

肉及肉制品掺假鉴别技术研究进展

许文娟^{1*} 赵 晗¹ 孔彩霞¹ 韩 芳² 刘文鹏¹ 丁葵英¹ 田国宁¹ 段效辉³

1. 潍坊海关 山东潍坊 261041

2. 合肥海关 安徽合肥 230000

3. 烟台海关 山东烟台 264000

摘 要 我国是肉及肉制品消费大国,但利益驱使下肉类食品的掺假问题数见不鲜。对肉及肉制品掺假鉴别技术的研究一直是食品安全领域的研究热点,但肉类产品种类繁多、成分复杂,且掺杂物质外观组成和理化性质很接近,通常很难用一般的化学方法判定真伪。综述了聚合酶链式反应、酶联免疫技术、重组酶等温扩增、质谱技术、近红外光谱技术,以及电子鼻技术在肉类食品掺假鉴别中的应用进展,介绍了各种检测技术的原理和优缺点,简述了国内外研究者采用相关技术进行肉类鉴别的研究内容,并展望了食品掺假鉴别领域的发展趋势,以期对相关领域工作者提供研究参考。

关键词 肉制品 食品安全 掺假 近红外 电子鼻

Research progress on adulterant identification technology of meat and meat products

XU Wenjuan, ZHAO Han, KONG Caixia, HAN Fang, LIU Wenpeng, DING Kuiying, TIAN Guoning, DUAN Xiaohui

Abstract China was a big consumer of meat and meat products, but adulteration problem of meat products driven by profit was endless. The adulterant identification technology of meat and meat products was always a research focus in the field of food safety. However, there were many kinds of meat products, and the components were complex, and the appearance composition and physical and chemical properties of dopant were very close, and it was difficult to determine the authenticity by general chemical methods. The application progress of polymerase chain reaction, enzyme-linked immunosorbent assay, isothermal amplification of recombinant enzyme, mass spectrometry, near infrared spectroscopy and electronic nose in the adulterant identification of meat products were reviewed, and the principles and advantages and disadvantages of various detection technologies were introduced. The research contents of relevant technologies for meat identification by domestic and foreign researchers were briefly described, and the development trend of food adulteration identification was prospected, and it provided research reference for workers in related fields.

Key words meat products; food safety; adulteration; near infrared spectroscopy; electronic nose

近年来,人们对于肉类产品安全性的关注从化学有害物残留、微生物超标扩展到廉价肉掺假问题^[1]。“假肉门”、国外“僵尸肉”问题的曝光,使得

人们对于肉类安全更加担忧。肉类掺假问题不仅关乎食品安全、营养价值和经济贸易等问题,更会危害消费者的身体健康,尤其是对某种肉类产品过敏的人群。在清真认证肉类食品中,掺入猪肉还会涉及宗教信仰等问题,妨碍社会安定和谐^[2-4]。此外,我国近年来肉类进出口贸易往来不断扩大,《中华人民共和国进出口税则》中,海关对不同种类的进出口肉

收稿日期:2021-06-17

基金项目:海关总署科研项目(2019HK107),济南海关科研项目(2020JK004),安徽省重点研究和开发计划(1804h06020349)

作者简介:许文娟(1986-),女,回族,硕士,高级工程师,主要从事食品检验的研究, E-mail:281184493@qq.com

* 通讯作者:许文娟

也有不同的税率要求。不论从社会稳定、消费者身体健康,还是进出口贸易监管方面,对肉及肉制品进行掺假成分鉴别具有重要意义。

由于肉类产品种类繁多、成分复杂,而且掺杂物质种类多,外观组成和理化性质又很接近,通常很难用一般的化学方法判定真伪^[5]。目前,已报道的食品掺假检测方法多达15种以上,从传统的感官鉴定到基于核酸的聚合酶链式反应(PCR)、基于抗原抗体的酶联免疫(ELISA)、基于特征肽段检测的质谱分析等^[6,7]。

本文将对肉类掺假鉴别中研究较多的6种常用技术的应用进展进行介绍,便于相关工作者根据实际工作选择适合的方法开展工作。

1 聚合酶链式反应(PCR)

聚合酶链式反应(PCR)技术,是基于核酸的检测手段,具体原理是在DNA聚合酶催化下,以母链DNA片段为模板,以预先设计好的特异性引物为起点,经过高温变性、低温复性、适温延伸等操作步骤,循环多次以后,体外扩增产生与母链DNA模板片段互补的子链DNA片段的技术,主要又可分为荧光定量PCR、数字PCR技术等^[8-10]。以核酸为基础来鉴别肉及肉制品是否掺假,可以避免被检对象由于加工过程出现的检测误差,稳定性较高,灵敏度好。

PCR是目前肉类鉴别应用最广泛和成熟的方法之一。刘岑杰^[11](2015)等采用荧光定量PCR技术检测了肉制品中的鸭源性成分,该文献建立的方法检出限低至0.01%,因此灵敏度好,利用该方法对市售的牛肉片、羊肉串等肉类样品进行盲样检测,结果各样品均发现了鸭源性成分,为监管部门维护食品安全提供了数据支持。金鹭^[12](2020)等利用实时荧光定量PCR技术(rPCR)结合微滴式数字PCR技术(ddPCR),基于rPCR定量检测数据,采用ddPCR建立采集数据与羊肉质量的数学关系,确立了羊肉含量的定量方法,该方法特异性好,检出限最低为0.01 ng/ μ L,能够对含量最低为5%的羊肉进行准确定量。陈晓宇^[13](2021)等采用实时荧光

PCR技术对牛肉及其制品中掺假情况进行研究,所建立的方法灵敏度高且重复性好,通过对流通环节不同渠道、不同种类的牛肉样品进行动物源性成分调查,发现市售牛肉及制品的掺假类别主要为猪、鸡、鸭或大豆成分。

我国已将PCR检测技术作为鉴定肉类的标准方法,且以实时荧光PCR为主。相继出台的国家标准、行业标准和地方标准,已经可以开展几乎所有动物源性成分的检测,代表性的标准有GB/T 21104-2007《动物源性饲料中反刍动物源性成分(牛、羊、鹿)定性检测方法PCR方法》、GB/T 38164-2019《常见畜禽动物源性成分检测方法实时荧光PCR法》、SN/T 2980-2011《动物产品中牛、山羊和绵羊源性成分三重实时荧光PCR检测方法》DB15/T 2025-2020《牛和猪源性成分同步检测方法实时荧光PCR法》。

PCR技术适用于多物种的鉴定,且具有灵敏、高效、准确等显著优点,虽然实时荧光PCR技术弥补了传统PCR技术的易交叉污染以及假阳性结果的不足,但存在检测成本高,且易受DNA降解、复杂基质干扰检测结果等缺点^[14,15]。

2 酶联免疫法

酶联免疫分析法(ELISA)是一种基于抗原-抗体的特异性识别,与酶的高效催化相结合的分析方法,具有简便性、敏感性和特异性的特点。目前,应用于肉类食品鉴定的ELISA方法主要有直接法、间接法、双抗体夹心法、间接竞争法等,这些技术是通过定性与定量分析肉类样品中特异性抗原从而实现源性鉴别的。近年来,ELISA技术在动物源性成分鉴别方面得到了广泛的应用^[16]。Kang' ethe^[17](1982)等便使用间接ELISA技术检测马肉与牛肉的种属特异性抗体,并据此将二者分开。骆训国^[18](2010)等采用酶联免疫法检测猪肉成分,方法的检测灵敏度高,最低能检测出1%的掺入量。Rencova^[19](2000)等基于多克隆抗体建立了间接竞争ELISA方法,用于鉴别经过热加工的家禽、袋鼠、马、老鼠的肌肉组织,方法的准确性较好。

采用酶联免疫技术检测肉类掺假最大的缺陷是目的蛋白经过加热过程会变性,无法通过抗体进行检测,有研究发现动物肌肉中的肌红蛋白(MMb)具有热稳定性,可以基于肌红蛋白建立识别方法。侯瑾^[20](2018)将羊肌红蛋白作为特异性指标建立了ELISA方法,能够准确的定量出混合生肉和混合熟肉中生羊肉、熟羊肉的含量。

酶联免疫分析技术的优点是特异性强、灵敏度高,但在蛋白质变性上有明显短板,如果蛋白质发生变性,则ELISA技术会受到显著影响,因为抗原抗体的识别过程特异性很强,抗原蛋白质一旦变性失活,就会导致抗原-抗体无法有效识别^[21,22]。

3 重组酶等温扩增技术

重组酶等温扩增技术是一种新型的体外核酸等温扩增技术,目前主要有重组酶聚合酶扩增(RPA)与重组酶介导扩增(RAA)2项技术^[23]。与传统的PCR技术相比,虽然二者均基于核酸检测,但PCR技术对温度要求高,需要反复摸索得到反应过程的退火温度,且程序复杂,耗时长。而重组酶等温扩增技术无需进行高温循环,恒温条件下反映20min即可实现靶基因的有效扩增,反应时间缩短了,还可用于结果的实时分析,特别适合对大量样品进行现场鉴别^[24]。我国已将该技术制定成检验检疫行业标准方法,用于政府部门对动物源性成分的监管。如SN/T 5227.1-2019《出口食品中鸡源性成分快速检测重组酶介导链替换核酸扩增法(RAA法)》、SN/T 5227.5-2019《出口食品中牛源性成分快速检测重组酶介导链替换核酸扩增法(RAA法)》等。

郭燕华^[25](2017)等基于牛源性线粒体细胞色素B基因设计了特异性的RPA方法,其灵敏度低至0.1ng/μL,可用于鉴定生鲜肉、加工肉制品中的牛源性成分。苗丽^[26](2019)等以鸡线粒体细胞色素B基因,设计出特异性引物以及exo探针,据此建立了RAA方法,可以实现对乌鸡肉、高山鸡肉、白羽鸡肉、野鸡肉、芦花鸡肉DNA的快速特异性扩增,而对牛肉、羊肉、猪肉的DNA均未扩增,该方法对鸡源性成分的最低检测限为0.1%(质量分数)。

重组酶等温扩增技术检测速度快且不受场地限制,是一种较具推广性的现场快速检测方法,但同其他技术一样,也易受多种因素干扰,如技术本身的酶活性、引物探针的设计,以及前处理、反应温度等外在的操作因素^[27]。此外,该方法反应体系固定、试剂成本较高,均限制了其实用性。

4 质谱技术

质谱(MS)方法是基于肉类蛋白或多肽而进行的特异性检测,相较于DNA,肉制品蛋白质的氨基酸序列在加工过程中更稳定^[28]。早期基于质谱的肉类掺假鉴别主要采用凝胶电泳进行蛋白质分离,用基质辅助激光解吸电离飞行时间质谱(MALDI-TOF-MS)进行蛋白质鉴定,随着靶向蛋白质组学的发展,基于串联质谱的特异肽段检测已成为质谱技术鉴别肉类掺假的主要方法。根据不同来源的肉类产品中特异性蛋白质的差别,在串联质谱平台建立多反应监测(MRM)方法,一次性同时检测多个特征肽,从而识别多个物种。利用MRM触发的增强离子扫描方式可以进一步确认目标蛋白质/肽序列,从而有效地去除假阳性,增强检测结果的可靠性^[29,30]。

Sarah^[31](2016)等利用LC-QTOF-MS技术对冷冻和煮熟猪肉中的特异性肽进行鉴别,建立了多反应监测方法,发现7种猪肉样品中均检测出同种特异性肽,为猪源性成分检测提供了数据支持。李莹莹^[32](2016)等研究了5种常见肉中种属特征性肽,基于识别出的特征性肽段,利用液相色谱-三重四极杆质谱对羊肉和鸭肉混合样品特征性多肽进行定性和定量分析,构建的定量离子对线性关系良好,检出限为0.5%。古淑青^[33](2018)等采用高效液相色谱-三重四极杆质谱对羊肉、鸭肉、鸡肉、猪肉的特征性肽段进行了定性和MRM定量分析,该方法对掺假鸭肉最低检出限为0.25%、掺入猪肉检出限为0.17%、鸡肉为0.10%。

质谱技术进行肉类掺假检测,结果不易受外界干扰,更准确、可靠性强。但该方法前处理过程繁琐、仪器成本较高,无法满足快速检测的需求,限制

了其推广应用。

5 近红外光谱技术

随着化学计量学的发展,近红外光谱技术(NIR)近年来快速发展起来。采用该技术无需对样品进行前处理,根据不同化合物在特定红外波长(780~2526nm)的吸收情况,直接上样便可进行定性分析,速度快、效率高、成本低、测试重现性好、测量方便,成为食品分析领域的一种新选择^[34]。不同种类肉制品在近红外波段的吸收响应情况不同,将大量采集的NIR数据与多种数学模型结合处理,可成功用于肉及肉制品的掺假鉴别。

白京^[35](2019)等利用近红外光谱技术对解冻牛肉汉堡饼中的猪肉掺假进行判别分析,并应用偏最小二乘法定量了肥瘦不同的解冻牛肉汉堡饼中的掺假猪肉比例,所建立的判别模型准确性高。孙乃旭^[36](2020)将计算机图像处理技术与NIR结合检测熟兔肉中猪肉的掺假比例,结果表明偏最小二乘判别分析和反向传播神经网络2种判别模型准确度均很高,证明该方法可有效区分兔肉和猪肉。张玉华^[37](2015)等采用近红外光谱结合多种数学处理方法,建立了牛肉和羊肉中掺杂其它种类肉的鉴别模型,建立的各种模型的准确度均达到90%以上,可有效鉴别牛肉、羊肉中的常见掺假肉。

近红外光谱技术进行肉类掺假鉴别,其建模过程需要大量的数据积累,化学计量学也对使用者有一定的理论水平要求。但该技术可以实现肉类掺假鉴别的无损检测,检测速度快,将成为以后研究和应用的重点。

6 电子鼻技术

电子鼻是一种智能仿生设备,是基于目标物的挥发性成分,采用气体传感器建立响应曲线快速识别气味组成的电子系统。与普通的化学仪器如色谱仪、光谱仪等不同,电子鼻无需对检测对象进行预处理,即可得到样品中挥发成分的整体信息,即“指纹数据”,而非被测样品各种成分的定性和定量结果。电子鼻不但能对不同样品的气味信息进行对比分

析,还可通过采集标准样品的指纹图谱建立数据库,继而利用统计分析方法对样品未知成分进行定性和定量分析^[38,39]。

不同肉类挥发性成分组成有所不同,不同时期、含有不同有害成分的肉类,在特定条件下挥发出的气体组成也不同。基于此,用电子鼻系统进行肉类的新鲜度、有害物质及掺假检测,是完全可行的。Tian^[40](2013)等在碎羊肉样品中分别掺入0%、20%、40%、60%、80%和100%猪肉,采用10种不同的MOS传感器组成的德国Airsense公司的PEN2型电子鼻对其进行了鉴别,识别模型准确率为97%,此研究对监管食品欺诈具有重要意义。贾洪锋^[41](2011)等研究了电子鼻对牦牛肉、牛肉中猪肉掺假识别的可行性,结果表明不同种类的肉在电子鼻仪器上有不同的特征响应图谱,电子鼻响应信号和猪肉掺假比例的相关性达0.976。国外研究者^[42](2011)采用电子鼻检测了清真香肠中是否掺入猪肉,从以牛肉、羊肉、鸡肉为原料的香肠中挑出掺有猪肉的香肠,并将检测结果与顶空气相色谱结果对比,表明采用电子鼻可以有效识别出非清真的香肠。田晓静^[43](2013)等采用电子鼻分析掺入鸡肉的羊肉糜,结果基于主成分分析和偏最小二乘回归建立的数学模型,可以有效预测混入羊肉中的鸡肉糜比例,证明电子鼻在羊肉掺假鉴别中的可行性。

电子鼻技术用于肉类掺假鉴别具有快速、无损的显著优势,不断完善的传感器技术及化学计量学方法使得该技术准确性和稳定性日趋成熟,且该仪器易于便携化,将更好的适用于现场检测。

7 展望

随着经济的发展,人们对食品质量的要求越来越高。肉及肉制品是人类的重要食物来源,经济价值相对较高,因此掺假现象屡禁不止。研究准确、可靠、快速的肉类真假鉴别方法,对于食品安全、经济贸易发展、社会稳定都具有重要意义。

目前,用于肉类掺假鉴别的技术有十几种,不同技术原理不同,特点各异,使用者可根据实际需

求选择合适的方法。基于蛋白的检测方法,由于蛋白遇高温会变性,影响特异性蛋白的识别,因此不适合深加工肉制品的鉴别,限制了其使用范围。基于核酸的检测技术,DNA 不易受外界因素影响,稳定性较高,但试剂盒成本高,且操作复杂。近红外光谱、电子鼻技术都是代表性的基于物种特定指纹信息的快速鉴别技术,具有无损、快速的优点,能满足肉类安全检测的新要求。但这些技术模型建立的过程需要大量数据,基础工作量大,对化学计量学的要求高。

未来,对于食品安全检测领域,在准确可靠的前提下,快速、无损、低成本的现场鉴别技术,将是各行业的共同需求。肉类鉴别方面,在现有的研究基础上,降低试剂盒成本、建立不同种类肉的特异性蛋白数据库、全球范围内采集足够多的肉类光谱和电子鼻等指纹信息、找到更优化的统计学方法,建立靠谱的数学模型,将是研究者继续努力的方向。另外,随着科技水平的发展,会有更多的新型技术用于肉类食品的成分鉴别^[44,45]。

参 考 文 献

- 1 威亚梅. 食品安全目标及其管理应用 [J]. 中国畜牧杂志, 2007, 14 (6) : 14 - 15, 18.
- 2 Moyer D C, Devries J W, Spink J. . The economics of a food fraud incident - Case studies and examples including Melamine in Wheat Gluten [J]. Food Control, 2017, 71 : 358 - 364.
- 3 Zhang W, Xue J. Economically motivated food fraud and adulteration in China: An analysis based on 1,553 media reports [J]. Food Control, 2016, 67 : 192 - 198.
- 4 Maria M, Vasiliki M M, Tjeodore K, et al. Lateral flow test for meat authentication with visual detection [J]. Food Chemistry, 2019, 274 : 803 - 807.
- 5 孙莹, 刘延平, 赵燕华. 探析食品检验对肉制品安全的重要性 [J]. 食品安全导刊, 2019 (28) : 74.
- 6 纪艺, 陈笑芸, 丁霖, 等. 肉类及肉制品中动物源性成分鉴别方法研究进展 [J]. 生物技术进展, 2020, 10 (6) : 711 - 716.
- 7 范梦晨, 韩爱云. 肉类掺假检测技术的研究进展 [J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12 (1) : 236 - 241.
- 8 洪奇华, 陈学秋, 金妙仁, 等. 数字 PCR 技术及其在动物生产中的应用 [J]. 中国畜牧杂志, 2021, 57 (3) : 45 - 53.
- 9 胡馨予, 黄朱梁, 汤海凤, 等. 基于 PCR 技术的肉类成分溯源鉴定方法研究进展 [J]. 食品安全质量检测学报, 2020 (11) : 3385 - 3390.
- 10 Xiaoyu Chen, Lixia Lu, Xiaohui Xiong, et al. Development of a real - time PCR assay for the identification and quantification of bovine ingredient in processed meat products [J]. Scientific Reports, 2020, 10 (4) : 1933 - 1949.
- 11 刘岑杰, 刘彦泓, 杨滴, 等. 肉制品中鸭源性成分的实时荧光 PCR 检测 [J]. 肉类工业, 2015 (1) : 51 - 53.
- 12 金鹭, 陈传君, 林华, 等. 基于实时荧光 PCR 对肉制品中羊肉的精确定量 [J]. 食品与发酵工业, 2020, 46 (8) : 246 - 253.
- 13 陈晓宇, 陆利霞, 熊雄, 等. 实时荧光 PCR 技术鉴别流通环节的掺假牛肉及其制品 [J]. 生物加工过程, 网络首发 : 2021 - 01 - 06.
- 14 张秀平, 苗丽, 黄世英, 等. 食品中鸭源性成分的微滴数字 PCR 定量检测方法的建立 [J]. 中国兽医杂志, 2020, 56 (6) : 29 - 34.
- 15 Kim M, Yoo I, Lee S Y, et al. Quantitative detection of pork in commercial meat products by TaqMan real - time PCR assay targeting the mitochondrial D - loop region [J]. Food Chemistry, 2016, 210 : 102 - 106.
- 16 李珍妮, 曾文祥. 酶联免疫吸附法在食品检验中的应用研究 [J]. 现代食品, 2020, 54 (22) : 190 - 191, 196.
- 17 Kang'ethe E K, Jones S J, Patterson R L. Identification of the species origin of fresh meat using an enzyme - linked immunosorbent assay procedure [J]. Meat Science, 1982, 7 (3) : 229 - 240.
- 18 骆训国, 栗绍文, 周蕾蕾, 等. 夹心 ELISA 方法检测生肉混合物中的猪肉成分的研究 [J]. 动物医学进展, 2010, 31 (s1) : 20 - 22.
- 19 Rencova E, Svoboda I, Necidova L. Identification by ELISA of poultry, horse kangaroo, and rat muscle specific proteins in heat processed products [J]. Veterinarni Medicina, 2000, 45 (12) : 353 - 356.
- 20 侯瑾. 基于酶联免疫吸附技术检测羊肉的掺假 [D]. 济南 : 齐鲁工业大学, 2018.
- 21 Mandli J, fatimi I E, seddaoui N, et al. Enzyme immunoassay (ELISA/ immunosensor) for a sensitive detection of pork adulteration in meat [J]. Food Chem, 2018, 255 : 380 - 389.

- 22 Prestam A T, Fujisaki K K, Nava O, et al. Comparison of real-time PCR and ELISA-based methods for the detection of beef and pork in processed meat products [J]. Food Control, 2017, 71: 346-352.
- 23 吕蓓,程海荣,严庆丰,等.用重组酶介导扩增技术快速扩增核酸[J].中国科学,2010,40(10):983-988.
- 24 吕蓓,程海荣,严庆丰,等.体外核酸快速扩增技术的发展和不断创新[J].中国生物工程杂志,2011,31(3):91-96.
- 25 郭燕华,王德莲,王强,等.重组酶介导等温扩增技术快速检测牛肉及牛肉制品中的牛源性成分[J].食品安全质量检测学报,2017,8(5):1745-1749.
- 26 苗丽,张秀平,王建昌,等.肉制品中鸡源性成分重组酶介导等温扩增检测方法的建立及应用[J].江苏农业学报,2019,35(4):954-959.
- 27 孙晓红,后来旺,李达容,等.重组酶等温扩增技术在分析检测中的应用研究进展[J].食品与发酵工业,2020,46(24):265-270.
- 28 Buckley M. Species identification of bovine, ovine and porcine type collagen; comparing peptidemass fingerprinting and LC-based proteomics methods [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2016, 17(4): 445-461.
- 29 张颖颖,赵文涛,李慧晨,等.液相色谱串联质谱对掺假牛肉的鉴别及定量研究[J].现代食品科技,2017,33(2):230-237.
- 30 Kim GD, Seo JK, Yum HW, et al. Protein markers for discrimination of meat species in raw beef, pork and poultry and their mixtures [J]. Food Chem., 2017, 217: 163-170.
- 31 Sarah S A, Faradalila W N, Salwani M S, et al. LC-QTOF-MS identification of porcine-specific peptide in heat treated pork identifies candidate markers for meat species determination [J]. Food Chemistry, 2016, 199(15): 157-164.
- 32 李莹莹,张颖颖,丁小军,等.液相色谱-串联质谱法对羊肉中鸭肉掺假的鉴别[J].食品科学,2016,37(6):204-209.
- 33 古淑青,詹丽娜,赵超敏,等.基于液相色谱-串联质谱法的肉类特征肽段鉴别及掺假测定[J].色谱,2018,36(12):1269-1278.
- 34 冯永巍,王琴.肉类掺假检验技术研究进展[J].食品与机械,2013,29(4):237-240.
- 35 白京,李家鹏,邹昊,等.近红外光谱定性定量检测牛肉汉堡饼中猪肉掺假[J].食品科学,2019,40(8):287-292.
- 36 孙乃旭.基于计算机图像处理技术与红外特征光谱融合的兔肉熟食识别方法[J].中国调味品,2020,45(1):126-128.
- 37 张玉华,孟一,姜沛宏,等.近红外技术对不同动物来源肉掺假的检测[J].食品工业科技,2015(3):316-319,334.
- 38 李翠翠,李永丽.近五年来电子鼻在食品检测中的应用[J].粮食与油脂,2020,33(11):11-13.
- 39 田晓静,王俊.电子鼻技术在肉与肉制品检测中的应用进展[J].肉类研究,2012,26(6):42-45.
- 40 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.
- 41 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.
- 42 Nurjuliana M, Cheman YB, Mathashim D, et al. Rapid identification of pork for halal authentication using the electronic nose and gas chromatography mass spectrometer with headspace analyzer [J]. Meat Sci, 2011, 88(4):638-644.
- 43 田晓静,王俊,崔绍庆.电子鼻快速检测区分羊肉中的掺杂鸡肉[J].现代食品科技,2013,29(12):2997-3001,2952.
- 44 周秀丽,刘全,查恩辉.电子鼻在掺假牛肉馅识别中的应用[J].食品工业科技,2017(4):73-76,80.
- 45 Jia W, Liang G, Jiang Z, et al. Advances in Electronic Nose Development for Application to Agricultural Products [J]. Food Analytical Methods, 2019, 12(6):2226-2240.