

食品中猪源性成分检测方法研究进展

Research progress on the detection method of swine source components in food

程 浩¹ 李明生^{1,2} 陈士恩¹ 丁功涛¹ 田晓静¹

CHENG Hao¹ LI Ming-sheng^{1,2} CHEN Shi-en¹ DING Gong-tao¹ TIAN Xiao-jing¹

热孜万古力·赛买提¹ 杜江龙¹ 高丹丹¹

SAIMAITI Reziwanguli¹ DU Jiang-long¹ GAO Dan-dan¹

(1. 西北民族大学生命科学与工程学院, 甘肃 兰州 730030; 2. 生物医学研究中心, 甘肃 兰州 730030)

(1. College of Life Science and Engineering, Northwest University for Nationalities, Lanzhou, Gansu 730030, China; 2. Biomedical Research Center, Lanzhou, Gansu 730030, China)

摘要:综述基于 DNA、蛋白质、人工嗅觉系统、光谱技术、电子鼻等食品中猪源性成分的多种检测方法的最新应用进展和优缺点, 为未来中国食品中猪源性成分检测提供依据。

关键词:猪源性; 检测方法; 蛋白质; DNA

Abstract: In the food industry, pork adulteration in meat products is comparatively serious due to the economic interests and moral standards, etc., which not only bring hidden dangers to the health of consumers, but also may cause the damage to the social harmony. In this study, the latest application progress and advantages and disadvantages of various detection methods based on DNA, protein, artificial olfactory system, spectroscopic technology, electronic nose and other food stuff were reviewed. This review would provide the basis of the detection of porcine-derived materials and components in food in the future.

Keywords: porcine-derived materials; detection method; Protein; DNA

近年来中国食品安全方面的问题仍然较为严峻, 在食品消费市场中不同肉类之间价格差异较大, 一些不法分子将低价肉进行加工售卖给消费者, 更严重的是利用病死猪进行加工、贩卖销售^[1]。随着食品分析检测技术的发展, 目前建立了多种检测方法。其中基于 DNA 的方法包括: 聚合酶链反应技术(PCR)、限制性片段长度多态性聚合酶链反应技术(RFLP)、实时定量荧光 PCR (Real time PCR) 和随机扩增多

态性 DNA 标记技术(RAPD)。基于蛋白质的方法包括: 免疫学法、双向凝胶电泳(2-DE)。其他方法: 光谱分析、色谱、质谱和电子鼻^[2]。截至目前这些方法在食品猪源性成分检测中都有很好的实用性和发展前景, 本文将对这些检测方法的原理、最新研究进展、优缺点进行阐述分析, 为建立科学、精确、快速、高通量的检测方法提供一定的依据。

1 基于 DNA 的猪源性成分检测技术

1.1 聚合酶链式反应 PCR

PCR 技术是在模板 DNA 和引物与 4 种脱氧核苷酸存在的条件下, 利用 DNA 聚合酶催化反应, 然后在体外扩增特异性 DNA 片段的技术。使用 PCR 法鉴别食品中的动物源性成分, 主要是利用动物线粒体 DNA 片段的特异性来设计引物, 然后进行 PCR 扩增得到目的片段, 最后用琼脂糖凝胶电泳进行分离, 由于每种动物 DNA 扩增片段的大小不同, 可以检测到动物源性成分^[3]。Bartlett 等^[4]建立了鉴定动物源性的 PCR 方法。Safdar 等^[5]将马、大豆、绵羊、家禽、猪肉和牛肉等混合加热后提取 DNA, 分别扩增其线粒体细胞色素 B、凝集素、12S rRNA、12S rRNA 片段, 建立了一种可以快速和常规检测到食品中的动物源性成分的多重 PCR 检测方法, 且对每一物种的最低检测限为 0.01%。李鑫等^[6]根据猪线粒体 *cybt* 基因设计引物后进行 PCR 扩增, 该方法特异性强, 对猪源 DNA 检测的灵敏度达到 100 bp, 可用于复杂食品样本的检测。刘建利等^[7]模拟灌肠制作工艺, 从掺入大量淀粉成分的猪肉灌肠中提取 DNA 然后设计特异性引物, 进行 PCR 反应检测其猪源性成分, 结果显示该方法用于猪肉灌肠猪源性成分检测时可以检测出模拟样品中 1% 的猪源性成分。此方法的优点是方便、灵敏度高成本较低, 缺点是只能定性检测。PCR 法具有灵敏度高和特异性强等优点, 但 PCR 法在检测过程中易出现假阳性、检测时间较长, 还需要

基金项目: 甘肃省科技计划资助(编号: 1504WKCA094); 科技部援助项目(编号: KY201501005); 甘肃省科技计划资助(编号: 17YF1WA166)

作者简介: 程浩, 男, 西北民族大学在读硕士研究生。

通信作者: 高丹丹(1983—), 女, 西北民族大学副教授, 博士。

E-mail: gaodan0322@163.com

收稿日期: 2018-04-02

获得高浓度和纯度的 DNA 才能得到可靠的结果,DNA 提取的方法也会影响 PCR 方法的检测结果。

1.2 限制性片段长度多态性聚合酶链反应技术(RFLP)

RFLP-PCR 是用 PCR 扩增目的 DNA,然后对扩增产物进行酶切,最后直接在凝胶电泳上进行分辨。因为不同等位基因的限制性酶切位点分布不同,所以产生不同长度的条带,利用条带大小的不同对猪源性成分进行检测^[8]。Kumar 等^[9]使用 RFLP 技术对线粒体细胞色素 b 基因,设计一对正向和反向引物(VPH-F 和 VPH-R),用于扩增靶向物种的 *cytb* 基因的保守区域,产生 609 bp PCR 扩增子。使用 AluI 和 TaqI 限制性酶对扩增子进行限制性内切酶消化,产生了一种能够区分物种的独特的消化模式,此方法可以对食品中猪源性成分进行检测,优点是精确性和特异性高,缺点是检测需要大约 24 h。Riaz 等^[10]用 RFLP 技术在猪肉、牛肉和小麦粉的三元混合物中有选择性地检测到猪的 DNA,检测下线为 0.000 1 ng。RFLP-PCR 的优点是扩增替代了酶切,避免了 RFLP 繁琐的 DNA 酶切、转移、杂交等步骤。RFLP-PCR 的缺点是不适用于对熟肉的检测且检测时间较长、成本高^[11]。

1.3 实时定量荧光 PCR(Real time PCR)

实时定量荧光 PCR 是将荧光基团加入到 PCR 反应体系中,然后利用荧光信号的累积对整个 PCR 的进程进行实时监测,最后通过标准曲线或 Ct 值对模板进行分析。Cai 等^[12]通过实时 PCR 对明胶产品中的猪源性和牛源性成分进行检测和定量分析。Perestam 等^[13]采用实时 PCR 和 ELISA 法对含有已知百分比的猪肉和牛肉的 15 个参考样品进行检测,结果显示,实时 PCR 能够检测出 0.10%的猪肉和 0.50%的双组分混合物的牛肉。说明与 ELISA 相比实时 PCR 法是更可靠更便宜的办法,但值得注意的是,此研究的结果是基于特定的方案进行的,其他的 QPCR 和 ELISA 方案可能会显示不同的结果。Al-Kahtani 等^[14]用实时 PCR 检测肉类混合物中的猪源性成分,采用猪肉 DNA 标准曲线和循环阈值(Ct)值进行量化,结果显示混合物中猪肉 DNA 的检测限分别为 0.22,0.047,0.048,0.000 003 7,0.015 ng/ μ L。由于实时 PCR 比常规 PCR 的灵敏度高,所以检测更加准确、可靠、灵敏。在肉类产品中如果检测出含有低于 0.1%的猪源性成分即可被认为是商业生产线中的交叉污染造成的,而不是故意掺假,因为如此低水平的掺假量在经济上是不划算的。Ali 等^[15]开发了一种 Taq Man 探针实时 PCR 检测方法,利用猪细胞色素 b 基因作为模板进行扩增,对 11 种不同肉类和鱼类的 DNA 进行特异性测试,结果表明,PCR 效率(*E*)为 93.8%,相关系数(*R*²)为 0.991,检测结果准确度为 (100 $\pm$ 0.01)%。实时 PCR 为深度加工的食品中猪源性成分的检测提供了一种快速、灵敏、高度特异的方法^[16-18]。

1.4 随机扩增多态性 DNA 标记技术(RAPD)

随机扩增多态性 DNA 标记技术(RAPD)是采用随机合成的寡核苷酸作为 PCR 的引物,对所研究生物的基因组 DNA 进行 PCR 扩增,将扩增产物进行琼脂糖凝胶电泳后,在紫外下对条带进行比较来区分物种的一种检测方法。

Martinez 等^[19]利用 RAPD 对几种肉类产品进行检测,利用 RAPD 法能够成功鉴定出肉类的动物源性。Rastogi 等^[20]成功地应用 RAPD 技术识别蛇和水牛以及其他物种,目的基因是线粒体 16S rDNA 和 NADH 脱氢酶亚基 4(ND4)基因和核肌动蛋白基因。RAPD 是一种简单而快速的猪源性检测方法,所选用随机引物不需要进一步放大基因片段的信息,操作简便^[21]。但是 RAPD 存在重复性差、需要高质量的 DNA 等缺点。这限制了其在高度加工肉类中的检测灵敏度。由于 PCR 反应的非特异性,RAPD 法不适用于鉴定混合肉类中的猪源性成分^[22]。

2 基于蛋白质分析的检测方法

2.1 免疫学法

ELISA 又称酶标法,是把已知的抗原或抗体吸附在固相载体表面,利用抗原抗体结合的专一性进行免疫反应的定性和定量的检测方法。陈辉^[23]采用了原核表达系统来获得重组猪骨骼肌肌钙蛋白 I (TnI-fast),分别制备了单克隆抗体和多克隆抗体,然后使用夹心 ELISA 法鉴别熟肉中猪源性成分。Yamamoto 等^[24]建立了灵敏度、重复性好的检测牛肌红蛋白的 ELISA 法。Kim 等^[25]研究了猪肉脂肪组织中热稳定性可溶蛋白(TSSP)的提取和存在以及 TSSP 的抗原性。特别是基于 PF 2B8-31 Mab 的 ELISA 法,无需任何优化就能敏感地检测出 1%的猪源性成分。同时还可以从混合物中检测到 1%的猪源性成分。此项研究开发的 MAbs 可作为生物受体,用于开发免疫分析,以便于快速检测食品中猪源性成分。Mandli 等^[26]开发了酶联免疫传感器,用于肉类中的猪源性成分的检测,利用 IgG 在聚合物改性石墨电极上的电诱捕技术,开发了直接和竞争性 2 种电化学免疫传感器模式,这 2 种模式分别能够在 2 h(生肉、熟肉灵敏度分别为 0.1%,1.0%)和 20 min(灵敏度为 0.01%)内完成猪源性成分的检测。ELISA 法是目前基于蛋白质鉴定猪源性成分最好的方法,操作简单且敏感性和特异性高,还能进行定量测定,可用于鉴定肉类中的任何物种。当然它也存在如蛋白质在热处理下易变性,重复性不好等缺点。

2.2 双向电泳(2-DE)

双向聚丙烯酰胺凝胶电泳技术是将等电聚胶和 SDS-PAGE 的结合起来,即先进行等电聚胶电泳(按照 pI)分离,再进行 SDS-PAGE(按照分子大小分离)。经过染色后得到二维分布的蛋白质电泳图。Lametsch 等^[27]通过使用双向凝胶电泳结合 MALDI-TOF 质谱法鉴定蛋白质斑点,成功检测猪肌肉蛋白质。Montowska 等^[28]对生肉和加工后的产品检测发现牛、猪、鸡、火鸡、鸭和鹅之间 2-DE 蛋白模式的种间差异。由于某些蛋白质在肉类老化过程中结构稳定且耐受热加工,所以利用双向电泳分析生肉,香肠等多种产品的蛋白质谱图,可以成功地检测食品中的猪源性成分。双向电泳法的优点是对未处理的样本耐受性好且条带分辨率高。但是双向电泳操作比较繁琐且重复性差。所以使用双向电泳进行蛋白质分析时就需要专门的技能和对该领域深入了解的特定的高技能人才^[11]。

3 其他检测方法

3.1 光谱分析

不同肉类产品的水、蛋白质、脂肪酸、脂类等基本成分含有特定化学键的官能团(O—H、C—H、N—H、C—O、氢键等),红外光谱对这些键进行照射会产生振动响应并将其记录为光谱^[29]。化学计量学从这些复杂的光谱中提取信息来进行定性和定量地识别不同的肉类种类^[30]。Bilge 等^[31]利用肉品种之间元素组成的差异性使用激光诱导击穿光谱技术(LIBS)来鉴别肉的种类,获得 LIBS 光谱图后利用化学计量法进行分析,牛肉中猪源性成分的测定系数(R^2)和 LOD 值分别为 0.994%和 4.4%,此技术可以对深度加工的肉样中猪源性成分进行定性和定量检测。研究结果显示此技术有很好的应用前景。为了使该方法能适用于大规模样品的常规分析,还需要进一步改进。比如,用于 LIBS 试验的肉类的脂肪提取和干燥过程中可以利用高功率光源或双脉冲 LIBS 技术来进行。此项技术虽然存在一些缺陷,但 LIBS 技术可成功的用于猪肉、牛肉、鸡肉的定性和定量分析,也可成为肉类加工企业质量控制实验室的有用工具。毛晓婷等^[32]用高光谱成像技术对猪肉和牛肉模型进行鉴定,使用人工神经网络(ANN)和支持向量机(SVM)模式对猪肉和牛肉模型的识别率分别为 97.5%和 100%,结果表明,使用成像光谱仪可以实现对猪源性成分的快速、准确检测。Garrido-Novell 等^[33]对歧视模型中异常像素作为判别每种物种的可能性进行了研究。然后构建偏最小二乘判别分析光谱和纹理模型,前者反应光谱信息,后者反应基于不同特征组的空间信息。最后,使用分类树对光谱和纹理信息进行整合,来确定这些信息的联合使用是否能够准确地区分物种。研究结果表明,将光谱特征和外观特征结合在一颗分类树中,比使用 PLS-DA 光谱模型的分类结果要好,可以达到 92%的正确率。基于光谱分析的另一种检测技术是傅里叶变换红外(FTIR)光谱。通过计算机进行傅里叶变换然后将得到的光谱用于分析鉴定。王毅虎等^[34]将傅里叶变换红外光谱(FTIR)与衰减全反射(ATR)联用进行判别分析,建立了简单、快速检测明胶中的猪源性成分的方法。孟一等^[35]利用傅里叶变换近红外光谱技术建立猪肉的定性识别模型,用主成分分析法对食品中猪源性成分进行检测。虽然光谱分析灵敏度高、选择性好、受干扰性比较低,但进行试验测定时所用仪器比较昂贵。并且对操作人员的技术要求较高,因此光谱分析对猪源性成分的检测只适用于实验室。

3.2 液相色谱和气相色谱

液相二级质谱(LC-MS/MS)是将经过第一次质谱检测的离子以某种方式碎裂后再进行质谱检测,具有很高的精确度与分辨率。气相色谱—质谱联用仪(GC-MS)是把气相色谱和质谱的特性结合起来检测不同物质的方法。马灵飞等^[36]用气相色谱法对大量的肉制品进行了检测,使用保留时间和质谱法对 36 种脂肪酸的成分进行了检测,可以对其 中 8 种脂肪酸的猪源性成分进行了鉴定。该方法具有操作简单、检测时间短、使用样品量少等优点,在猪源性成分检测

中具有一定的前景。Sha 等^[37]使用高效液相色谱(HPLC)和线性离子阱(LTQ)/Orbitrap 高分辨质谱联用系统可以对明胶中猪源性成分进行精准检测。HPLC-LTQ/Orbitrap 高分辨率质谱技术是食品工业中对明胶产品进行质量控制的一种潜在技术。但是其他食物成分比如糖和油等就会干扰检测结果。因此,只有改进液相色谱—高分辨率质谱法的识别方式,才能提高此技术对含有多种成分的食品检测的精度。液相二级质谱的优点是精确度高、分离能力强和检测限的范围较广泛,但它的缺点是对于沸点与溶剂相近的组分不能进行检测,而且溶剂很难挥发完,本底效应高不利于后续分辨。气相色谱(GC-MS)对化合物有很强的分离和鉴定能力,并且灵敏度极高,但是气相色谱的缺点是仪器价格昂贵,前期样品处理上会用到较多的有毒化学品,且购买手续麻烦。

3.3 电子鼻

电子鼻是由气敏传感器阵列、信号处理单元和模式识别单元三部分组成。检测时,气敏传感器阵列将气味分子吸附后产生信号,然后将信号传递到信号处理单元进行处理和加工,最后由模式识别单元对信号处理的结果做出综合判断后得出分析结果。Man 等^[38]使用电子鼻在 RBD 棕榈油中检测到猪源性成分。Nurjuliana 等^[39]用电子鼻检测和区分了猪油、其他类型的动物脂肪和含猪油的样品,结果以表面声波(SAW)探测器频率的气味振幅极坐标图来显示,然后使用主成分分析(PCA)来分析数据,开发了快速检测食品中猪源性成分的方法。田晓静等^[40]利用经典的 pH 值和颜色评价方法,结合电子鼻技术,建立了检测肉馅中猪肉掺假的模型。采用特征提取方法收集样本中挥发性化合物,利用主成分分析 PCA、加载分析和逐步线性判别分析 Step-LDA 等方法获得最优数据矩阵。采用 BP-ANN、PLS 和 MLR 建立了羊肉糜中猪肉量的估算模型,结果发现 BP-ANN 建立的模型可以比 PLS 和 MLR 更精确地预测掺假。电子鼻具有检测速度快、样品预处理简便、响应时间短等优点。但是传感阵列专属性以及稳定性较差、容易受到环境因素的影响(如温度、湿度、振动等)。所以在未来需要根据所测样品针对性地开发特异性强、敏感度高的传感器材料,并优化传感器阵列从而使电子鼻能够更好地对食品中猪源性成分或其他物种源成分进行检测。

4 结论

实时 PCR 是目前基于 DNA 检测食品中猪源性成分的最适方法。在实时 PCR 过程中,由于发射的荧光可以被自动测量并且与产物的量呈正比,所以可以直接对猪源性成分进行定量分析且灵敏度高。但同时存在 DNA 提取成本高、耗时长、DNA 受热易降解和会导致假阳性等缺点。这就需要后续研究对此方法进行改进,以创立一种更加快速、灵敏、高度特异且成本较低的方法。基于蛋白质的最适检测方法是 ELISA 法,该法的操作简便且敏感度和特异性高,所以可用于鉴定肉类中的任何物种。但在后续研究中需要克服蛋白质在热处理下易变性、重复性不好等缺陷。光谱分析虽然灵敏度高、选择性好、受干扰性比较低,但是进行试验测定时

使用的仪器比较昂贵,并且对人员的检测技术和操作能力要求较高,所以光谱分析只适用于实验室检测。液相二级质谱具有精确度高、分离能力强和检测范围较广泛等优点,但不适用分析复杂的成分。气相色谱不但灵敏度极高,且分离能力和对未知化合物的鉴定能力很强,所以气相色谱是目前分离和检测复杂化合物最有力的检测方法之一。电子鼻具有检测灵敏度高,检测速度快,检测时间短等优点,所以未来在猪源性成分检测中具有很大的发展空间。

参考文献

[1] 陈正芳, 曾萍, 杨具田, 等. 动物源性食品中猪源性成分检测[J]. 中国农学通报, 2015, 31(36): 259-264.

[2] ABBAS O, ZADRAVEC M, BAETEN V, et al. Analytical methods used for the authentication of food of animal origin[J]. Food Chem, 2018, 246: 6-17.

[3] ZENG Ling, WEN Jing, FAN Sigang, et al. Identification of sea cucumber species in processed food products by pcr-rflp method[J]. Food Control, 2018, 90: 166-171.

[4] BARTLETT S E, DAVIDSON W S. Fins (forensically informative nucleotide sequencing): A procedure for identifying the animal origin of biological specimens[J]. Biotechniques, 1992, 13(4): 518.

[5] SAFDAR M, JUNEJO Y. The development of a hexaplex-conventional pcr for identification of six animal and plant species in foodstuffs[J]. Food Chem, 2016, 192: 745-749.

[6] 李鑫, 孙甸甸, 张慧娟, 等. 一种食品中猪源性成分的快速检测技术[J]. 今日畜牧兽医, 2018(2): 1-3.

[7] 刘建利, 侯琳琳, 曹晓虹, 等. Pcr 法检测清真灌肠中猪源性禁忌物[J]. 食品科技, 2018(2): 307-311.

[8] SÓNIA S, JOANAS A, ISABEL M, et al. Quantitative detection of poultry meat adulteration with pork by a duplex pcr assay[J]. Meat Science, 2010, 85(3): 531-536.

[9] KUMAR D, SINGH S P, KARABASANA VAR N S, et al. Authentication of beef, carabeef, chevon, mutton and pork by a pcr-rflp assay of mitochondrial cytb gene [J]. J Food Sci Technol, 2014, 51(11): 3 458-3 463.

[10] AL-MAZEEDI H M, REGENSTEIN J M, RIAZ M N. The issue of undeclared ingredients in halal and kosher food production: A focus on processing aids[J]. Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety, 2013, 12(2): 228-233.

[11] LUBIS H N, MOHD-NAIM N F, ALIZUL N N, et al. From market to food plate: Current trusted technology and innovations in halal food analysis[J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 58: 55-68.

[12] CAI Hui, GU Xue-lin, SCANLAN M S, et al. Real-time pcr assays for detection and quantitation of porcine and bovine DNA in gelatin mixtures and gelatin capsules[J]. Journal of Food Composition & Analysis, 2012, 25(1): 83-87.

[13] PERESTAM 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.

[14] AL-KAHTANI H A, ISMAIL E A, ASIF AHMED M. Pork detection in binary meat mixtures and some commercial food products using conventional and real-time pcr techniques[J]. Food Chem, 2017, 219: 54-60.

[15] ALI M E, HASHIM U, DHAHI T S, et al. Analysis of pork adulteration in commercial burgers targeting porcine-specific mitochondrial cytochrome b gene by taqman probe real-time polymerase chain reaction[J]. Food Analytical Methods, 2011, 5(4): 784-794.

[16] AMARAL J S, SANTOS C G, MELO V S, et al. Identification of duck, partridge, pheasant, quail, chicken and turkey meats by species-specific pcr assays to assess the authenticity of traditional game meat alheira sausages[J]. Food Control, 2015, 47: 190-195.

[17] AMARAL J S, SANTOS C G, MELO V S, et al. Authentication of a traditional game meat sausage (alheira) by species-specific pcr assays to detect hare, rabbit, red deer, pork and cow meats[J]. Food Research International, 2014, 60(6): 140-145.

[18] CUNHA S C, AMARAL J S, OLIVEIRA M B P P. Authentication of vegetable oils[J]. Transworld Research Network, 2011(7): 97-128.

[19] MARTINEZ I, YMAN I M. Species identification in meat products by rapd analysis[J]. Food Research International, 1998, 31(6): 459-466.

[20] RASTOGI G, DHARNE M S, WALUJKAR S, et al. Species identification and authentication of tissues of animal origin using mitochondrial and nuclear markers[J]. Meat Science, 2007, 76(4): 666.

[21] WU Xiao-bing, LIU Hui, JIANG Zhi-gang. Identification primers for sika deer (cervus nippon) from a sequenceâ characterised amplified region (scar)[J]. New Zealand Journal of Zoology, 2006, 33(1): 65-71.

[22] FAJARDO V, GONZÁLEZ I, ROJAS M, et al. A review of current pcr-based methodologies for the authentication of meats from game animal species[J]. Trends in Food Science & Technology, 2010, 21(8): 408-421.

[23] 陈辉. 夹心 elisa 方法检测熟肉中猪肉成分的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011: 51.

[24] YAMAMOTO T, KATO M, ENDO K, et al. Detection of ruminant meat and bone meal in feeds by sandwich elisa with monoclonal antibodies [J]. J Vet Med Sci, 2016, 77(12): 1 605-1 609.

[25] KIM J S, KWON I J, KIM M G, et al. Production and preliminary characterization of monoclonal antibodies highly specific to pork fat protein[J]. Food Control, 2017, 79: 80-86.

[26] MANDLI J, EL FATIMI I, SEDDAOUI N, et al. Enzyme immunoassay (elisa/immunosensor) for a sensitive detection of pork adulteration in meat[J]. Food Chem, 2018, 255: 380-389.

[27] LAMETSCH R, ROEPSTORFF P, BENDIXEN E. Identification of protein degradation during post-mortem storage of pig meat[J]. J Agric Food Chem, 2002, 50(20): 5 508-5 512.

(下转第 220 页)

(上接第 172 页)

- [28] MONTOWSKA M, POSPIECH E. Species-specific expression of various proteins in meat tissue: Proteomic analysis of raw and cooked meat and meat products made from beef, pork and selected poultry species[J]. Food Chem, 2013, 136(3/4): 1 461-1 469.
- [29] DANEZIS G P, TSAGKARIS A S, CAMIN F, et al. Food authentication: Techniques, trends & emerging approaches[J]. Trends in Analytical Chemistry, 2016, 85: 123-132.
- [30] KUMAR Y, CHANDRAKANT KARNE S. Spectral analysis: A rapid tool for species detection in meat products[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 62: 59-67.
- [31] BILGE G, VELIOGLU H M, SEZER B, et al. Identification of meat species by using laser-induced breakdown spectroscopy[J]. Meat Science, 2016, 119: 118.
- [32] 毛晓婷. 光谱分析技术在食品及医药检测上的应用[D]. 杭州: 中国计量学院, 2016: 70.
- [33] GARRIDO-NOVELL C, GARRIDO-VARO A, PÉREZ-MA-RÍN D, et al. Using spectral and textural data extracted from hyperspectral near infrared spectroscopy imaging to discriminate between processed pork, poultry and fish proteins[J]. Chemometrics & Intelligent Laboratory Systems, 2018, 172: 90-99.

(上接第 194 页)

- [24] 郭文强, 安裕伦, 刘世曦. 基于变异系数法的贵州省石漠化驱动力研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(15): 9 158-9 159, 9 223.
- [25] 周禹含, 毕金峰, 陈芹芹, 等. 不同干燥方式对枣粉品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(11): 36-41.
- [26] 司金金, 辛丹丹, 王晓芬, 等. 干燥方式对红薯叶粉品质特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2018, 46(6): 1-9.
- [27] COSTA F O, PAIS A A C C, SOUSA J J S. Analysis of formulation effects in the dissolution of ibuprofen pellets[J]. Interna-

- [34] 王毅虎, 王颖, 张兵. 傅里叶变换红外光谱在区分牛明胶和猪明胶方面的潜在应用[J]. 明胶科学与技术, 2011(3): 140-144.
- [35] 孟一, 张玉华, 王家敏, 等. 基于近红外光谱技术快速识别不同动物源肉品[J]. 食品科学, 2014, 35(6): 156-158.
- [36] 马灵飞, 周围, 张雅珩, 等. 基于脂肪酸差异的肉制品中猪源性成分鉴别方法的研究[J]. 分析测试学报, 2016, 35(10): 1 295-1 300.
- [37] SHA Xiao-mei, HU Zi-zi, TU Zong-cai, et al. The identification of three mammalian gelatins by liquid chromatography-high resolution mass spectrometry[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 89: 74-86.
- [38] Man Y B C, TAN Chin-ping, NORAINI I, et al. Detection of lard adulteration in rbd palm olein using an electronic nose[J]. Food Chemistry, 2005, 90(4): 829-835.
- [39] NURJULIANA M, CHE MAN Y B, MAT HASHIM D. Analysis of lard's aroma by an electronic nose for rapid halal authentication [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2010, 88(1): 75-82.
- [40] TIAN Xiao-jing, WANG Jun, CUI Shao-qing. Analysis of pork adulteration in minced mutton using electronic nose of metal oxide sensors[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 119(4): 744-749.

(上接第 206 页)

- [8] 张思, 王蕾, 张志旭, 等. 16 种市售酵素食品功能分析与评价[J]. 食品与机械, 2016, 32(9): 196-200.
- [9] 郭艳萍, 赵金安. 葡萄酵素天然发酵过程中抗氧化性能研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(10): 35-38.
- [10] SULASIYAH S, SARJONO P R, AMININ A L N. Antioxidant from turmeric fermentation products (*Curcuma longa*) by *Aspergillus Oryzae*[J]. Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi, 2018, 21(1): 13-18.
- [11] OLADEJI B S, AKANBI C T, GBADAMOSI S O. Effects of fermentation on antioxidant properties of flours of a normal endosperm and quality protein maize varieties[J]. Journal of Food Measurement & Characterization, 2017, 11(1): 1-11.
- [12] JGF A, ASSIS V L, AJPO A, et al. Antioxidant and vasorelaxant activities induced by northeastern Brazilian fermented grape skins[J]. BMC Complementary & Alternative Medicine, 2017, 17(1): 376.
- [13] 韦仕静, 刘涛, 葛亚中, 等. 西兰花酵素在发酵过程中生化指标

变化及其抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2017(8): 123-129.

- [28] 章波, 冯怡, 徐德生, 等. 粉体流动性的研究及其在中药制剂中的应用[J]. 中成药, 2008, 30(6): 904-907.
- [29] 王弘, 陈宜鸿, 马培琴. 粉体特性的研究进展[J]. 中国新药杂志, 2006, 15(18): 1 535-1 539.
- [30] 宋贤聚. 低吸湿性杨梅粉喷雾干燥工艺的优化[J]. 食品与机械, 2013, 29(3): 226-229.
- [31] 吴锦铸, 胡卓炎, 何松, 等. 干制工艺对胡萝卜复水性的影响[J]. 食品科学, 1998(12): 23-27.
- [32] 张钟, 刘晓明. 不同干燥方法对生姜粉物理性质的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(11): 186-188.
- [14] 杨志鹏, 王婷, 袁峰, 等. 海棠果酵素产品开发及其生物活性研究[J]. 中国调味品, 2018(1): 48-51.
- [15] 冯彦君, 张慙, 韩宇斌. 麦苗酵素发酵工艺的优化及其抗氧化功能[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(2): 165-170.
- [16] 玄光善, 华晓雨, 李斌, 等. 复方纳豆酵素粉降血脂作用研究[J]. 青岛科技大学学报: 自然科学版, 2017, 38(s1): 56-58.
- [17] 战伟伟, 魏晓宇, 高本杰, 等. 蓝靛果椰子复合酵素发酵工艺优化[J]. 中国酿造, 2017, 36(1): 191-195.
- [18] 许雅娟, 赵艳景, 胡虹. 邻苯三酚自氧化法测定超氧化物歧化酶活性的研究[J]. 西南民族大学学报: 自然科学版, 2006, 32(6): 1 207-1 209.
- [19] 方玉梅, 张春生, 谭萍, 等. 金针菇黄酮类化合物的抗氧化性作用[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(3): 15-18.
- [20] 侯学敏, 李林霞, 张直峰, 等. 响应面法优化薄荷叶总黄酮提取工艺及抗氧化活性[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 124-128.