

# 电子鼻与电子舌在食品检测中的应用研究进展

王 俊, 胡桂仙, 于 勇, 周亦斌

(浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310029)

**摘 要:** 随着嗅觉与味觉传感器技术的发展, 电子鼻与电子舌技术在食品检测中得到了不断研究与应用。电子鼻由气敏传感器、信号处理和模式识别系统等功能器件组成。电子舌是用类脂膜作为味觉传感器, 以类似人的味觉感受方式检测味觉物质。着重阐述了电子鼻与电子舌技术的结构组成, 重点介绍了其在食品新鲜度检测、果蔬成熟度评价及饮料、酒类识别等轻工业中的应用现状与发展趋势, 并指出了这些信息新技术实现过程中所需要解决的问题。

**关键词:** 电子鼻; 电子舌; 食品; 检测

**中图分类号:** TS207.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2004)02-0292-04

## 0 引言

食品品质通常是通过气味、外观、质地、滋味和营养等方面来评价的。为提高食品品质评审的客观性、可靠性、重复性, 减少人为评定差异, 近年来国内外在应用电子鼻与电子舌技术方面, 开展了一系列研究, 并取得相当进展。

电子鼻又称气味扫描仪, 是 20 世纪 90 年代发展起来的一种快速检测食品的新颖仪器。它以特定的传感器和模式识别系统快速提供被测样品的整体信息, 指示样品的隐含特征<sup>[1]</sup>。电子舌是一种使用类似于生物系统的材料作传感器的敏感膜, 当类脂薄膜的一侧与味觉物质接触时, 膜电势发生变化, 从而产生响应, 检测出各类物质之间的相互关系<sup>[2]</sup>。这种味觉传感器具有高灵敏度、可靠性、重复性。它可以对样品进行量化, 同时可以对一些成分含量进行测量。基于电子舌与电子鼻各自的特点与检测中的优越性, 电子鼻与电子舌已有了各种应用与潜在发展领域, 国内外已在食品工业、环境检测、医疗卫生、药品工业、安全保障、公安与军事等方面报道了不少研究成果。本文对最近几年电子鼻与电子舌在食品工业中的应用研究成果做个概述, 并对今后的发展提出几点看法。

## 1 电子鼻与电子舌的构成

电子鼻由气敏传感器、信号处理系统和模式识别系统等功能器件组成。由于食品的气味是多种成分的综合反映, 所以电子鼻的气味感知部分往往采用多个具有不同选择性的气敏传感器组成阵列, 利用其对多种气体的交叉敏感性, 将不同的气味分子在其表面的作用转化为方便计算的与时间相关的可测物理信号组, 实现混合气体分析。在电子鼻系统中, 气体传感器阵列是关键因素, 目前电子鼻传感器的主要类型有导电型传感器、压电式传感器、场效应传感器、光纤传感器等, 最常用的气敏传

感器的材料为金属氧化物、高分子聚合物材料、压电材料等。在信号处理系统中的模式识别部分主要采用人工神经网络和统计模式识别等方法。人工神经网络对处理非线性问题有很强的处理能力, 并能在一定程度上模拟生物的神经联系, 因此在人工嗅觉系统中得到了广泛的应用。由于在同一个仪器里安装多类不同的传感器阵列, 使检测更能模拟人类嗅觉神经细胞, 根据气味标识和利用化学计量统计学软件对不同气味进行快速鉴别。在建立数据库的基础上, 对每一样品进行数据计算和识别, 可得到样品的“气味指纹图”和“气味标记”。电子鼻采用了人工智能技术, 实现了由仪器“嗅觉”对产品进行客观分析。由于这种智能传感器矩阵系统中配有不同类型传感器, 使它能更充分模拟复杂的鼻子, 也可通过它得到某产品实实在在的身份证明(指纹图), 从而辅助专家快速地进行系统化、科学化的气味监测、鉴别、判断和分析<sup>[3]</sup>。目前比较著名的电子鼻系统有英国的 Neotronics system 和 AromaScan system、Bloodhound 和法国 AlphaMOS 系统。另外, 还有日本的 Frgaro 和我国台湾的 Smell 和 Keen Ween 等。

电子舌是用类脂膜作为味觉物质换能器的味觉传感器, 它能够以类似人的味觉感受方式检测出味觉物质。目前, 从不同的机理看, 味觉传感器大致有以下几种: 多通道类脂膜传感器、基于表面等离子体共振、表面光伏电压技术等。模式识别主要有最初的神经网络模式识别, 最新发展的是混沌识别。混沌是一种遵循一定非线性规律的随机运动, 它对初始条件敏感, 混沌识别具有很高的灵敏度, 因此也越来越得到应用。目前较典型的电子舌系统有法国的 AlphaMOS 系统和日本的 Kiyoshi Toko 电子舌。

在近几年中, 应用传感器阵列和根据模式识别的数字信号处理方法, 出现了电子鼻与电子舌的集成化。在俄罗斯, 研究电子舌与电子鼻复合成新型分析仪器, 其测量探头的顶端是由多种味觉电极组成的电子舌, 而在底端则是由多种气味传感器组成的电子鼻, 其电子舌中的传感器阵列是根据预先的方法来选择的, 每个传感器单元具有交叉灵敏度。这种将电子鼻与电子舌相结合并把它们的数据进行融合处理来评价食品品质将具有广

收稿日期: 2003-01-28 修订日期: 2004-02-18

作者简介: 王 俊(1965-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品加工工程研究, 杭州市 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 310029。Email: jwang@zju.edu.cn

阔的发展前景。

## 2 电子鼻与电子舌在食品工业中的应用进展

### 2.1 在食品新鲜程度检测中的应用

人类主要通过嗅觉与味觉系统来辨别食品的好坏与新鲜程度,因此,电子鼻与电子舌在食品检测中有其自身的应用价值。在原材料方面,已采用电子鼻来检测橄榄油及其他食用油是否变质及鱼、肉、蔬菜、水果等的新鲜度。英国科学家最近发明出用于检验蔬菜和水果是否快要腐烂的新型电子鼻。Oshita 等<sup>[4]</sup>将“La France”梨在不成熟时进行采摘,然后将它们分成 3 组,第 1 组在 4 下贮藏 115 d(未成熟期);第 2 组在 4 下贮藏 115 d 后,在 30 下放置 1 d(成熟期);第 3 组在 4 下贮藏 115 d 后,在 30 下放置 5 d(完熟期)。用 32 个导电高分子传感器阵列的电子鼻系统进行分析,采用 Non-linear mapping 软件进行数据处理。对这 3 个不同阶段的梨同时用化学分析方法、GC 和 GC-MS 进行分析,结论是电子鼻能够很明显区分出 3 种不同成熟时期的梨,并且同其他分析结果有很强的相关性。

传统的鱼肉的新鲜度评价可以通过电流计生物传感器来测定胺或用酶反映来测定,但这些方法在实际检测中不是很合适。O'Connell 等<sup>[5]</sup>采用 11 个费加罗公司产的涂锡金属氧化物传感器阵列构成的电子鼻系统来评价和分析阿根廷鳕鱼肉的新鲜度。他们把同一个市场新鲜的阿根廷鳕鱼肉,切成 20~60 g 不同质量的鱼片,放入冰箱内贮藏。每次实验从冰箱内取样品进行分析,探讨了贮藏天数、样品质量对鱼肉新鲜度的影响。得到的结论是电子鼻可以区分不同贮藏天数的鱼肉,且不同质量的鱼肉样品对电子鼻评价其新鲜度无影响。

### 2.2 在果蔬成熟度检测中的应用

农产品中水果与蔬菜的成熟度的检测不仅关系到消费者,也关系到食品工业的发展。目前农产品的无损检测手段不断得到发展,但它们都局限于特定的农产品,并且也不能进行在线检测,而电子鼻检测却能做到,它将通过气味检测得到的数据信号与产品各成熟度指标建立关系,从而能够做到在线检测生长中的水果或蔬菜所散发的气味并进行成熟度判别<sup>[6]</sup>。目前已有厂商准备在超市开发一套电子鼻系统,用于实时检测水果及蔬菜的新鲜度,以提高产品的价格。Benady 等<sup>[7]</sup>发明了一种水果成熟度传感器,根据其挥发的气味或是没有气味的电子感应进行区分。传感器中利用了气体探测半导体,似一个小小的帽子被安置在水果的表面,成熟水果的气味散发出来即被帽子积累,引起传感器传导率的改变,然后通过计算机数据系统进行计算。在实验室测试时,判断水果成熟或未成熟的成功率在 90% 以上。分为 3 组(未成熟,半成熟,成熟)检测,成功率是 83%。Kikkawa 等<sup>[8]</sup>利用电子舌测量西红柿,通过不同的输出电势模式并根据主成分分析来区分不同等级,但在测量之前要先用搅拌器把西红柿打碎。

### 2.3 在饮料识别中的应用

目前检测饮料质量的方法主要有化学分析和物理

化学分析。化学方法烦琐,实时性差,而物理化学分析方法又需要较贵重的仪器,并对技术要求很高,不适应快速分析的需要。Dutta 等<sup>[9]</sup>对 5 种不同加工工艺(不同的干燥、发酵和加热处理)的茶叶进行了分析和评价。为了更好地得到挥发性化合物,采用在 5 L 的容器中放入 10 mg 茶叶样品,加入 200 mL 的 60 开水,用电子鼻检测其顶部空间空气样品。电子鼻由费加罗公司产的 4 个涂锡的金属氧化物传感器组成,数据采集和存储用 LabVIEW 软件,数据处理用 PCA、FCM 和 ANN 等方法。检测结论是:采用 RBF 的 ANN 方法分析时,可以 100% 地区分出 5 种不同制作工艺的茶叶。邹小波等<sup>[10,11]</sup>建立了一套电子鼻系统,利用该系统对可乐、橙汁、雪碧几种常见的饮料进行了快速、实时的区分。测试传感器阵列由 8 只日本费加罗公司生产的 SnO<sub>2</sub> 气敏传感器组成,并应用主成分分析与人工神经网络分析进行模式识别。实验结果:从主成分分析结果可以看到不同饮料之间区分得比较清楚,神经网络的正确识别率达 95.2%。

在电子舌的发展上,味觉传感器也已经能够很容易区分几种饮料,比如咖啡、离子饮料等<sup>[12,13]</sup>。Larisa Lvova 等<sup>[14]</sup>研究电子舌在茶叶滋味分析中的运用。他们首先研究用电子舌区分常见饮料的能力。经过对立顿红茶、4 种韩国产的绿茶和咖啡的研究表明,采用 PCA 分析方法的电子舌可以很好地区分红茶、绿茶和咖啡,并且也能很好地区分不同品种的绿茶。他们还研究了采用 PCR 和 PLS 分析方法的电子舌技术在定量分析代表绿茶滋味的主要成分含量上的分析能力。先用不同样品的茶汤培训电子舌,再用经过培训后的电子舌来预测未知绿茶样品的主要成分含量。结果表明,电子舌可以很好地预测咖啡碱(代表了苦味)、单宁酸(代表了苦味和涩味)、蔗糖和葡萄糖(代表了甜味)、L-精氨酸和茶氨酸(代表了由酸到甜的变化范围)的含量和儿茶素的总含量。应用研究表明电子舌可以定性和定量分析茶叶的品质。它在味评价中将是一项具有广阔前景的技术。

### 2.4 在酒类识别中的应用

电子鼻与电子舌在酒类方面的应用,尤其在品牌的鉴定、异味检测、新产品的研发、原料检验、蒸馏酒品质鉴定、制酒过程管理的监控方面大有用武之地<sup>[17,15]</sup>。秦树基等<sup>[16]</sup>利用较少的气敏传感器构成阵列,并改进人工神经网络识别软件,进行了酒类的识别,探索电子鼻在酒类方面应用的途径。但在实验中,对同一酒类不同品牌的精细识别,没做进一步研究。史志存等<sup>[17]</sup>对不同品牌的白酒做了测试分析,实验表明:使用该实验系统可以准确识别不同香型和同种香型不同品牌的白酒,采用 PCA(主成分分析法)方法对所测的数据进行分析,得出训练样本完全线性可分,测试样本的分类正确率能达到 100%,同时该系统具有速度快、操作简单等优点。

电子舌在一些酒类上也有应用。米酒品质好坏评价主要基于口感、香气和颜色 3 个因素。而对于口感的评价是三者中最难做到的。Satoru Iiyama 等<sup>[15,18]</sup>利用味觉传感器和葡萄糖传感器对日本米酒的品质进行了检

测,该味觉传感器阵列由8个类脂膜电极组成,利用主成分分析法进行模式识别和降维功能,最后显示出两维的信号图,分别代表了滴定酸度和糖度含量。从模式识别分析上看,电子舌的通道输出值与滴定酸度、糖度之间具有很大的相关性,由此,对米酒的甜度预测作出了数学模型。

### 2.5 电子鼻在粮食贮存与加工中的应用

为了减少由微生物引起的谷物品质的改变,在欧洲对谷物的处理和品质控制是按照一定标准执行。谷物品质是由专家进行评价,他们用谷物的香气分级体系来决定所评价的谷物是适合于人食用,还是只适于动物食用,或者是应该被拒绝使用。O lsson 等<sup>[19]</sup>探讨了用电子鼻对谷物品质进行检测和评价。他们从瑞典各个粮仓中选取了10个正常样品和30个非正常样品。先用GCMS分析,在10个正常样品中,未发现赭曲霉毒素A(OA),脱氧核糖核酸酶(DON)的平均含量为 $16 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。在30个非正常的样品中,赭曲霉毒素A(OA)的平均含量为 $76 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,脱氧核糖核酸酶(DON)的平均含量为 $69 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。然后他们用电子鼻分析了这些样品的挥发物,电子鼻采用10个金属氧化物传感器阵列,数据处理采用PCA和PLS方法。分析的结论是GCMS分析OA浓度比电子鼻更加准确,GCMS分析37个样品,得到错误的结果为3个样品,而电子鼻分析37个样品得到错误的结果为7个样品。并且发现OA的浓度与谷物的香气不存在相关性。同时他们得到用电子鼻可以区分OA的浓度是低于或是高于 $5 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (瑞典国家食品管理部门确定的正常谷物OA浓度极限值)。用电子鼻可以预测谷物中DON的含量,电子鼻的检测速度快于GCMS分析。

### 2.6 电子鼻与电子舌的集成化应用

电子鼻与电子舌是从不同角度分析同一种物质。电子鼻是由一组气体传感器组成,具有不同选择模式、信号处理、模式识别等功能;电子舌是基于膜电势的变化对液体进行分析。尽管电子鼻与电子舌可以分别区分物质,但它们结合起来则可大大提高识别能力。F. winquist<sup>[20]</sup>对橘子、苹果、菠萝这三种水果进行了检测,每一种水果又分成4组,每一组又测量3次。首先用电子鼻获得数据信号,再用电子舌进行检测。完成所有的测量后,用主成分分析法进行模式识别,结果表明,若仅用电子鼻来分析,橘子可以明显地从苹果、菠萝中区分开来,但苹果与菠萝不能很好地区分。若用电子舌来检测分析,则橘子与菠萝不能很好地区分,但若电子鼻与电子舌结合起来分析检测,则可以大大提高其检测率。用最小二乘法对这一结论进行预测验证,表明将电子鼻与电子舌相结合将大大提高水果检测的准确率。另外,如在牛奶检测中,由于用电子鼻检测与电子舌检测是两个不同的系统,所以在数据融合过程中,有些特征数据会在独立传感器系统中丢失<sup>[21]</sup>。试验表明,用电子舌在辨别超高温与灭菌牛奶时有明显的区别,而在辨别新鲜牛奶与变质牛奶时却不很明显,若利用电子鼻检测却刚好相反,所以利用电子鼻与电子舌集成化检测,不

仅能很好地区分超高温牛奶与灭菌牛奶,也能判别牛奶的新鲜度。

## 3 结 语

通过特定的传感器阵列、信号处理和模式识别系统组成的电子鼻和电子舌,能快速提供被测样品的整体信息。各种各样的电子鼻和电子舌,除在食品工业中应用外,电子鼻与电子舌还有许多潜在的应用领域,如环境检测、医疗卫生、药品工业、安全保障、公安与军事等。

然而电子鼻和电子舌也存在许多问题和需研究的课题。首先,由于传感器具有选择性和限制性,电子鼻和电子舌往往有一定的适应性,不可能适应所有检测对象,即没有通用的电子鼻和电子舌。但大力研究,制作有针对性专用的,如烟草专用电子鼻、肉用电子鼻、鱼用电子鼻和酒用电子舌、饮料用电子舌等等,则能提高检测精度和使用寿命。这也意味着需要加强研制并发展合适的传感器结构和传感器材料。其次,在模式识别系统上亦应多样化。采用某一种模式识别方式可能不能识别类别或不很理想,或许用另外一种模式识别方式或改进模式识别方法后,则可能获得理想的结果。食品的种类很多,其芳香成分不一样,要求采用多种模式识别与比较,以提高检测精度。第三,检测环境不同和在检测过程中温度、湿度有变化,会使传感器响应特性有所不同,这就要求对电子鼻和电子舌的传感器周围温湿度严格控制,或者在检测中至少允许进行温湿度补偿。第四,在一些用途上,如要进行水果与蔬菜的野外检测,就应改进电子鼻的结构设计,达到较好的便携性,从而为在线检测提供方便。

至今电子鼻和电子舌的实际应用还不多,还有诸多问题需要解决。随着现代科学技术和科学理念的不断发展,电子鼻和电子舌技术作为一个新兴技术它必将给众多领域带来一次技术革命,也将使其逐步走向实用。

### [参 考 文 献]

- [1] 黄骏雄,田莉莉 新颖的仿生检测技术—电子鼻[J] 现代仪器使用与维修,1999,(1): 6- 10
- [2] 胡 洁,李 蓉,王 平 人工味觉系统—电子舌的研究[J] 传感技术学报,2001,(2): 169- 179
- [3] 高旭升,王 平 电子鼻信号处理方法的研究进展[J] 国外医学生物医学工程分册,2001,24(1): 1- 6
- [4] Oshita S, Shima K, Haruta T, et al Discrimination of odors emanating from 'La France' pear by semi-conducting polymer sensors[J] Computers and Electronics in Agriculture 26, 2000: 209- 216
- [5] Manuela O'Connell, Gabriela Valdora, Gustavo Peltzer A practical approach for fish freshness determinations using a portable electronic nose[J] Sensors and Actuators B 80, 2001: 149- 154
- [6] Brezmes J, Lobet E, Vilanova X, et al Correlation between electronic nose signals and fruit quality indicators on shelf-life measurements with pink lady apples[J] Sensors and Actuators B, 2001, 80: 41- 50
- [7] Benady M, Simon J E, Charles D J, et al Fruit ripeness

- detemination by electronic sensing of aromatic volatiles [J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(1): 251- 257.
- [8] Kikkawa Y, Toko K, Yamafuji K. Taste sensing of tomatoes with a multichannel taste sensor[J]. SensM aterials, 1993: 83- 90.
- [9] Dutta R, Hines EL, Gardner JW, et al. Tea quality prediction using a tin oxide-based electronic nose: an artificial intelligence approach [J]. Sensors and Actuators B 94, 2003: 228- 237.
- [10] 邹小波, 吴守一, 方如明. 电子鼻判别挥发性气体的实验研究[J]. 江苏理工大学学报, 2001, 22(2): 1- 4.
- [11] 邹小波, 赵杰文. 电子鼻在饮料识别中的应用研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 146- 149.
- [12] Fukunaga T, Toko K, Mori M, et al. Quantification of taste of coffee using with global selectivity[J]. SensM aterials, 1996(8): 47- 56.
- [13] Liyama S, Yahiro M, Toko K, et al. Quantitative sensing of mineral water with multichannel taste sensor[J]. SensM aterials, 1995(7): 191- 201.
- [14] Larisa Lvova, Andrey Legin, Yuri Vlasov, et al. Multi-component analysis of Korean green tea by means of disposable all-solid-state potentiometric electronic tongue microsystem [J]. Sensors and Actuators B 95, 2003: 391- 399.
- [15] Arikawa Y, Toko K, Ikezaki H, et al. Analysis of sake taste using multielectrode taste sensor[J]. SensM aterials 1995(7): 261- 270.
- [16] 秦树基, 黄 林. 用于酒类识别的电子鼻研究[J]. 郑州轻工业学院学报, 2000, 15(4): 17- 19.
- [17] 史志存, 李建平, 马 青, 等. 电子鼻及其在白酒识别中的应用[J]. 仪表技术与传感器, 2000, (1): 34- 37.
- [18] Satoriyama, Yuji Suzuki, Shu Ezaki, et al. Objective scaling of taste of sake using taste sensor and glucose sensor [J]. Materials Science and Engineering, C4 (1996): 45- 49.
- [19] Olsson J, Borjesson T, Lundstedt T, et al. Detection and quantification of ochratoxin A and deoxynivalenol in barley grains by GC-MS and electronic nose[J]. International Journal of Food Microbiology 72, 2002: 203- 214.
- [20] Winquist F, Lundström I, Wide P. The combination of an electronic tongue and an electronic nose[J]. Sensors and Actuators B 58, 1999: 512- 517.
- [21] Toko K, Iyota T, Mizota Y, et al. Heat effect on the taste of milk studied using a taste sensor[J]. Jpn J Appl Phys, 1995, 34: 6287- 6291.

## Research and application of electronic nose and electronic tongue in food inspection

Wang Jun, Hu Guixian, Yu Yong, Zhou Yibin

(College of Biosystem Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

**Abstract** With the development of olfaction sensors and taste sensors, many researches and applications have been made in the electronic nose and electronic tongue. The electronic nose consists of an array of gas sensors with different selectivity patterns, signal processing and pattern recognition and decision strategy. The electronic tongue, which was developed for the taste analysis of liquids, is based on pulsed voltammetry. Measurement data from the artificial smell and taste sensors are used to produce sensor-specific opinion about these two human-like sensing modalities. This paper introduced the configuration and basic principle of electronic nose and tongue at the same time. The current research situation and applications of the electronic nose and electronic tongue in the food inspection were introduced in details. It is also given that the theoretical and technological problems which should be solved.

**Key words:** electronic nose; electronic tongue; foodstuff; inspection