

肉类掺假检测技术的研究进展

范梦晨, 韩爱云*

(石家庄学院化工学院, 石家庄 050035)

摘要: 肉类品质的好坏直接影响着人们的生活质量和健康安全, 同时也影响着整个肉品行业的发展。在高额利益驱动下, 市场上肉类品质不容乐观, 肉类生产加工过程中掺假现象层出不穷。本文介绍了市场上肉类掺假的主要方法, 综述了目前采用的实时荧光 PCR 定量检测方法、电子鼻结合统计学分析、酶联免疫分析、近红外特征光谱技术、高光谱技术和核磁共振技术来检测肉类掺假情况, 并探讨不同检测技术的原理、优缺点以及对肉类掺假检测技术的未来发展。

关键词: 肉; 掺假; 检测技术

Research progress on meat adulteration detection technology

FAN Meng-Chen, HAN Ai-Yun*

(Chemical Engineering Institute, Shijiazhuang University, Shijiazhuang 050035, China)

ABSTRACT: The quality of meat directly affects the quality of people's life and health and safety, but also affects the development of the whole meat industry. Driven by high profits, the quality of meat in the market is not optimistic, and the phenomenon of adulteration in the production and process of meat emerges in endlessly. In this paper, the main methods of meat adulteration in the market were introduced. The current quantitative detection methods of real-time fluorescence PCR, electronic nose combined with statistical analysis, enzyme-linked immunoassay, near infrared characteristic spectroscopy, hyperspectral technology and nuclear magnetic resonance were reviewed, and the principles, advantages and disadvantages of different detection technologies and the future development of detection techniques for pork adulteration were discussed.

KEY WORDS: meat; sophisticate adulteration; detection technology

0 引言

肉类在人们的饮食生活中是必不可少的食物。随着生活水平不断提高和经济快速发展, 人们在饮食方面不仅仅只是关注食物的美味, 更加注重的是肉类的品质安全和营养健康。然而不良商家被利益冲昏了头脑, 向肉中掺假的恶劣事件频频被曝光, 引发人们恐慌, 严重扰乱市

场秩序。肉类品质安全关乎着国计民生^[1], 而且劣质肉品可能会引发宗教冲突^[2], 一直备受消费者和管理部门的关注^[3], 因此保证肉品质的安全性尤为重要, 建立快速、准确和灵敏的肉类检测技术具有重要意义。

自从“马肉风波”曝光以来, 市场上肉类掺假成为了备受关注的热点问题, 一些商家往牛肉、羊肉制品中混入廉价的猪肉、鸭肉等以谋取更多利益, 注水、注胶、加入

基金项目: 石家庄市第二批高层次人才支持计划项目(石字[2018]27号)、河北省引进留学人员资助项目(C20200362)

Fund: Supported by the Shijiazhuang Second Batch of High-Level Talent Support Program (Shi Zi [2018] No.27), and Hebei Province to Introduce Overseas Students to Support the Project (C20200362)

*通信作者: 韩爱云, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品安全。E-mail: 42242680@qq.com

*Corresponding author: HAN Ai-Yun, Ph.D, Associate Professor, Chemical Engineering Institute, Shijiazhuang University, Shijiazhuang 050035, China. Email: 42242680@qq.com

过量的亚硝酸盐等行为危害着消费者的身体健康,损害消费者的合法权益。人为的给猪注水,导致微生物随着水进入猪体内,造成大量微生物污染,而且注水会使猪体内的胃肠功能受到损伤,导致肠道细菌迅速滋生繁殖,食用此肉会给人体造成伤害,严重者丧失生命。在肉制品的加工中,亚硝酸盐被人们广泛地应用于肉制品的腌制中,深得生产商青睐,它既可以作为一种防腐剂,保持猪肉的新鲜度和延缓腐败程度,也可以作为一种发色剂,使猪肉色泽上更加鲜艳。但需要注意的是,亚硝酸盐是一种无机化合物,有强烈的致癌作用,所以在用量上不能随意使用,一般 0.3~0.5 g 的亚硝酸盐会导致中毒,严重摄入 3 g 丧失生命^[4]。

目前实时荧光 PCR 定量检测方法^[5-6]、电子鼻结合统计学分析检测技术^[7-8]、酶联免疫分析方法^[9]、近红外特征光谱技术^[10-11]、高光谱技术^[12-13]以及核磁共振技术^[14-16]的研究和应用大大提高了肉类掺假检测的准确度,将商家在肉中掺假、以次充好的想法及时地扼杀在摇篮中,有利于打击市场掺假情况,保护消费者的身体健康和生命安全。本文主要是对肉类掺假检测技术的研究成果进行概述,比较不同检测技术的优缺点,为后续完善检测技术提供理论依据,提高社会效益与经济效益。

1 检测猪肉掺假的主要技术

1.1 实时荧光 PCR 检测技术

实时荧光 PCR 检测技术是在常规 PCR 技术基础上加入荧光探针和标记探针,在 PCR 指数扩增期间根据荧光信号的累积检测信号的强弱,并实时检测特异性产物的量变化从而绘制出标准的变化曲线,最后通过标准的变化曲线目的基因进行定量分析肉类掺假情况的过程^[5]。苗丽等^[6]为了设计引物和荧光探针,将猪的 β -肌动蛋白基因作为分析对象,对肉制品中混合的猪肉和牛肉成分进行检测,结果发现存在掺假情况,测量值与真实值一样。

实时荧光 PCR 检测技术包括荧光探针法和染料法 2 类,在检测猪肉掺假情况上有非常明显的效果。从检测范围来看,相对于荧光染料法,荧光探针法更适用于含较低的靶基因的样品中的检测和扩增序列比较专一的体系。从优缺点上来看,荧光染料技术检测有较强的精确性和可靠性、灵敏度很高、稳定性好,但唯一不足的是染料与 DNA 双链的非特异性结合影响检测结果,所以扩增曲线判断最终产物是否存在特异性问题^[17]。相比之下,荧光探针法更具有特异性,如果出现非特异性的检测,准确性不大,实时荧光 PCR 检测技术具有自动化程度高、特异性强、成本低的优点,在肉类掺假检测技术方面应用非常成熟的。

该技术可以实现对猪源性肉快速、高灵敏检测^[18],但是存在检测成本高、易受 DNA 降解、复杂基因干扰^[19-20],

缺乏专业人员等问题,推广与应用都存在一定的局限性。

1.2 电子鼻结合统计学分析技术

在市场上,人们对牛肉的需求量逐渐增大,而进口牛肉比较昂贵,为了在较短时间改善供不应求的现状并满足中国消费市场的需求,商家采取一种往牛肉中掺入一些价格便宜的猪肉的措施以获得更多利润,这种掺假行为不仅严重欺骗了消费者,使消费者的合法权益无法得保障,而且还扰乱市场肉类行业秩序。为改变这种情况,电子鼻技术从而出现,它能够快速并准确地检测出市场上的肉类掺假情况,保障了消费者的合法权益,维护了市场秩序。

电子鼻通常包括 2 部分:硬件部分-多个性能彼此重叠的气体传感器;软件部分-恰当的模式识别技术对采集信号的分析、处理^[21]。电子鼻技术是利用 K 均值聚类分析法提取多个信号,再将 3 组数据取得平均值得到特征值;通过 2 种分析方法:主观分析和判别分析,定性分析是否有猪肉的存在;使用偏最小二乘、BP 神经网络建模和多元线性回归方程的建立预测模型来预测猪肉掺假的含量情况,在定性和定量方面检测猪肉是否掺假以及掺假含量情况。海铮^[22]利用电子鼻技术检测不同新鲜度的牛肉,建立预测牛肉新鲜度的模型。田晓静^[23]采用电子鼻与电子舌技术结合进行检测掺入鸡肉的羊肉,结果表明,电子鼻技术可以很好地检测肉类纯度。

电子鼻技术具有操作方便、高效准确的优点^[24]。但设备价格昂贵、检测效率低、很难推广,感官评价方法重复性较强、缺乏统一的标准^[25-26],从多方面影响准确率。

1.3 酶联免疫分析技术

酶联免疫分析技术是一种将抗原-抗体的特异性识别和酶的高效催化作用相结合的分析检测方法^[27]。CHEN 等^[28]和 LIU 等^[29]利用热稳定蛋白抗原建立了单克隆抗体检测方法,此方法已成功的用于熟肉制品中的猪肉成分检测,灵敏度高、便于及时迅速的检测出猪肉成分的掺假情况。骆训国等^[30]采用酶联免疫法检测猪肉成分,检测程度高,最低能检测到 1%的掺杂量。

酶联免疫分析检测法的优点是灵敏度高和特异性强,但在蛋白质变性方面存在缺点,如果蛋白质变性,则酶联免疫技术会受到影响,因为抗原抗体的识别具有特异性,抗原蛋白质发生变性失活,会导致空间结构改变,从而导致抗原-抗体无法识别。

1.4 近红外特征光谱技术

在肉制品加工过程中,由于颜色与形态被破坏,肉眼很难直观判断是否存在掺假行为,因此掺假肉经常出现在一些加工制品中,如肉丸、肉馅、汉堡肉饼等。近红外特征光谱技术成功地应用于掺假检测以及定量分析,使之更加便捷,同时也提高了质量安全指数,使人民食品安全保

障得到更有效地提升,在猪肉质量安全检测方面又迈入更大的台阶。

在国内,杨红菊等^[31]将近红外特征光谱和聚类分析相结合,发现能对注胶肉、注水肉进行高效准确地判别。杨志敏等^[32-33]将近红外特征光谱技术与 Fisher 2 类判别法和偏最小二乘相结合分别对注水、注胶以及掺入大豆蛋白的原料肉进行了快速准确地鉴别,得到多种分类判别的模型可供参考研究。MORSY 等^[34]应用近红外特征光谱技术与偏最小二乘回归方法定量检测掺假模型的 R_2 分别为 0.96、0.94 和 0.95,对不同掺杂比例的猪肉和脂肪进行检测预测。由此表明,近红外特征光谱技术检验牛肉汉堡饼掺假猪肉取得了一定的研究成果,但在品种和肉类所处状态在国内仍缺乏研究,一是由于肉的品种不同,对红外特征光谱的影响不同^[35],二是解冻状态和新鲜状态下肉类检测结果也有所不同。白京等^[36]采用红外特征光谱技术结合化学计量学方法,对解冻下牛肉汉堡饼中猪肉掺假进行定量定性检测。孙乃旭^[37]采用计算机图像处理技术与近红外光谱结合,通过偏最小二乘判别分析(partial least squares discriminant analysis, PLS-DA)和反向传播神经网络(back propagation neural network, BP-ANN)检测熟食兔肉中猪肉的掺假比例。结果表明,二者具有极高的准确度,该方法具有可行性。以上研究结果都表明近红外特征光谱可以有效地检测肉类掺假情况。

近红外特征光谱不仅分析检测速度快、准确性高、且操作简单、效率高^[38-40]。

1.5 高光谱技术

高光谱技术因其具有“图谱合一”的特点被广泛研究应用,不仅能检测外部品质也能检测内部品质^[41-43]。如 KAMRUZZAMAN 等^[44]采用波段运算的方法提取牛肉中掺入鸡肉样品的数据,白亚斌等^[45]选取约 5000 个像素点的长方形区域提取牛肉掺猪肉样本的数据。杨清华等^[46-48]采用高光谱感兴趣区域方法检测牛肉中猪肉的掺假情况。CRICHTON 等^[49]利用 500~1010 nm 可见光-近红外高光谱成像系统检测牛肉掺假,结果表明高光谱技术结合所提出的国际色差测量公式(Commission Internationale de l'Eclairage, CIELAB)可以有效地区分不同新鲜度的牛肉。CHENG 等^[50]利用 1000~2200 nm 中红外高光谱成像系统表征冻猪肉样品肌原纤维结构的形变程度。结果表明,热区检查(hot section inspection, HSI) 技术可以实现样本表面疏水性和 Ca²⁺酶活性的定量检测。JI 等^[51]采用 400~1000 nm 的 HSI 技术采集猪肉样本的高光谱图像,使用光谱吸收指数与偏最小二乘法的算法组合测定猪肉的水含量,得到测试集的 R_2 和均方根误差(root mean squared error, RMSE)为 0.952%、1.396%。DONG 等^[52]在 320~1100 nm 内采集熟牛肉的图像,分别利用反向传播神经网络模型和偏最小二乘回归模型建模预测

熟牛肉的含水量,其 R_2 和 RMSE 分别为 0.977%、0.9151%。XIONG 等^[53]采用连续投影法进行光谱降维,并与偏最小二乘模型结合实现对鸡肉中硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)的定量检测。结果显示使用基于连续投影法提取的特征谱带建模,得到测试集的 R_2 和 RMSE 分别为 0.801%、0.157%。高光谱技术具有快速无损、在线检测的优点。

1.6 低场核磁共振技术

近年来,在羊肉卷和羊肉串中掺假羊肉现象出现较多,通过向肉中注水、注胶制成注水、注胶肉增加重量;用猪、鸭肉等廉价的肉类掺入羊肉中等。核磁共振^[54](nuclear magnetic resonance, NMR)即在静磁场中,具有磁性的原子核存在不同能级,用特定频率的电磁波照射样品,当电磁波能量等于能级差时,原子核吸收电磁能发生跃迁,产生共振吸收信号,并通过记录仪自动描记为图谱,即核磁共振波谱。核磁共振技术通过检测氢含量与存在状态,可以得到脂肪、糖等分子内部变化信息,为食品安全分析检测提供了理论依据。王佳惠等^[55]采用核磁共振技术检测不同注水比例的肉类,运用反演软件得到每个肉样品的横向弛豫谱及相关参数,建立检测注水肉的贝叶斯模型。

核磁共振技术具有快速准确、操作简单、重复性好等优点,广泛应用于食品掺假检测,具有广阔的发展前景。

2 展 望

检测技术的出现和应用准确地解决了由猪肉掺假引发的食品安全问题。为了保障食品安全,保护消费者的权益以及维护肉类的市场秩序,食品科技研究者和管理者在肉类掺假检测方面投入了大量时间和精力,进行了有效工作,取得很多研究成果。因此,这些检测技术的问世离不开每位食品科技研究者和管理者的辛苦付出。

通过介绍目前被广泛应用的 4 种肉类掺假检测技术,我们认识到各种检测技术原理,明白 4 种主要检测技术优缺点并存。实时荧光 PCR 检测技术在特异性上要求很高,非特异性的检测会导致准确度相对降低;电子鼻结合统计学分析能够较好地检测掺假;酶联免疫分析技术应用于熟肉中的猪肉成分检测,而蛋白质变性会存在误差检测;近红外特征光谱技术能够更好地检测肉中注水量情况,但注水量多少还是会有一定影响,电子鼻结合统计学技术、高光谱技术与核磁共振技术能更好地检测猪肉掺假情况,准确度较高能更好地检测猪肉掺假情况,准确度较高。4 种掺假检测技术在某些方面的检测有利也有弊,因此,我们不仅需要做到尽量避免缺点带给肉类掺假检测技术的误差影响,而且需要不断地完善各种肉类掺假检测技术,并建立一种更加准确、迅速、经济、全面的肉类掺假检测技术是我们今后的一个努力方向。

参考文献

- [1] MANN NJ. A brief history of meat in the human diet and current health implications [J]. *Meat Sci*, 2018. DOI: 10.1016/j.meatsci.2018.06.008
- [2] BANSAL S, SINGH A, MANGAL M, *et al.* Food adulteration: Sources, health risks, and detection methods [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2015, 57(6): 1174–1189.
- [3] IAMMARINO M, MARINO R, ALBENZIO M. How meaty? Detection and quantification of adulterants, foreign proteins and food additives in meat products [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2017, 52(4): 851–863.
- [4] 曹会兰. 亚硝酸盐对人体的危害和预防[J]. *微量元素与健康研究*, 2003, (2): 57–58.
- CAO HL. The harm and prevention of nitrite to human body [J]. *Stud Trace Elem Health*, 2003, (2): 57–58.
- [5] 曲勤凤. 重要食品掺假检测技术研究鱼糜制品中主料含量的测定(荧光PCR法)[D]. 上海: 复旦大学, 2011.
- QU QF. Important food adulteration detection techniques to study the determination of the content of the main material in fish and fish products (fluorescent PCR method) [D]. Shanghai: Fudan University, 2011.
- [6] 苗丽, 张秀平, 陈静, 等. 微滴数字 PCR 法对肉制品中牛源和猪源成分的定量分析[J]. *食品科学*, 2016, 37(8): 187–191.
- MIAO L, ZHANG XP, CHEN J, *et al.* The micro-drop digital PCR method provides quantitative analysis of the composition of cattle and pigs in meat products [J]. *Food Sci*, 2016, 37(8): 187–191.
- [7] RENS MGE, GOOR MD, MICHEL RA, *et al.* Detecting head and neck squamous carcinoma using a portable handheld electronic nose [J]. *Head Neck*, 2020, 42(9).
- [8] 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.
- TIAN XJ, WANG J. Advances in the application of electronic nasal technology in the detection of meat and meat products [J]. *Meat Res*, 2012, 26(6): 42–45.
- [9] 唐鸣, 田潇瑜, 王旭, 等. 基于近红外特征波段的注水肉识别模型研究[J]. *农业机械学报*, 2018, 49(S1): 440–446.
- TANG M, TIAN XY, WANG X, *et al.* Study on water-filled meat recognition model based on near-infrared characteristic band [J]. *Trans Chin Soc Agric Mach*, 2018, 49(S1): 440–446.
- [10] 俞晗月. 肉类掺假高光谱检测的数据处理方法研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2019.
- YU HY. Data processing methods for meat adulteration hyperspectral detection [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2019.
- [11] 郎玉苗, 杨春柳, 李翠, 等. 光谱技术在肉品掺杂掺假鉴别中的应用研究进展[J]. *肉类研究*, 2019, 33(2): 72–77.
- LANG YM, YANG CL, LI C, *et al.* Advances in the application of spectroscopic technology in the identification of doping in meat [J]. *Meat Res*, 2019, 33(2): 72–77.
- [12] 吴艺影, 章倩汝, 韩剑众, 等. 基于低场核磁共振技术的注胶肉快速检测[J]. *肉类研究*, 2013, 27(3): 26–29.
- WU YY, ZHANG QR, HAN JZ, *et al.* Injection meat rapid detection based on low-field MRI technology [J]. *Meat Res*, 2013, 27(3): 26–29.
- [13] 盖圣美, 游佳伟, 张中会, 等. 低场核磁共振技术在肉类品质安全分析检测中的应用[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(20): 5294–5300.
- GAI SM, YOU JW, ZHANG ZH, *et al.* Application of low-field MRI technology in meat quality safety analysis and testing [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(20): 5294–5300.
- [14] 马妍. 探讨低场核磁共振技术在食品安全快速检测中的应用[J]. *食品安全导刊*, 2020, (24): 175.
- MA Y. Discuss the application of low-field MRI technology in rapid food safety testing [J]. *Chin Food Saf Magaz*, 2020, (24): 175.
- [15] 何金兴, 崔一笑, 赵晓磊. 肉类掺假检测技术研究进展[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2015, 36(1): 106–112.
- HE JX, CUI YX, ZHAO XL. Advances in meat adulteration detection techniques [J]. *J Henan Univ Technol (Nat Sci Ed)*, 2015, 36(1): 106–112.
- [16] 任秀, 骆海朋, 崔生辉. 酶联免疫吸附法和 DNA 检测法在肉类鉴别中的应用[J]. *中国食品卫生杂志*, 2015, 27(1): 93–97.
- REN X, LUO HP, CUI SH. Application of enzyme-linked immunosorption and DNA testing in meat identification [J]. *Chin J Food Hyg*, 2015, 27(1): 93–97.
- [17] 袁继红. 实时荧光定量 PCR 技术的实验研究[J]. *现代农业科技*, 2010, (13): 20–22.
- YUAN JH. Experimental study of real-time fluorescence quantitative PCR technology [J]. *Mod Agric Sci Technol*, 2010, (13): 20–22.
- [18] 任君安, 黄文胜, 葛毅强, 等. 肉制品真伪鉴别技术研究进展[J]. *食品科学*, 2016, 37(1): 247–257.
- REN JA, HUANG WS, GE YQ, *et al.* Advances in the technical research of authenticity identification of meat products [J]. *Food Sci*, 2016, 37(1): 247–257.
- [19] Di PINTO A, BOTTARO M, BONERBA E, *et al.* Occurrence of mislabeling in meat products using DNA-based assay [J]. *J Food Sci Technol*, 2015, 52(4): 2479–2484.
- [20] BARAKAT H, EL-GARHY HA, MOUSTAFA MM. Detection of pork adulteration in processed meat by species-specific PCR-QIAxcel procedure based on D-loop and cytb genes [J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2014, 98(23): 9805–9816.
- [21] 王亚雷, 贾文坤, 潘立刚, 等. 电子鼻技术在肉类品质应用中快速分析初探[J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7(2): 419–424.
- WANG YL, JIA WS, PAN LG, *et al.* Electronic nose technology in meat quality applications in the rapid analysis of the initial exploration [J]. *J Food Saf Qual*, 2016, 7(2): 419–424.
- [22] 海铮. 基于电子鼻的牛肉新鲜度检测[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- HAI Z. E-nose-based beef freshness detection [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
- [23] 田晓静. 基于电子鼻和电子舌的羊肉品质检测[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- TIAN XJ. Lamb quality testing based on electronic nose and tongue [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014.
- [24] 张娟, 张申, 张力, 等. 电子鼻结合统计学分析对牛肉中猪肉掺假的识别[J]. *食品科学*, 2018, 39(4): 296–300.
- ZHANG J, ZHANG S, ZHANG L, *et al.* Electronic nose combined with statistical analysis of the identification of pork adulteration in beef [J]. *Food Sci*, 2018, 39(4): 296–300.
- [25] 王智凝, 郑丽敏, 方雄武, 等. 电子鼻传感器阵列优化对猪肉新鲜度法的检测[J]. *肉类研究*, 2015, 29(5): 27–30.
- WANG ZN, ZHENG LM, FANG XW, *et al.* Electronic nose sensor array optimizes the detection of pork freshness method [J]. *Meat Res*, 2015,

- 29(5): 27–30.
- [26] 吴升刚, 张玉华, 孟一, 等. 鸡肉品质劣变的电子鼻分析[J]. 食品工业科技, 2015, 36(14): 53–56.
- WU SQ, ZHANG YH, MENG Y, *et al.* Electronic nose analysis of poor chicken quality [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2015, 36(14): 53–56.
- [27] 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.
- FENG YW, WANG Q. Advances in the study of meat adulteration testing techniques [J]. *Food Mach*, 2013, 29(4): 237–240.
- [28] CHEN FC, HSIEH YH. Porcine troponin I: A thermostable species marker protein [J]. *Meat Sci*, 2002, 61(1): 55–60.
- [29] CHEN FC, HSIEH YH, BRIDGMAN RC. Sensitive monoclonal antibody-based sandwich elisa for the detection of porcine skeletal muscle in meat and feed products [J]. *J Food Sci*, 2006, 71(1): M1–M6.
- [30] 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(5): 20–22.
- LUO XG, LI SW, ZHOU LL, *et al.* The sandwich ELISA method detects the study of pork composition in raw meat mixtures [J]. *Prog Vet Med*, 2010, 31(5): 20–22.
- [31] 杨红菊, 姜艳彬, 候东军, 等. 肉的近红外光谱快速判别分析[J]. 肉类研究, 2008, (11): 62–64.
- YANG HJ, JIANG YB, HOU DJ, *et al.* The near-infrared spectrum of meat is rapidly judged and analyzed [J]. *Meat Res*, 2008, (11): 62–64.
- [32] 杨志敏, 丁武. 近红外光谱技术快速鉴别原料肉掺假的可行性研究[J]. 肉类研究, 2011, 25(2): 25–28.
- YANG ZM, DING W. Near-infrared spectroscopy technology to quickly identify the feasibility study of raw meat adulteration [J]. *Meat Sci*, 2011, 25(2): 25–28.
- [33] 杨志敏, 丁武. 原料肉中掺大豆蛋白的近红外检测技术的研究[J]. 肉类工业, 2010, (10): 29–33.
- YANG ZM, DING W. Research on near-infrared detection techniques for soy protein in raw meat [J]. *Meat Ind*, 2010, (10): 29–33.
- [34] MORSY N, SUN DW. Robust linear and non-linear models of NIR spectroscopy for detection and quantification of adulterants in fresh and frozen-thawed minced beef [J]. *Meat Sci*, 2013, 93(2): 292–302.
- [35] 蔡先峰, 郭波莉, 魏益民, 等. 牛肉近红外光谱的地域及饲养期特征分析[J]. 中国农业科学, 2011, 44(20): 4272–4278.
- CAI XF, GUO BL, WEI YM, *et al.* Analysis of the geographical and feeding period characteristics of the near-infrared spectrum of beef [J]. *Sci Agric Sin*, 2011, 44(20): 4272–4278.
- [36] 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.
- BAI J, LI JP, ZHOU H, *et al.* Near-infrared spectroscopic qualitative quantitative detection of pork adulteration in beef burgers [J]. *Food Sci*, 2019, 40(8): 287–292.
- [37] 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.
- SUN NX. A rabbit deli identification method based on computer image processing technology and infrared feature spectrum fusion [J]. *Chin Cond*, 2020, 45(1): 126–128.
- [38] 于红樱, 祁慧娜, 臧勇军. 近红外分析技术在肉与肉制品分析中的应用[J]. 肉类工业, 2006, (11): 8–9.
- YU HY, QI HN, ZANG YJ. The application of near-infrared analysis technology in meat and meat analysis [J]. *Meat Ind*, 2006, (11): 8–9.
- [39] 开晗, 孔保华. 近红外光谱检测技术在肉类工业中的应用[J]. 肉类研究, 2011, 25(9): 35–37.
- KAI H, KONG BH. Application of near-infrared spectroscopic detection technology in the meat industry [J]. *Meat Res*, 2011, 25(9): 35–37.
- [40] 张玉华, 孟一. 肉类品质无损检测技术研究现状与发展趋势[J]. 食品工业科技, 2012, 33(12): 392–395.
- ZHANG YH, MENG Y. The current situation and development trend of meat quality non-destructive testing technology [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2012, 33(12): 392–395.
- [41] 邓建猛, 王红军, 黎邹邹, 等. 基于高光谱技术的马铃薯外部品质检测[J]. 食品与机械, 2016, 32(11): 122–125.
- DENG JM, WANG HJ, LI ZZ, *et al.* Detection of potato external quality based on hyperspectral technology [J]. *Food Mach*, 2016, 32(11): 122–125.
- [42] 赵娟, 彭彦昆. 基于高光谱图像纹理特征的牛肉嫩度分布评价[J]. 农业工程学报, 2015, 31(7): 279–286.
- ZHAO J, PENG YK. Distribution of beef tender grading based on texture features by hyperspectral imaging analysis [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2015, 31(7): 279–286.
- [43] 刘宝花. 基于高光谱成像技术的鲜食葡萄内部品质无损检测研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2020.
- LIU BH. Non destructive detection of internal quality of fresh grape based on hyperspectral imaging technology [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2020.
- [44] KAMRUZZAMAN M, MAKINO Y, OSHITA S. Rapid and non-destructive detection of chicken adulteration in minced beef using visible near-infrared hyperspectral imaging and machine learning [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2016, 170(7): 8–15.
- [45] 白亚斌, 刘友华, 丁崇毅, 等. 基于高光谱技术的牛肉-猪肉掺假检测[J]. 海南师范大学学报(自然科学版), 2015, 28(3): 270–273.
- BAI YB, LIU YH, DING CY, *et al.* Quantitative detection of beef-pork adulteration by hyperspectral imaging [J]. *Hainan Norm Univ (Nat Sci Ed)*, 2015, 28(3): 270–273.
- [46] 杨清华, 彭彦昆, 郑晓春. 基于阈值选取高光谱感兴趣区域的牛肉掺假检测[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(11): 2710–2715.
- YANG QH, PENG YK, ZHENG XC. Beef adulteration testing in high-spectrum areas of interest based on threshold selection [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(11): 2710–2715.
- [47] 段宏伟, 朱荣光, 王龙, 等. 感兴趣区域对羊肉 pH 高光谱检测模型的影响研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2016, 36(4): 1145–1149.
- DUAN HW, ZHU RG, WANG L, *et al.* Study of the effects of areas of interest on lamb pH hyperspectral detection models [J]. *Spectrosc Spect Anal*, 2016, 36(4): 1145–1149.
- [48] 王守云, 袁明美, 封聪, 等. 肉类掺假鉴别技术研究进展[J]. 肉类研究, 2017, 31(4): 56–61.
- WANG SY, YUAN MM, FENG C, *et al.* Advances in meat adulteration identification technology [J]. *Meat Res*, 2017, 31(4): 56–61.
- [49] CRICHTON SOJ, KIRCHNER SM, PORLEY V, *et al.* Classification of organic beef freshness using VNIR hyperspectral imaging [J]. *Meat Sci*, 2017, 129.
- [50] CHENG W, SUN DW, PU H, *et al.* Characterization of myofibrils cold structural deformation degrees of frozen pork using hyperspectral imaging

- coupled with spectral angle mapping algorithm [J]. Food Chem, 2018, 239.
- [51] JI M, DA-WEN S, HONGBIN P. Spectral absorption index in hyperspectral image analysis for predicting moisture contents in pork *longissimus dorsi* muscles [J]. Food Chem, 2016, 197.
- [52] DONG Y, HE D, LU A, *et al.* Combination of spectral and textural information of hyperspectral imaging for the prediction of the moisture content and storage time of cooked beef [J]. Infrared Phys Technol, 2017, 83.
- [53] XIONG Z, SUN DW, PU H, *et al.* Non-destructive prediction of thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) value for freshness evaluation of chicken meat using hyperspectral imaging [J]. Food Chem, 2015, 17(1): 175–181.
- [54] 刘威, 刘伟丽, 魏晓晓, 等. 核磁共振波谱技术在食品掺假鉴别中的应用研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(11): 4358–4363.
- LIU W, LIU WL, WEI XX, *et al.* Applied research in the identification of food adulteration [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(11): 4358–4363.
- [55] 王佳慧, 艾竹君, 冯蔚旭, 等. 应用低场核磁共振技术检测注水肉的探讨[J]. 农产品加工, 2018, (22): 42–45, 51.

WANG JH, AI ZJ, FENG WX, *et al.* The application of low-field MRI technology to detect the exploration of water-filled meat [J]. Farm Prod Proc 2018, (22): 42–45, 51.

(责任编辑: 张晓寒)

作者简介



范梦晨, 主要研究方向为食品安全。
E-mail: 2201171378@qq.com



韩爱云, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品安全。
E-mail: 42242680@qq.com

“茶学研究”专题征稿函

茶叶源于中国, 与咖啡、可可并称为世界三大饮料。茶叶可鲜食, 也可以加工精制备用, 具有降压、提神等多种保健功能, 且含有多种有机化学成分和无机矿物元素。国内外对茶叶市场需求稳定增长, 我国的茶产业增长潜力巨大, 茶已成为社会生活中不可缺少的健康饮品和精神饮品。

鉴于此, 本刊特别策划了“茶学研究”专题, 主要围绕茶叶的贮藏保鲜、精深加工、品质评价、生物化学和功能性成分、香气成分分析、污染物分析检测、茶树生长代谢、茶叶资源的质量标准化等方面展开论述和研究, 综述及研究论文均可。

鉴于您在该领域丰富的研究经历和突出的学术造诣, 本刊主编吴永宁研究员特别邀请您为本专题撰写稿件, 综述、研究论文、研究简报均可, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。

本专题计划在 2021 年 3 月出版, 请在 2021 年 1 月 30 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并审稿合格后优先发表。

希望您能够通过各种途径宣传此专题, 并积极为本专题推荐稿件和约稿对象。

同时, 希望您能够推荐该领域的相关专家并提供电话和 E-mail。

感谢您的参与和支持!

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com(注明茶学研究专题)

E-mail: jfoodsq@126.com(注明茶学研究专题)

《食品安全质量检测学报》编辑部