

肉糜产品中掺杂低档肉类检验技术研究进展

Research progress on the inspection technology of low grade meat adulterated in ground meat products

倪 雪 张根生 谢春丽 丁一丹 王铁钧

NI Xue ZHANG Gen-sheng XIE Chun-li DING Yi-dan WANG Tie-jun

(哈尔滨商业大学食品工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150076)

(School of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin, Heilongjiang 150076, China)

摘要:文章综述了利用组织学和生物学来检验肉糜产品中掺杂低档肉制品的主要方法,分别是以 DNA 为基础的检测技术、以蛋白质为基础的检测技术、免疫学检测技术以及电泳联合检测技术,并探讨不同检验技术的原理、检验结果精确度及其优缺点。

关键词:肉糜产品;掺假;低档肉;检验

Abstract: We reviewed the main methods of using histology and biology to detect adulterated meat products in minced meat products, including the DNA-based detection technology, protein-based detection technology, immunological detection technology and electrophoresis combined detection technology. Moreover, the principle, accuracy and advantages and disadvantages of different detection technologies were discussed.

Keywords: ground meat products; adulterated; low grade meat; detection

肉类是人类食用蛋白质的最佳营养来源之一,尤其是肉糜产品,由于其独特的风味和口感,正被世界各地消费者大量消费^[1]。因肉糜产品具有较高的商业价值,近年来不法商贩为谋求利益将低档肉掺混入其中的现象已变得较为普遍^[2]。据报道^[3],在肯尼亚,有将野生动物肉掺入家畜肉中;在澳大利亚,有将少量袋鼠和马肉添加到牛肉产品中;在印度,经常有将鸡肉和鸭肉掺入到羊肉中;在中国,有不法商家将鸡肉,甚至将老鼠肉掺入到肉糜中。如果在肉糜中掺入一些受感染的淋巴组织,会引发健康疾病;另外在肉糜中掺入某些非肉类成分(如蛋、奶制品),如果不加以声明,还可能引起某些特殊人群发

生过敏反应^[4]。

为了解决这个问题,各种基于物理、化学、解剖学的分析方法已被采用。物理检验技术主要是通过观察肉类的颜色、气味、形态等,其结果的准确性不高,而且肉糜类产品很难通过此法进行检验。化学检验技术受肉糜种类以及屠宰后肉质变化的影响较大,检测结果存在误差。在肉糜掺假鉴别中,由于肉糜的状态、掺假肉样种类较多等问题的存在难以通过简单的技术来检验。由于肉糜检验固有的局限性,物理检验技术和化学检验技术已被更精确、更灵敏的检测方法所取代。现如今,随着现代仪器分析与分子生物学技术的发展,国内外已开发出许多用于不同肉类检测的鉴定方法,这些方法以肉糜中的蛋白质、DNA、脂肪为研究对象,结合光谱、色谱和免疫分析等快速灵敏的检测方法,在很大程度上提高了检测结果的准确度^[5]。文章拟综述目前国内外肉糜产品掺假检测的研究现状,探讨各种检验方法的优、缺点及其适用范围。旨在为肉糜制品的市场监管提供依据,同时为尽快建立相应的标准体系提供一定的参考。

1 以 DNA 为基础的检验技术

由于 DNA 在所有组织和细胞中的稳定性和普遍性,基于 DNA 的物种识别方案获得了更广泛的应用。它是一种对物种的生物身份进行快速、准确鉴定的新兴的物种鉴别技术,与其他技术相比较,有着无可比拟的优势^[6]。其原理简单、操作方便,已被广泛用于肉类掺假检测当中,普通聚合酶链式反应(General-PCR)、多重聚合酶链式反应(Multiplicity-PCR)、实时聚合酶链式反应(Real-time PCR)和荧光定量聚合酶链式反应(Fluorescence quantitative PCR)等一系列检测方法都是基于 DNA 的检测技术^[7]。

1.1 普通 PCR 检验技术

PCR 技术是指针对指定的 DNA 序列设计引物,使用

基金项目:哈尔滨商业大学研究生创新科研项目(编号:YJSCX2019-617HSD)

作者简介:倪雪,女,哈尔滨商业大学在读硕士研究生。

通信作者:张根生(1964—),男,哈尔滨商业大学教授,硕士。

E-mail: zhanggsh@163.com

收稿日期:2019-06-09

具有热稳定性的 DNA 聚合酶,经过体外循环扩增,实现目标 DNA 快速复制的过程,但是对于不同物种要设计不同引物,且此法通用性不好,灵敏度低,操作耗时长,存在许多不足之处^[8]。

Yin 等^[9]探讨了一种基于 PCR 技术检测牦牛肉中混入牛肉的掺假技术,检测限为 0.01%,能够很好地识别出掺假的物种。熊蕊等^[10]运用 PCR 方法对生熟猪肉及制品中的猪源性成分进行检测,结果表明:该方法具有较高的特异性和敏感性,可作为牛羊肉中猪源性成分快速检测的手段,这项技术可以被应用在肉糜掺假检测当中。朱扬等^[11]研究了一种检测在牛肉或其加工制品当中掺杂低挡猪肉的方法,根据 PCR 技术牛肉中掺杂的猪肉进行定性检测,结果表明:混合肉及其他 6 种混合肉的检测限均为 0.1%,表明普通 PCR 技术可以从肉糜(混合肉)中检测到微量的猪肉成分。Langen 等^[12]通过 PCR 方法半定量检测肉制品当中的猪源性成分,检测限可以达到 0.1%,该方法可以被用来检测肉糜产品中掺假的猪肉。

1.2 实时 PCR 检验技术

传统的 PCR 通常能够对鉴定出的物种产生定性结果,而实时 PCR 技术已被证明是一种有效检测小分子质量的工具。在一些复杂的食物中,实时 PCR 可能是最常用的基于 DNA 的定量方法,运用实时 PCR 检测技术能更好地检测出肉糜中掺假的肉类品种。但是,设备和试剂的高成本仍然是该技术广泛应用的一个缺点。实时聚合酶链反应(Real-time PCR)在物种鉴定和食品中 DNA 含量的定量分析方面具有重要的应用价值^[13]。

Kang 等^[14]建立了一种新的基于参考引物的实时定量 PCR 技术,能够定量检测猪肉和羊肉的掺假,定性检测山羊肉与未知动物肉类的掺假。刘岑杰等^[15]应用荧光定量 PCR 检测技术对肉制品中的鸭源性成分进行了检测,建立了检测鸭肉成分的荧光定量 PCR 技术。结果表明:该方法的特异性好,最低检出限为 0.01%,灵敏度较高,同时对市售羊肉串、预制牛肉片等 7 种样品进行盲样检测,结果均含有鸭源性成分,发现了大量使用鸭肉掺假的行为,为肉糜掺假的研究提供了很好的依据。Mohamad 等^[16]应用实时定量 PCR 研究比较了猪肉的基因性质,为食品中猪 DNA 的检测和计算提供了一种灵敏的自动物种识别方法。Meira 等^[17]采用实时 PCR 方法定性和定量测定加工食品中马肉的掺假,检测牛肉糜中马肉掺假情况的灵敏度和特异性分别为 0.000 1% 和 0.1 pg。冯永巍等^[18]的研究中也对实时 PCR 检测技术鉴定肉类品种进行了报道。

1.3 多重 PCR 检验技术

由于 DNA 与蛋白质相比有较高的稳定性,以 DNA 为基础的多重 PCR 检测技术提供了一种快速、灵敏可以替代蛋白质的方法^[19]。并且能够同时检测多个物种的一

种简单且高特异性的方法。

Xu 等^[20]研究建立了一种多重锁相核酸实时聚合酶链反应,用此法检测肉源中混入的鸭肉、猪肉、牛肉和鸡肉,结果显示各物种检测限达到 0.01%,是一种高通量、灵敏、特异的可用于肉类及肉制品中多种肉源的鉴别方法。Thanakiatkrai 等^[21]成功开发了一种直接 3 倍实时 PCR 检方法,可以快速(1 h 内)、准确地识别出 6 种肉类,而且分析成本低,具备在食品检测实验室推广的潜力。Ali 等^[22]运用多重 PCR 技术对伊斯兰教中禁用的 5 种肉(猫、狗、猪、猴和大鼠肉)进行检测,对所有 PCR 产物在凝胶图像和电子色谱图中进行鉴定,可以筛选出受损害状态和复杂基质条件下的目标物种。Prusakova 等^[23]应用多重 PCR 同时检验肉制品中 5 种常见食用肉和 5 种常见的禁用肉,所建立的多重 PCR 方法特异性强,每次反应灵敏度可达 30 pg。何海宁等^[24]运用多重 PCR 技术检测牛肉中掺杂的猪肉、鸭肉,该法能够同时测定这 3 种掺假肉当中的任意两种,是一种准确快速的肉类检测方法。Hou 等^[25]通过检测牛肉、猪肉、羊肉和鹌鹑肉制品中掺杂的鸡、鸭和鹅的 DNA,运用多重 PCR 方法同时鉴定这 3 种肉,即使在目标 DNA 含量为 0.05 ng 或目标肉含量为 0 的情况下,该方法也能够在原料和加工肉制品中同时识别鸡、鸭和鹅 3 种掺杂在目标肉当中的掺假肉,具有较高的灵敏度。

2 以蛋白质为基础的检验方法

基于蛋白质的方法是根据样品中特定蛋白质的检测水平来识别不同类型肉类物种起源的技术。色谱、光谱以及电泳检测技术都是以蛋白质为基础的测定方法^[1]。

2.1 色谱方法检验技术

2.1.1 气相色谱检验技术 食品中肉类检验的方法越来越多,通过气相色谱检测肉糜当中的掺假肉仍是一种高效可取的办法。Nurjuliana 等^[26]使用顶空分析(GCMS-HS)的电子鼻和气相色谱质谱仪研究猪肉和其他肉制品的挥发性化合物,将其成功用于鉴别和区分牛肉、羊肉、鸡肉和猪肉。Wang 等^[27]建立一种利用电子鼻和气相色谱-质谱联用技术鉴别劣质鸭肉在羊肉中掺假的方法,采用费希尔线性判别分析(FLDA)和线性回归拟合分析对预处理结果进行定性和定量分析,该方法证明利用 E-nose 快速检测羊肉掺假鸭肉具有较高的准确性,减少了检测时间,提高了检测效率,在鉴别掺假肉样品方面有很大的应用前景。Dimitrios 等^[28]通过采集牛肉、猪肉和混合肉(70%的牛肉和 30%的猪肉),对其进行顶部空间分析。运用液相微萃取与气相色谱-质谱联用(HS-SPME/GC-MS)技术,提出了一种基于肉糜中挥发组分的鉴别方法,建立的两个分类数据模型中,总体正确分类率平均为 99%。结果表明,此研究中所采用的挥发组学方

法可以作为一种可靠的鉴别方法,在离线模式下也可对肉类样品进行分类。

2.1.2 液相色谱检验技术 基于液相与质谱联用(LC-MS)的方法比基于酶联免疫吸法(ELISA)和聚合酶链式反应(PCR)的方法更精准。此外,液质联用法(LC-MS)能够在一次运行当中检测出十几种不同的肉类物种,更加方便快捷。Fornal 等^[29]提出了一种基于物种特异性肽段的液质联用(LC-MS)多重反应检测方法用于鸭肉、鹅肉和鸡肉的检测,结果显示:该方法能够成功地检测出混合肉样中的鸡肉、鸭肉、鹅肉,能够对加工食品进行定性筛选。Chou 等^[30]建立了一种既快速又经济的能够对多品种肉类进行检测的高效液相色谱—电化学检测方法,补充了现有的肉类物种分化鉴定方法。该法能够同时区分 15 种常见的肉类,这种情况很罕见,根据物种的特征峰进行掺假鉴定是一种可取的鉴定方向。李莹莹等^[31]利用液相色谱—串联质谱法构建的多肽识别技术来鉴定羊肉中掺杂鸭肉,该方法测定结果与掺假模拟试验的真实值较为接近,是一种快速、灵敏、准确检测羊肉中掺杂鸭肉的方法。

2.2 光谱分析方法检验技术

光谱分析检测方法主要包括傅里叶近红外光谱(FT-IR)、紫外可见光(UV-vis)、近红外(NIR)、中红外(MIR)光谱技术,光谱结合化学计量学技术检测肉糜的掺假现象已被普遍应用^[32]。利用激光诱导击穿光谱法也已成为时下应用较多的一种掺假检测技术,具有快速、低成本、对样品要求低、适于工业检测等优点^[33]。

2.2.1 近红外光谱 近红外光谱作为一种非选择性的分析技术,被认为是对传统鉴定方法快速、可靠的支持,近红外光谱更适用于质量控制,因其仪器可以配备光纤探针,仅需通过表面接触就可以评估样品。张玉华等^[34]采用近红外光谱结合主成分分析(PCA)、判别分析法对掺杂在牛、羊肉糜中的低档肉进行分析,用其所建模型得出:牛肉掺猪肉鉴别模型、羊肉掺猪肉鉴别模型、羊肉掺鸭肉鉴别模型、羊肉掺假鉴别模型的鉴别准确率均达 90% 以上,表明建立的定性检测模型能够清晰地区分纯肉与掺假肉。Zheng 等^[35]也利用近红外光谱检测肉糜中的鸭肉掺假情况,结果表明在一定的样本范围内,所建立的最优模型具有一定的适用性,此研究成果可以引入到生产实践中。Alamprese 等^[36]研究了一种基于傅立叶—近红外光谱和多元分析的肉糜中掺杂火鸡肉的鉴别和定量方法。结果表明,傅立叶—近红外光谱与合适的化学计量学方法相结合,是鉴定和定量肉糜的可靠方法。

2.2.2 中红外光谱 中红外光谱是一种高质量筛选方法,中红外区域提供了大量分析物的信息,吸收带对于单个成分的物理和化学状态很敏感。Al-Jowder 等^[37]研究了中红外光谱检测牛肉、牛肉肉糜和某些内脏掺假方面

的应用,结果显示:中红外光谱可用于不同的肉糜、牛肾、牛肝的检测分析。Schmutzler 等^[38]采用傅里叶红外光谱法检测牛肉制品中的猪肉掺假现象,通过对样品采用双层聚合物包装,经过测定分析可检测出不同比例的猪肉掺假情况。中红外光谱在肉糜掺假检测中的应用较少,未来可以考虑利用其进行更系统的研究。

2.2.3 激光诱导击穿光谱 激光诱导击穿光谱近年来在各行各业当中都起着不同的作用,其操作过程简单快速,样品的蒸发和激化可以一次性完成,可以对样品中的多种元素进行同时分析,节约时间,对肉糜等物质进行分析时利用对每种肉样当中含有的特征物质进行分析,能够实现肉糜中掺杂低档肉的检测。Velioglu 等^[39]研究了肉糜中的掺假成分,利用激光诱导击穿光谱法对牛肉和内脏样品进行鉴别和定量。用主成分分析法(PCA)对掺假的纯内脏和内脏混合物进行了判别,利用偏最小二乘法(PLS)确定掺假率,测定系数(R^2)为 0.947,检出限(LOD)值达到了 3.8%。Bilge 等^[40]也采用激光诱导击穿光谱法根据肉种间元素组成的差异进行肉的鉴别,采用 PCA 对肉进行定性鉴别,其比例为 83.37%,再采用 PLS 定量分析猪肉掺假牛肉的情况,测定系数(R^2)和检出限(LOD)分别达到了 0.994 和 4.4%。

3 免疫学方法

当前,肉糜的掺假鉴别,由于组成复杂以及形态特征的缺乏,常使用化学计量法、色谱法和电泳方法来解决肉糜真实性问题,但是每种方法都有各自的局限性。最普遍的肉糜鉴定方法是以蛋白质为检测对象的免疫检测法。免疫检测法具有很高的灵敏度和高效的处理能力,在短时间内能够处理大量的样本,但该方法在某些情况下,会有一些限制,如近源物种之间的交叉反应。免疫分析法是一种分析测量技术,使用抗体或抗原作为检测试剂,优于传统方法。但是不能够对物种水平进行鉴定,主要包括酶联免疫吸附测定、放射免疫测定法、血凝抑制测定法、琼脂凝胶免疫扩散法。

3.1 酶联免疫吸附测定法

食品分析中最常用的酶联免疫吸附法(ELISA)分为非竞争性间接法、夹心法以及竞争性法。间接法和双抗体夹心法具有鉴别肉用原料的潜力,其灵敏度在 0.1%~10.0%。通常用夹心 ELISA 法鉴别近缘物种,竞争 ELISA 法检测温 and 加热肉制品中肉类的种源。

Dincer 等^[41]用竞争性和间接酶联免疫技术检测牛肉中的掺假问题,两种方法都能检测到牛肉中掺杂的 5% 猪肉或羊肉。Mandli 等^[42]采用两种酶联免疫吸附试验,建立了 ELISA/免疫传感器对肉制品中猪肉掺假的敏感检测方法。通过固定免疫球蛋白 G(IgG)标准,建立竞争性 ELISA,该方法可在 45 min 内检测出 0.1% 的猪肉掺假。

两种竞争性免疫检测方法的灵敏度高、特异性好、分析时间短。Kuswandi 等^[43]建立了一种快速免疫条带检测方法,用于检测加工肉制品中掺假的猪肉,该条带为检测加工肉类样品中的猪肉掺假提供了一种简便的方法,具有较高的可靠性。该团队研制的横向流动免疫传感器,可用于肉制品中猪肉掺假的目视检测,免疫传感器条带检测限为 0.1%,此方法可用于检测肉丸中较低水平的猪肉掺假。Sheila 等^[44]应用双抗体夹心酶联免疫吸附试验检测牛肉中掺杂的微量猪肉。Martin 等^[45]通过试验将马的抗血清免疫吸附到鸡、牛和猪的固定肌浆提取物上,去除交叉反应抗体,应用建立的双抗体夹心 ELISA 法,检测混合肉中定量的马肉,检测结果较好。

3.2 其他免疫测定法

近年来,免疫测定法主要集中在酶联免疫吸附法,对于其他以免疫测定的方法研究肉类掺假的报道较少。血凝抑制测定主要用于测量抗流感病毒的保护性抗体应答水平^[46]。琼脂免疫凝胶测定法是一种简单可靠的血清学检测方法,主要应用在医学领域,在肉类掺假领域鲜有研究,其基础是抗原的均匀性和永久性,保证了其在兽医诊断中的应用和适用性^[47]。放射性免疫测定是一种简便、灵敏、特异的测定方法,主要应用于动物种属的临床研究。直接放射免疫法是一种方便的直接分析方法,多被用于研究大鼠体内的药代动力学,主要优点是所需的样品体积很小,不需要繁琐的样品准备步骤^[48]。

4 电泳联合检验技术

相对于气相色谱法,电泳法是一种很有前景的食品检测方法。几种常见的电泳方法,如毛细管电泳(CE)、十二烷基硫酸钠聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE)、等电子聚焦(IEF)以及脉冲电泳。通常是将不同动物物种的可溶性蛋白质分离成不同的条带来进行比较,但是单一的电泳检测技术不能够很好地检测肉糜当中的掺假物,往往需要与其他检测技术联合使用,以达到更好的检测效果。

毛细管电泳法的灵敏度高、所需样品的体积量小、不会造成损失。Juan 等^[49]应用聚合酶链式反应和毛细管电泳(PCR-CGE)方法,检测猪肉制品当中掺杂的鸡肉,在 1% 的最低混合水平下,肉类混合物中获得了显著的荧光信号,表明通过此法建立的检测方法能够用于检测猪肉加工产品中的常见家禽肉。Vallejo-Cordoba 等^[50]在实验室通过使用十二烷基硫酸钠聚合物填充毛细管凝胶电泳(CE-SDS)来表征、比较和量化牛和鸵鸟肌肉中的水溶性蛋白(WSP)和盐溶性蛋白(SSP)组分,比较两者的水溶性蛋白(WSP)图谱在定性和定量上的差异,可知二者蛋白质之间存在差异。比较它们的蛋白质谱,有助于进行肉类物种的分化。任冬霞等^[51]也利用毛细管电泳检测技术对猪、

牛、鸡、鸭肉进行了掺假检测,通过其中一种动物的特异性引物对其他 3 种动物的基因组进行 DNA 扩增,对其毛细管电泳图谱进行分析,结果显示试验的特异性较高。

脉冲电化学检验(PED)技术是一种高灵敏度、高选择性的检测技术,由于其固有的敏感性和兼容性该技术已在毒理学、环境和制药等领域得到了广泛的应用^[52]。由于其被公认为是分析有机脂肪族化合物的主要检测方法,未来将其应用在肉糜掺假的检测中有很大发展前景。在印度,由于羊肉的成本较低而且容易被获得,常常被掺入水牛肉当中。Basappa 等^[53]利用物种的特异性,验证了牛、水牛和绵羊肉及其混合物在未加工和熟制条件下的肉种类别,证明了基于电泳-质谱的蛋白质组学方法在肉品鉴定中的适用性,此研究中提到的高通量蛋白质组学与电泳相结合的方法具有一定的稳健性,可替代基于 DNA 的肉类检测方法。

5 结语

肉糜产品在当前人们的生活中扮演着不可或缺的角色,掺假问题却日渐严重。文章所述的检测方法在某些条件下有一定的限制性,例如基于蛋白质的方法受到蛋白质在热处理时易变性、操作时复杂的限制,还没有被广泛应用;基于 DNA 方法灵敏度较高,操作过程却比较繁琐;光谱检测技术虽然是目前为止使用较普遍的方法,但存在灵敏度较低的问题,未来应该深入研究改善其灵敏度。

参考文献

- [1] WANG Kuan, LIU Shu-bai, ZHANG Xiao-mei, et al. Advances on detection of meat adulteration[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2014(9): 2 634-2 639.
- [2] BARAI B K, NAYAK R R, SINGHAL R S, et al. Approaches to the detection of meat adulteration[J]. Trends in Food Science & Technology, 1992, 3(3): 69-72.
- [3] SKUMAR 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.
- [4] LIU Rui, WANG Xiu-dan, WANG Xue-jiao, et al. A simple isothermal nucleic acid amplification method for the effective on-site identification for adulteration of pork source in mutton[J]. Food Control, 2019, 98: 297-302.
- [5] KAMRUZZAMAN M, MAKINO Y, OSHITA S. Non-invasive analytical technology for the detection of contamination, adulteration, and authenticity of meat, poultry, and fish: A review[J]. Analytica Chimica Acta, 2015, 853: 19-29.
- [6] SONG K Y, HWANG H J, KIM J H. Ultra-fast DNA-based multiplex convection PCR method for meat species identification with possible on-site applications[J]. Food Chemistry, 2017, 229: 341-346.
- [7] FANG Xin, ZHANG Chi. Detection of adulterated murine components in meat products by TaqMan® real-time PCR[J].

- Food Chemistry, 2016, 192: 485-490.
- [8] HOLZHAUSER T, RÖDER M. Handbook of food allergen detection and control polymerase chain reaction (PCR) methods for detecting allergens in foods[J]. Handbook of Food Allergen Detection & Control, 2015, 13: 245-263.
 - [9] YIN Rong-huan, BAI Wen-lin, WANG Jia-mei, et al. Development of an assay for rapid identification of meat from yak and cattle using polymerase chain reaction technique[J]. Meat Science, 2009, 83(1): 38-44.
 - [10] 熊蕊, 郭凤柳, 刘晓慧, 等. 牛羊肉中掺杂猪肉的 PCR 方法的建立和初步应用[J]. 食品工业, 2014(8): 199-202.
 - [11] 朱扬, 刘永峰, 魏燕超, 等. 牛肉及其中式加工品中猪肉成分的定性、定量检测方法研究[J]. 中国农业科学, 2018, 51(22): 139-150.
 - [12] LANGEN M, PETERS U, KÖRNER U, et al. Semiquantitative detection of male pork tissue in meat and meat products by PCR[J]. Meat Science, 2010, 86(3): 821-824.
 - [13] KESMEN Z, GULLUCE A, SAHIN F, et al. Identification of meat species by taqman-based real-time PCR assay[J]. Meat Science, 2009, 82(4): 444-449.
 - [14] KANG T S, TANAKA T. Comparison of quantitative methods based on SYBR Green real-time qPCR to estimate pork meat adulteration in processed beef products[J]. Food Chemistry, 2018, 269: 549-558.
 - [15] 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.
 - [16] MOHAMAD N A, EL SHEIKHA A F, MUSTAFA S, et al. Comparison of gene nature used in real-time PCR for porcine identification and quantification: A review[J]. Food Research International, 2013, 50(1): 330-338.
 - [17] MEIRA L, COSTA J, VILLA C, et al. EvaGreen real-time PCR to determine horse meat adulteration in processed foods[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 75: 408-416.
 - [18] 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.
 - [19] 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.
 - [20] XU Ru-su, WEI Shuang, ZHOU Guang-biao, et al. Multiplex TaqMan locked nucleic acid real-time PCR for the differential identification of various meat and meat products[J]. Meat Science, 2018, 137: 41-46.
 - [21] THANAKIATKRAI P, KITPIPIT T. Meat species identification by two direct-triplex real-time PCR assays using low resolution melting[J]. Food Chemistry, 2017, 233: 144-150.
 - [22] ALI M E, RAZZAK M A, HAMID S B A, et al. Multiplex PCR assay for the detection of five meat species forbidden in Islamic foods[J]. Food Chemistry, 2015, 177: 214-224.
 - [23] PRUSAKOVA O V, GLUKHOVA X A, AFANAS'eva G V, et al. A simple and sensitive two-tube multiplex PCR assay for simultaneous detection of ten meat species[J]. Meat Science, 2018, 137: 34-40.
 - [24] 何海宁, 洪霞, 冯玉升, 等. 加工食品中动物源 DNA 的提取和多重 PCR 检测方法的建立[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 79-83.
 - [25] HOU Bo, MENG Xiang-rong, ZHANG Li-yuan, et al. Development of a sensitive and specific multiplex PCR method for the simultaneous detection of chicken, duck and goose DNA in meat products[J]. Meat Science, 2015, 101: 90-94.
 - [26] NURJULIANA M, MAN Y B C, HASHIM D M, et al. Rapid identification of pork for halal authentication using the electronic nose and gas chromatography mass spectrometer with headspace analyzer[J]. Meat Science, 2011, 88(4): 638-644.
 - [27] WANG Qian, LI Lu, DING Wu, et al. Adulterant identification in mutton by electronic nose and gas chromatography-mass spectrometer[J]. Food Control, 2019, 98: 431-438.
 - [28] PAVLIDIS D E, MALLOUCHOS A, ERCOLINI D, et al. A volatilomics approach for off-line discrimination of minced beef and pork meat and their admixture using HS-SPME GC/MS in tandem with multivariate data analysis[J]. Meat Science, 2019, 151: 43-53.
 - [29] FORMAL E, MONTOWSKA M. Species-specific peptide-based liquid chromatography - mass spectrometry monitoring of three poultry species in processed meat products[J]. Food Chemistry, 2019, 283: 489-498.
 - [30] CHOU C C, LIN S P, LEE K M, et al. Fast differentiation of meats from fifteen animal species by liquid chromatography with electrochemical detection using copper nanoparticle plated electrodes[J]. J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci, 2007, 846(1): 230-239.
 - [31] 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.
 - [32] INABA H. Super-high sensitivity systems for detection and spectral analysis of ultraweak photon emission from biological cells and tissues[J]. Experientia, 1988, 44(7): 550-559.
 - [33] JEPPESEN J, BENICZKY S, FUGLSANG-FREDERIKSEN A, et al. Detection of epileptic-seizures by means of power spectrum analysis of heart rate variability: A pilot study[J]. Technology & Health Care Official Journal of the European Society for Engineering & Medicine, 2010, 18(6): 417-426.
 - [34] 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, 36(3): 316-319.
 - [35] ZHENG Xiao-chun, LI Yong-yu, WEI Wen-song, et al. Detection of adulteration with duck meat in minced lamb meat by using visible near-infrared hyperspectral imaging[J].

- Meat Science, 2019, 149: 55-62.
- [36] ALAMPRESE C, AMIGO J M, CASIRAGHI E, et al. Identification and quantification of turkey meat adulteration in fresh, frozen-thawed and cooked minced beef by FT-NIR spectroscopy and chemometrics[J]. Meat Science, 2016, 121: 175-181.
- [37] AL-JOWDER O, DEFERNEZ M, KEMSLEY E K, et al. Mid-infrared spectroscopy and chemometrics for the authentication of meat products[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(8): 3 210-3 218.
- [38] SCHMUTZLER M, BEGANOVIĆ A, BÖHLER G, et al. Methods for detection of pork adulteration in veal product based on FT-NIR spectroscopy for laboratory, industrial and on-site analysis[J]. Food Control, 2015, 57: 258-267.
- [39] VELIOGLU H M, SEZER B, BILGE G, et al. Identification of offal adulteration in beef by laser induced breakdown spectroscopy (LIBS)[J]. Meat Science, 2018, 138: 28-33.
- [40] BILGE G, VELIOGLU H M, SEZER B, et al. Identification of meat species by using laser-induced breakdown spectroscopy[J]. Meat Science, 2016, 119: 118-122.
- [41] DINCER B, SPEAROW J L, CASSENS R G, et al. The effects of curing and cooking on the detection of species origin of meat products by competitive and indirect ELISA techniques[J]. Meat Science, 1987, 20(4): 253-265.
- [42] MANDLI J, EL FATIMI I, SEDDAOUI N, et al. Enzyme immunoassay (ELISA/immunosensor) for a sensitive detection of pork adulteration in meat[J]. Food Chemistry, 2018, 255: 380-389.
- [43] KUSWANDI B, ABDUL GANI A, AHMAD M. Immuno strip test for detection of pork adulteration in cooked meat-balls[J]. Food Bioscience, 2017, 19: 1-6.
- [44] JONES S J, PATTERSON R L S. Double-antibody ELISA for detection of trace amounts of pig meat in raw meat mixtures[J]. Meat Science, 1985, 15(1): 1-13.
- [45] MARTIN R, AZCONA J I, GARCIA T, et al. Sandwich ELISA for detection of horse meat in raw meat mixtures using antisera to muscle soluble proteins[J]. Meat Science, 1988, 22(2): 143-153.
- [46] JIA Na, WANG Shi-xia, LIU Yun-xi, et al. Increased sensitivity for detecting avian influenza-specific antibodies by a modified hemagglutination inhibition assay using horse erythrocytes[J]. Journal of Virological Methods, 2008, 153(1): 43-48.
- [47] NADIA F, GUILLERMO S, MARIELA S, et al. Production of equine herpesvirus 1 recombinant glycoprotein D and development of an agar gel immunodiffusion test for serological diagnosis[J]. Journal of Virological Methods, 2014, 202: 15-18.
- [48] YUAN S, CYLC D, HSIEH Y K, et al. Determination of an endothelin receptor antagonist in rat plasma by radioimmunoassay[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2004, 34(2): 391-397.
- [49] JUAN F. HEMANDEZ C, AARÓN F, et al. Development of a polymerase chain reaction and capillary gel electrophoresis method for the detection of chicken or turkey meat in heat-treated pork meat mixtures[J]. Analytica Chimica Acta, 2011, 708(1/2): 149-154.
- [50] BELINDA V C, ROBERTO R R, AARÓN F, et al. Capillary electrophoresis for bovine and ostrich meat characterisation[J]. Food Chemistry, 2010, 120(1): 304-307.
- [51] 任冬霞, 霍雨佳, 周琛, 等. 肉类掺伪的毛细管电泳检测法[J]. 现代预防医学, 2017(22): 149-154.
- [52] LOPEZ-CANOVAS L, BENITEZ M B M, ISIDRON J A H, et al. Pulsed field gel electrophoresis: Past, present, and future[J]. Analytical Biochemistry, 2019, 573: 17-29.
- [53] NAVEENA B M, JAGADEESH D S, JAGADEESH B A, et al. OFFGEL electrophoresis and tandem mass spectrometry approach compared with DNA-based PCR method for authentication of meat species from raw and cooked ground meat mixtures containing cattle meat, water buffalo meat and sheep meat[J]. Food Chemistry, 2017, 233: 311-320.

(上接第 210 页)

- [16] 巨浩羽, 肖红伟, 郑霞, 等. 干燥介质相对湿度对胡萝卜片热风干燥特性的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(16): 296-304.
- [17] 王海鸥, 扶庆权, 陈守江, 等. 预处理方式对真空冷冻干燥苹果片品质的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(11): 132-136.
- [18] 马琴, 谢龙, 高振江, 等. 气体射流冲击烫漂预处理对枸杞干燥的影响[J]. 食品科技, 2013, 38(10): 83-88.
- [19] JU Hao-yu, EL-MASHAD H M, FANG Xiao-ming, et al. Drying characteristics and modeling of yam slices under different relative humidity conditions[J]. Drying Technology, 2016, 34(3): 296-306.
- [20] RAMIREZ C, TRONCOSO E, MUOZ J, et al. Microstructure analysis on pre-treated apple slices and its effect on water release during air drying[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 106(3): 253-261.
- [21] DENG Li-zhen, MUJUMDAR A S, YANG Xu-hai, et al. High humidity hot air impingement blanching (HHAIB) enhances drying rate and softens texture of apricot via cell wall pectin polysaccharides degradation and ultrastructure modification[J]. Food Chemistry, 2018, 261: 292-300.
- [22] WANG Jun, YANG Xu-hai, MUJUMDAR A S, et al. Effects of high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) pretreatment on the change of antioxidant capacity, the degradation kinetics of red pigment, ascorbic acid in dehydrated red peppers during storage[J]. Food Chemistry, 2018, 259: 65-72.