, 研究方向为食品安全与检测分析。E-mail: tianxiaojing8@yahoo.com.cn

## 2 电子鼻技术在肉与肉制品中的应用

由于电子鼻具有感官评价和常规分析仪器所无法比拟的优点,如今已广泛的应用于肉类工业中。

### 2.1 在肉与肉制品新鲜度评定中的应用

在储存的过程中,由于微生物和酶的作用,肉中的蛋白质、脂肪和碳水化合物发生分解而腐败变质。随着贮藏时间的延长,肉的新鲜度逐渐下降,其挥发性成分将发生明显变化,气味也有着显著区别,传统检测采用挥发性盐基氮或感官检测等方法确定肉的新鲜度,但是耗时耗力。电子鼻系统可以实现快速、准确的评定肉品的新鲜度,从而保证肉品的质量。

#### 2.1.1 原料肉新鲜度的评定

基于对牛肉气味敏感的气敏传感器阵列,石志标等<sup>[5]</sup>建立了牛肉检测电子鼻系统,并应用该电子鼻系统对不同新鲜度(贮存7d)的牛肉进行了识别实验,识别率达到99.25%,表明电子鼻检测牛肉新鲜度是可行的。孙钟雷<sup>[6]</sup>根据猪肉的气味特征建立了一套用于猪肉新鲜度识别的电子鼻系统,并采用该系统检测了不同新鲜度的猪肉样品,通过特征值优选、种群规模确定及样本数确定后,依据猪肉的新鲜度模式,确定了遗传优化的组合RBF神经网络作为模式识别方法,该系统对猪肉新鲜度的识别率达95%。顾赛麒等<sup>[7]</sup>采用电子鼻研究冷却猪肉在不同贮藏温度(-18、0、4、10、20℃)条件下新鲜度的变化规律,发现贮藏不同时间的肉样挥发性气味差异显著,且贮藏温度越高肉样新鲜度发生显著下降时刻越早。采用PLS法发现电子鼻检测数据与感官评分之间具有较强的相关性,电子鼻在一定程度上可以替代感官评定。柴春祥等<sup>[8]</sup>采用电子鼻技术对保存时间和时间对猪肉挥发性成分的影响进行了研究,以电子鼻输出信号与采集时间的斜率为特征值,该特征值随猪肉样品保存温度的升高而增加,也随保存时间的延长而增加。常志勇<sup>[9]</sup>基于人类鼻子的结构和嗅觉原理,设计了嗅觉仿生单元,建立了检测鸡肉新鲜度的仿生电子鼻系统。在网络训练采用10折交叉验证训练方案基础上,系统验证出鸡肉腐败阈值,可用于对不同新鲜度鸡肉进行分类。Musatov等<sup>[10]</sup>采用基于金属氧化物半导体传感器(MOS)的KAMINA电子鼻和线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA)模式识别方法,评估了肉的新鲜度,结果发现由同一厂家提供的肉样,采用一到两个标准样品就可达到100%的正确识别;分别在4℃和25℃储存的两种肉样仅能在变质的前期相互识别;要用电子鼻建立可靠的LDA识别模式,必须有3~4个训练周期。Zhang等<sup>[11]</sup>研究了几个气敏传感器在检测牛肉新鲜度中的可行性,发现其中5个传感器可以用于牛肉新鲜度检测,而另外一个则适合牛肉新鲜度的检测,并采用这5个传

感器建立了牛肉新鲜度检测的电子鼻检测系统。Panigrahi等<sup>[12]</sup>含有9个MOS的电子鼻研究了储存在4℃和10℃的牛腰条肉,采用线性判别分析(LDA)和二次判别分析(QDA)来建立模型,采用LOO-CV和Bootstrapping法对所建模型进行验证;对10℃储存样品,LDA分析法的最高分类准确率分别为83.8%和89.1%;QDA分析法为81.5%和93.2%;对4℃储存样品,LDA分析法的最高分类准确率分别为80%和86.6%;QDA分析法为85%和96%。肖虹等<sup>[13]</sup>采用电子鼻检测了冷却猪肉在不同贮藏温度和时间条件下挥发性成分的变化,通过主成分分析和判别分析建立的气味指纹图谱可以对冷却猪肉的新鲜度与货架寿命做出很好的判别。洪雪珍等<sup>[14-15]</sup>采用Pen2电子鼻对不同贮藏时间的猪肉样品进行检测,优化了检测条件,采用主成分分析和线性判别分析均能将不同贮藏时间的猪肉样品很好的区分开,且线性判别分析结果显示电子鼻能较好的区分不同贮藏时间的猪肉样品;采用逐步判别分析和BP神经网络对猪肉贮藏时间进行预测,训练集的准确率分别为100%和94.17%,预测集的准确率分别为97.92%和93.75%。

#### 2.1.2 肉制品新鲜度的评定

Vestergaard等<sup>[16]</sup>采用MGD-1电子鼻检测了披萨馅在储存过程中风味的变化,采用PCA和PLSR对传感器响应信号进行统计分析,发现电子鼻可以检测披萨馅在储存过程中发生的早期腐败风味和中期到最后的风味变化。感官评定获得的储存中披萨馅风味变化与电子鼻检测信号之间具有较好的相关关系,以电子鼻信号所建模型可以很好的预测储存过程中披萨馅风味的变化过程。Vestergaard等<sup>[17]</sup>还研究了MGD-1电子鼻在预测匹萨猪肉馅贮藏时间和感官变化中的可行性,发现电子鼻能够很好的预测储存时间、酸败和油腻的口感。电子鼻系统在实时在线监控披萨肉馅的品质是可行的。电子鼻可以对肉制品在货架期内品质的变化实现实时监测。Rajamaki等<sup>[18]</sup>采用电子鼻研究了不同储存温度条件下气调包装烤鸡肉的质量控制问题。与微生物检测、感官检验和顶空气相分析相比,电子鼻检测能够在感官品质恶化的同时甚至是更早区分变质的和新鲜包装的烤鸡,而且,大肠菌群和产硫化氢菌数与电子鼻信号具有较好的相关性,电子鼻能够在反应气调包装肉品早期腐败的信息。Blixt等<sup>[19]</sup>采用由10个金属氧化物场效应半导体传感器(MOSFET)和4个Tagushi金属氧化物传感器组成的电子鼻,研究了真空包装牛肉的变质程度。发现由电子鼻检测获得的牛肉的腐败程度和感官评定结果高度相关( $r^2 = 0.94$ )。Limbo等<sup>[20]</sup>采用传统方法(微生物菌落、色度、硫代巴比妥值和顶空组成)和电子鼻研究了不同储存温度条件下高氧气调包装牛肉馅新鲜度衰变的规律,并获得腐败动力学方程。PCA和聚类分析(cluster



analysis, CA)能够将新鲜样品和腐败样品清洗的区分开来,并获得给定温度条件下的准确的稳定时间范围,如4.3℃的平均稳定时间为9d,8.1℃的为3~4d,15.5℃的为2d。结果表明传统方法检测的Q10值(3.6~4.0)和电子鼻检测结果(3.4)及色度指标(3.9)相吻合。电子鼻技术能够很好的鉴别不同包装技术对新鲜度的作用效果。

## 2.2 在肉与肉制品区分中的应用

王曼等<sup>[21]</sup>分别对免疫去势、手术去势和完全公猪原料猪肉进行电子鼻检测,并采用主成分分析、线性判别式分析和交互验证判别分析分别对电子鼻15、30s和60s响应值进行统计处理。结果表明,主成分分析效果不好;采用15s响应值时线性判别式分析的区分效果及聚类效果最好;交互验证判别分析的总体正确率依次为90.0%、83.3%、66.7%。手术去势组和免疫去势组气味相似,且能与完全公猪肉区分开来,电子鼻可以实现不同去势方法对原料猪肉的区分和识别。Tikk等<sup>[22]</sup>研究了采用不同营养强化养殖获得猪肉制得肉丸在不同贮藏时间后翻热的气味变化,采用最小二乘回归建立传感器信号和化学指标及感官数据之间的关系模型,发现与感官品质相关的硫代巴比妥值、己醛、戊醛、戊醇和壬醛都与翻热后气味物质的形成有关,而且8个金属氧化物传感器信号与翻热后气味物质之间显著相关,其中6个MOSFET传感器与新鲜制作的肉的气味相关,电子鼻在监测翻热肉气味检测中具有可行。Garcia等<sup>[23]</sup>采用金属氧化物传感器阵列组成的电子鼻区分了4种不同养殖方式饲养的猪肉制得的火腿,通过PCA和概率神经网络(PNN)分析,发现电子鼻能够用于准确的区分不同的火腿样品,猪的不同养殖方式对其制成的火腿品质具有显著影响。Santos等<sup>[24]</sup>设计了一个基于氧化锡的多传感器系统,将该系统用于检测不同的饲养方式和不同成熟时间的火腿,用主成分分析和人工神经网络进行分析发现,当采用氮气作为载气、250℃为工作温度时,电子鼻可以判别伊比利亚火腿的原料肉种类和成熟时间,从而排除不合格和假冒的产品,电子鼻将有可能代替传统的等级评定方式。O'Sullivan等<sup>[25]</sup>用气质联用和由8个金属氧化物传感器和偏最小二乘(PLS)模式识别法形成的电子鼻分析了4种不同饲养方式的猪肉在加工过程中的气味变化。结果表明,电子鼻不仅可以清晰地区分不同饲养方式的猪肉,也可以评价猪肉加工过程中香气的变化,从而对肉制品的品质作出评定。由此可见,电子鼻可以检测由不同饲养方式造成的肉制品品质差异,该技术可以用来监测肉制品原料肉的品质,预防假冒伪劣产品。

## 2.3 在有害成分监测中的应用

Wang等<sup>[26]</sup>通过电子鼻监测了冷却肉在4℃条件下储存10d内活菌总数变化规律,从而判断肉的新鲜度,并采用主成分分析电子鼻检测结果,采用PLS和支持向量

机对电子鼻响应信号和平板计数结果进行分析,获得较好的相关性,验证了电子鼻在快速预测猪肉中菌落数的可行性。王丹凤等<sup>[27]</sup>采用电子鼻监测了猪肉在不同温度条件下挥发性成分的气味变化,并与其中微生物数量变化相结合,发现主成分分析可以区分不同贮藏时间的猪肉样品且电子鼻信号与细菌总数之间具有较好的线性相关关系,可以实现猪肉中有害微生物的检测。

## 2.4 在肉品掺假检测中的应用

肉与肉制品为人体提供了优质蛋白质。在肉品生产和加工过程中,经常会出现以低价值肉冒充高价值肉品,或者是将低价值成分添加到高价值的肉品中的现象。不同肉类挥发性成分组成有所不同,电子鼻在肉的掺假检测中具有应用的可能性。目前,肉制品掺假的快速检测报道较少。Nurjuliana等<sup>[28]</sup>采用声表面波电子鼻检测了肉与肉制品是否清真,并采用顶空进样气质联用确认其中的挥发性成分。PCA分析表明,电子鼻能够将猪肉和其他肉及香肠区分开来,尤其是猪肉、猪肉香肠和牛肉及鸡肉、鸡肉香肠和羊肉的区分。

## 3 电子鼻技术的不足与发展趋势

电子鼻检测肉品品质具有检查简单、快捷、样品量少、成本低、重复性好等优点,已经引起国内外很多学者的关注。但是电子鼻技术仍处于不断发展的阶段,其与生物嗅觉仍有很大的差距,在电子鼻检测肉品的研究中,检测灵敏度、识别率等都还没有达到令人满意的效果,其主要原因是电子鼻在硬件结构(敏感材料、制造工艺)和识别算法上仍存在仿生特性差的缺点。

在今后的研究中主要从以下几个方面改进电子鼻,研制性能更好的传感器,使其对工作环境的要求降低,减少工作环境对检测结果的影响;寻求更好的特征值提取方法和模式识别方法,以达到更好的模拟人的思维过程;结合微电技术、材料学、制造工艺和计算机技术的发展,将电子鼻集成化、小型化、实用化发展。

## 4 结 语

电子鼻以其独特的功能,使其在肉与肉制品品质检测中受到了越来越多的关注。随着传感器技术的进步,电子鼻的功能必将日益增强,并逐步从实验室走向生产线,走向实用化,将具有更广阔的应用前景。

## 参 考 文 献:

- [1] 汪敏,赵晔.电子鼻和电子舌在鱼肉鲜度评价中的应用研究[J].肉类研究,2009,23(6):63-65.
- [2] 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.



- [3] PERSAUD K C, KHAFFAF S M, PAYNE J S, et al. Sensor array techniques for mimicking the mammalian olfactory system[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 1996, 36(1/3): 236-273.
- [4] 边肇祺, 张学工. 模式识别[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999: 256.
- [5] 石志标, 佟月英, 陈东辉, 等. 牛肉新鲜度的电子鼻检测技术[J]. *农业机械学报*, 2009, 40(11): 184-188.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 常志勇. 仿生电子鼻设计及其在鸡肉品质检测中的应用[D]. 长春: 吉林大学, 2008.
- [10] MUSATOV V Y, SYSOEV V V, SOMMER 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.
- [11] ZHANG Zhe, TONG Jin, 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.
- [12] 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): 2-14.
- [13] 肖虹, 谢晶. 基于电子鼻技术判定冷却猪肉新鲜度[J]. *食品与发酵工业*, 2010, 36(7): 169-172.
- [14] 洪雪珍, 王俊, 周博, 等. 猪肉储藏时间的电子鼻区分方法[J]. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2010, 36(5): 568-572.
- [15] 洪雪珍, 王俊. 基于逐步判别分析和BP神经网络的电子鼻猪肉储藏时间预测[J]. *传感技术学报*, 2010, 23(10): 1376-1380.
- [16] VESTERGAARD J S, MARTENS M, TURKKI P. Analysis of sensory quality changes during storage of a modified atmosphere packaged meat product (pizza topping) by an electronic nose system[J]. *Lwt-Food Science and Technology*, 2007, 40(6): 1083-1094.
- [17] VESTERGAARD J S, MARTENS M, TURKKI P. Application of an electronic nose system for prediction of sensory quality changes of a meat product (pizza topping) during storage[J]. *Lwt-Food Science and Technology*, 2007, 40(6): 1095-1101.
- [18] RAJAMAKI T, ALAKOMI H, 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.
- [19] BLIXT Y, BORCH E. Using an electronic nose for determining the spoilage of vacuum-packaged beef[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 1999, 46(2): 123-134.
- [20] LIMBO S, TOTTI L, SINELLI N, et al. Evaluation and predictive modeling of shelf life of minced beef stored in high-oxygen modified atmosphere packaging at different temperatures[J]. *Meat Science*, 2010, 84(1): 129-136.
- [21] 王曼, 王振宇, 马长伟. 基于电子鼻的不同去势猪肉风味品质评价[J]. *肉类研究*, 2009, 23(12): 45-49.
- [22] TIKK K, HAUGEN J, ANDERSEN H J, et al. Monitoring of warmed-over flavour in pork using the electronic nose-correlation to sensory attributes and secondary lipid oxidation products[J]. *Meat Science*, 2008, 80(4): 1254-1263.
- [23] GARCIA M, ALEIXANDRE M, GUTIÉRREZ J, et al. Electronic nose for ham discrimination[J]. *Sensors and Actuators B-Chemical*, 2006, 114(1): 418-422.
- [24] SANTOS J P, GARCÍA A M, ALEIXANDRE M, et al. Electronic nose for the identification of pig feeding and ripening time in Iberian hams[J]. *Meat Science*, 2004, 66(3): 727-732.
- [25] O'SULLIVAN M G, BYRNE D V, JENSEN M T, et al. A comparison of warmed-over flavour in pork by sensory analysis, GC/MS and the electronic nose[J]. *Meat Science*, 2003, 65(3): 1125-1138.
- [26] WANG Danfeng, WANG Xichang, LIU Taiang, et al. Prediction of total viable counts on chilled pork using an electronic nose combined with support vector machine[J]. *Meat Science*, 2012, 90(2): 373-377.
- [27] 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.
- [28] NURJULIANA M, CHE MAN Y B, MAT HASHIM D, et al. Rapid identification of pork for halal authentication using the electronic nose and gas chromatography mass spectrometer with headspace analyzer[J]. *Meat Science*, 2011, 88(4): 638-644.