

近红外光谱技术在禽畜肉制品安全性检测中的应用研究进展

杨斐然, 方胥伟, 赵钜阳*

(哈尔滨商业大学 旅游烹饪学院, 黑龙江 哈尔滨 150028)

摘 要: 近年来, 随着肉制品需求量的升高, 肉品掺假等安全问题尤为突出, 各类掺假检测方法层出不穷, 其中近红外光谱分析技术因其快速、无损等特点而被广泛应用。目前, 近红外光谱分析技术在肉品掺假、新鲜度和细菌污染检测方面已有了一定数量的研究, 这些研究结果凸显该技术在肉制品安全性检测中的可行性, 为肉制品批量无损快检提供依据。

关键词: 近红外光谱; 掺假; 新鲜度; 肉制品; 鉴别

近年来, 随着人们对禽畜肉制品的需求量日益增长, 肉品欺诈问题也日益突出。不法商家用廉价的鸭肉、鸡肉、猪肉及其他非肉材料冒充价格昂贵的牛、羊肉^[1-4], 甚至将冻藏时间远超货架期的腐败“僵尸肉”混入市场进行买卖^[5-8], 从而牟取暴利。这类不正当行为不仅违反了进出口贸易规定, 还严重侵害了消费者的权益和健康^[9-10]。

研究发现近红外光谱分析技术具有检测肉品质及鉴别肉品掺假的作用, 该技术因具有客观、快速、无损、准确、多指标、重现性好、操作方便等优点而被广泛应用^[11-17]。这类方法主要通过获取被测样品理化性质及其近红外光谱信息, 建立高精度、稳定的数学模型, 探索被测样品理化性质与光谱信息之间定性和定量关系^[18-19], 进而实现对肉类掺假成分、掺假量以及新鲜度的快速检测, 并可保证样品的完整性^[20-22]。目前, 常见的有关近红外光谱技术应用研究现状的概述集中于各类食品的真伪、种类、产地、致病菌、污染物鉴别及理化性质(水分、脂肪、蛋白质含量等)预测方面^[23-25], 而针对肉制品安全性检测的研究综述还未见报道。因此本文总结了近几年近红外光谱在

检验肉制品掺假、新鲜度及细菌污染等方面的国内外应用现状, 以期后续肉品掺假及新鲜度的无损快检提供数据支撑和理论参考。

1 近红外光谱技术在鉴别掺假肉中的应用

1.1 肉制品真伪鉴别

国外研究人员对于近红外光谱在肉类掺假检测中的应用较早。COZZOLINO 等^[26]收集了牛肉、羊肉、猪肉和鸡肉在 400 ~ 2 500 nm 处的近红外反射光谱信息, 分别开发了各类肉的主成分分析(PCA)模型和虚拟偏最小二乘回归(PLSR)模型, 最终模型识别精准度高达 80%, 可达到客观、快速识别肉品种类的效果。GAYO 等^[27]利用近红外光谱分析数据结合偏最小二乘法(PLS)和 PCA 建模, 辨别了蟹肉品种的真伪, 鉴定误差小于 6%。基于上述研究成果, 近红外光谱技术应用范围逐渐被推广至肉制品掺假领域。例如 ROHMAN 等^[28]以牛肉脂肪和猪肉脂肪制成的肉丸作为研究对象, 采集肉丸在 1 000 ~ 1 200 nm 的近红外反射光谱, 通过 PLS 建立判别模型以区分出掺有猪肉的牛肉丸子, 因此该模型可应用于清真

牛肉类制品的掺假检测。ALAMPRESE 等^[29]利用傅里叶变换近红外光谱(800 ~ 2 667 nm)技术结合多元分析法对掺有火鸡肉的牛肉进行检测,所得鉴别模型可准确识别出掺假牛肉。

国内学者们在近红外应用于肉制品掺假鉴别方面也做了大量研究。张丽华等^[30-31]利用近红外光谱分别建立羊肉糜和牛里脊肉中掺鸭肉的鉴别模型,正确识别率分别可达 99.07% 和 97.09%,该模型可有效判别掺假牛、羊肉糜。为提升模型准确度,排除仪器自身信噪比及稳定性差所带来的影响,可考虑在建立模型时使用多种优化处理方法,如牛晓颖等^[32]使用傅立叶变换近红外光谱技术建立和优化不同大小破碎粒度(7、5、3 mm)驴肉、牛肉、羊肉、猪肉的分类模型,分别通过马氏距离判别、平滑处理、一阶、二阶微分和标准归一化方法对分类模型进行预处理,其中采用马氏距离法优化的模型精度较高。白京等^[33]分别用 SG(savitzky - golay)平滑、SG 一阶导数、SG 二阶导数、多重散射校正、标准正态变量修正、以及 PLSR 等方法对掺假羊肉卷模型进行处理分析,结果显示 SG 平滑与一阶导数的预处理相结合的模型预测效果最佳。

除利用近红外光谱进行肉类掺假鉴别以外,还可利用紫外可见、中红外光谱等技术进行分析,但检测准确度往往逊于近红外光谱。ALAMPRESE 等^[34]构建 PCA、PLS 和 LDA(线性判别分析)模型比较利用紫外线可见光谱、近红外光谱和中红外光谱分析技术定性鉴别三种贮藏条件(冷冻、解冻和煮熟)下碎牛肉掺入火鸡肉的效果,结果显示近红外光谱所建立的 PLS 模型预测效果最佳。由此可见,在肉制品掺假鉴别方面近红外光谱分析技术具有相当大的优势。

1.2 肉制品掺假量检测

近红外光谱分析技术不仅可鉴别肉品是否存在掺假现象,还可检测出样品的掺假量,如 KAMRUZZAMAN 等^[35]通过筛选近红外光谱图的波长范围,建立多元线性回归模型,可快速分析检测羊碎肉中的猪肉掺入量(4% ~ 40% 范围内可检)。RADY 等^[36]研究掺有不同比例(1% ~ 50%)植物蛋白的牛肉或猪肉糜,收集样品在 400 ~ 1 700 nm 下的近红外光谱信息并采用 PLS 法建立鉴别模型,模型准确率可达 96%。ALAMPRESE 等^[29]利用傅立叶变换近红外光谱技术结合多元分析方法

对掺有火鸡肉的牛肉进行鉴别,所得模型可有效鉴别出牛肉中掺入的火鸡肉含量。DING 等^[37]利用近红外光谱分析技术检测了掺有羊肉、猪肉、脱脂奶粉、小麦粉的牛肉汉堡肉片,分辨正确率达 92.7%,可有效检测牛肉汉堡中肉片的掺假水平。

通过上述研究发现近红外技术的应用难点在于模型预处理方式和建模方法的选择。因此,在保证充足样本量的前提下,制定合理数据处理方法,选择恰当光谱预处理方式并筛选最佳建模方法是提高模型准确率的有效途径。

2 近红外光谱技术在检测肉制品添加剂中的应用

近红外光谱技术除鉴别以次充好的掺假肉外,还可检测添加在肉及肉制品中的非肉成分,如水、大豆蛋白及肉制品添加剂卡拉胶、亚硝酸盐等。杨志敏等^[38]利用 Fisher 线性判别分析和 PLS 法分别建立了可预测原料肉中掺有大豆蛋白的判别模型及大豆蛋白掺入含量的预测模型,其中判别模型准确率为 86.1%,预测模型决定系数为 93.4%,可起到良好的鉴别和检测作用。卡拉胶可改善肉的持水性,赋予肉制品良好的口感,但过量的添加会严重损害了消费者权益^[39]。何鸿举等^[40]通过建立全波段 PLS 预测模型探究卡拉胶添加量为 0% ~ 30% 的猪里脊肉糜的近红外光谱数据与不同掺胶比例数据的定量关系,该模型预测性能较优,此外,为降低模型运算时间、提高工作效率,该研究依据连续投影法(SPA)筛选出最优波长数 11,并结合 PLS 建模方法得到 SPA - PLS 注胶肉快速检测模型,其预测效果优于孟一等^[41]利用 PLS 建模方法结合 PCA 分析方法所建的注胶肉及注水肉检测模型。杨志敏等^[42]采用近红外漫反射光谱法对添加水、卡拉胶和氯化钠的猪肉样品进行分析,通过两类判别法和 MLP(神经网络)建立的掺假猪肉分类识别模型正确率达 94.2%。亚硝酸盐具有改善肉制品感官品质的特性,但同时又是一种在人体内无法被清除的致癌物^[43]。周令国等^[44]依次收集不同亚硝酸盐含量腊肉的近红外光谱图并与亚硝酸盐含量数据关联,利用 PLS 法成功建立了用于快速检测腊肉中亚硝酸盐含量的预测模型,经验证,所得模型的预测结果与通过化学检验所得结果无显著差异,其预测准确率高于 96%。

总之，相比于果蔬及粮食，近红外光谱分析技术在肉制品添加剂检测中的应用还较为匮乏，有关肉及肉制品中添加发色剂、着色剂等成分的相关研究相对较少，可在今后的研究中加以完善。

3 近红外光谱技术在检测肉制品新鲜度中的应用

近年来，人们对肉制品安全事件的关注度逐渐提升，腐败变质的肉品不仅影响食用的感官品质更会损害人体健康。当新鲜肉制品逐渐腐败变质，其内部营养成分的结构会发生变化，进而使肉品对近红外光的吸收和散射特性改变，因此，近红外光谱分析技术还可用于肉制品新鲜度的检测。

挥发性盐基氮(TVB - N)含量是评价肉制品新鲜度的重要指标，侯瑞锋等^[45]收集贮存不同天数的猪肉近红外光谱信息并与其 TVB - N 含量数值一一对应，通过聚类分析法建立猪肉样品 TVB - N 含量的 PLS 预测模型，该模型预测度良好。此外，侯瑞锋等^[45]还通过聚类分析法对不同贮存天数猪肉样品的近红外光谱信息进行处理，建立新鲜猪肉和次新鲜猪肉的鉴别模型，结果显示近红外光谱技术可通过预测肉品中 TVB - N 含量有效判别样品新鲜程度。相似的，杨志敏^[46]利用聚类分析法与 PLS 法结合，建立了肉品 TVB - N 含量与贮存时间关系的定量预测模型，该模型可有效判别肉品是否新鲜。张凡等^[47]收集两个波段下冷藏 1 ~ 14 d 猪肉样品的近红外光谱信息图，使用标准正态变量变换(SVN)及一阶导数(FD)等不同的预处理方式建立 3 种新鲜度指标色泽(L^*)、pH、TVB - N 含量的近红外光谱预测模型，结果显示选择 FD 结合 SNV 的预处理方式所建立的 L^* 和 TVB - N 预测模型最优，而 pH 预测模型则选择 SNV 预处理方式时，预测效果最佳，该实验证明近红外光谱技术可快速、有效、客观地判断样品新鲜度。

除检测短期贮存肉品新鲜度外，近红外光谱分析技术还可用于区分冷鲜肉与长期冻藏的解冻肉，这是由于随着冻藏时间的延长，肉制品营养成分发生改变，其内部分子结构发生不可逆的转变影响了样品对近红外光的吸收和散射。王文秀等^[48]分别扫描了新鲜肉和冷藏解冻肉的近红外光谱图并使用 PCA 对光谱进行降维处理，将所保留的光谱信息与肉品蒸煮损失率及剪切力值一一

对应，分别使用 Fisher 和贝叶斯分类器判别法建立区分新鲜肉和冷藏解冻肉的判别模型，所得模型准确率均大于 90%。程玮玮^[49]采用近红外光谱技术，通过 SPA 和回归系数法建立猪肉中生物胺含量的预测模型，该模型可有效预测出肉中的生物胺含量，并由此推算出猪肉的冷藏时间。赵钜阳等^[50]将冻藏时间为 0、3、6、9 个月的猪肉近红外光谱与其水分含量值一一对应，利用 PLS 分别建立新鲜肉与冻藏肉的定量分析判别模型，所得模型可较好地预测样品肉中的水分含量，并达到区分新鲜肉与长期冻藏肉的目的。由此可见，近红外技术不仅能够快速鉴别出长期冻藏肉，还可对冷藏及冻藏时间进行预测。

通过目前的研究结果发现，相比于短期贮存肉品新鲜度鉴别研究，近红外技术鉴别长期冻藏肉方面建立的判别模型准确率更高，这可能是由于长时间冻藏处理会严重影响各类肉样的食用品质，甚至会发生腐败变质，致使肉类内部成分显著改变，进而使得肉样近红外光谱信息变化差异显著，判别模型误差较小，预测准确度较高。然而在此方面的应用研究还相对较少，有关于长期冻肉的品质、成分结构改变与近红外光谱信息三者之间的关系还尚不明确，因此，未来可在近红外光谱快速识别长期冻藏肉类(特别是“僵尸肉”)方面拓展研究的广度与深度。

4 近红外光谱技术在检测肉制品细菌污染中的应用

除销售及贮藏过程存在的掺假和腐败问题外，不当的饲养及屠宰方式所引起的肉中抗生素及有害病菌的残留同样是值得重视的肉制品安全问题。

目前，将近红外光谱技术应用于抗生素的检测还集中在果蔬领域^[51-52]，在肉制品中所见甚少，但利用该技术检测肉制品中细菌的研究较多。何鸿举等^[53]采集 900 ~ 1 500 nm 下的整块鸡胸肉近红外光谱信息与细菌菌落总数(TVC)一一对应，建立 TVC 含量的预测模型，并通过 SPA 法进行优化，所得预测模型的预测相关系数为 0.944。吴霆^[54]同样利用近红外光谱技术建立了三文鱼 TVC 含量的预测模型，该模型的决定系数为 0.96。FENG 等^[55]扫描不同贮存天数的鸡肉近红外光谱，收集平均光谱信息并与假单胞菌测量值

一一对应,建立可直接、快速测定生鸡胸脯肉片中的假单胞菌含量的定量模型,准确率高于80%。随后,FENG等^[56]还利用近红外技术结合PLS回归分析法建立鸡肉中肠杆菌科细菌的有效定量模型。综上表明近红外光谱分析技术是一种可快速检测肉制品细菌含量的有效方法。

5 总结与展望

利用近红外光谱技术可建立肉制品定性定量分析模型,实现快速区分肉的品级和种类,鉴别肉制品掺假的目的。近红外光谱技术还能够通过检测肉中成分的红外光谱信息,区分肉品新鲜度及冻藏时间。虽然该技术具有快速、无损、准确等优点,但仍存在数据处理繁杂、建模难度较大、人才配备不齐以及配套设施不够完善等问题,尤其是数据处理和建模方法的选择仍需深入研究。此外,通过对目前研究的总结,发现将近红外应用于肉制品安全检测在模型的建立和应用中仍存在相应问题:(1)建模指标代表性差,一些研究以肉中灰分^[57]、羟脯氨酸^[58]、胆固醇^[59]、硫代巴比妥酸含量值^[60]与肉的近红外光谱一一对应建立相关模型,所得模型相关性远不及以蛋白质、水分及脂肪含量为计量指标所建模型,由此可见,选择恰当的建模指标是建立有效模型的前提。(2)模型应用性差,虽然近红外具有检测肉制品品质及鉴别肉制品真伪的作用,但目前近红外光谱分析技术还局限于实验室研究,大部分肉及肉制品企业仍然习惯于使用传统方法进行检测,这是由于各近红外仪器通用性较差的缘故。此外,肉制品安全检测以国家标准规定的检测方法为准,而近红外快速检测技术尚未列入相关行业标准,限制其应用。因此,规模化生产成本低、通用性好、配套设施一致的近红外光谱仪是将近红外快速检测技术加以应用的有效措施。

随着现代仪器分析技术的发展,结合化学计量法和各学科领域的相互融合,通过近红外技术的不断革新改进及检测效率的提高,近红外光谱分析技术必定会在肉制品安全性检测方面实现应用普及,进而提高肉品安全性,维护消费者的最终权益及身心健康。

参考文献:

[1] QIN P Z, QIAO D Q, XU J G, et al. Rapid visual

sensing and quantitative identification of duck meat in adulterated beef with a lateral flow strip platform [J]. Food Chemistry, 2019, 294:224 - 230.

- [2] 唐穗平, 张燕, 黄景辉. 广东省牛羊肉及其制品中掺杂掺假情况的调查分析 [J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(5): 1882 - 1886.
- [3] 张宗国, 陈东杰, 孟一, 等. 基于顶空气相色谱 - 离子迁移谱与电子鼻技术快速检测宁夏滩羊肉中掺假鸭肉 [J]. 肉类研究, 2020, 34(12): 43 - 48.
- [4] LIU W W, WANG X N, TAO J, et al. A multiplex PCR assay mediated by universal primers for the detection of adulterated meat in mutton [J]. Journal of Food Protection, 2019, 82(2): 325 - 330.
- [5] BONILLA F, REYES V, CHOULENKO A, et al. Influence of energy removal rate on the quality of minced meat from undersized crawfish during frozen storage [J]. Food Production Processing and Nutrition, 2020, 2(1): 95 - 101.
- [6] NAKAZAWA N, WADA R, FUKUSHIMA H, et al. Effect of long - term storage, ultra - low temperature, and freshness on the quality characteristics of frozen tuna meat [J]. International Journal of Refrigeration, 2020, 112:270 - 280.
- [7] 童灿浩, 吴杰翰, 曾晓房, 等. 冰鲜储藏对鸽子肉新鲜度与风味的影响 [J]. 食品科技, 2020, 45(1): 186 - 192.
- [8] 杨莹, 庄晓萌, 张欣欣, 等. 近红外光谱技术评价肉品新鲜度的应用 [J]. 吉林医药学院学报, 2018, 39(6): 459 - 461.
- [9] 唐穗平, 张燕, 黄景辉. 广东省牛羊肉及其制品中掺杂掺假情况的调查分析 [J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(5): 1882 - 1886.
- [10] 凌莉, 李志勇, 高东微, 等. 从肉类掺假案例反思我国进出口食品安全监管 [J]. 安徽农业科学, 2013, 41(20): 8711 - 8713 + 8715.
- [11] DIXIT Y, CASADO - GAVALDA M P, CAMA - MONCUNILL R, et al. Developments and challenges in online NIR spectroscopy for meat processing [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2017, 16(6): 1172 - 1187.
- [12] 冷拓. 基于近红外和核磁共振技术的牛肉肉糜掺假和品质指标预测 [D]. 南昌: 南昌大学, 2020.
- [13] 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.
- [14] 李欣南. 基于核酸分子检测的肉类源性成分快速鉴别技术的开发与应用 [D]. 沈阳: 中国医科大学,

2018.

- [15] 肖猛, 唐婷婷, 丁捷, 等. 基于电子鼻的速冻青裸鱼面的货架期内食品安全理化指标快速预测 [J]. 美食研究, 2019, 36(4) : 65 - 72.
- [16] 姜元华, 贾洪锋, 彭毅秦. 电子鼻及质构仪对三文鱼的检测分析 [J]. 美食研究, 2018, 35(2) : 57 - 60.
- [17] UUSITALO S, SOUDUNSAARI T, SUMEN J, et al. Online analysis of minerals from sulfide ore using near - infrared Raman spectroscopy [J]. Journal of Raman Spectroscopy, 2020, 51(6) : 978 - 988.
- [18] 陈素彬, 胡振, 杨华. 近红外光谱法检测饲料玉米品质的优化 PLS 模型 [J]. 饲料研究, 2020, 43(5) : 112 - 116.
- [19] BONIN M D, SILVA S D E, BÜNGER L, et al. Predicting the shear value and intramuscular fat in meat from Nellore cattle using Vis - NIR spectroscopy [J]. Meat Science, 2020, 163: 108077.
- [20] 唐保山, 李坤, 张雯雯, 等. 近红外漫反射光谱结合偏最小二乘法对紫胶理化指标的快速测定 [J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(18) : 236 - 244.
- [21] NICOLETTA S, SARA L, LUISA T, et al. Evaluation of freshness decay of minced beef stored in high - oxygen modified atmosphere packaged at different temperatures using NIR and MIR spectroscopy [J]. Meat Science, 2010, 86(3) : 748 - 752.
- [22] 张永权. 近红外光谱技术在食品安全方面的应用进展 [J]. 安徽医药, 2014, 18(7) : 1209 - 1213.
- [23] 曾雪晴, 李洪军, 王兆明, 等. 无损检测技术在掺假肉及肉制品中的应用进展 [J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(1) : 252 - 258.
- [24] 黄伟, 杨秀娟, 张燕鸣, 等. 近红外光谱技术在肉类定性鉴别中的研究进展 [J]. 肉类研究, 2014, 28(1) : 31 - 34.
- [25] 凡建. 基于近红外传感器的农药残留检测仪的实现 [J]. 电信快报, 2018(6) : 40 - 44.
- [26] COZZOLINO D, MURRAY L. Identification of animal meat muscles by visible and near infrared reflectance spectroscopy [J]. Food Science and Technology, 2004, 37(4) : 447 - 452.
- [27] GAYO J, HALE S A. Detection and quantification of species authenticity and adulteration in crabmeat using visible and near - infrared spectroscopy [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(3) : 585 - 592.
- [28] ROHMAN A, SISMINDARI, ERWANTO Y, et al. Analysis of pork adulteration beef meatball using Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy [J]. Meat Science, 2011, 88(1) : 91 - 95.
- [29] 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.
- [30] 张丽华, 郝莉花, 李顺峰, 等. 基于支持向量机的近红外光谱技术快速鉴别掺假羊肉 [J]. 食品工业科技, 2015, 36(23) : 289 - 293.
- [31] 张丽华, 相启森, 李顺峰, 等. 基于支持向量机的近红外光谱技术鉴别掺假牛肉 [J]. 西北农林科技大学学报, 2016, 44(12) : 201 - 205.
- [32] 牛晓颖, 邵利敏, 董芳, 等. 基于近红外光谱和化学计量学的驴肉鉴别方法研究 [J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(10) : 2737 - 2742.
- [33] 白京, 李家鹏, 邹昊, 等. 近红外特征光谱定量检测羊肉卷中猪肉掺假比例 [J]. 食品科学, 2019, 40(2) : 287 - 292.
- [34] ALAMPRESE C, CASALE M, SINELLI N, et al. Detection of minced beef adulteration with turkey meat by UV - vis, NIR and MIR spectroscopy [J]. LWT - Food Science and Technology, 2013, 53(1) : 225 - 232.
- [35] KAMRUZZAMAN M, SUN D W, ELMASRY G, et al. Fast detection and visualization of minced lamb meat adulteration using NIR hyperspectral imaging and multivariate image analysis [J]. Talanta, 2013, 103: 130 - 136.
- [36] RADY A, ADEDEJI A. Assessing different processed meats for adulterants using visible near infrared spectroscopy [J]. Meat Science, 2018, 136: 59 - 67.
- [37] DING H B, XU R J. Near - infrared spectroscopic technique for detection of beef hamburger adulteration [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48: 2193 - 2198.
- [38] 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.
- [39] 王强毅. 不同添加剂对肉丸品质特性的影响 [J]. 湖南文理学院学报, 2020, 32(4) : 50 - 54.
- [40] 何鸿举, 朱亚东, 王魏, 等. 基于近红外高光谱成像快速无损检测注胶肉研究 [J]. 食品工业科技, 2020, 41(10) : 219 - 223.
- [41] 孟一, 张玉华, 许丽丹, 等. 近红外光谱技术对猪肉注水、注胶的快速检测 [J]. 食品科学, 2014, 35(8) : 299 - 303.
- [42] 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(2) : 25 - 28.

- [43] 邱怡筠, 都芸, 左惠君. 亚硝酸盐对肉制品的抗氧化及抑制微生物的作用 [J]. 中国饲料, 2020 (16) : 9 - 12.
- [44] 周令国, 祝义伟, 肖琳, 等. 傅立叶近红外光谱法快速测定腊肉中亚硝酸盐 [J]. 食品研究与开发, 2013, 34(17) : 89 - 91.
- [45] 侯瑞峰, 黄岚, 王忠义, 等. 用近红外漫反射光谱检测肉品新鲜度的初步研究 [J]. 光谱学与光谱分析, 2006(12) : 2193 - 2196.
- [46] 杨志敏. 应用近红外光谱技术快速检测原料肉新鲜度及掺假的研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [47] 张凡, 姜鑫, 张存存, 等. 近红外光谱结合灰色关联度分析快速综合评价猪肉新鲜度 [J]. 河北农业大学学报, 2020, 43(1) : 89 - 95.
- [48] 王文秀, 彭彦昆. 基于近红外光谱的冷鲜肉 - 解冻肉的判别研究 [J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(3) : 754 - 760.
- [49] 程玮玮. 低温保藏猪肉有机生物大分子光谱成像规律与快速检测方法研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- [50] 赵钜阳, 姚恒喆, 杨旻格, 等. 冻藏猪肉在近红外光谱应用中的快速无损检测 [J]. 肉类工业, 2020(1) : 20 - 28.
- [51] 杨增玲, 林玉飞, 梁浩, 等. 基于近红外显微成像的豆粕和抗生素菌渣鉴别分析 [J]. 农业机械学报, 2017, 48(12) : 363 - 369.
- [52] 元晓云. 可见 - 近红外 CdTe 量子点的合成及其食品中抗生素残留的检测 [D]. 湘潭: 湖南科技大学, 2015.
- [53] 何鸿举, 蒋圣启, 王洋洋, 等. 在线近红外光谱系统快速检测整块鸡胸肉菌落总数含量 [J]. 食品工业科技, 2020, 41(16) : 232 - 237.
- [54] 吴霆. 基于光谱技术的三文鱼品质检测方法研究 [D]. 广州: 华南农业大学, 2018.
- [55] FENG Y Z, SUN D W. Near - infrared hyperspectral imaging in tandem with partial least squares regression and genetic algorithm for non - destructive determination and visualization of *Pseudomonas* loads in chicken fillets [J]. *Talanta*, 2013, 109:74 - 83.
- [56] FENG Y Z, ELMASRY G, SUN D W, et al. Near - infrared hyperspectral imaging and partial least squares regression for rapid and reagentless determination of Enterobacteriaceae on chicken fillets [J]. *Food Chemistry*, 2013, 138(2/3) : 1829 - 1836.
- [57] MCDEVITT R M, GAVIN A J, ANDRÉS S, et al. The ability of visible and near infrared reflectance spectroscopy to predict the chemical composition of ground chicken carcasses and to discriminate between carcasses from different genotypes [J]. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 2005, 13(3) : 109 - 117.
- [58] XIONG Z J, SUN D W, XIE A G, et al. Potential of hyperspectral imaging for rapid prediction of hydroxyproline content in chicken meat [J]. *Food Chemistry*, 2015, 175:417 - 422.
- [59] 王辉, 田寒友, 张顺亮, 等. 基于中波近红外光谱构建生鲜鸡肉胆固醇定量分析模型 [J]. 食品科学, 2016, 37(20) : 134 - 140.
- [60] XIONG Z J, SUN D W, PU H B, et al. Non - destructive prediction of thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) value for freshness evaluation of chicken meat using hyperspectral imaging [J]. *Food Chemistry*, 2015, 179: 175 - 181.

Advances of near infrared spectroscopy in meat product safety detection

YANG Fei-ran, FANG Xu-wei, ZHAO Ju-yang*

(College of Tourism and Cuisine, Harbin University of Commerce, Heilongjiang Harbin 150028, China)

Abstract : Meat adulteration and other safety issues have become particularly prominent. Various methods have emerged for adulteration detection. Near-infrared spectroscopy (NIR) has been widely used because of its fast and non-destructive characteristics. NIR has shown feasible in meat product safety detection.

Key words : near infrared spectroscopy; adulteration; freshness; meat products; identification