

电子感官评价系统在肉品质量分析中的应用研究进展

范蓓蕾, 钱建平, 刘寿春, 杨信廷*, 王 慧

(国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097)

摘 要: 肉品质量是关系国计民生的大事。感官评价是肉品质量评价的重要方面。作为对人体感官功能的模拟, 电子感官技术在对肉品质量评价方面具有很好的应用价值。目前国内外专家利用电子鼻、电子舌、电子眼等电子感官评价系统在肉品品质评定、肉品品种识别、肉品新鲜度评价、肉品微生物分析以及货架期预测等方面进行了相关的研究。研究表明, 基于肉品腐败变质原理及其感官指标的变化, 利用电子感官评价系统在对肉品品质评定、新鲜度评价、微生物分析与预测等方面都具有良好的效果。虽然, 电子感官评价系统依然存在着多种问题, 但随着传感器等技术的发展, 电子感官系统将向着在线化、小型化、专业化、多种传感器融合、多种检测技术联用等方向发展, 其在肉品质量检测和分析方面将具有更加广阔的应用前景。

关键词: 电子鼻; 电子舌; 电子眼; 感官评价; 肉品质量

Research progress on application of electronic sensory evaluation system for meat quality

FAN Bei-Lei, QIAN Jian-Ping, LIU Shou-Chun, YANG Xin-Ting*, WANG Hui

(National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China)

ABSTRACT: The safety of meat quality is an important issue, and the sensory evaluation is one of the methods for quality assurance. Simulating human's sense organs makes the electronic sensory analysis technology become a useful way to evaluate food quality. Researchers at home and abroad studied the applications of various electronic sensory system such as electronic nose, electronic tongue and electronic eyes. They applied the systems to meat quality evaluation, meat type identification, meat freshness evaluation, meat microorganism analysis and shelf life forecast. All the applications showed that electronic sensory system provided a good way for meat quality detection and analysis. Although there were also many problems existed for the application of electronic sensory system, with the development of information technologies such as sensors and WSN, it will become online, smart, professional and become more and more popular in the use of meat quality detection and analysis.

KEY WORDS: electronic nose; electronic tongue; electronic eyes; sensory evaluation; meat quality

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAD19B04)

Fund: Supported by the National Key Technology R&D Program of China (2008BADA8B03)

*通讯作者: 杨信廷, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全溯源及农业信息化关键技术。E-mail: yangxt@nercita.org.cn

*Corresponding author: YANG Xin-Ting, Ph.D., Researcher, National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China. E-mail: yangxt@nercita.org.cn

1 引言

猪、牛、羊等肉类食品营养丰富, 富含多种氨基酸、蛋白质、矿物质与微生物等营养物质, 肉类食品在加工和烹饪后味道鲜美、风味独特、营养吸收率高, 深受人们的喜爱。但是由于肉类食品自身和外界环境如微生物等的作用, 其在屠宰、加工、贮存和运输过程中极易发生腐败变质或遭受污染, 不仅会影响肉品的食用品质, 严重的将会危害人们的身体健康^[1-2]。

对肉品质量进行分析与检测是保障消费者食用安全和食用品质的重要措施。随着信息技术、传感器技术、图像识别技术等新技术和新设备的发展, 肉品检测与分析方法逐步向快速、安全、实时、准确等方面发展。肉类检测中关键检测指标包括色泽、弹性、气味、嫩度等感官指标以及挥发性盐基氮含量、肉浸液 pH 值、细菌总数等理化指标和微生物指标。众多学者对不同指标与肉类品质变化之间的关系进行了深入研究, 传统的肉品质量检测方法包括微生物检测、挥发性盐基氮检测、pH 值检测、H₂S 检测、挥发性脂肪酸检测等。随着技术发展以及肉品快速检测需求的提高, 超声波、光谱、X-ray、核磁共振、电子感官评价等技术被引入到肉品质量检测中, 成为新型快速检测方法。在以上各种检测方法中, 电子感官评价技术作为一种模拟人类感官功能的新技术, 是一种引入了传感器技术、计算机技术和统计学技术的新型的感官评定方法^[3]。而食品感官评定方法是食品质量评价与分析中最具有直观性、不可或缺的一种方法。电子感官评价系统以其便捷、快速、绿色环保等优点, 在肉品质量分析与检测方面发挥出越来越大的作用。

电子感官评价系统根据其采用的传感器类型不同, 可分为单一类型和混合类型两种形式。单一类型的电子感官评价系统根据其采用的传感器所模拟的感官功能的不同, 可分为电子鼻、电子舌、电子眼等, 而混合类型的电子感官评价系统则采用多种传感器同时模拟不同感官功能, 是电子鼻、电子舌、电子眼等的组合系统。电子感官评价系统从 20 世纪 80 年代发展至今, 已在食品行业中取得了研究成果, 其在肉品质量检测和分析方面也具有广泛的用途, 国内外学者在肉品品种辨识、肉品品质评定、肉品品种识别、肉品新鲜度评价、肉品微生物分析以及货架期预测等方面都开展了大量研究, 并取得了一定的研究成果。

2 电子感官评价系统在肉品质量分析与检测上的应用现状

2.1 肉品品质评定

对肉品品质的判定是电子感官评价系统应用的一个

重要方向。对于牛肉等高端肉类, 在屠宰后就要根据其感官等属性对其评分并划分等级, 以判定牛肉的质量以及销售价格。对肉品品质的评定不论是对生产商还是经销商而言, 都是重要的环节, 国内外学者利用电子鼻、电子舌和电子眼技术, 在牛肉、鱼肉、鸡肉等方面都有了相关的研究成果。

对于牛肉而言, 其颜色等级是判别牛肉品质的一个重要指标。通常都在屠宰后由分级员根据牛肉等级标准比色卡进行人工判定, 主观性强, 不利于牛肉的自动化生产和加工。采用视觉技术实现牛肉自动分级是近年来牛肉质量检测方面的一个研究热点, 机器视觉技术能够快速获取对象信息, 并根据图像特征建立与质量变化的相关性。陈坤杰等^[4]设计了一个以牛肉的颜色特征参数(RGB 和 HIS)为输入, 牛肉的颜色等级为输出的 BP 神经网络模型, 通过训练确定模型的参数后, 对模型进行验证, 结果表明该模型对牛肉颜色等级的判别正确率达到 95%以上。周彤等^[5]利用计算机视觉和图像处理技术建立牛肉大理石花纹自动评估和分级的方法, 该方法能计算并反映大理石花纹的 10 个特征参数, 基于特征参数构建的主成分回归模型, 对牛肉大理石花纹等级的判别相关系数达到 0.88, 其中的图像采集系统由便携式图像采集装置 CCD 工业相机、计算机和分级软件组成。Sun 等^[6]通过采集牛肉的颜色图像, 利用 KL 小波变化算法对颜色和纹理进行特征提取和分析, 并分别基于逐步多元回归方法和支持向量机两种方法构建牛肉嫩度判别模型, 结果表明根据颜色对嫩度进行判定的模型运行效果良好, 其中基于逐步多元回归构建的模型准确率达到 94.9%, 而基于支持向量机的模型准确率为 100%。Ranasinghesagaraa 等^[7]建立了二维光反射系数和牛肉肌肉嫩度之间的相关关系, 利用二维光反射系统来评估牛肉的嫩度。

品质质量评定除了利用视觉感官外, 还可利用嗅觉、味觉等感官对肉品风味进行分析而判定。

电子舌利用其中的味觉传感器的材料不同, 对不同物质的味觉产生响应, 从而进行味觉感官分析^[8]。韩剑众等^[9]利用多频脉冲电子舌系统, 对不同品种、不同储藏时间下的淡水鱼和海水鱼的品质变化进行检测, 发现利用主成分分析法对响应参数的处理, 可以通过脉冲电子舌的高分辨充电电流与氧化还原电流反映鱼肉贮藏过程中的组分变化, 并提出在建立相应数据库的前提下可完全区分鱼肉产品因品种、时间、环境温度等因素不同所引起的鱼肉品质的变化, 另外韩剑众等^[10]还采用多频大幅脉冲电子舌系统对猪肉和鸡肉样品进行不同存储时间下不同部位肉品的品质检测, 结果表明电子舌可以实现对不同品种、不同部位、不同储藏时间下肉品质量的检测。王霞等^[11]采用上海昂申智能科技有限公司的多频脉冲电子舌系统对不同生长日龄、不同品种的鸡肉的生鲜肉及其熟制品进行响应差异

分析,结果表明电子舌可快速区分鸡肉的原料品质。Labrador 等^[12]分别利用基于脉冲伏安法和电化学阻抗的味觉传感器阵列组成的电子舌系统,对肉馅中的氯化钠、硝酸钠和硝酸钾等影响肉馅质量的含量进行预测,采用交叉验证和偏最小二乘法组成的多变量分析方法建立数据管理和预测模型,结果表明两种电子舌系统对氯化钠含量的预测具有良好的准确性和精度,但是对其他两种成分的预测结果精度不高,解决该问题的方法可以是将传感器进行优化组合,从而使响应数据对其他两种成分也具有更好的预测效果。

电子鼻则利用不同类型的嗅觉传感器阵列,通过对各种芳香成分、甲烷、硫化物、乙醇、氨气等味道的响应和分析,从而实现对肉类质量的判定。任东旭等^[13]采用德国 Airsense 公司的 PEN3 电子鼻系统,选取了十个不同类型的金属氧化物传感器对鸡汤风味进行采样,并利用主成分分析法对传感器多指标信息进行转换、降维和分析,发现利用电子鼻系统能很好地区分不同熬制时间、调味前后、杀菌前后的鸡汤,能对鸡汤品质进行识别。姚璐等^[14]采用德国 Airsense 公司的 PEN2 便携式电子鼻系统,对中国地方特产金华火腿进行质量评定,利用其不同品质香气的不同,利用主成分分析、线性判别式分析和偏最小二乘法分析对传感器响应数据进行处理,得到训练集和验证集的总识别率分别达到 95%和 88.33%,结果表明利用电子鼻能够快速、准确地实现对金华火腿的品质分级。Vestergaard 等^[15]利用电子鼻对比萨上的猪肉产品进行感官评价,并基于电子鼻数据构建了样品感官质量变化预测模型,能很好地预测猪肉气味和颜色上的感官质量变化。

2.2 肉类品种识别

牛肉、猪肉、羊肉、鸡肉等各种不同品种的肉类,在感官及理化指标等方面呈现出不同的差异。基于各种感官指标的差异,利用电子鼻、电子舌、电子眼等技术对不同肉类进行分析,可以快速判断出肉品的种类以及是否掺入其他肉类。

电子鼻通过对不同肉类品种散发的挥发性气味的传感器响应,可建立相应的气味指纹图谱,并据此判别肉类品种。贾洪锋等^[16]利用法国 Alpha MOS 公司 FOX 4000 电子鼻对牦牛肉、牛肉和猪肉样品进行分析,对获得的数据采用主成分分析、判别因子分析和偏最小二乘回归分析,发现根据几种肉类在电子鼻系统上不同的特征响应图谱,不仅可以区分出猪肉和牛肉,而且能识别出不同部位的牛肉,但是不能识别出不同部位的猪肉。李芳等^[17]利用电子鼻对不同加热温度下的禽肉样品进行挥发性物质的响应分析,采集并制作了不同加热温度下鸡肉、鸭肉以及鹅肉的“气味指纹数据”,通过模式识别算法能够鉴别出不同种类的禽肉,为禽肉种类的鉴别提供了一种高效、便捷的途径。García 等^[18]采用基于半导体薄膜的电子鼻对不同肉类制作

的火腿进行了挥发性化合物的响应数据分析,分别采用主成分分析和概率神经网络进行识别,结果发现该方法能准确识别出猪肉、牛肉、羊肉等不同种类的火腿。

电子舌则通过对肉类进行感官品尝,识别出味觉感官特征,从而实现对不同肉类的判别。电子舌的应用,可以实现对生鲜肉类风味风味的直接判断,而不需顾虑食用生肉是否卫生等问题。田晓静等^[19,20]分别进行了利用电子舌和电子鼻对掺假羊肉进行判别和定量预测的实验,在对羊肉中掺入鸡肉的样品进行分析的实验中采用法国 Alpha Mos 的 Astree 电子舌对掺假羊肉糜浸液进行味觉分析,发现能够很好地区分出掺入鸡肉的羊肉,并且通过多元线性回归分析和偏最小二乘回归分析可以建立不同肉比例的定量预测模型;在羊肉中掺入猪肉的样品分析实验中采用了德国 Airsense 的 PEN2 的电子鼻,通过对金属氧化物传感器阵列采集的数据进行特征提取和分析,发现逐步判别分析方法能够很好地实现肉品掺假判断,而 BP 神经网络则能够准确地预测出掺假肉的含量。

吴浩等^[21]分别利用电子鼻和电子舌对五种鱼糜进行了挥发性成分和水溶性成分的检测分析,其中包括淡水鱼糜(草鱼糜、鲢鱼糜、鳙鱼糜)和海水鱼糜(带鱼糜、鳕鱼糜),电子鼻采用 FOX α4000,电子舌采用 Astree,结果发现电子鼻、电子舌和人工感官评价均能有效区分淡水鱼糜和海水鱼糜,同时能区分不同品种的海水鱼糜,但不能区分出不同品种的淡水鱼糜。由此可见,利用电子感官评价系统对肉品种类进行区分并不是万能的,而必须在肉品的挥发性气味、口感等本身存在差异的前提条件下才能实现。

2.3 肉品新鲜度评价

肉类的新鲜度是其品质的一个重要评定指标。肉品随着贮藏时间的延长其新鲜度逐渐下降,其挥发性成分将发生明显变化,气味也会发生显著变化,其中影响新鲜度的关键性指标包括挥发性盐基氮(TVB-N)、细菌总数(TVC)、亚硝酸盐残留量(RN)、三甲胺(TMA)等。为此,通过电子鼻对挥发气体的采样分析识别,可以得到肉品的新鲜度变化情况。早在 1995 年,国外学者已开始研究利用电子鼻对肉品贮藏时间长短进行质量分级的方法, Bourrounet 等^[22]将牛肉根据不同贮藏时间长度划分出不同质量等级,利用电子鼻对不同贮藏期的牛肉挥发性成分进行判定,根据自组织映射网络对样品进行等级评定,判定结果与贮藏时间划分的等级一致。其后,众多学者利用肉品挥发性成分随着时间而变化的特性,对牛肉、猪肉、鱼肉等各种肉类的新鲜度进行了检测和分析,随着传感器的不断更新换代以及模式识别算法的改进,识别能力和准确率也逐步升高。Limbo 等^[23]基于 PEN2 电子鼻,通过主成分分析法对高氧气调包装下不同温度存储(4.3 °C、8.1 °C和 15.5 °C)的碎牛肉进行新鲜度等级检测,并将结果与传统检测方法的微生物数量、颜色评价、硫化氢含量、顶空气体成分等测定结

果进行比较, 构建了牛肉保质期衰变动力学模型, 结果表明电子鼻能实现对牛肉新鲜程度的判定, 且两者检测的结果基本一致。Barbri 等^[24]利用电子鼻系统对存储于 4 °C 沙丁鱼的新鲜度进行实时测量, 并采用主成分分析对传感器阵列的响应进行处理, 将沙丁鱼样本划分三个新鲜等级, 通过支持向量机能够百分百识别沙丁鱼的新鲜度等级。国内学者采用电子鼻在猪肉、牛肉的新鲜度检测上进行了相关的应用研究^[25]。滕炯华^[26]等利用基于样条回归分析模型的电子鼻系统, 成功实现了对牛肉新鲜程度的检测。王彦闯^[27]采用改进的基于 L-M 学习规则和动量法的 BP 神经网络算法建立的猪肉新鲜度智能辨识方法, 可以达到快速、准确、实时监测猪肉新鲜度的目的。洪雪珍等^[28,29]采用德国 Airsense 公司的 PEN2 型便携式电子鼻, 利用十个对不同化合物具有不同灵敏度响应的金属氧化物传感器组成的阵列, 分析牛肉不同存储时间下的质量变化, 结果表明该系统对小于 5 d 贮藏时间的样品品质较难区分, 而大于 5 d 的能够进行区分。

肉品新鲜度的识别指标除了挥发性气体外, 还包括肉品新鲜度变化引起的脂肪或肌肉的颜色或纹理等特征信息, 而后可通过机器视觉等方式进行识别, 进而实现对肉品新鲜度的判别。孙永海等^[30]利用机器视觉技术对牛肉脂肪组织的颜色进行了分析, 分别采用 HSI, RGB 和 CMYK 三种模型进行评价冷却牛肉的新鲜度, 准确率在 75% 以上。郭培源等^[31]通过分析猪肉新鲜度变化中脂肪组织灰度值的变化与 TVB-N 含量变化之间的关系, 实现了利用直方图变换图像处理技术对猪肉新鲜度的检测。Huang 等^[32]利用不同图像传感器采集中国地方特色镇江肴肉的颜色数值, 并通过遗传偏最小二乘法(GA-PLS)建立比色传感器阵列芯片与肴肉新鲜度的三个主要指标 TVB-N、TVC 和 RN 的含量的关系, 从而实现对肴肉的新鲜度评价, 这种方法检测速度快, 是一种无损、实时的高效率检测方法, 还可用于其他腌制肉类的检测。Yolanda 等^[33]采用一种新型的光电传感器制造的电子鼻以及比色传感器对气调保鲜包装的西班牙猪肉火腿肠进行新鲜度评价, 结合支持不同酸碱度的无机材料的 pH 指示剂以及选择性显色试剂, 结果表明该电子鼻系统可识别气调保鲜包装中的新鲜火腿肠的腐败情况, 并且通过向比色传感器传递信息, 构建颜色新鲜度指纹, 来快速实现新鲜度评价, 这种方法可方便地与智能手机等进行连接, 达到实时检测食品新鲜度的目的。

随着新鲜度的变化, 肉品口感也会产生变化, 而利用味觉传感器的电子舌能够对其变化进行响应, 从而对新鲜度进行判定。易宇文等^[34]采用 Astree 电子舌进行了鲢鱼新鲜度的评价分析, 对数据信号采用主成分分析和判别因子分析, 结果发现, 采用电子舌能够快速、准确地识别不同储藏期的鲢鱼样品。Gil 等^[35]利用电子舌中的味觉传感器阵列对冷藏猪肉样品的响应信号进行采集, 结果发现主成分

分析和神经网络方法均能对不同新鲜度的样品进行区分, 而偏最小二乘法分析发现电子舌响应信号与样品的 pH 值等具有较好相关性。

2.4 肉品微生物分析

肉类食品营养丰富, 因此其生产、加工等环节易受到微生物的污染而发生腐败变质, 对肉品进行微生物检测与分析, 是确保肉品质量和卫生的重要工作。肉品受到微生物污染后, 其感官指标会发生相应的变化, 通过建立微生物生长情况与感官指标之间的变化关系, 可实现对微生物生长情况的预测分析。

Balasubramanian 等^[36,37]采用 MOS 传感器构成嗅觉传感器阵列的电子鼻系统, 研究牛肉顶空气体嗅觉相应信息与沙门氏菌菌落数量之间的相关性, 并利用独立成分分析方法提高主成分分析对重要信息的提取, 构建了基于独立成分和主成分提取的阶梯式线形回归预测模型, 其预测准确度达到 82.99%, 在此基础上利用同样的电子鼻系统, 开发径向基函数神经网络分类模型, 根据顶空气体嗅觉响应沙门氏菌菌落数量进行预测, 发现在 4 °C 和 10 °C 下其精确度可提高到 90%。Barbri 等^[38]分别利用电子鼻和微生物检测分析了 4 °C 下牛肉和羊肉的质量变化规律, 采用主成分分析和支持向量机对样品检测数据进行了分析, 并建立了电子鼻输出的响应值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。胡惠平等^[39]利用电子鼻系统对从猪肉中分离出的假单胞菌进行检测, 结果显示电子鼻能明显区分出分离出的假单胞菌。王丹凤等^[40]用电子鼻分析了 4 °C 和 20 °C 存储的猪肉中细菌总数变化规律, 系统通过主成分分析可实现对猪肉不同存储天数的识别, 通过偏最小二乘法可建立电子鼻响应信号与细菌总数之间的拟合关系, 结果发现 4 °C 下的相关系数为 0.9003, 而 20 °C 下为 0.9940, 预测细菌总数的效果良好。由于肉品的挥发性气味与肉品微生物生长有关, 因此, 通过分析电子鼻对气味的响应数据达到检测肉品微生物含量的方法是可行的。Khot 等^[41]利用嗅觉传感器对包装牛肉的顶空气体进行采集分析, 实现了对沙门氏菌污染牛肉的分类识别, 为了解决常规神经网络方法需要大训练样本的问题, 采用了多元正态技术合成样本用于小规模数据集的分类, 利用小波变化和径向基网络进行特征提取及分类, 优化后的径向基网络模型的平均检测精度能达到 90.33%±7.68%。Olga 等^[42]采用一种便携式石英微平衡的电子鼻对包装牛柳的顶空空气进行采样分析, 通过支持向量机对电子鼻响应数据建立分类和回归模型, 结果发现能预测假单胞菌、乳酸菌和肠杆菌的动态变化, 预测精度从 89.3%到 92.8%不等。电子鼻对微生物的生长预测与采用的模式识别方法有关, 不同的方法会影响其预测结果。

赵广英等^[43]等采用基于多频大幅脉冲传感器的新型电子舌系统, 以 1、10 Hz 和 100 Hz 为三个脉冲频率段为

激发电位,利用传感器阵列对肉汤溶液进行测试,能实时监测金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌和大肠杆菌三种致病菌的长势,分析结果良好。Maria 等^[44]利用基于脉冲伏安法的电子舌系统对冷藏的新鲜鳕鱼进行质量分析,同时进行 TVB-N、嗜常温菌和肠杆菌等理化和微生物指标进行测量,结果发现电子舌的响应数据和理化及微生物指标具有良好的相关性,电子舌的响应数据可以用于预测 TVB-N 和嗜常温菌这两个鱼肉腐败的主要指标。利用电子舌进行微生物生长情况分析是一种快速有效的,具有广泛研究前景的方法。

2.5 肉品货架期预测

货架期预测可用于监控样品在相同或不同贮藏条件下的品质变化,从而寻找出样品的最佳保质期,通过建立定量曲线对未知样品的存放期进行预测^[45]。微生物危害是导致肉品腐败变质的最主要因素,肉品受到微生物污染后,其次级代谢产物会产生特定的挥发性气味物质。因此,直接利用挥发性气体响应,或间接利用微生物变化,都能实现对肉品质量变化规律的掌握。目前较常用的预测模型通常利用肉品中微生物的生长和死亡的规律,采用 Logistic 模型和 Gompertz 方程等构建微生物生长动力学模型,利用微生物菌落总数与货架期之间的关系,构建预测货架期质量的微生物预测模型^[46,47]。但是微生物预测方法需要先进行菌落的测定,操作较为复杂。而电子感官评价系统通过其简便、快捷、样品量少等优点,近几年在肉品货架期预测中开展了多项研究。

Rajamaki 等^[48]用金属氧化物半导体传感器阵列组成的电子鼻系统,采用主成分分析、局部最小方差和人工神经网络方法对鸡肉的品质进行分析评价,并将其实验结果与传统的感官评价、微生物检测以及顶空气相色谱的结果相比较,发现采用电子鼻检测能够发现鸡肉腐败变质的信号,对鸡肉品质进行预测。肖虹等^[49]利用 Alpha Mos 公司的 FOX4000 电子鼻系统,结合挥发性盐基氮理化指标的测定,对不同存储温度下的猪肉的气味变化进行分析,利用主成分分析法与货架期分析方法,并结合 Arrhenius 动力学模型,构建了猪肉货架期预测模型,能较好地预测冷却肉在不同温度段的货架期寿命。

Jackman 等^[50]利用牛肉图像的颜色、大理石花纹和小波变换纹理进行分析,发现这些特征能够很好地预测牛肉的食用品质变化,如牛肉嫩度等的变化,但是基于小波变换纹理的结果稳定性不够,需要在数据分析方法上进一步改进。

3 存在的问题

国内外学者利用电子感官评价系统在肉类食品的品质评定、品种识别、新鲜度评价、微生物分析以及货架期

预测等方面开展了大量的研究和试验,结果证明利用各种类型的传感器对肉品感官指标的响应,能够建立对肉品质量的各种分析模型。但目前电子感官评价系统在肉类食品质量检测中依然存在一些问题,影响了其普及和应用。

3.1 电子感官评价系统商品化产品少

电子感官评价系统的响应分析结果与其选用的传感器材料、类型等密切相关,目前市场上现有的商品化感官评价系统种类较少,主要有德国 Airsense 公司的电子鼻等系列产品、法国 Alpha MOS 公司的电子鼻和电子舌等,而其他大部分研究采用自制的尚未推广的电子感官系统,其研究热点尚停留在选择合适的味觉传感器、嗅觉传感器上。电子感官评价系统由于其电子化、智能化等优点,在在线监测、便携式应用方面都具有良好的前景,但是目前尚缺乏相应的物美价廉的商品化产品,从而影响了其在实际生产中的应用。

3.2 电子感官评价系统缺乏相关的应用标准

电子感官评价系统的应用效果同时与所选用的数据分析方法有关,选用何种模式识别方法、如何设置参数,对结果的分析将会产生很大影响。而目前在这一方面并没有相关的标准可供指导,大部分还停留在试验阶段,采用的模式识别方法各有不同,各种结果之间可比较性差,不利于电子感官评价系统的普及应用。

3.3 缺乏统一的食物感官指标图谱

电子感官评价系统对包括肉品在内的各种食品的质量分析,依赖于传感器获取味觉、嗅觉、视觉等方面的感官指标响应数据及其分析,从而形成判断食品质量的“味觉指纹图谱”、“气味指纹图谱”、“颜色指纹图谱”等,但目前并没有建立各种食品的标准化感官指纹图谱,在对结果的分析 and 判断上没有统一的指导。

4 发展趋势分析

国内外研究表明,基于电子感官评价系统如电子鼻、电子舌、电子眼的感官响应数据与微生物、肉品品质、肉品货架期等具有明显的相关性。电子舌、电子鼻、电子眼等电子感官评价系统从味觉、嗅觉、视觉等不同感官角度,实现了对食品检测不同方面的应用,由于这类设备在测定过程中对样品的前处理简单或没有,极少使用各种有机溶剂等,与传统检测方法相比,具有“绿色”、快速、灵敏等优点。通过电子感官评价系统对食品进行智能识别,能够测定食品不同的感官信息,得到味觉、嗅觉和视觉方面的“指纹”图谱,避免了人为观测的主观因素和误差,测定结果更加可观、可靠,具有良好的可重复性。利用电子感官评价系统对肉品品质进行分析,既能客观反映和判定消费者对肉质的要求,又能满足现代肉品生产和市场销售的快捷、

简便的需求,能有效地实现肉品品质评定、肉品品种识别、肉品新鲜度评价、肉品微生物分析以及货架期预测等肉品质量监测分析需求。随着传感器技术、模式识别方法的进步以及标准化的提高,电子感官评价系统在肉类食品质量分析上将具有更广阔的应用前景。

(1)电子感官系统朝着在线化、小型化方向发展。电子感官系统通过与无线通信技术的结合,可实现在线、远程实时监测功能,如胡莹等^[51]设计了一套基于 ZigBee 技术的无线电子鼻系统,可实现对食品的远程监测。这一技术的实现,不仅可以解决在无法进入人工操作的环境下对食品的检测,也可以解决感官传感器易受温度、湿度、振动等环境因素的影响,从而影响信号稳定性的问题。目前无线传感器网络技术发展迅速,开发微型化、带无线通信功能的传感器阵列等,是今后的发展趋势。

(2)电子感官系统中融合多种感官传感器。目前电子鼻、电子舌和电子眼技术在肉品质量分析方面的应用主要还是利用单一种类的感官分析系统,而较少对多种感官数据进行融合及分析处理。但研究发现,通过对多种感官信息的融合,构建多源感官融合的“指纹”图谱,可以提高对质量检测的精确度,开拓电子感官评价系统的应用领域。黄懿^[52]等利用机器视觉和电子鼻技术结合,基于最小二乘支持向量机方法建立多源信息融合的猪肉新鲜度评价模型,结合二步格点搜索法和交叉验证方法,对模型参数进行优化后发现,基于融合数据建立的模型对猪肉新鲜度的识别率远高于某一种感官评价系统建立的模型,基于机器视觉系统、电子鼻系统和融合两种数据的系统构成的模型识别率分别达到 77.33%、91.67%和 97.33%,结果表明,基于机器视觉和电子鼻多源信息融合的系统可显著提高猪肉新鲜度识别率。

(3)电子感官系统向专业化方向发展。由于电子感官系统的评价结果受到传感器的影响,目前市场上大多数传感器都是通用的,并没有针对肉品的专用检测传感器,其相应灵敏度和检测结果必然受到影响。根据具体检测食品对象的不同开发专用的电子感官传感器阵列,是提高检测精度的重要方法,将成为今后的发展趋势。

(4)电子感官系统与其他检测技术联用。将电子感官评价系统与质谱、色谱等技术联合使用,可以取长补短,解决单一技术在检测时遇到的一些难题,使得食品质量检测结果更加准确和完善。结合其他分析仪器(如不同原理传感器、电子舌、近红外光谱、远红外光谱、可见光、机器视觉等)的使用,使人们获得更多检测对象的信息,以便更准确地做出判断,因此,与多种分析仪器结合的应用模式也是今后的发展方向。

参考文献

[1] 陈景宜, 牛力, 黄明, 等. 影响牛肉肉色稳定性的主要生化因子[J]. 中

国农业科学, 2012, 45(16): 3363–3372.

Chen JY, Niu L, Huang M, *et al.* Major Bio-Factors Affecting Beef Color Stability[J]. *Sci Agric Sinica*, 2012, 45(16): 3363–3372.

[2] 石飞云, 杨佳, 李斐斐. 肉品变化过程中感官、理化性质及菌落总数的变化及相互关系[J]. *食品科技*, 2009, 34(9): 135–137.

Shi FY, Yang J, Li FF. Study on changes of sensory, physical and chemical properties and the total number of colonies, and the mutual relationship between them during meat storage[J]. *Food Sci Technol*, 2009, 34(9): 135–137.

[3] 袁静, 张春雷, 汪琴, 等. 牛肉品质安全检测的技术研究进展[J]. *中国牛业科学*, 2011, 37(2): 57–60.

Yuan J, Zhang CL, Wang Q, *et al.* The Technologies on Detection of Beef Quality and Safety[J]. *China Cattle Sci*, 2011, 37(2): 57–60.

[4] 陈坤杰, 孙鑫, 陆秋琰. 基于计算机视觉和神经网络的牛肉颜色自动分级[J]. *农业机械学报*, 2009, 40(4): 173–178.

Chen KJ, Sun X, Lu QY. Automatic Color Grading of Beef Lean Tissue Based on BP Neural Network and Computer Vision[J]. *Trans Chin Soc Agric Mach*, 2009, 40(4): 173–178.

[5] 周彤, 彭彦昆. 牛肉大理石花纹图像特征信息提取及自动分级方法[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(15): 286–293.

Zhou T, Peng YK. Method of information extraction of marbling image characteristic and automatic classification for beef [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2013, 29(15): 286–293.

[6] Sun X, Chen KJ, Carlin M, *et al.* Predicting beef tenderness using color and multispectral image texture features[J]. *Meat Sci*, 2012, 92(4): 386–393.

[7] Ranasinghesagara J, Nathb TM, Wellsb SJ, *et al.* Imaging optical diffuse reflectance in beef muscles for tenderness prediction[J]. *Meat Sci*, 2010, 84(3): 413–421.

[8] 胡洁, 李睿, 王平. 人工味觉系统: 电子舌的研究[J]. *传感技术学报*, 2001, (2): 169–180.

Hu J, Li R, Wang P. Research on artificial gustatory system electronic tongue[J]. *J Trans Technol*, 2001, (2): 169–180.

[9] 韩剑众, 黄丽娟, 顾振宇, 等. 基于电子舌的鱼肉品质及新鲜度评价[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(12): 141–144.

Han JZ, Huang LJ, Gu ZY, *et al.* Evaluation of fish quality and freshness based on the electronic tongue[J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2008, 24(12): 141–144.

[10] 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.

Han JZ, Huang LJ, Gu ZY, *et al.* Evaluation of meat quality and freshness based on the electronic tongue[J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2008, 8(3): 125–132.

[11] 王霞, 徐幸莲, 王鹏. 基于电子舌技术对鸡肉肉质区分的研究[J]. *食品科学*, 2012, 33(21): 100–103.

Wang X, Xu XL, Wang P. Discrimination of chicken meat quality by electronic tongue[J]. *Food Sci*, 2012, 33(21): 100–103.

[12] Labrador RH, Masot R, Alcañiz M, *et al.* Prediction of NaCl, nitrate and nitrite contents in minced meat by using a voltammetric electronic tongue and an impedimetric sensor[J]. *Food Chem*, 2010, 122(3): 864–870.

[13] 任东旭, 刘辉, 赵悦, 等. 电子鼻 PCA 分析方法对鸡汤品质分析研究

- [J]. 食品科技, 2013, 28(04): 296–307.
- Ren DX, Liu H, Zhao Y, *et al.* Application of the electric nose principle component analysis on sensory evaluation of chicken soup[J]. Food Sci Technol, 2013, 28(04): 296–307.
- [14] 姚璐, 丁亚明, 马晓钟, 等. 基于电子鼻技术的金华火腿鉴别与分级[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(10): 1051–1056.
- Yao L, Ding YM, Ma XZ, *et al.* Identification and classification of jinhuaham by electronic nose[J]. J Food Sci Biotechnol, 2012, 31(10): 1051–1056.
- [15] Vestergaard JS, 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 Sci Technol, 2007, 40(6): 1095–1101.
- [16] 贾洪锋, 卢一, 何江红, 等. 电子鼻在牦牛肉和牛肉猪肉识别中的应用[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 358–363.
- Jia HF, Lu Y, He JH, *et al.* Recognition of yak meat, beef and pork by electronic nose[J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2011, 27(5): 358–363.
- [17] 李芳, 孙静, 黄沁怡, 等. 禽肉风味指纹和识别模型的建立[J]. 中国食品学报, 2014, 14(2): 255–260.
- Li F, Sun J, Huang QY, *et al.* Establishment of poultry meat detection and identification model with the electronic nose[J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2014, 14(2): 255–260.
- [18] García M, Aleixandre M, Gutiérrez J, *et al.* Electronic nose for ham discrimination[J]. Sensors and Actuators B: Chem, 2006, 114(1): 418–422.
- [19] 田晓静, 王俊, 崔绍庆. 羊肉纯度电子舌快速检测方法[J]. 农业工程学报, 2013, 29(20): 255–262.
- Tian XJ, Wang J, Cui SQ. Fast discriminating of purity on minced mutton using electronic tongue [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2013, 29(20): 255–262.
- [20] Tian XJ, Wang J, Cui SQ. Analysis of pork adulteration in minced mutton using electronic nose of metal oxide sensors[J]. J Food Eng, 2013, 119(4): 744–749.
- [21] 吴浩, 刘源, 顾赛麒, 等. 电子鼻、电子舌分析和感官评价在鱼糜种类区分中的应用[J]. 食品工业科技, 2013, 18: 80–82.
- Wu H, Liu Y, Gu SQ, *et al.* Category distinction of different surimis by electronic nose, electronic tongue and sensory evaluation[J]. Sci Technol Food Ind, 2013, 18: 80–82.
- [22] Bourraunet B, Talou H, Gaset A. Application of a multigas sensor device in the meat industry for boar-taint detection[J]. Sensor Actuat B: Chem, 1995, 27(1-3): 250–254.
- [23] Limbo S, Torri L, Sinelh 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 Sci, 2010, 84(1): 129–136.
- [24] Barbri NEL, Llobet E, Bari NEL, *et al.* Application of a portable electronic nose system to assess the freshness of Moroccan sardines[J]. Mater Sci Eng: C, 2008, 28(5-6): 666–670.
- [25] 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.
- Shi ZB, Tong YY, Chen DH, *et al.* Identification of beef freshness with electronic nose[J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2009, 40(11): 184–188.
- [26] 滕炯华, 袁朝辉, 王磊. 多气体传感器信号样条回归分析[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2004, 32(6): 792–794.
- Tong JH, Yuan ZH, Wang L. Spline regression of multi-gas sensors[J]. J Tongji Univ (Nat Sci), 2004, 32(6): 792–794.
- [27] 王彦闯. 基于BP神经网络的猪肉新鲜度检测方法[J]. 计算机应用与软件, 2011, 28(9): 82–84.
- Wang YC, Liu JB, Cai Q, *et al.* Study on detection of pork freshness using bp neural network[J]. Comput Appl Software, 2011, 28(9): 82–84.
- [28] 洪雪珍, 王俊. 牛肉品质检测中电子鼻参数的优化[J]. 农业机械学报, 2013, 44(9): 125–137.
- Hong XZ, Wang J. Parameters optimization of electronic nose in detection of beef freshness[J]. Trans Chin Soc Agric Mach, 2013, 44(9): 125–137.
- [29] 洪雪珍, 韦真博, 海铮, 等. 基于电子鼻和神经网络的牛肉新鲜度的检测[J]. 现代食品科技, 2014, 30(4): 279–285.
- Hong XZ, Wei ZB, Hai Z, *et al.* Application of electronic nose and neural network in beef freshness detection [J]. Mod Food Sci Technol, 2014, 30(4): 279–285.
- [30] 孙永海, 赵锡维, 鲜于建川. 基于计算机视觉的冷却牛肉新鲜度评价方法[J]. 农业机械学报, 2004, 35(1): 104–107.
- Sun YH, Zhao XW, Xian Yu JC. Appraising method for freshness of chilled beef based on computer vision technique[J]. Trans Chin Soc Agric Mach, 2004, 35(1): 104–107.
- [31] 郭培源, 曲世海, 毕松. 基于直方图变换的猪肉新鲜度检测技术[J]. 微计算机信息, 2008, 24(6): 241–243.
- Guo PY, Qu SH, Bi S. Pork freshness detection technology based on histogram transformation[J]. Microcompu Inform, 2008, 24(6): 241–243.
- [32] Huang XW, Zou XB, Zhao JW, *et al.* Sensing the quality parameters of Chinese traditional Yao-meat by using a colorimetric sensor combined with genetic algorithm partial least squares regression[J]. Meat Sci, 2014, 98(2): 203–210.
- [33] Yolanda S, José VRL, José LV, *et al.* A novel colorimetric sensor array for monitoring fresh pork sausages spoilage[J]. Food Control, 2014, 35(1): 166–176.
- [34] 易宇文, 范文教, 贾洪峰, 等. 基于电子舌的微冻鲢鱼新鲜度识别研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(2): 142–145.
- Yi YW, Fan WJ, Jia HF, *et al.* Application of electronic tongue on discrimination of silver carp during frozen storage[J]. Food Mach, 2014, 30(2): 142–145.
- [35] Gil L, Barat JM, 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 Chem, 2011, 126: 1261–1268.
- [36] Balasubramanian S, Panigrahi S, Logue CM, *et al.* Independent component analysis processed electronic nose data for predicting Salmonella typhimurium populations in contaminated beef[J]. Food Control, 2008, 19(3): 236–246.
- [37] Balasubramanian S, Panigrahi S, Logue CM, *et al.* Neural networks-integrated metal oxide-based artificial olfactory system for meat spoilage identification[J]. J Food Eng, 2012, 91(1): 91–98.
- [38] Barbri NEL, Llobet E, Bari NEL, *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.

- [39] 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.
Hu HP, Pan YJ, Liu Y, *et al.* Application of odor fingerprint for the detection of pseudomonas spp. isolated from pork[J]. Food Sci, 2009, 30(18): 198-201.
- [40] 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.
Wang DF, Wang XC, Liu Y, *et al.* Estimation of total bacterial count in pork using electronic nose[J]. Food Sci, 2010, 31(6): 148-150.
- [41] Khot LR, Panigrahi S, Doetkott C, *et al.* Evaluation of technique to overcome small dataset problems during neural-network based contamination classification of packaged beef using integrated olfactory sensor system [J]. LWT-Food Sci Technol, 2012, 45(2): 233-240.
- [42] Olga SP, Efstathios ZP, Fady RM, *et al.* Sensory and microbiological quality assessment of beef fillets using a portable electronic nose in tandem with support vector machine analysis[J]. Food Res Int, 2013, 50(1): 241-249.
- [43] 赵广英, 黄建锋. 多频大幅脉冲传感系统监测 3 种食源性致病菌的生长趋势[J]. 微生物学报, 2008, 48(12): 1616-1622.
Zhao GY, Huang JF. A multi-frequency large amplitude pulse sensor system to monitor the growth of food-borne pathogens[J]. Acta Microbiol Sinica, 2008, 48(12): 1616-1622.
- [44] María RR, Ana F, Rafael M, *et al.* Use of the voltammetric tongue in fresh cod (*Gadus morhua*) quality assessment[J]. Innov Food Sci Emerg Technol, 2013, 18: 256-263.
- [45] 肖虹, 谢晶. 气味指纹识别技术在食品货架期预测模型中的应用综述[J]. 江苏农业科学, 2010, (1): 303-306.
Xiao H, Xie J. A review of the Smell fingerprint recognition technology application in the food shelf life prediction model [J]. Jiangsu Agric Sci, 2010, (1): 303-306.
- [46] 刘超群, 王宏勋, 侯温甫. 低温肉制品微生物控制与预测模型应用研究进展[J]. 食品科学, 2009, 30(21): 481-484.
Liu CQ, Wang HX, Hou WF. Application of predictive models in microbial controlling for low-temperature meat products[J]. Food Sci, 2009, 30(21): 481-484.
- [47] 宋晨, 刘宝林, 董庆利. 冷冻食品货架期研究现状及发展趋势[J]. 食品科学, 2010, 31(1): 258-261.
Song C, Liu BL, Dong QL. Current research and development trend for shelf life of frozen food[J]. Food Sci, 2010, 31(1): 258-261.
- [48] Rajamaki T, Alakomi HL, Ritvanen T, *et al.* Application of an electronic nose for quality assessment of modified atmosphere packaged poultry meat[J]. Food Contr, 2004, 17(1): 5-13.
- [49] 肖虹, 谢晶, 佟懿. 电子鼻在冷却肉货架期预测模型中的应用[J]. 食品工业科技, 2010, 31(12): 65-71.
Xiao H, Xie J, Tong Y. Application of electric nose in shelf life predictive modeling of chilled pork[J]. Sci Technol Food Ind, 31(12): 65-71.
- [50] Jackman P, Sun DW, Du CJ, *et al.* Prediction of beef eating quality from colour, marbling and wavelet texture features[J]. Meat Sci, 2008, 80(4): 1273-1281.
- [51] 胡莹, 王俊. 无线电子鼻的研制和远程监测应用[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2013, 39(5): 582-590.
Hu Y, Wang J. Development of wireless electronic nose and using of remote monitoring [J]. J Zhejiang Univ (Agric Life Sci), 2013, 39(5): 582-590.
- [52] 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, 50(12): 2536-2540.
Huang Y, Li XY, Wang W, *et al.* Measurement of pork freshness based on multi-sensor information integration technology[J]. Hubei Agric Sci, 2011, 50(12): 2536-2540.

(责任编辑: 赵静)

作者简介



范蓓蕾, 博士研究生, 工程师, 主要研究方向为农产品物流过程信息采集与质量监控。

E-mail: fanbl@nercita.org.cn



杨信廷, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全溯源及农业信息化关键技术研究。

E-mail: yangxt@nercita.org.cn