

近红外光谱技术在肉类品质评价中的应用

沈 啸, 唐修君, 樊艳凤, 葛庆联, 陆俊贤, 高玉时*

(中国农业科学院家禽研究所, 扬州 225125)

摘 要: 我国作为肉品消耗大国, 肉类品质一直是政府和百姓关注的热点问题。传统肉品检测方法不仅所用试剂会对环境造成污染, 而且检测周期也很难满足当今快速增长的肉品消耗需求。近红外光谱作为一个快速、无损、无污染、效率高、低成本、响应速度快、选择性强、抗干扰能力强和多组分同时分析(即一个近红外光谱数据可获得样品多种物质信息)的检测技术已逐渐被广泛用于肉品检测领域。本文综述了近红外光谱技术在肉品种类判别、产地溯源和品质分类定性鉴别中的研究, 以及在肉品颜色、pH 值、持水力和常规化学组成定量分析中的研究, 并对近红外光谱在肉品检测领域的发展前景进行展望, 以期为更好评价肉类品质提供参考。

关键词: 近红外光谱; 肉品; 定性鉴别; 定量分析

Appication of near infrared spectroscopy in meat quality evaluation

SHEN Xiao, TANG Xiu-Jun, FAN Yan-Feng, GE Qing-Lian, LU Jun-Xian, GAO Yu-Shi*

(Institute of Poultry, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Yangzhou 225125, China)

ABSTRACT: As a country with large meat consumption, meat quality has always been a hot issue for the government and the people. Traditional meat testing methods not only cause environmental pollution, but also the detection cycle is difficult to meet today's fast-growing meat consumption needs. As a fast, nondestructive, pollution-free, high efficiency, low cost, fast response time, strong selectivity, strong anti-interference ability and multi-component simultaneous analysis (one nir spectrum data can obtain sample material information) detection technology, near infrared spectroscopy has been widely used in the field of meat inspection. This paper reviewed the research of near-infrared spectroscopy in the identification of meat varieties, traceability of origin and quality classification, as well as quantitative analysis of meat color, pH, water holding capacity and conventional chemical composition, and discussed the development prospect of near infrared spectroscopy in meat inspection field, in order to provide reference for better evaluation of meat quality.

KEY WORDS: near-infrared spectroscopy; meat; qualitative identification; quantitative analysis

1 引 言

肉品是我们摄取动物蛋白的主要来源^[1], 随着生活水平的提高, 人们对肉类品质的要求也越来越高, 然而,

诸多肉类安全事件的频发, 不仅对我国居民健康产生重大威胁, 还降低了居民对肉类食品安全的信任度, 传统检测方法很难满足当今市场消费需求, 因此, 引入了近红外光谱法。

基金项目: 江苏省现代农业重点及面上项目(BE2018363)、江苏现代农业(肉鸡)产业技术体系(JATS[2018]251)

Fund: Supported by Jiangsu Province Modern Agriculture Key and Surface Project (BE2018363) and Jiangsu Modern Agriculture (Broiler) Industry Technology System [JATS(2018)251]

***通讯作者:** 高玉时, 研究员, 主要研究方向为家禽质量安全与品种鉴定研究。E-mail: gaoy100@sina.com

***Corresponding author:** GAO Yu-Shi, Professor, Institute of Poultry, Chinese Academy of Agricultural Sciences, No.58, Cangjie Road, Hanjiang District, Yangzhou 225000, China. E-mail: gaoy100@sina.com

近红外光是一种波长介于紫外-可见光(ultraviolet and visible spectrophotometer, UV-Vis)和中红外光(middle infra-red, MIR)之间的电磁波,其波长范围在 750~2500 nm 之间,主要对含氢基团(-CH₂、-NH₂、-OH 等)振动的倍频和合频吸收^[2-4]。当待测样品中含有以上不同的含氢基团时,可利用近红外光谱仪测定样品光谱,同时采用传统分析方法测定样品性质或数据,通过使用化学计量法(主成分分析、偏最小二乘法、多元线性回归等)将光谱与数据两者进行关联,即称为校正模型,根据已建立的校正模型,就可以结合样品的近红外光谱对样品的性质参数或组成含量进行预测^[5-9]。

自 20 世纪 90 年代以后,近红外光谱技术已遍布多个领域,如石化、制药、食品和饲料等^[10,11],它可以快速高效地测定样本中复杂有机质的理化性质,在食品行业可作为一种监测和控制食品质量的过程分析技术(process analytical technology, PAT)^[12]。近年来,近红外光谱技术在肉类安全检测方面已有诸多报道,如掺假检测^[13,14]、品质评价^[15,16]等。本文对近年来近红外光谱技术在肉类品质评价中的应用进展情况进行概述,并对该技术在肉品研究领域作出展望,以期对肉类品质进行有效监控提供科学依据。

2 近红外光谱技术在肉品定性鉴别中的研究

2.1 肉品种类判别

肉品种类判别主要目的是防止食品欺诈事件发生,食品欺诈即指替代、添加、篡改或歪曲食品、食品成分或食品包装的行为^[17]，“马肉丑闻”是最轰动的食品欺诈典型案例之一,这种行为不仅侵害消费者权益,也让零售商、生产商名誉受损,同时也会导致一些宗教问题,比如我国回族居民不吃猪肉等。孟一等^[18]利用傅立叶近红外光谱在 1012~2428 nm 波长范围内,对预测集猪肉、牛肉和羊肉的识别准确率分别为 99.28%、97.42%和 100%。白京等^[19]利用近红外光谱在 800~2778 nm 波长范围内,应用偏最小二乘判别分析法对不同肥肉占比的解冻牛肉汉堡饼中的猪肉掺假建立定性判别模型,对预测集判别准确率为 100%。类似的, Rady A 等^[20]对掺杂样品预测集判别准确率也为 100%。由此可见,通过近红外光谱结合化学计量法建立肉品种类定性判别模型可以在检测掺假肉领域发挥重要作用。以上均为不同种类肉品的判别研究,但随着科技发展,多种人工合成可食用原料也日渐丰富,如植物蛋白、小麦蛋白等也常常被不法商家用作肉品掺假原料,因此,也希望近红外可以多涉及这方面研究。

2.2 肉品产地溯源

肉品产地溯源鉴别主要目的是防止不良商家利用特色产地品牌对自己产品进行虚假宣传,这样的行为不仅使消费者权益受损,同时还严重损害了品牌产地名誉,对相关产品销售造成不良影响。史岩等^[21]利用近红外光谱在

780~2500 nm 波长范围内,应用主成分分析和聚类分析对辽宁大连、河北遵化等 5 个产地的 100 个鸡肉样本建立了鸡肉产地溯源的定性判别模型,对预测集的识别率和拒绝率均为 100%。而孙潇等^[22]利用近红外光谱在 1429~2500 nm 波长范围内,应用聚类分析、主成分分析对来自昌邑新昌等 4 个产地的 180 个经蒸、煮、微波加工的同部位鸡肉样本建立了加工后鸡肉产地溯源判别模型,对预测集判别准确率高于 90%。由此可见,近红外光谱模型不仅适用于冷鲜肉产地溯源判别,还可应用于肉品加工后的产地溯源判别。Liu 等^[23]利用近红外反射光谱在 1000~2500 nm 波长范围内,应用主成分分析和完全交叉验证法对广东、海南等 4 地罗非鱼鱼片建立了罗非鱼起源溯源模型,对预测集的错判率只有 1%~2%。Sun 等^[24]利用近红外光谱在 950~1650 nm 波长范围内,应用主成分分析、偏最小二乘分析、线性判别分析和偏最小二乘回归对我国 3 个牧区和 2 个农业区的 99 份羔羊肉样品建立溯源判别模型,对牧区和农业区样品进行了 100%的正确分类。总体来看,通过近红外光谱结合相关化学计量法建立肉品产地溯源定性判别模型可适用于家禽养殖业、水产业以及畜牧业,且模型稳定、有效,这一技术不仅规范了肉类消费市场秩序,更重要的是当疫情发生时,可以快速、准确的找到源头,及时控制疫情传播。

2.3 肉品品质分类

肉品品质分类是符合当下食品发展趋势的,不仅可以优化当前市场消费需求,给消费者提供更多选择,而且促进了肉类行业持续更好地发展,打造更多优质肉品。王培培^[25]利用近红外光谱结合线性判别分析建立 9 种不同品种羊肉近红外光谱鉴别模型,训练集正确判别率为 78.4%,交叉验证正确率为 75.4%,当采用偏最小二乘法建立单一品种羊肉近红外光谱鉴别模型,正确判别率可达 100%。由此可见,采用适合的化学计量法可以大大提高判别模型的稳定性。彭彦昆等^[26]利用近红外光谱结合偏最小二乘法对 54 个猪肉样品建立了猪肉水分分级模型,对预测集判别正确率为 90.48%。向灵孜等^[27]利用近红外光谱结合聚类分析技术对 30 份鸡肉样品建立了快速分类土鸡和肉鸡的判别模型,对预测集正确判别率达 100%。Samuel 等^[28]利用可见-近红外光谱对 85 份鸡胸肉建立了以持水力为分级的交叉验证模型,对预测集判别正确率超过 90%。总体来看,通过近红外光谱结合适应的化学计量法建立肉品品质分类定性判别模型是可行的,但要选择合适的品质分类指标,该指标在实验样品范围内具有近红外可识别的差异,以这样的指标建立模型才更加可靠。

3 近红外光谱技术在肉品定量分析中的研究

3.1 肉品 pH 值

动物在被屠宰后的一段时间内,腺嘌呤核苷三磷酸

(adenosine triphosphate, ATP)在运作,产生乳酸,从而导致pH值变化,这直接会对肉品的新鲜度、嫩度等指标产生影响^[29]。苏华维^[30]利用近红外光谱在1400~1800 nm波长范围内,对pH进行多元散射校正和一阶导数预处理,其校正模型决定系数为0.723,预测模型决定系数为0.730。与之结果相似的还有Marchi等^[31]交叉验证相关系数为0.72、杨建松等^[32]验证决定系数为0.7210、Douglas等^[33]预测模型决定系数为0.76,以及杨勇等^[34]预测模型决定系数为0.705。由此可以看出,近红外光谱预测肉品pH值是可行的,但总体决定系数还不够高,分析原因可能是用于数据分析的特征波段选择还不够精确,同时,样品中过多的水分也会影响pH值。

3.2 肉品持水力

持水力也称系水力,是指对肉品施加外力、切割、压制或加热过程中容纳水的能力,持水力对肉品的嫩度、色泽以及多汁性等均会产生影响^[35-37]。Samuel等^[38]利用可见-近红外光谱在400~2498 nm波长范围内,对光谱数据采用了萨维茨基-戈莱导数处理和乘法散射校正,应用偏最小二乘回归和判别分析相结合的方法,建立了交叉验证的校准模型,模型的决定系数为0.72,相对分析误差为2.1。沈杰^[39]应用蒸煮后挤压的水分损失作为持水力表征量,在400~1800 nm波段下应用联合区间偏最小二乘回归法预测其挤压出水百分比,预测集相关系数达到0.71。从决定系数来看,近红外光谱预测肉品持水力整体模型效果一般,分析原因可能是以水作为持水力表征量,水的特征峰往往受环境因素干扰,仪器准确度和精确度都会受到影响,可以再寻找其他性质作为持水力表征量来建立模型。

3.3 肉品颜色

肉品中的肌红蛋白、血红蛋白和细胞色素含量共同决定了肉品颜色^[40,41]。经研究表明,肉品品质的不同是导致肉品颜色差异的重要因素之一^[42]。对于肉品颜色的测定,国际光度委员会颁布了一套颜色系统,将样品颜色用亮度值(L^*)、红色值(a^*)和黄色值(b^*)^[43]表示。许倩等^[44]利用近红外光谱在720~1100 nm波长范围内,对原始光谱采用二阶导数预处理方法,结合偏最小二乘法建立样品色差值校正模型,肉色参数 L^* 和 a^* 校正集标准误差为2.118和1.806,二者校正模型相关系数为0.810和0.749,校正模型的预测值与真实值决定系数均在0.90以上。然而,苏华维^[31]的研究结果则较差, L^* 验证集决定系数为0.631,相对分析误差为1.29, a^* 和 b^* 验证集决定系数分别为0.626和0.359,相对分析误差为1.25和1.08。可见,对肉品颜色建立近红外光谱定量模型并不稳定,分析原因可能是波长范围没有选择恰当,特征数据并没有找到,或者没有运用合适的方法对原始光谱进行预处理,导致决定系数低。

3.4 肉品剪切力

剪切力是衡量肉品嫩度的重要指标,这项指标不仅一定程度上反映了脂肪、水分等成分含量,同时还可以作为肉品品质等级划分的重要标准^[45-47]。目前近红外光谱技术在肉品剪切力预测这个领域已有相关研究报道^[30,48],但是运用还不够成熟。苏华维^[30]利用近红外光谱在1000~1400 nm波长范围内,对剪切力光谱数据采用多元散射校正和一阶导数预处理,结合主成分分析建立校正模型,其校正模型决定系数为0.793,预测模型决定系数为0.661。类似的胡耀华等^[48]利用可见-近红外光谱在700~1098 nm波长范围内,对猪眼肌剪切力光谱数据采用多元散射校正法预处理,结合偏最小二乘法建立校正模型,其相关系数为0.78。然而,Ghazali等^[49]利用可见-短波近红外光谱在662~1005 nm波长范围内,结合主成分回归建立了鸡肉剪切力校正模型,模型预测相关系数仅为0.4231。同样,Prieto等^[50]利用近红外反射光谱在1300~1400 nm波长范围内,结合偏最小二乘法建立牛肉剪切力校正模型,决定系数也只有0.448,同时该团队还对幼牛建立了校正模型,决定系数为0.167。综上,近红外光谱在肉品剪切力预测领域还处于摸索阶段,光谱预处理方法选择还需优化,需要进一步研究不同肉品肌肉纤维所对应的特征性波段并分析处理,以提高准确率。

3.5 肉品常规化学组成

近年来,近红外光谱技术在肉品常规化学组分方面的研究越来越广泛。龚艳^[51]利用近红外光谱在1000~2500 nm波长范围内,对肉糜状态下采集的光谱采用标准正态化处理,结合偏最小二乘建立鸡肉肌苷酸含量校正模型,校正集决定系数为0.92,预测集决定系数为0.83。彭彦昆等^[26]利用近红外光谱在349~1435 nm和1037~1761 nm双波段结合范围内,采用多元散射校正对原光谱进行预处理,结合偏最小二乘法建立猪肉水分含量模型,校正集决定系数为0.906,预测集决定系数为0.836。黄伟等^[52]利用近红外反射光谱在909~2326 nm波长范围内,对烘干粉光谱采用标准正态变量进行预处理,结合偏最小二乘法建立蛋白质含量模型,校正集决定系数为0.948,预测集决定系数为0.976。由此可见,近红外光谱法对肉品常规化学成分的定量检测模型还是相对稳定的,可以在此领域继续探究其他化学成分的近红外光谱模型,从而推动近红外光谱在肉品定量分析方向的发展。

4 展望

近红外光谱技术凭借其检测过程中无损、无污染和效率高等优势,在肉品品质评价中已被广泛运用,通过结合相关化学计量法,可以很好的对肉品进行定性鉴别和定量分析,并能省去大量的人力、物力以及时间,应用前景非

常广阔。然而有关近红外光谱检测技术, 目前还有一些问题尚待进一步探究, 主要有以下几点: (1) 建立近红外光谱模型需要消耗大量样品, 后期检测几乎完全依赖校正模型, 且待测样品种类仅限模型内; (2) 模型不具通用性, 建模以及预测均为同一台仪器, 且该仪器在建模或者预测过程中不可替换如探头、反射测量等重要附件, 否则模型将失效; (3) 光谱与样品测量数据的联系完全依赖于化学计量法, 计量法的选择很大程度上决定了模型的稳定性, 需要花费大量时间去比对筛选。如果克服了以上问题, 凭借近红外光谱检测的诸多优势, 相信在不久的将来, 会成为众多行业必不可少的分析工具。

参考文献

- [1] Alexandrakis D, Downey G, Scannell AGM. Rapid non-destructive detection of spoilage of intact chicken breast muscle using near-infrared and Fourier transform mid-infrared spectroscopy and multivariate statistics [J]. *Food Bioprocess Technol*, 2012, 5(1): 338–347.
- [2] Alexandrakis D, Downey G, Scannell AGM. Detection and identification of bacteria in an isolated system with near-infrared spectroscopy and multivariate analysis [J]. *J Agric Food Chem*, 2008, 56(10): 3431–3437.
- [3] Ammor MS, Argyri A, Nychas GJE. Rapid monitoring of the spoilage of minced beef stored under conventionally and active packaging conditions using Fourier transform infrared spectroscopy in tandem with chemometrics [J]. *Meat Sci*, 2009, 81(3): 507–514.
- [4] Hennessy S, Downey G, Odonnell C. Multivariate analysis of attenuated total reflection-Fourier transform infrared spectroscopic data to confirm the origin of honeys [J]. *Appl Spectrosc*, 2008, 62(10): 1115–1123.
- [5] Cen H, He Y. Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2007, 18(2): 72–83.
- [6] Blanco M, Pages J. Classification and quantitation of finishing oils by near infrared spectroscopy [J]. *Anal Chim Acta*, 2002, 463(2): 295–303.
- [7] Brás LP, Bernardino SA, Lopes JA, *et al.* Multiblock PLS as an approach to compare and combine NIR and MIR spectra in calibrations of soybean flour [J]. *Chemometrics Intell Lab*, 2005, 75(1): 91–99.
- [8] Bucci R, Magri Y, Andrea D, *et al.* Chemical authentication of extra virgin olive oil varieties by supervised chemometric procedures [J]. *J Agric Food Chem*, 2002, 50(3): 413–418.
- [9] Carlomagno G, Capozzo L, Attolico G, *et al.* Non-destructive grading of peaches by near-infrared spectrometry [J]. *Infrared Phys Techn*, 2004, 46(1-2): 23–29.
- [10] Teppola P. Near-infrared spectroscopy: Principles, instruments, applications [M]. Darmstadt: Wiley-VCH Verlag GmbH Co. KGaA, 2002.
- [11] 冯新沪, 史永刚. 近红外光谱及其在石油产品分析中的应用[M]. 北京: 中国石化出版社, 2002.
Feng XL, Shi YG. Near infrared spectroscopy and its application in petroleum product analysis [M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2002.
- [12] Osborne BG, Fearn T, Hindle PH. Practical NIR Spectroscopy with applications in food and beverage analysis [M]. UK: Longman Scientific and Technical, 1993.
- [13] 孟一, 张玉华. 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.
Meng Y, Zhang YH. Rapid detection of water injection and injection of pork by near-infrared spectroscopy [J]. *Food Sci*, 2014, 35(8): 299–303.
- [14] 蒋祎丽, 吴晓宗, 郝莉花, 等. 近红外光谱技术快速检测猪肉糜中的掺杂鸭肉[J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(21): 133–135.
Jiang WL, Wu XZ, Hao LH, *et al.* Rapid detection of doped duck meat in pork chop by near-infrared spectroscopy [J]. *Food Res Dev*, 2015, 36(21): 133–135.
- [15] 邢素霞, 王睿, 郭培源, 等. 高光谱成像及近红外技术在鸡肉品质无损检测中的应用[J]. *肉类研究*, 2017, 31(12): 30–35.
Xing SN, Wang R, Guo PY, *et al.* Application of hyperspectral imaging and near infrared technology in nondestructive testing of chicken meat quality [J]. *Meat Res*, 2017, 31(12): 30–35.
- [16] 刘晓琳, 张梨花, 花锦, 等. 近红外技术快速检测鲜羊肉品质的研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(11): 2734–2738.
Liu XL, Zhang LH, Hua J, *et al.* Study on rapid detection of quality of cold and fresh mutton by near infrared technology [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(11): 2734–2738.
- [17] Spink J, Moyer DC. Defining the public health threat of food fraud [J]. *J Food Sci*, 2011, 76(9): 157–163.
- [18] 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.
Meng Y, Zhang YH, Wang JM, *et al.* Rapid identification of meat from different animal sources based on near-infrared spectroscopy [J]. *Food Sci*, 2014, 35(6): 156–158.
- [19] 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, Zou H, *et al.* Qualitative and quantitative detection of pork adulteration in beef burger cake by near infrared spectroscopy [J]. *Food Sci*, 2019, 40(8): 287–292.
- [20] Rady A, Adediji A. Assessing different processed meats for adulterants using visible-near-infrared spectroscopy [J]. *Meat Sci*, 2017, 136: 59–67.
- [21] 史岩, 赵田田, 陈海华, 等. 基于近红外光谱技术的鸡肉产地溯源[J]. *中国食品学报*, 2014, 14(12): 198–204.
Shi Y, Zhao TT, Chen HH, *et al.* Traceability of chicken origin based on near-infrared spectroscopy [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2014, 14(12): 198–204.
- [22] 孙潇, 史岩. 近红外光谱技术对加工后鸡肉产地溯源的研究[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(6): 315–321.
Sun X, Shi Y. Study on traceability of chicken origin after processing by near infrared spectroscopy [J]. *Mod food Technol*, 2015, 31(6): 315–321.
- [23] Liu Y, Ma DH, Wang XC, *et al.* Prediction of chemical composition and geographical origin traceability of Chinese export tilapia fillets products by near infrared reflectance spectroscopy [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2015, 60(2): 1214–1218.
- [24] Sun S, Guo B, Wei Y, *et al.* Classification of geographical origins and prediction of $d^{13}C$ and $d^{15}N$ values of lamb meat by near infrared reflectance spectroscopy [J]. *Food Chem*, 2012, 135(2): 508–514.
- [25] 王培培. 基于近红外光谱的不同品种绵羊肉鉴别及品质检测技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
Wang PP. Study on identification and quality detection techniques of different breeds of sheep meat based on near-infrared spectroscopy [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012.
- [26] 彭彦昆, 杨清华, 王文秀. 基于近红外光谱的猪肉水分在线检测与分级[J]. *农业机械学报*, 2018, 49(3): 347–353.
Peng YK, Yang QH, Wang WX. On-line detection and grading of pork moisture based on near-infrared spectroscopy [J]. *J Agric Mach*, 2018, 49(3): 347–353.
- [27] 向灵孜, 郭培源. 近红外光谱分析技术在鸡肉分类检测中的应用[J]. *食品科学技术学报*, 2014, 32(6): 66–71.
Xiang LZ, Guo PY. Application of near infrared spectroscopy in chicken

- meat classification and detection [J]. *J Food Sci Technol*, 2014, 32(6): 66–71.
- [28] Samuel D, Park B, Sohn M, *et al*. Visible-near-infrared spectroscopy to predict water-holding capacity in normal and pale broiler breast meat [J]. *Poultry Sci*, 2011, 90(4): 914–921.
- [29] 张英华. 肉的品质及其相关质量指标[J]. *食品研究与开发*, 2005, 26(1): 39–42.
- Zhang YH. Meat quality and related quality indicators [J]. *Food Res Dev*, 2005, 26(1): 39–42.
- [30] 苏华维. 近红外光谱分析技术在牛肉品质检测中的应用研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
- Su HW. Application of near infrared spectroscopy in bee quality testing [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014.
- [31] De MM, Penasa M, Battagin M, *et al*. Feasibility of the direct application of near-infrared reflectance spectroscopy on intact chicken breasts to predict meat color and physical traits [J]. *Poultry Sci*, 2011, 90(7): 1594–1599.
- [32] 杨建松, 孟庆翔, 任丽萍, 等. 近红外光谱法快速评定牛肉品质[J]. *光谱学与光谱分析*, 2010, 30(3): 685–687.
- Yang JS, Meng QX, Ren LP, *et al*. Rapid assessment of beef quality by near infrared spectroscopy [J]. *Spectrosc Spect Anal*, 2010, 30(3): 685–687.
- [33] Douglas FB, Cintia MK, Adriana LS, *et al*. Prediction of chicken quality attributes by near infrared spectroscopy [J]. *Food Chem*, 2015, 168: 554–560.
- [34] 杨勇, 杨庆余, 林巍, 等. 近红外光谱技术快速测定鹅肉嫩度[J]. *食品科学*, 2014, 35(8): 259–262.
- Yang Y, Yang QY, Lin W, *et al*. Rapid determination of goose tenderness by near infrared spectroscopy [J]. *Food Sci*, 2014, 35(8): 259–262.
- [35] 卢智, 柳青山, 朱俊玲. 几种蛋白酶与氯化钙对鸡肉系水力的影响[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(5): 24–27.
- Lu Z, Liu QS, Zhu JL. Effects of several proteases and calcium chloride on the hydraulic system of chicken [J]. *Food Res Dev*, 2018, 39(5): 24–27.
- [36] 席鹏彬, 蒋宗勇, 林映才, 等. 鸡肉肉质评定方法研究进展[J]. *动物营养学报*, 2006, (S1): 347–352.
- Xi PB, Jiang ZY, Lin YC, *et al*. Advances in research on evaluation methods of chicken meat quality [J]. *J Anim Nutr*, 2006, (S1): 347–352.
- [37] 刘海霞, 章建浩, 王永丽, 等. 木瓜蛋白酶嫩化处理对淘汰蛋鸡鸡肉蛋白质水解和嫩度等品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(1): 174–177.
- Liu HX, Zhang JH, Wang YL, *et al*. Effect of papain tenderization on protein hydrolysis and tenderness of laying hens [J]. *Food Ind Technol*, 2009, 30(1): 174–177.
- [38] Samuel D, Park B, Sohn M, *et al*. Visible-near-infrared spectroscopy to predict water-holding capacity in normal and pale broiler breast meat [J]. *Poultry Sci*, 2011, 90(4): 914–921.
- [39] 沈杰. 基于 X 射线及近红外光谱技术的禽肉品质检测[D]. 南昌: 江西农业大学, 2011.
- Shen J. Poultry meat quality testing based on X-ray and near-infrared spectroscopy [D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2011.
- [40] 袁先群. 肉类色泽变化机理研究进展[J]. *肉类研究*, 2010, (9): 6–12.
- Yuan XQ. Advances in research on the mechanism of meat color change [J]. *Meat Res*, 2010, (9): 6–12.
- [41] 孙学朋. 高铁肌红蛋白还原酶及其对肉色稳定性的作用综述[J]. *江西农业学报*, 2008, 20(5): 91–93.
- Sun XP. Review of high iron myoglobin reductase and its effect on meat color stability [J]. *Jiangxi Agric J*, 2008, 20(5): 91–93.
- [42] Norman JL, Berg EP, Heymann H, *et al*. Pork loin color relative to sensory and instrumental tenderness and consumer acceptance [J]. *Meat Sci*, 2003, 65(2): 0–933.
- [43] Honikel K. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat [J]. *Meat Sci*, 1998, 49(4): 447–457.
- [44] 许倩, 朱秋劲, 叶春, 等. 近红外光谱分析技术快速检测冰温贮藏牛肉品质[J]. *肉类研究*, 2015, (3): 23–26.
- Xu Q, Zhu QJ, Ye C, *et al*. Rapid detection of beef quality in ice temperature storage by near-infrared spectroscopy [J]. *Meat Res*, 2015, (3): 23–26.
- [45] Prieto N, LópezC, Aalhus JL, *et al*. Use of near infrared spectroscopy for estimating meat chemical composition, quality traits and fatty acid content from cattle fed sunflower or flaxseed [J]. *Meat Sci*, 2014, 98(2): 279–288.
- [46] Basarab JA, Mir PS, Aalhus JL, *et al*. Effect of sunflower seed supplementation on the fatty acid composition of muscle and adipose tissue of pasture-fed and feedlot finished beef [J]. *Can J Animal Sci*, 2007, 87(1): 71–86.
- [47] Elmasry G, Sun DW, Allen P. Near-infrared hyperspectral imaging for predicting colour, pH and tenderness of fresh beef [J]. *J Food Eng*, 2012, 110(1): 127–140.
- [48] 胡耀华, 熊来怡, 蒋国振, 等. 基于可见光和近红外光谱鲜猪肉蒸煮损失和嫩度检测的研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2010, 30(11): 2950–2953.
- Hu YH, Xiong LY, Jiang ZG, *et al*. Study on cooking loss and tenderness of fresh pork based on visible and near infrared spectroscopy [J]. *Spectrosc Spect Anal*, 2010, 30(11): 2950–2953.
- [49] Ghazali R, Rahim HA. Prediction of raw broiler shear force using visible and short wave near infrared spectroscopy [C]. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2016.
- [50] Prieto N, Andrés S, Giraldez FJ, *et al*. Ability of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to estimate physical parameters of adult steers (oxen) and young cattle meat samples [J]. *Meat Sci*, 2008, 79(4): 692–699.
- [51] 龚艳. 近红外光谱法用于鸡肉定性鉴别及定量分析研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015.
- Gong Y. Application of near infrared spectroscopy in qualitative identification and quantitative analysis of chicken meat [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2015.
- [52] 黄伟, 杨秀娟, 曹志勇, 等. 近红外反射光谱快速检测滇南小耳猪肉中水分、粗脂肪及粗蛋白含量的研究[J]. *中国畜牧杂志*, 2015, 51(7): 73–77.
- Huang W, Yang XJ, Cao ZY, *et al*. Rapid determination of water, crude fat and crude protein in xiaoer pork by near infrared reflectance spectroscopy [J]. *Chin J Anim Sci*, 2015, 51(7): 73–77.

(责任编辑: 于梦娇)

作者简介



沈 啸, 硕士研究生, 主要研究方向为食品加工与安全。

E-mail: sx13665240712@126.com



高玉时, 研究员, 主要研究方向为家禽质量安全与品种鉴定研究。

E-mail: gaoy100@sina.com