

电子鼻在乳及其制品检测中的应用研究进展

廖美燕¹, 龙 鸣¹, 洪 晶^{1, 2}, 张娅俐^{1, 2}, 张福梅², 田晓静^{1, 2}, 宋 礼³, 罗 丽³,
高丹丹^{1, 2*}

1 西北民族大学生命科学与工程学院, 甘肃兰州 730124

2 西北民族大学 生物医学研究中心 中国–马来西亚国家联合实验室, 甘肃兰州 730030

3 甘南牦牛乳研究院, 甘肃甘南 747000

摘要: 电子鼻作为一种基于综合气味信息的气味指纹检测技术, 有着快速、无损、便捷、有效、客观等多方面优势, 成为了乳及其制品的热门检测技术。与常规仪器分析和感官评价方法结合, 电子鼻在乳制品掺假, 成分检测, 乳制品加工、贮藏过程中品质变化等相关气味信息方面的研究较多, 为市场监控乳制品的质量安全提供了有效保障。本文总结了电子鼻在乳制品风味成分鉴别, 乳及其制品新鲜度检测, 乳制品加工过程监控、掺假检测等方面应用的研究进展, 并展望了电子鼻技术在乳及其制品应用方面的进一步研究方向, 旨在为其在乳及其制品质量安全快速检测等方面提供参考。

关键词: 电子鼻; 主成分分析; 乳制品; 检测; 应用

文章编号: 1671-4393 (2022) 10-0057-08

DOI:10.12377/1671-4393.22.10.11

0 引言

近年来, 随着人们生活质量的提高和对个人营

养健康状况的关注, 乳及其制品因其营养丰富深受广大消费者的喜爱。但仍有乳中掺水和添加违禁物等事件的发生, 使乳制品品质降低, 甚至成为有毒有害产品, 因此开展乳及其制品品质的检测具有重

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助 (31920210006); 2021年本科生科研能力训练项目 (XBMU21141); 甘肃省科技计划资助 (21JRIRA202)

作者简介: 廖美燕 (2001-), 女, 广西壮族自治区柳州人, 壮族, 本科, 研究方向为食品、农产品品质检测;

龙 鸣 (1994-), 女, 广西壮族自治区柳州人, 硕士, 研究方向为食品质量控制与检测;

洪 晶 (1998-), 女, 吉林长春人, 硕士, 研究方向为预防兽医学;

张娅俐 (1996-), 女, 重庆人, 硕士, 研究方向为特种经济动物饲养;

张福梅 (1978-), 女, 甘肃兰州人, 回族, 博士, 讲师, 研究方向为功能性食品开发;

田晓静 (1982-), 女, 甘肃兰州人, 博士, 副教授, 研究方向为食品、农产品品质检测研究;

宋 礼 (1984-), 男, 甘肃兰州人, 硕士, 高级工程师;

罗 丽 (1987-), 女, 甘肃兰州人, 硕士, 中级工程师;

通信作者: 高丹丹 (1983-), 女, 甘肃兰州人, 博士后, 教授, 研究方向为食品生物技术。

要意义。目前，乳及其制品品质评价方法主要包括感官评价、理化和微生物指标检测等。在理化和微生物指标检测中，主要通过乳及其制品中挥发性成分、营养成分及电导率、冰点等评价其品质；乳及其制品如果掺杂使假，其成分组成会受掺杂物的影响而改变，可用激光诱导击穿光谱^[1]、酶联免疫吸附^[2]、近红外光谱^[3]、气相色谱-质谱联用^[4]等技术进行检测，但这些技术也同时存在预处理复杂、对检测人员技术水平要求高等缺点，因此开发乳及其制品快速、无损检测的方法和手段具有重要意义。

电子鼻是一种能够有效识别、检测和分析简单及复杂气味挥发性成分的仪器^[5]，具有预处理简单、重复性好、结果客观可靠等特点，已在环境监测^[6]、食品安全^[7]、医疗卫生^[8]中广泛应用。在乳制品行业中，电子鼻在乳中掺假物质识别^[9]，微生物^[10]及挥发性物质检测^[11]、乳制品成熟期^[12]与货架期预测^[13]、产地区分^[14]等方面应用广泛。

本文从电子鼻在乳制品风味成分的鉴别、乳及其制品新鲜度的检测、乳制品加工过程的分析、乳及其制品掺假物质的检测等方面综述电子鼻在乳制品行业的研究现状，为行业提供参考。

1 电子鼻仪器介绍

电子鼻是模仿哺乳动物嗅觉器官检测简单和复杂气味的仪器，主要由气敏传感器阵列、信号预处理单元和模式识别单元构成^[15]。气敏传感器阵列可以模拟复杂鼻子，获取样品气味的总体信息，绘制样品的挥发性响应图谱^[16]；常见的气敏传感器阵列有质量敏感型、光纤型、电导型、金属氧化物半导体型等^[17]。信号预处理单元可以对气味信号进行初步的加工与处理^[18]。模式识别单元可以通过主成分分析、线性判别分析、人工神经网络、偏最小二乘回归法等对样品气味做出判断，进行定性定量分析，但需根据实际需求和样本数据特点合理选择模式识别方法。

电子鼻的工作机制是由气敏传感器阵列中的不

同灵敏度的传感器对被测气体组分产生响应，采集气味信息^[19]，再依据模式识别系统判别结果。特定的气味物质可以表达不同产地、种类、加工方式以及贮藏期间等多变量对样品影响下的综合信息^[20]。电子鼻能够较全面、完整地反映乳制品的整体气味特征。

电子鼻技术正在快速革新，但其工作环境复杂，与真正的生物嗅觉功能还存在一定的差距。在开放的环境中，电子鼻性能会受到影响，再现性和交叉灵敏度较低，应用范围有限，且一些型号价格较高，还需开发新的气味传感器。电子鼻技术目前还无法完全走出实验室，一定程度上限制了其商业用途。电子鼻行业正处于向设计更简便，设备更专业的阶段发展，其中信号处理算法的进步，新型模式识别算法、硬件和数据处理方法的研究开发还需要极大地提高和完善，直至能完全模仿哺乳动物的嗅觉功能。

2 电子鼻在乳及其制品检测中的应用研究

不同乳制品组成上的差异致使顶空中挥发性气味有所不同，这些细微的差异可被电子鼻检测。目前，电子鼻以其独特的优势应用于乳及其制品挥发性风味物质的检测、新鲜度的监测、加工过程的监控及掺假乳及其制品的检测分析。

2.1 乳及其制品风味成分鉴别研究

乳及其制品中挥发性物质是呈香的重要组分，影响乳及其制品的品质；同时乳及其制品也受多方面因素影响，出现风味差异，甚至不良风味。电子鼻能够确认不同乳中挥发性风味成分，并对乳制品进行区分和分类识别，相关研究见表1。

2.1.1 乳脂含量对乳制品风味的影响

乳脂肪的含量会在一定程度上影响乳制品的挥发性风味。全脂牛奶有一定的脂质感、奶香味和奶甜味；而脱脂纯牛奶因缺少脂肪，与原料奶相比风

味欠佳。迟雪露等^[21]应用PEN2便携式电子鼻结合感官评价发现4种脱脂纯牛奶的挥发性风味物质存在明显差异，能够较好地预测不同品牌脱脂纯牛奶的感官属性；刘立等^[22]应用电子鼻气味信息结合主成分分析，区分了5种不同品牌的全脂牛奶，并发现奶香味在电子鼻响应和感官描述性评价分析上起主导作用。高雅慧等^[23]利用Heracles II超快速气相电子鼻结合PCA分析，得出5种不同品牌全脂牛奶的风味成分差异显著；叶美霞等^[24]使用超快速气相电子鼻确定了UHT全脂、低脂和脱脂牛奶中含有29种共同的挥发性风味成分，且通过主成分分析和多层次感知器神经网络均能将3种牛奶进行区分。电子鼻结合感官评价可以客观、全面、快速地分析纯牛奶的感官品质，为其改善及加工工艺优化提供技术参考。

2.1.2 乳及其制品品质的判别

因产地、加工方式等不同，乳及其制品的品质也会有所差异，其挥发性成分的组成和含量也有所不同。郭奇慧等^[25, 26]优化确定了电子鼻检测纯牛奶的气味参数，为乳品企业将电子鼻应用于牛奶的气味测定方面提供了指导信息；并应用电子鼻检测了优质原料奶和异味原料奶，建立了优质-异味原料奶模型，且能够准确区分优质原料奶与异味原料奶，其判别的确定性分别为99.21%和96.12%。方雄武等^[27]利用电子鼻结合Bayes识别算法、最小二乘支持向量机识别了不同厂家原料奶的气味信息。针对不同年龄段乳粉中营养强化成分的差异，叶美霞等^[28]使用电子鼻结合线性判别分析及线性支持向量机实现

了对婴幼儿配方奶粉、学生奶粉、成人奶粉、中老年奶粉等的区分，并建立了分类识别模型，为后续优化乳制品加工工艺，保障其营养成分均衡具有重要意义，也为其他食品无损检测提供了参考。

奶酪享有乳制品“黄金”之名，富含蛋白质、钙等营养物质^[29]。奶酪的风味形成包含了糖酵解、脂解和蛋白分解等大量的生化反应，是一个复杂的过程，但同时为奶酪提供了香气（气味）和风味（滋味物以及芳香族化合物）特征^[30]。电子鼻应用于奶酪品种、成熟度的判别为市场上不同地区奶酪品质的区分提供了有效参考，相关研究见表1。巨玉佳等^[31]通过电子鼻结合Fisher分类法分析了不同牦牛乳硬质奶酪与软质奶酪中的挥发性物质，将两种奶酪区分，主成分分析图累计贡献率达到90.02%。芦筱菲等^[32]使用电子鼻对不同种奶酪进行识别，其主成分分析图谱未重叠，可正确识别奶酪并进行种类区分。

2.2 电子鼻在乳及其制品新鲜度检测中的应用

在贮存过程中，乳及其制品中会发生脂质氧化、蛋白质水解、微生物滋生，产生发酵味、酸败味等不良风味^[33]，为基于电子鼻气味信息检测其新鲜度提供基础。电子鼻在乳及其制品新鲜度检测的应用研究见表2。

在贮藏过程中，牛奶受微生物作用而变质，随着微生物的迅速累积，黏度、酸度也随之提升，颜色新鲜的牛奶会逐渐有大量乳清、凝乳块析出，乳

表1 电子鼻在乳制品鉴别中的应用

种类	特征	结果
优质原料奶	含有较浓郁的乳香味	能够准确地识别出优质原料奶的特征气味 ^[26]
异味原料奶	有豆味、药剂味等异味	能够准确地识别出异味原料奶的特征气味 ^[26]
脱脂牛奶	四种市售不同品牌脱脂纯牛奶	PCA 对四种样品区分效果较好 ^[21]
全脂牛奶	五种品牌全脂牛奶	准确识别五种不同品牌牛奶，且奶香味的牛奶制品对电子鼻的区分结果起主导作用 ^[22]
硬质奶酪	水分含量为42%	成功识别硬质奶酪中特有挥发性风味物质 ^[31]
软质奶酪	水分含量为62.3%	成功识别软质奶酪中特有挥发性风味物质 ^[31]
不同种类奶酪	五种不同种类奶酪	对五种不同种类的奶酪正确识别并准确区分，同种奶酪间图谱相似，不同奶酪间有差异 ^[32]

表2 电子鼻在乳及其制品新鲜度检测的应用研究

原料	处理条件	结果
纯牛奶	常温, 1~5个月 4℃, 12 h、24 h、36 h	能够准确检测出纯牛奶不同时间的特征气味 ^[36] 可以有效地鉴别牛奶新鲜度并用来分析商品鲜牛奶以12 h度量的新鲜度 ^[35]
鲜牛奶	8 h、72 h、168 h 4℃、15℃、7 d、14 d、21 d、 28 d、35 d	对样品整体风味识别和区分效果良好, 保质期内不同时期的巴氏杀菌乳风味显示出了差异 ^[37] 可以有效识别不同储藏温度、时间下全脂鲜牛奶新鲜度变化, 其气味距离临界值结合Arrhenius方程可以确定4℃贮藏条件下全脂鲜牛奶的货架期为15.7 d ^[33]
全脂鲜牛奶	23℃、30℃, 3.5 d、7 d、 10.5 d、14 d、17.5 d、21 d、 24.5 d、28 d	可以有效识别不同储藏温度、时间下全脂鲜牛奶新鲜度变化, 温度的增加会导致全脂鲜牛奶的品质下降 ^[33]
奶酪	室温, 7 d、21 d	有效识别了奶酪新鲜与成熟7 d、21 d的气味信息差异 ^[38]
酥油	4℃、25℃、32℃	成功监测到酥油在储存后期发生酸败, 产生哈败味道 ^[39]

香味逐渐变为苦味、腐败味^[34]。使用电子鼻测定乳的新鲜度, 可以实现对乳制品得快速和有效控制。电子鼻能够成功识别不同货架期纯牛奶的新鲜程度, 气味信息结合Bayes判别算法可正确识别牛奶的新鲜度^[35], 建立不同储存期的纯牛奶模型, 可准确区分待测牛奶的储存时间^[36]。宋铮等^[37]利用PEN2便携式电子鼻结合感官评价分析研究了保质期内不同时间段(8 h、72 h、168 h)的巴氏杀菌乳的气味信息变化。乳制品感官品质与风味变化随贮藏时间的延长, 品质出现下降, 且不良异味越明显, 新鲜度越低。毋思敏等^[33]通过电子鼻结合Arrhenius方程建立了有效预测全脂鲜牛奶的货架期模型。Valente等^[38]利用电子鼻区分了以生牛奶和巴氏杀菌牛奶制成奶酪成熟不同时间(7 d和21 d后)的气味, 体现出电子鼻在不同成熟度的奶酪预测方面具有突出优势。在酥油贮藏期间质量变化规律的研究中, 电子鼻成功监测到酥油在储存后期发生酸败、产生哈败味道^[39]。王云^[40]设计了基于电子鼻技术的牛奶腐败度检测系统, 该系统可实现对不同腐败程度的纯牛奶样本以及纯奶与酸奶(未腐败)的有效区分。电子鼻可以根据乳及其制品贮存期发生的气味变化, 结合新型算法仪器, 建立预测其新鲜度变化模型, 为电子鼻在市场上全面监测乳及其制品的新鲜度提供参考。

2.3 电子鼻在乳制品加工过程中的监控

电子鼻能够捕获到乳制品气味随时间延长产生

的细微变化。郭奇慧等^[41]发现不同成熟期(1个月、6个月、2年)奶酪气味信息差异明显, 电子鼻利用气味曲线穿过模型中的不同成熟期奶酪的气味数据点, 可以将待测样品进行归类, 准确识别样品的成熟期。奶油生产过程中的奶油香受脂肪酸含量影响, 李宁等^[42]使用电子鼻对不同酶解程度的奶油的酸值进行线性模型分析, 建立最小回归定量分析模式(PLS)酸值标准曲线, 其快速测定酶解奶油酸值的准确度为93.85%。不同类型乳制品的加工工艺都存在巨大的差异, 电子鼻能够通过对奶油酸值进行测定, 成功识别不同成熟期的奶酪, 实现对不同乳制品加工过程的监控。

2.4 电子鼻在乳及其制品中掺假检测中的应用

一些不良商家为降低成本、追求利益等目的, 在原料奶、液奶、奶粉等乳制品中掺入低价值乳, 甚至是外来脂肪、蛋白等成分, 致使掺假奶气味信息以及成分发生变化, 电子鼻可以对其进行识别, 见表3。李照等^[43]使用FOX4000电子鼻检测掺入外来脂肪(植物奶油)的牛乳, 发现掺假牛乳气味信息有着明显的区别, 电子鼻能够检测混有植物奶油0.1%~1%的掺假牛乳; 贾茹等^[44]利用PEN3电子鼻研究掺入大豆分离蛋白粉、水解动物蛋白粉、水解植物蛋白粉、乳清蛋白粉等低价值蛋白质羊奶的气味信息变化, 结合主成分分析、Fisher判别分析实现不同掺假外来蛋白质羊奶的区分, 线性回归分析建立

表3 电子鼻在乳及其制品掺假检测中的应用

类别	样品	掺假物质	掺假物含量	结果
原料奶	牛乳	植物奶油	0、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.6%、0.8%、1%、1.2%、1.4%、1.5%	对不同比例掺脂肪牛奶识别效果明显，置信区间为95%时，0.1%掺假比就能检测出来 ^[43]
	羊奶	大豆分离蛋白粉、水解动物蛋白粉、水解植物蛋白粉、乳清蛋白粉	不同体积分数梯度	PCA和LDA结果表明，能够区分不同类别的蛋白质掺假物质 ^[44]
还原奶	羊奶	牛奶	0、5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%	LDA能够准确区分羊奶中掺入牛奶，其结果图像随掺假比例呈现一定的连续性和规律性 ^[45]
	羊乳	过期复原乳	0、0.1%、1.0%、5.0%、10.0%、20.0%	能将含有不同浓度的过期复原乳区分 ^[46]
奶粉	牛奶	奶粉奶	0、20%、40%、60%、80%、100%	能够成功识别纯牛奶与不同比例奶粉奶 ^[53]
	羊奶粉	牛奶粉	0、0.1%、1%、5%、10%	成功识别不同掺假比例的奶粉 ^[52]
	全脂奶粉	豆粉、植脂末和尿素	20%	能够对奶粉中三种掺假物质的有效区分 ^[50]

的模型决定系数为84.5%，这些不同类别的掺蛋白质羊奶与原羊奶成分存在差异，建立的模型可进行预测且预测结果良好。金螺等^[45]利用PEN3电子鼻实现了羊奶中掺入不同比例的牛乳的检测，掺入比例为0%~50%，发现随掺杂牛乳的比例不断增加，气味区别越明显，且各组的代表图像位点在平面投影呈现出一定的连续性和规律性。复原乳的营养价值与鲜奶相比有所不同，复原乳在加工过程中会损失部分维生素和生物活性物质^[46]。以复原乳生产加工液态奶^[47]，不仅在产品标识上误导群众消费，还严重损害了消费者的合法权益。马利杰等^[48]利用电子鼻检测掺入不同比例过期复原乳的原料羊乳，其线性回归拟合分析的相关系数为88.4%，建立的线性回归拟合模型的预测精度可达0.1%，电子鼻响应图谱随掺入过期复原乳比例呈规律性分布。王俊等^[49]使用电子鼻检测纯牛奶中掺入不同比例的奶粉，发现二者的气味差距较大，掺有不同比例奶粉奶的样品点在结果分析图中呈现规律性分布。在奶粉的掺假研究中，主要掺杂物为不同种类奶粉、异源蛋白（大豆蛋白等）、非蛋白成分（三聚氰胺等）、乳源性蛋白（乳清粉等）和非乳脂肪等。高晓霞等^[50]利用PEN3型便携式电子鼻对掺入了其他品牌牛奶粉、豆

粉、尿素以及植脂末的奶粉进行了检测，均能明显区分掺入外来物质的奶粉与纯奶粉，且检出限为为0.3%；马利杰等^[51, 52]使用电子鼻结合主成分分析和Fisher线性判别分析研究羊奶粉中掺假不同比例牛奶粉的气味信息变化，建立的线性回归拟合模型对掺假牛奶粉含量预测可精确到0.1%。

电子鼻不仅能够实现在乳及其制品中的掺杂脂肪、蛋白质等成分的定性判别，而且还可以定量预测掺假物的含量，为乳及其制品掺假检测提供了有效、快速的检测技术，也为电子鼻在其他食品掺杂量检测方面提供了研究思路。

3 结论

乳及其制品深受广大消费者的喜爱，随着人们食品安全意识的增强，乳及其制品的质量监控检测受到广泛的关注。电子鼻在乳及其制品的检测中具有快速、便捷、有效、客观等优点，可补人类感官描述的主观性、模糊性、重现性。电子鼻对乳风味成分的检测可以实现对乳产品品质的区分、乳及其制品在贮存过程新鲜度变化监控、加工过程的监控及掺假、掺杂乳的识别和掺杂物含量的预测。因

此，电子鼻可以很大程度上解决了乳及其制品中有关气味检测的问题，为后续电子鼻在乳及其制品其他方面应用提供了思路。但目前电子鼻检测的精度和使用范围受限，若能将电子鼻技术与常规仪器分析和感官评价方法融合，可使无损检测系统的灵敏度和可靠性大幅度提高。随着传感技术的不断发展，电子鼻在乳及其制品中的检测应用不仅可以降低时间成本以及经济成本，同时还能保证结果的客观性和准确性，并逐步从实验室走向实际生产应用，为乳产品技术检测提供保障。**C**

参考文献

- [1] Moncayo S, Manzoor S, Rosales J D, et al. Qualitative and quantitative analysis of milk for the detection of adulteration by Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) [J]. Food Chemistry, 2017, 232: 322–328.
- [2] Po-wen C Frank C M. Detection of lactoferrin in bovine and goat milk by enzyme-linked immunosorbent assay[J]. The Journal of Food and Drug Analysis, 2020, 7: 2653.
- [3] 王宁, 乔立歌, 苗镝, 等. 基于近红外光谱的乳制品脂肪含量测定研究[J]. 山东化工, 2021, 50 (18) : 109–112.
- [4] Jurado S B, Ballesteros E, Gallego M. Gas chromatographic determination of N-nitrosamines, aromatic amines, and melamine in milk and dairy products using an automatic solid-phase extraction system[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59 (13) : 7519–7526.
- [5] Shi H, Zhang M, Adhikari B. Advances of electronic nose and its application in fresh foods: A review [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2017, 58 (16) : 2700–2710.
- [6] Patricia A, Félix M, José I S, et al. Electronic nose with digital gas sensors connected via bluetooth to a smartphone for air quality measurements[J]. Sensors, 2020, 20 (3) : 786.
- [7] Bonah E, Huang X Y, Aheto J H, et al. Application of electronic nose as a non-invasive technique for odor fingerprinting and detection of bacterial foodborne pathogens: a review[J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 57 (6) : 1977–1990.
- [8] Bijl E J, Groeneweg G, Wesselius D W, et al. Diagnosing complex regional pain syndrome using an electronic nose, a pilot study[J]. Journal of Breath Research, 2019, 13 (3) : 36004.
- [9] Mojtaba T, Mahdi G V, Vahid G, et al. Development of a metal oxide semiconductor-based artificial nose as a fast, reliable and non-expensive analytical technique for aroma profiling of milk adulteration[J]. International Dairy Journal, 2018, 77: 38–46.
- [10] Haugen J E, Rudi K. Application of gas-sensor arraytechnology for detection and monitoring of growth of spoilagebacteria in milk: A model study[J]. Analytica Chimica Acta, 2006, 565 (1) : 10–16.
- [11] Xuelu C, Yiwei S, Minghui P, et al. Distinction of volatile flavor profiles in various skim milk products via HS-SPME-GC-MS and E-nose[J]. European Food Research and Technology, 2021, 247: 1553–1556.
- [12] Jeorgos T, Nielsen P V. Electronic nose technology in quality assessment: monitoring the ripening process of Danish Blue Cheese[J]. Journal of Food Scienc, 2005, 70 (1) : 44–49.
- [13] 唐玮雪, 姜旭德. 电子鼻技术在乳制品生产与质量控制中的应用[J]. 黑龙江科技信息, 2017 (16) : 58.
- [14] Mu F, Gu Y, Zhang J, et al. Milk source identification and milk quality estimation using an electronic nose and machine learning techniques[J]. Sensors, 2020, 20 (15) : 4238.
- [15] Yanan Z, Jianhui L. Using recurrent neural network to optimize electronic nose system with dimensionality reduction[J]. Electronics, 2020, 9 (12) : 2205.
- [16] 余桂平, 陈斌, 朱建锡, 等. 食品检测中电子鼻技术的相关应用探讨[J]. 农业开发与装备, 2019, 206 (2) : 145–154.
- [17] 要丽娟. 嗅觉和味觉传感技术的应用研究[J]. 计算机产品与流通, 2019 (8) : 139.
- [18] 柳英杰. 电子鼻的仿生数据分析方法研究[D]. 天津: 天津大学, 2019.
- [19] Liang Z, Tian F, Yang S X, et al. Study on interference suppression algorithms for electronic noses: A Review[J]. Sensors, 2018, 18 (4) : 1179.
- [20] Jia W, Liang G, Jiang Z, et al. Advances in electronic nose development for application to agricultural products[J]. Crossref, 2019, 12 (10) : 2226–2240.
- [21] 迟雪露, 宋铮, Muratzhan K, 等. 脱脂纯牛奶感官评价与电子鼻分析相关性研究[J]. 精细化工, 2018, 35 (6) : 998–1003.
- [22] 刘立, 李代禧, 余华星, 等. 国内外五种著名全脂牛奶感官评价分析及其电子鼻、电子舌甄别初探[J]. 食品与发酵科技, 2014, 50 (5) : 90–96.
- [23] 高雅慧, 邱士鸿, 朱逸浩, 等. 利用Heracles II超快速气相电子鼻对不同品牌UHT全脂牛奶的快速鉴别研究[J]. 中国乳制品工业, 2019, 47 (4) : 56–59.
- [24] 叶美霞, 李荣, 姜子涛, 等. 基于超快速气相电子鼻研究不同类型UHT牛奶的挥发性风味特征[J/OL]. 食品科学: 1–17. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210816.1729.119.html>.
- [25] 郭奇慧, 白雪, 康小红. 电子鼻测定纯牛奶气味过程中测定

- 参数的研究[J]. 食品工业科技, 2007, 199 (11) : 226-228.
- [26] 郭奇慧, 白雪, 康小红. 应用电子鼻区分不同气味的原料奶[J]. 食品科技, 2008, 200 (6) : 179-181.
- [27] 方雄武, 庞旭欣, 郑丽敏. 电子鼻技术在原料乳风味检测中的应用[J]. 中国奶牛, 2015, 300 (16) : 36-39.
- [28] 叶美霞, 李荣, 姜子涛, 等. 不同年龄段乳粉的挥发性风味成分及其分类预测: 1-18. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20211109.1040.028.html>.
- [29] 罗俏俏, 马江, 曹磊, 等. 奶酪中主要风味物质的研究进展[J]. 食品与发酵科技, 2018, 54 (1) : 96-100.
- [30] Weimer B C, Improving the flavor of cheese[M]. Cam-bridge England: Woodhead Publishing Limited, 2007.
- [31] 巨玉佳, 梁琪, 张炎, 等. 电子鼻联合GC-MS分析不同牦牛乳奶酪中特征挥发性成分[J]. 食品与机械, 2014, 30 (4) : 14-17.
- [32] 芦筱菲, 郑丽敏, 张晓梅, 等. 电子鼻技术在奶酪识别上的应用[J]. 中国乳业, 2008, 78 (6) : 52-55.
- [33] 哈思敏, 于森, 孙二娜, 等. 基于电子鼻与电子舌建立牛奶货架期预测模型[J/OL]. 食品科学: 1-10. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210726.1721.008.html>.
- [34] 徐楚璇. 牛奶的变质与新鲜度检测探讨[J]. 现代商贸工业, 2019, 40 (10) : 176-178.
- [35] 庞旭欣, 郑丽敏, 朱虹, 等. 电子鼻对不同存储时间纯牛奶的检测分析[J]. 传感器与微系统, 2012, 31 (9) : 67-70.
- [36] 郭奇慧, 白雪, 康小红. 应用电子鼻区分不同货架期的纯奶[J]. 乳业科学与技术, 2008, 129 (2) : 68-69.
- [37] 宋铮, 迟雪露, 潘明慧, 等. 巴氏杀菌乳在保质期内感官品质的稳定性分析[J]. 中国乳制品工业, 2019, 47 (3) : 8-12.
- [38] Valente N I P, Rudnitskaya A, Oliveira J A B P, et al. Cheeses made from raw and pasteurized cow's milk analysed by an electronic nose and an electronic tongue[J]. Sensors, 2018, 18 (8) : 2415.
- [39] 薛璐, 王昌禄, 胡志和, 等. 基于电子鼻对酥油贮藏期间质量变化规律的研究[J]. 食品科学, 2012, 33 (16) : 221-224.
- [40] 王云. 基于电子鼻技术的牛奶腐败度检测系统研究与设计[D]. 郑州: 郑州大学, 2017.
- [41] 郭奇慧, 白雪, 胡新宇, 等. 应用电子鼻区分不同成熟期的契达奶酪[J]. 中国乳制品工业, 2008, 209 (4) : 31-32.
- [42] 李宁, 郑福平, 李强, 等. 电子鼻对奶油酸值的快速测定[J]. 食品科学, 2009, 309 (20) : 269-271.
- [43] 李照, 邢黎明, 云战友, 等. 电子鼻测定牛奶中掺入外来脂肪[J]. 乳业科学与技术, 2008, 128 (1) : 39-41.
- [44] 贾茹, 张娟, 王佳奕, 等. 电子鼻结合化学计量法对羊奶中蛋白质掺假的识别[J]. 食品科学, 2017, 38 (4) : 308-312.
- [45] 金蝶, 白丽娟, 彭小雨, 等. 采用电子鼻检测羊奶中的牛奶掺入[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41 (4) : 65-168.
- [46] 姜竹茂, 刘晓, 张书文, 等. 热处理对生鲜乳及复原乳蛋白体质外消化特性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39 (08) : 33-38.
- [47] 聂雪梅, 董旭阳, 许秀丽, 等. 液态奶加工过程中反映工艺条件标志物的研究进展[J]. 色谱, 2019, 37 (10) : 1084-1089.
- [48] 马利杰, 刘占东, 杨春杰, 等. 电子鼻对原料羊乳中掺假过期复原乳的检测[J]. 乳业科学与技术, 2014, 37 (5) : 17-20.
- [49] 王俊, 徐亚丹. 基于电子鼻的对掺假的牛奶的检测[C]//农业工程科技创新与建设现代农业——2005年中国农业工程学会学术年会论文集第四分册. 北京: 中国农业工程学会, 2005.
- [50] 高晓霞, 宋娟娟, 董亚飞, 等. 应用电子鼻对奶粉掺假快速检测的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33 (18) : 79-83.
- [51] 马利杰. 电子鼻对羊奶及羊奶粉掺假的快速检测研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [52] 马利杰, 贾茹, 杨春杰, 等. 基于电子鼻技术对羊奶粉中掺假牛奶粉的快速检测[J]. 中国乳制品工业, 2014, 42 (11) : 47-50.
- [53] 徐亚丹, 王俊, 赵国军. 基于电子鼻的对掺假的“伊利”牛奶的检测[J]. 中国食品学报, 2006 (5) : 111-118.

Advances in the Application of Electronic Noses in the Detection of Dairy Products

LIAO Meiyuan¹, LONG Ming¹, HONG Jing^{1, 2}, ZHANG Yali^{1, 2}, ZHANG Fumei², TIAN Xiaojing^{1, 2}, SONG Li³, LUO Li³, GAO Dandan^{1, 2*}

¹College of Life Science and Engineering, Northwest Minzu University, Lanzhou Gansu 730124

²China-Malaysia National Joint Laboratory, Biomedical Research Center, Northwest University for

Nationalities, Lanzhou Gansu 730030

³Gannan Yak Milk Research Institute, Gannan Gansu 747000

Abstract: As an odour fingerprinting technique based on comprehensive odour information, the electronic nose has become a popular testing technique for milk and dairy products due to its many advantages such as being fast, non-destructive, convenient, effective and objective. Combined with conventional instrumental analysis and sensory evaluation methods, electronic noses have been studied more in the areas of odour information related to dairy adulteration, composition detection, and quality changes in dairy products during processing and storage, providing an effective guarantee for the dairy market to monitor the quality and safety of dairy products. This paper summarised the research progress in the application of electronic nose in the identification of dairy flavour components, freshness detection of milk and dairy products, monitoring of dairy processing, adulteration detection, etc., and outlooked further research directions in the application of electronic nose technology in milk and dairy products, aiming to provide a reference for rapid detection in the quality and safety of milk and dairy products, etc.

Keywords: electronic nose; principal component analysis; dairy products; detection; application

▲上接到56页

Guangdong Institute of Product Quality Supervision and Inspection, Foshan Guangdong 528300

Abstract: [Objective] To ascertain the nonylphenol contamination level in liquid milk and health risks so as to provide reference for perchlorate standard formulation and risk manage liquid milkment. [Method]Dairy products were randomly drew from markets, and the content of nonylphenol in dairy products was detected by ultra performance liquid chromatography-mass spectrometry.[Result]A total of 100 food samples from 2 food categories were analyzed, including pasteurized milk and UHT sterilized milk nonylphenol detection rate was 80.00% with a mean value as 82.43 μg/kg. The highest mean value of nonylphenol was 87.06 μg/kg in pasteurized milk. The amount of nonylphenol intakes through the total diet were found to be at a relatively safe level.[Conclusion]This paper evaluated the risk of nonylphenol, combined with the testing results of 100 batches commercial instant liquid milk. The results had shown instant liquid milk of the market was generally safe and low risk to human health.

Keywords: liquid milk; nonylphenol; occurrence