

# 气味指纹分析技术 在我国食品品质评价中的应用与研究

朱丹实<sup>1,2</sup>, 励建荣<sup>1,\*</sup>, 孟宪军<sup>2</sup>, 徐永霞<sup>1</sup>, 刘贺<sup>1</sup>

(1.渤海大学化学化工与食品安全学院,辽宁省食品安全重点实验室,辽宁省高校重大科技平台“食品贮藏加工及质量安全控制工程技术研究中心”,辽宁锦州 121013;

2.沈阳农业大学食品学院,辽宁沈阳 110866)

**摘要:** 气味指纹分析技术作为一种嗅觉传感器技术,以其客观性、可靠性和重现性等优点在食品分析中得到广泛应用。本文对气味指纹分析技术的原理以及在我国食品品质评价中的应用研究进行综述,为加快国内气味指纹分析技术的发展提供一定的借鉴。

**关键词:** 气味指纹分析技术,电子鼻,食品品质评价,食品检测

## Research and application of sensor array fingerprint technology on food quality evaluation in China

ZHU Dan-shi<sup>1,2</sup>, LI Jian-rong<sup>1,\*</sup>, MENG Xian-jun<sup>2</sup>, XU Yong-xia<sup>1</sup>, LIU He<sup>1</sup>

(1.College of Chemistry, Chemical Engineering and Food Safety, Bohai University, Food Safety Key Lab of Liaoning Province, Engineering and Technology Research Center of Food Preservation, Processing and Safety Control of Liaoning Province, Jinzhou 121013, China;

2.College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

**Abstract:** Sensor array fingerprint technology regarded as a technique of olfactory sensor is widely used in food analysis because of its objectivity, reliability and reaptability. This paper not only introduced the working principle and basic composition of the sensor array fingerprint technology, but also gave a review of its application and research progress in food quality monitoring. This could provide some reference for speeding up development of sensor array fingerprint technology at home and abroad, and expecting to improve the current situation of food analysis in China.

**Key words:** sensor array fingerprint technology; electronic nose; food quality evaluation; food inspection

中图分类号: TS207.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2012)20-0355-06

气味指纹分析技术(俗称电子鼻技术)是针对复杂介质和含协同作用的样品而发展起来的一门新技术<sup>[1]</sup>,在发达国家应用较早,而我国食品领域近十年才开始推广应用。电子鼻系统一般由三部分组成:选择性(电极经过修饰)或非选择性的传感器阵列、信号采集装置和模式识别系统<sup>[2]</sup>。该技术根据仿生学原理,模拟人的鼻子“闻到”的,不是被测样品中某种或某几种成分的定性或定量结果,而是将样品中挥发性成分的整体信息,按照感官的感觉,利用不同的传感器进行识别,称为气味的“指纹信息”<sup>[3]</sup>。通过研究人类感官与风味传感器之间的相互关系,从而使感官信息科学化。目前,电子鼻在食品行业中的应用越

来越广泛,如酒类、肉类、水果、茶叶等具有丰富挥发性气味的食品的识别和分类,以及等级划分和新鲜度的评判等<sup>[4-5]</sup>。由于电子鼻智能传感器阵列系统中配有不同类型的传感器,其能够更加充分地模拟复杂的人体嗅觉系统,从而辅助专家快速地进行系统化、科学化地进行气味监测、鉴别、判断和分析<sup>[6]</sup>。本文对气味指纹分析技术在我国食品品质评价中的应用及研究进展进行综述,分析该技术的不足并阐明发展方向,为加快国内气味指纹分析技术的发展提供一定的借鉴。

### 1 气味指纹分析技术的基本原理

气味指纹分析技术基础在于模拟动物和人的嗅觉系统,其构造有气敏传感器阵列、信号预处理单元、模式识别单元3个层次组成<sup>[7]</sup>。

#### 1.1 气敏传感器阵列

气敏传感器阵列相当于初级嗅觉神经元,它具有交叉灵敏度高、响应频带宽等特性。通常,气敏传感器阵列可以采用数个单独的气敏传感器组合而成,

收稿日期:2012-07-24 \* 通讯联系人

作者简介:朱丹实(1978-),女,博士研究生,讲师,研究方向:农产品贮藏加工。

基金项目:辽宁省高等学校优秀人才支持计划资助(LJQ2011123);辽宁省教育厅高校一般项目(L2010008)。

也可以采用集成工艺制作专用的气敏传感器阵列,这种阵列体积小、功耗低、便于信号的集中采集与处理,与单个气敏传感器阵列在特性上有质的区别。单个气敏传感器对气味/气体的响应可用强度来表示,而气敏传感器阵列除了各个传感器的响应外,在全部传感器组成的多维空间中形成响应模式,而这正是电子鼻能对多种气味/气体进行辨识的关键所在。

在食品加工中,最常用的是金属氧化物半导体传感器阵列,它是由金属氧化物半导体气敏传感器组成。这种气敏传感器可分为表面电阻控制型(如 $\text{SnO}_2$ 系列、 $\text{ZnO}$ 系列)、体电阻控制型(如 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 系列)、非电阻型半导体气敏传感器(如MOSFET系列)等三种类型。

### 1.2 信号预处理单元

信号预处理单元对传感器阵列的响应模式进行预加工,完成特征提取。如在气味/气体的定性辨识中,采用归一化算法可在一定程度上消除浓度对传感器输出响应的影响。

### 1.3 模式识别单元

模式识别单元相当于动物和人类的神经中枢,它运用一定的算法完成气味/气体的定性定量辨识。电子鼻中常用的模式识别方法有统计模式识别的方法(如主成分分析法、最小二乘法),以及智能识别方法,如模糊逻辑法和误差反向传播神经网络(BP)、自适应共振神经网络(ART)、自组织特征映射神经网络(SOFM)等方法。但是,统计模式分类方法只能说是模仿了人的逻辑思维,它对数据处理后所得的结果与人的感官感受之间无法对应起来,或者说二者之间存在很大距离。神经网络模式分类方法既能模仿人的逻辑思维,又能模仿人的形象思维,而且神经网络通过学习或训练,能自动地掌握和理解隐藏在事物内部的、不能用明确数学公式表示的关系,这与统计模式分类形成复杂的判别函数或决策十分困难的缺点形成鲜明的对照。同时,神经网络技术和传感器阵列技术的融合,对混合气体成分和浓度的确定也表现出极大的优越性。因而,人工智能技术在电子鼻研究中具有广阔的应用前景。

通过采用传感器阵列和模式识别技术,电子鼻可以得到不同气体/气味的数字化“指纹”,并将待测样本的“指纹”和标准样本的“指纹”进行比较,然后给出分析结果。它既可以简单地给出最终的决策(如合格或不合格),也可以给出气体或味道的文本或可视化的“指纹”信息(如以表格或直方图等形式给出阵列中各个传感器对样本气味的响应),供评估人员作参考,增强他们主观评估结果的客观性。

## 2 食品新鲜度检测方面

### 2.1 果蔬产品

水果的成熟度是决定水果品质的主要因素,在采收、后熟和随后贮藏的过程中,香气值不断变化。因此,香气是反映食品品质的重要因素之一。传统的香气的分析是依靠有经验的专业人员所组成的专家小组来进行集体鉴别及判断,但这种方法主观性强、重复性差,并且人的鼻子对气味有适应性,容易出现疲劳而影响分析结果。虽然气相色谱、气质联机、高

效液相色谱等仪器也尝试过模拟“嗅觉”,但检测结果都很难代表样品的整体性,其主要原因是所得的“嗅觉”是在破坏样品及分离后的结果,随后再把分离后的结果重组,分析过程费时费力,而其结果也很难对嗅觉进行系统化、科学化的模拟。随着生产过程及其他环节自动化程度的提高,更加需要一种客观、快捷、重复性好的方法来评估产品气味这一主观信息。以电子鼻为主的气味指纹分析技术能够克服传统测定香气方法的一些不足,由于这种分析技术的快速、无损而且连续等特点,被广泛用于辨别不同水果的质量<sup>[4,8]</sup>。

延长季节性水果供应周期的一个有效手段是将水果进行贮藏,水果香气的好坏是评价其贮藏质量的一个重要指标。在贮藏过程中,水果的香气成分的种类与含量随着水果的后熟、呼吸作用、发酵作用和酚类物质氧化等一系列变化而发生改变,同时病原微生物对果实的侵染也会导致香气成分的变化。基于水果香气成分在贮藏期间发生的变化,可利用电子鼻系统采集水果的芳香成分,监测贮藏期间香气成分的变化情况,并对水果货架期进行判断和质量监控。江琳琳<sup>[9]</sup>、张鑫<sup>[10]</sup>、张晓华<sup>[11]</sup>和周亦斌<sup>[12]</sup>等分别利用气味指纹分析技术对采摘后不同贮藏时间,或相同贮藏时间下不同采摘成熟度的水蜜桃、黄桃、苹果和番茄进行检测,结果表明虽然不同的分析方法,如:主成分分析(PCA)、线性判别(LAD)和判别因子(DFA)分析法等对不同品种体系的区分程度不同,但总体来看利用气味指纹分析技术对采后货架期的质量变化进行跟踪及预测是可行的,这也为水果新鲜度的无损检测提供了重要参考。

### 2.2 水产品

生鲜水产品低温贮藏及流通过程中会受到温度、微生物以及酶等因素的作用而导致品质下降,同时伴有挥发性气味物质的产生,因此气味变化也是评价水产品新鲜度的重要指标之一<sup>[13]</sup>。随着贮藏时间的延长,水产品挥发性成分发生明显变化,气味也与新鲜样品出现显著区别,而用感官评价的方法评价这种差异存在着人为因素影响大、判别精度低等不足。生鲜肉制品经电子鼻分析获得的气味指纹图谱信息,可识别肉品的新鲜程度及鲜度品质的变化过程,近年许多研究者将电子鼻应用于生鲜水产品的鲜度品质评价<sup>[14]</sup>。

韩丽等<sup>[15]</sup>对不同贮藏条件下和不同贮藏时间的南美白对虾样品进行分析,并结合感官评定与微生物计数培养分析,旨在建立一种基于电子鼻对虾质量评价的方法,结果表明电子鼻可以用于不同保藏方式的南美白对虾气味的检测。佟懿等<sup>[16]</sup>利用电子鼻对鲟在不同贮藏温度与贮藏时间下的挥发性气味变化进行了分析,并对电子鼻测定获得的数据进行了PCA与DFA分析,结果表明这两种分析能很好地将贮藏于273、283、293K下的鲟随着贮藏时间变化的气味进行区分,所获得的两个温度段下的货架期预测模型能很好地对273~283K与283~293K温度段下鲟的货架期进行预测。刘辉等<sup>[17]</sup>探索酸价含量的快速

检测对鱼粉品质快速检测直接的相关性,对不同新鲜度的鱼粉样本进行酸价含量的化学测定和电子鼻数据采集,利用BP神经网络和支持向量回归(SVR)建立酸价含量和电子鼻数据两者之间的回归模型,并用预测集样本进行验证,研究表明利用电子鼻技术检测鱼粉酸价含量是可行的。赵梦醒等<sup>[18]</sup>以凡纳滨对虾为实验对象,研究电子鼻对不同保藏时间的对虾虾头和虾肉的气味响应,并与感官指标、挥发性盐基氮(TVB-N)和菌落总数进行对比分析,建立一种基于电子鼻技术的对虾新鲜度评价方法。结果表明,电子鼻能将不同保藏时间的对虾区分开来,而且与感官评定、TVB-N和菌落总数检测结果一致,电子鼻对虾头和虾肉的气味均有较好的响应,因此虾头和虾肉都可以用于电子鼻评价对虾的新鲜度。

### 2.3 畜禽产品

畜禽产品富含蛋白质,在贮存、加工和运输过程中,由于自身和外界环境、微生物等的作用,容易腐败变质,产生不良风味,致使品质下降。在畜禽肉品质评价过程中,感官评价受人因素为影响较大,微生物和理化检测存在费时、费力、检测仪器昂贵等缺点。电子鼻用于分析、识别、检测复杂气味和挥发性成分,其在畜禽产品腐败变质识别方面的应用也越来越广泛<sup>[19]</sup>。柴春祥等<sup>[20-21]</sup>利用电子鼻技术分别的对鸡肉和猪肉进行了检测,测定了在不同实验条件下挥发性成分的变化并考察了保存温度和时间对鸡肉和猪肉挥发性成分的影响,初步实验研究表明,在不同实验条件下,鸡肉和猪肉挥发性成分均发生变化,电子鼻可检测到这些变化,因此可尝试用电子鼻技术评价鸡肉和猪肉新鲜度的变化。辛松林等<sup>[22]</sup>利用电子鼻检测黑胡椒鸭胸肉调理产品在贮藏期的品质变化,并结合感官指标、微生物指标和挥发性盐基氮指标,对检测结果进行比较分析,表明微生物指标和挥发性盐基氮指标并不能准确反映样品的品质,电子鼻对已经发生轻微气味改变的样品具有非常高的辨识度,可以作为一种快速、有效的检测手段应用于肉制品的品质鉴别和评判。

### 2.4 粮油产品

粮油作物是关系到国计民生的重要作物之一,但我国的粮油作物生产和世界上其他发展中国家一样,在努力提高产量的同时,作物的品质改良与市场和社会的需求相差较大。导致目前粮油作物品质滞后的原因有多方面<sup>[23]</sup>,其中之一是现有的品质分析或检测技术不能满足生产与加工的需求,如品质分析中的感官鉴定,人为的主观因素影响较大,难以客观评判;化学测定需要破坏大量的样本,不利于大群体筛选;测定程序过于复杂不能及时综合分析等等。

无论是感官评价技术、理化指标的检测技术还是近红外装置评价技术,对稻米品质的检测,虽然都具有一定的可靠性,但它们均未能对大米或米饭的气味如异味、香气等做出检测和评价,存在着一定缺陷,因此通过研究稻米或米饭的气味来检测评价稻米品质引起了部分研究者的兴趣<sup>[24]</sup>。胡桂仙等<sup>[25]</sup>采用商用PEN2电子鼻,采用PCA和LDA分析方法,对5个

不同水稻品种进行区分与识别研究,结果表明,10g样品时以200mL顶空空间、60min静置时间的电子鼻响应值相对较稳定;PCA和LDA法均对谷物状态和精米状态区分效果较好,对米饭状态区分欠佳,该实验能将样品进行较好的区分,验证了电子鼻检测是对稻米中所有含量较高的、可被检测到的挥发性物质的综合状态的识别,从而为利用电子鼻进行稻米气味检测技术提供了实验基础和科学依据。梁爱华等<sup>[26]</sup>采用电子鼻对3种不同方便米饭(鸡米芽菜方便米饭、榨菜肉末方便米饭、素什锦方便米饭)的新鲜样品和真空冷冻保藏样品进行了分析。通过对所获得的数据进行PCA和气味指纹对比分析,结果表明,电子鼻可应用于不同方便米饭样品的分析,能够区分不同类别的方便米饭,同时能区分真空冷冻保藏样品与新鲜品,两者之间在气味识别上存在差异。潘天红等<sup>[27]</sup>研究开发了一套用于谷物霉变识别的电子鼻系统测试装置,该装置能快速准确的判别水稻的霉变情况,神经网络的识别正确率为92.19%。张红梅等<sup>[28]</sup>采用金属氧化物传感器阵列和主成分分析法对6个霉变程度的稻谷成功地进行了检测,同时采用主成分分析法分析,结果显示去掉冗余传感器并不影响分类结果。

### 3 茶叶品质的鉴定

长期以来感官品评都是评定茶叶品质优劣的重要方法,但该方法需要有丰富的茶学知识和审评经验。除非是专业茶叶审评员、经销商或制造商,一般购茶者很难分辨茶叶质量的优劣。但培养一名茶叶审评员不仅要精心挑选,投入大量费用,而且训练周期比较长,没有相当经验的积累,难以得到可靠的结果。而且即便是专业品茶师,其感觉器官的灵敏度也易受外界因素的干扰而改变,从而影响评价结果的准确性、客观性和一致性。如人的嗅觉分辨力易受外界异杂气味的干扰;人的味觉敏感度易受其他刺激性食物及其温度的影响;人的视觉涉及到光学、视觉生理、视觉心理等诸多因素,不同的人辨色能力会存在一定的差别。审评人员感觉器官的灵敏度还受到其他因素影响,如地域性差别、性别不同、精神状态及身体状况等因素。此外,感官审评需在对照实物标准样的基础上进行,而实物标准样的制作受到各种条件的限制,难以保持连续一致。并且标准样采用前一年度或前几年度的生产性产品作原料,不可能不受天时、气候、地理条件的影响,所以事实上标准样品品质很难达到绝对的标准。

随着电子鼻技术的发展,其敏感性和选择性可达 $10^{-6}$ ~ $10^{-9}$ 值<sup>[29]</sup>,为茶叶挥发性成分整体信息的检测提供技术保障。通过电子鼻的检测,得到茶叶香气成分的响应图,由模式识别方法的分析、鉴别和判断,实现对不同种类、不同加工工艺茶叶的判别和分类<sup>[30]</sup>。史波林等<sup>[31]</sup>根据电子鼻工作原理与西湖龙井茶香气特征,探索利用电子鼻判别西湖龙井茶等级的方法。利用软独立建模分类法(SIMCA)建立不同等级西湖龙井茶判别模型,等级分类正确率高达95%以上,实现了西湖龙井茶的智能分等分级。张红梅等<sup>[32]</sup>采用

电子鼻系统对三个等级的信阳毛尖茶进行了检测,PCA分析结果显示可以将不同等级的茶叶完全区分开,而且效果比较好,并利用PCR、MLR和QPSR方法分别建立信阳毛尖茶基于气敏传感器阵列的咖啡碱预测模型,并用预测集对模型进行验证,结果表明QPSR模型效果最好,电子鼻技术可以用于信阳毛尖茶中咖啡碱含量的检测。谷凤林等<sup>[33]</sup>通过电子鼻和电子舌检测了玉兰花茶及原料绿茶、白兰花酊剂调配玉兰茶的品质,并采用PCA、DFA和统计质量控制分析法(SQC)进行了数据分析。结果表明,不同茶水冲泡出来的玉兰花茶和绿茶风味变化较大且差异明显,采用白兰花酊剂开发玉兰花茶与传统工艺加工的玉兰花茶在电子感官数据上差异较大。将电子鼻和电子舌分析结合能够有效进行玉兰花茶品质分析,利用该技术可以改进玉兰花茶加工工艺。张健等<sup>[34]</sup>采用高效液相色谱及电子鼻测定分析不同茶叶中的有效成分及香气特征,表明用电子鼻指纹图谱可以有效区分不同品种茶香气相似性和不同之处。

#### 4 香精香料的鉴定

目前,香精香料香气香味质量的评价主要依靠人工嗅觉来完成,人工评价受外界的影响比较大,不易作出客观的判断。人工对一些嗅香比较接近的香精香料,往往由于得不到仔细的品闻而难以做出正确的判定。另外,用嗅觉鉴别是一种吸入的过程,人工鉴别的时间不能太长,否则嗅觉敏感度易减退,长期工作在不良气味环境下对人体健康有很大影响。电子鼻可以检测各种不同种类的试样,不需要复杂的前处理过程,并且能避免人为误差,重复性好,还能检测评价一些人鼻不能够评价的气体。电子鼻不仅可以对不同样品的气味信息进行简单的比对分析,而且可以通过采集标样信息建立数据库,利用化学计量学的统计分析方法对未知样品进行定性和定量分析。

者为等<sup>[35]</sup>利用电子鼻对香气香味很接近并且类型未知的烟用香精香料进行检测,对获得的数据进行PCA和SQC分析,结果表明,电子鼻能够对人工难以识别的烟用香精香料进行快速、准确的识别,并且以图形的形式得到直观、易懂的分析结果,可作为烟用香精香料的品质控制的一种客观、可靠的重要手段。王蓓等<sup>[36]</sup>通过利用电子鼻对不同类型的奶酪制品、奶粉样品、商品天然奶味香精与自制天然奶味香精样品的总体香气组分进行采集得到传感器响应值,并通过PCA和SQC的两种方法对采集得到的数据进行处理。研究结果表明电子鼻技术可以方便、客观地确定自制奶味香精与其他香精样品的风味相似程度,并能够迅速地对自制奶味香精样品的香气品质进行评价,从而为电子鼻在香精香料领域内的研究与应用开辟了新的途径与方法。朱丽云等<sup>[37]</sup>为评价不同反应工艺对天然香料风味的影响,研究以香菇提取液为基料,结合其他前体物质进行Maillard反应制备新型风味调料,再通过电子鼻采集9组不同香料芳香成分,得到电子鼻的响应值,采用PCA、LDA模式识别方法进行数据分析。结果表明,在基本配方条件下,添加赖氨酸、木糖和甘油,在110℃条件下热反应120min,

可制得风味浓郁的新型风味调料,利用电子鼻能够无损检测并区分不同处理工艺的热反应香料。

#### 5 酒类风味

酒类的生产和消费在我国国民经济中占有十分重要的地位。由于酒类品种多样、成分复杂,其品质并不能通过某种成分的量化来表达,它是各种成分的综合反映。国内对于酒类的质量鉴别,除了检测卫生、理化指标外,主要是依靠训练有素、经验丰富的专家的感觉器官,即从视觉、嗅觉、味觉,依据产品的色、香、味、格进行观察、分析、描述、定级,作出综合评价,作为确定名、优质酒等级的主要依据。这种方法快速、简便,且评价具有整体性、综合性的优点。然而,传统的酒类品评方法存在着许多问题:人的感觉器官的灵敏度易受到外界因素的干扰,从而影响评定的准确性,因此感官评价存在一定的模糊性和不确定性。随着社会对无损、快速、智能检测技术的需求,为了使酒类在生产、流通过程中有一个严格、一致的评价标准,进一步体现酒类评价的公正性和准确性,采用仪器测定酒的品质,用科学计量上的品质指标来评价酒类品质是必要的手段之一。

目前,国外专家对电子鼻在酒类中的应用已有广泛深入的研究<sup>[38]</sup>,而国内尚属起步阶段。殷勇等<sup>[39]</sup>将Wilks准则引入PCA分析中,解决了酒类鉴别中主成分主轴向量的选择问题,实现了3种不同种类酒的正确鉴别,突破了纯粹的主成分分析模式,并指出了在用电子鼻鉴别多组分物品的种类时,主成分主轴的选择并非完全按照主成分贡献率的大小来确定,为相关研究提供了一些有益的参考。高永梅等<sup>[40]</sup>对3种香型(浓香、清香、酱香)白酒进行识别,结果表明,得到的PCA指纹图谱可以直观地看出3种香型酒分别分布在3个独立的区域,造成这种差别的主要因素是色谱图中的12个峰决定的第一主成分,在此实验研究中第一主成分的累积贡献率为99.436%。江涛等<sup>[41]</sup>使用Flash GC型电子鼻代替人工感官品评对绍兴黄酒进行酒龄定量研究,结果表明,建立的PLS模型对所选黄酒的酒龄预测结果平行性好,定量准确,其结果适用于大量酒样酒龄的批量判别,结果可信度高。

#### 6 结论

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,能快速提供被测样品的整体信息,在食品品质监控、质量评价和安全检测中显示出独特的优点,如:可在线全程跟踪加工工艺、检测过程对产品无损坏、快速灵敏等。各种各样的电子鼻除在食品工业中应用外,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。

但是气味指纹分析技术也有很多需要解决的问题。首先,由于传感器具有选择性和限制性,电子鼻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。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,能够提高检测精度和使用寿命,但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,其芳香成分差异性显著,要求采用多种模式识别与比较,以提高检测精度。再次,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。在一些用途上,如要进行水果与蔬菜的野外检测,还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。

随研究深入,越来越多实验方法将电子鼻与其他一些分析仪器或技术相结合:一种新研究方法将电子鼻与气相色谱仪火焰离子化检测器并联<sup>[42]</sup>成为一个耦合系统后,不仅可检测食品中复杂香气成分中各有效物质,还可得出各有效物质对电子鼻所测得总体香气所作出贡献大小。将UV-Vis、FTIR、NMR、SEC、LC-MS/MS和电子鼻等联用<sup>[43]</sup>,使各种检测结果因互相补充而得以完善,将有利于深入研究产品质量和质量控制。在电子鼻分析技术优势基础上,联合利用其他分析技术可取得更加详尽分析结果,这种耦合技术将会成为一种新的研究趋势。随着现代科学技术和科学理念的不断发展,气味指纹分析技术作为一个新兴技术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] Miguel Peris, Laura Escuder-Gilabert. A 21st century technique for food control: Electronic noses[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2009, 638(1): 1-15.

[2] Pilar M M, Ricard B, Olga B, et al. Electronic noses in the quality control of alcoholic beverage[J]. *Trends in Analytical Chemistry*, 2005, 24: 57-66.

[3] Emmanuelle Schaller, Jacques O. Bosset and Felix Escher 'Electronic Noses' and their application to food[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 1998, 31(4): 305-316.

[4] Luisa Torri, Nicoletta Sinelli, Sara Limbo. Shelf life evaluation of fresh-cut pineapple by using an electronic nose[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2010, 56: 239-245.

[5] Peng Liu, Kang Tu. Prediction of TVB-N content in eggs based on electronic nose[J]. *Food Control*, 2012, 23: 177-183.

[6] 江津津, 彭述辉, 陈丽花. 气味指纹技术在食品品质鉴别中的应用进展[J]. *食品研究与开发*, 2011, 32(8): 178-181.

[7] 杜锋, 雷鸣. 电子鼻及其在食品工业中的应用[J]. *食品科学*, 2003, 24(5): 161-163.

[8] Hui Guohua, Wu Yuling, Ye Dandan, et al. Study of peach freshness predictive method based on electronic nose[J]. *Food Control*, 2012, 28: 25-32.

[9] 江琳琳, 潘磊庆, 屠康, 等. 基于电子鼻对水蜜桃货架期评价的研究[J]. *食品科学*, 2010, 31(12): 229-232.

[10] 张鑫, 齐玉洁, 杨夏, 等. 利用电子鼻技术评价桃果实成熟度的研究[J]. *华南农业大学学报*, 2012, 33(1): 23-27.

[11] 张晓华, 张东星, 刘远方, 等. 电子鼻对苹果货架期质量的评价[J]. *食品与发酵工业*, 2007, 33(6): 20-23.

[12] 周亦斌, 王俊. 基于电子鼻的番茄成熟度及贮藏时间评价的研究[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(4): 113-117.

[13] S Limbo, N Sinelli, L Torri, 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.

[14] 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(6): 63-65.

[15] 韩丽, 赵勇, 朱丽敏, 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, 29(11): 240-243.

[16] 佟懿, 谢晶, 肖红, 等. 鲑鱼货架期预测模型的电子鼻评价与研究[J]. *水产学报*, 2010, 34(3): 367-374.

[17] 刘辉, 牛智有. 电子鼻技术在鱼粉酸价检测中的应用[J]. *农机化研究*, 2011(1): 195-198.

[18] 赵梦醒, 曹荣, 殷邦忠, 等. 电子鼻在对虾新鲜度评价中的应用[J]. *渔业科学进展*, 2011, 32(6): 57-62.

[19] 黄丽娟, 韩剑众. 生肉新鲜度评定方法研究进展[J]. *肉类研究*, 2007(6): 37-39.

[20] 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.

[21] 柴春祥, 施婉君, 蔡悦, 等. 电子鼻检测鸡肉新鲜度的研究[J]. *食品科学*, 2009, 30(2): 170-173.

[22] 辛松林, 李诚, 肖岚, 等. 基于电子鼻的黑胡椒鸭胸肉调理产品品质评价[J]. *食品科学*, 2012, 33(8): 191-194.

[23] 胡桂仙, 王建军, 王小骊, 等. 粮油品质检测评价新技术的研究进展及展望[J]. *中国粮油学报*, 2011, 26(3): 110-118.

[24] 胡桂仙, 王建军, 王小骊, 等. 稻米食味品质检测评价技术的研究现状及展望[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(19): 62-65.

[25] 胡桂仙, 王俊, 王建军, 等. 基于电子鼻技术的稻米气味检测与品种识别[J]. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2011, 37(6): 670-676.

[26] 梁爱华, 贾洪锋, 秦文, 等. 电子鼻在方便米饭气味识别中的应用[J]. *中国粮油学报*, 2010, 25(11): 110-113.

[27] 潘天红, 陈山, 赵德安. 仪表技术与传感器[J]. 电子鼻技术在谷物霉变识别中的应用, 2005(3): 51-52.

[28] 张红梅, 王俊, 叶盛. 电子鼻传感器阵列优化与谷物霉变程度的检测[J]. *传感技术学报*, 2007, 20(6): 1207-1210.

[29] 史波林, 赵镭, 汪厚银, 等. 智能感官分析技术在茶叶品质检测中的应用[J]. *食品科学*, 2009, 30(19): 351-355.

[30] Ziyin Yang, Fang Dong, Kazuo Shimizu, et al. Identification of coumarin-enriched Japanese green teas and their particular flavor using electronic nose[J]. *Journal of Food Engineering*, 2009, 92: 312-316.

[31] 史波林, 赵镭, 支瑞聪, 等. 应用电子鼻判别西湖龙井茶香气品质[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(增刊2): 302-306.

[32] 张红梅, 王俊, 余泳昌, 等. 基于电子鼻技术的信阳毛尖茶咖啡碱检测方法[J]. *传感技术学报*, 2011, 24(8): 1223-1227.

[33] 谷凤林, 房一明, 胡荣锁, 等. 电子感官在玉兰花茶品质分析中的应用[J]. *中国食品学报*, 2012, 12(3): 167-175.

[34] 张健, 章苏宁, 田怀香, 等. 不同品种茶叶有效成分及香气特征的比较分析[J]. *食品工业*, 2011(4): 90-93.

[35] 者为, 王明锋, 朱保昆, 等. 电子鼻在烟用香精香料检测中的应用[J]. *食品工业*, 2010(1): 93-95.

[36] 王蓓, 曹雁平, 郑福平, 等. 气味指纹识别技术在乳品香精

品质评价中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2012(1):191-196.

[37] 朱丽云, 张拥军, 何杰民, 等. 不同工艺热反应风味香料的电子鼻检测[J]. 中国食品学报, 2012, 12(2):207-212.

[38] M Ghasemi-Varnamkhasti, S S Mohtasebi, M L Rodriguez-Mendez, et al. Potential application of electronic nose technology in brewery[J]. Trends in Food Science & Technology, 2011, 22: 165-174.

[39] 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, 28(5):849-852.

[40] 高永梅, 刘远方, 李艳霞, 等. 主要香型白酒的电子鼻指纹

图谱[J]. 酿酒科技, 2008(5):38-44.

[41] 江涛, 李博斌, 郑云峰, 等. 电子鼻对绍兴黄酒酒龄的判别研究[J]. 酿酒科技, 2012(1):39-46.

[42] Diego L, García-González, Ramón Aparicio. Coupling MOS sensors and gas chromatography to interpret the sensor responses to complex food aroma: Application to virgin olive oil[J]. Food Chemistry, 2010, 120(2):572-579.

[43] Luca Laghi, Giuseppina P, Parpinello, et al. Fingerprint of enological tannins by multiple techniques approach[J]. Food Chemistry, 2010, 121(3):783-788.

(上接第341页)

表3 膨化次数对米糠成分含量影响

Table 3 The effect of expanded frequency to the rice bran content

次数	水分(g)	粗纤维(g)	粗脂肪(g)	粗蛋白(g)	可溶性膳食纤维(g)	谷维素(mg/g)	酸价(mg KOH/g油)
杂交稻一次	10.70	6.67	17.46	14.00	3.03	2.65	6.30
杂交稻二次	9.90	6.58	17.79	13.60	3.10	2.46	6.29
优质稻一次	14.10	6.92	13.83	15.90	2.43	2.32	6.21
优质稻二次	12.32	6.74	14.58	14.70	2.46	2.27	6.18

粗纤维、粗蛋白含量逐渐减少, 而粗脂肪、可溶性膳食纤维、谷维素的含量逐渐升高。这可能是由于膨化温度升高, 加快了水分蒸发和粗纤维、蛋白质的降解, 同时高温促进了脂肪和谷维素的溶出和可溶性膳食纤维的形成。因此, 为了使米糠经膨化后各主要成分达到一个相对理想的范围, 最终选择膨化温度为190℃。

如表2所示, 膨化前加入碳酸氢钠和水分对膨化后各成分含量有明显影响。物料中加了碳酸氢钠后, 促进米糠多孔颗粒形成, 提高了米糠的膨化度, 与未添加碳酸氢钠的膨化米糠比较, 各组成成分含量均有了一定的提高; 物料中加了碳酸氢钠和水分后, 与未添加时比较, 只有水分含量明显的提高, 粗纤维和粗脂肪有一定的提高, 而粗蛋白、可溶性膳食纤维、谷维素含量减少, 整体效果不如只加碳酸氢钠的好。原因可能是水分增加了米糠的粘度, 不利于多孔颗粒的形成, 降低了粗纤维和粗脂肪的降解, 减少了粗脂肪、可溶性膳食纤维和谷维素的溶出。

#### 2.4 膨化次数对米糠成分含量影响分析

由表3可知, 杂交稻和优质稻在温度为180℃下, 经过二次膨化后, 除了粗脂肪和可溶性膳食纤维的含量有少许的升高以外, 水分、粗纤维、粗蛋白、谷维素的含量都出现降低。谷维素是一种具有良好生理活性的一类物质, 在米糠中含量较高。二次膨化可能破坏了其结构, 导致膨化米糠中含量减少。因此, 综合米糠中关键营养素含量的变化和从节约能源的角度, 膨化一次就可以达到较好的效果。膨化一次和二次对酸价的变化没有明显影响, 这与郭景峰等在利用膨化技术对米糠保鲜处理中的研究结论一致<sup>[10]</sup>。

### 3 结论

对比不同原料膨化前后的主要成分变化, 杂交稻中的粗纤维、粗脂肪、谷维素含量比优质稻较高。膨化后, 两种水稻的粗脂肪、可溶性膳食纤维和谷维素升高, 且主要成分含量差异不大。因此, 两种水稻膨化

后, 都可以作为米糠产品再加工的良好原料。从膨化后感官指标来看, 温度为190℃时, 米糠原料的颜色、膨化度和香味达较理想。从膨化条件来看, 米糠随着膨化温度的升高, 水分、粗纤维、粗蛋白含量减少, 但是粗脂肪、可溶性膳食纤维、谷维素有了一定的提高。物料中加了碳酸氢钠后, 提高了米糠的膨化度, 并且使米糠同相同温度下比较, 各组成成分含量均有了一定的提高; 物料中加水分后, 水分含量有了明显的提高, 但粗蛋白、可溶性膳食纤维、谷维素含量下降, 效果不理想。膨化次数过多, 促使谷维素含量降低, 不利于功能性米糠产品的开发, 膨化一次较好。结果表明, 膨化对于米糠稳定性有明显改善, 酸价稳定性表现良好。

### 参考文献

- [1] 朱文华, 姚惠源, 谈新刚. 米糠的不稳定机理与稳定化的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2001(10):174-175.
- [2] Daniel Martin. Optimizing rice bran stabilization by extrusion cooking[J]. Louisiana Agriculture, 1993, 36(3):13-14.
- [3] R Usuki, T Kaneda. Bitter taste of oxidized fatty acids[J]. Agr Biol Chem, 1980, 44:2477-2481.
- [4] 耿然, 周红玉, 侯彩云. 米糠稳定化方法的实验研究[J]. 食品科技, 2006(2):120-122.
- [5] 赵旭, 李新华, 郑煜焱. 米糠稳定化方法的研究现状[J]. 粮食加工, 2006, 31(6):41-43.
- [6] 胡小中. 米糠稳定化技术研究进展[J]. 粮油食品科技, 2002, 10(4):24-26.
- [7] 范国欣, 孙晓薇, 番希荣. 米糠油中谷维素含量的测定方法[J]. 粮油食品科技, 2010, 18(1):20-21.
- [8] 王大为, 马永芹, 张传智, 等. 挤出处理对米糠稳定性的影响[J]. 食品科学, 2012, 22(3):133-138.
- [9] 崔富贵, 李安平, 谢碧霞, 等. 不同处理方法对米糠品质稳定性的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(5):141-144.
- [10] 郭景峰, 孙跃飞, 宇晓旻, 等. 利用膨化技术对米糠保鲜处理[J]. 饲料工业, 2005, 26(9):45-46.