

近红外光谱分析技术在鸡肉品质检测中的应用研究进展

姜洪喆, 王伟*, 杨一, 褚璇, 赵昕

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要: 全球的鸡肉产量和消费量逐年上升, 鸡肉品质已成了消费者的重点关注对象。近红外光谱分析技术是一种无损、快速、环保以及实时的检测技术, 目前已快速发展成为一种应用于食品分析领域的新方法, 在肉品检测方面也展现出极大的分析和应用潜力, 近年来, 已有较多国内外研究探讨了其在鸡肉品质检测方面的可行性。本文通过对近红外检测技术在鸡肉颜色、pH值、持水力、剪切力及化学成分预测方面的定量分析, 肉品动物来源、鸡肉产地溯源及品质等级划分的定性分析以及其他相关方面检测的研究进行了综述, 总结了应用近红外检测各品质指标的研究现状, 可为相关研究者提供参考和借鉴, 并基于分析总结对今后近红外光谱分析在鸡肉品质检测应用的发展前景及发展方向做了展望。

关键词: 鸡肉; 品质指标; 近红外光谱; 定性分析; 定量分析

Research progress on analysis of chicken meat quality traits using near-infrared spectroscopy

JIANG Hong-Zhe, WANG Wei*, YANG Yi, CHU Xuan, ZHAO Xin

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

ABSTRACT: The chicken production and consumption are growing year by year worldwide, and the major concern for consumers has been focused on the quality traits of chicken meat. As a kind of non-destructive, fast, environmental and real-time detection technique, near-infrared spectroscopy (NIRS) has developed rapidly into a new method used in food analysis at present. In meat industry, the great potential has also been shown in analysis and application, and several present studies have been conducted to investigate the feasibility in chicken meat quality detection in recent years. The quantitative analysis of color, pH value, water-holding capacity, shear force and chemical composition, qualitative analysis of different animal sources, origin traceability and quality grading, and other researches related to chicken meat quality detection by near-infrared spectroscopy were introduced in the paper. The research status of chicken meat quality traits detected by near-infrared spectroscopy was summarized, which could provide references for the related researchers. Also, the future development and application trend of near-infrared spectroscopy in chicken quality detection were prospected based on the analysis and summarization.

基金项目: 赣南医学院赣南油茶产业开发协同创新中心开放基金项目(YP201606)

Fund: Supported by the Opening Project of Gannan Medical University Collaborative Innovation Center for Gannan Oil-tea Camellia Industrial Development (YP201606)

*通讯作者: 王伟, 博士, 副教授, 主要研究方向为农产品无损快速检测技术。E-mail: playerwxw@cau.edu.cn

*Corresponding author: WANG Wei, Ph.D, Associate Professor, College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China. E-mail: playerwxw@cau.edu.cn

KEY WORDS: chicken meat; quality traits; near-infrared spectroscopy; quantitative analysis; qualitative analysis

1 引言

鸡肉, 以其价格低廉、肉质细嫩、高蛋白低脂肪等优势深受广大消费者青睐。近年来, 鸡肉的产量和消费量在全球范围内均处于逐年快速上升趋势, 产业发展迅猛^[1,2]。我国是继美国之后的第二大鸡肉生产消费国, 消费市场规模仍有持续扩大的趋势, 随着我国居民生活质量的不断提高, 消费者对于鸡肉品质的要求也逐步提高。因此, 为了满足日益重要的鸡肉市场的多样化发展需求, 以鸡肉品质参数(持水力、剪切力、颜色、pH 值等)为目标^[3], 能够对鸡肉品质做出有针对性的检测评价是十分必要的。

近红外光谱(near-infrared spectroscopy, NIRS), 是一种波长介于中红外和可见光之间的电磁波谱。近红外光谱分析技术是近年来发展起来的新型定性、定量的分析技术, 具有高效、快速、实时、环保、无损等显著优势, 已广泛应用于食品、农业、医药等行业^[4-6]。其中, 在肉及肉制品检测方面, 此方法已展现出对肉品颜色、蛋白质、脂肪、pH 等指标进行无损快速检测的潜力^[7,8]。

NIRS 技术在肉品品质指标检测方面开展了多年研究,

其中在猪肉、牛肉及羊肉等红肉的检测中取得了较多成果。而 NIRS 技术在鸡肉品质检测方面起步相对略晚, 研究深度与广度还有差距, 目前, 针对鸡肉的检测研究正处于发展阶段^[9]。本文概括了现阶段应用 NIRS 技术预测鸡肉一系列的物理品质和化学品质的研究综述, 总结了 NIRS 评定鸡肉品质参数的可行性, 并在此基础上对 NIRS 研究鸡肉品质的研究方向作了展望。

2 近红外技术在鸡肉品质定量分析中的应用

2.1 颜色

肉品的颜色是能够给消费者最直观感受的要素, 是肉品外观评定的重要指标之一。肉品的颜色主要是由肌肉中肌红蛋白、血红蛋白和细胞色素的含量所决定的^[10]。在肉的加工、销售等过程中, 肉色与肉的新鲜度有直接的关系。目前测定鸡肉颜色的方法主要是通过色度计测量得到 CIE L^* (亮度), a^* (红度)和 b^* (黄度)的值。有研究指出, Chroma 和 Hue angle 作为 CIE a^* 和 b^* 的派生值, 也与肉品的质量有联系^[11]。应用 NIRS 预测鸡肉不同颜色值可行性的研究结果汇总见表 1。

表 1 近 15 年 NIRS 预测鸡肉颜色文献结果汇总
Table 1 Publications of prediction of color traits of chicken meat using NIRS in recent 15 years

指标	样品数	波段/波长	处理方法	建模方法	相关/决定系数 R/R^2	相对分析误差 RPD	参考文献
L^*	193	350~1800 nm	Log(1/R)	PLSR	$R_{cv}=0.69$	1.40	[12]
a^*	193	350~1800 nm	Log(1/R)	PLSR	$R_{cv}=0.88$	2.14	[12]
b^*	193	350~1800 nm	Log(1/R)	PLSR	$R_{cv}=0.93$	2.82	[12]
L^*	144	400~1850 nm	Log(1/R)	PLSR	$R_v^2=0.94$	1.76	[13]
a^*	144	400~1850 nm	Log(1/R)	PLSR	$R_v^2=0.38$	1.27	[13]
b^*	144	400~1850 nm	Log(1/R)	PLSR	$R_v^2=0.80$	1.47	[13]
L^*	85	425, 456, 568, 1140, 1396, 1875 nm	Log(1/R)	PLSR	$R_v^2=0.62$	/	[14]
L^*	214	400~2500 nm	SNV+Smooth	PLSR	$R_p^2=0.73$	1.94	[15]
a^*	214	400~2500 nm	SNV+Smooth	PLSR	$R_p^2=0.81$	2.21	[15]
b^*	214	400~2500 nm	SNV+Smooth	PLSR	$R_p^2=0.73$	1.85	[15]
Chroma	214	400~2500 nm	D1+SNV	PLSR	$R_p^2=0.72$	1.81	[15]
Hue angle	214	400~2500 nm	MSC+Smooth	PLSR	$R_p^2=0.80$	2.07	[15]
L^*	158	408, 440, 500, 608, 1250, 1378 nm	Log(1/R)	PLSR	$R_p^2=0.89$	3.06	[16]
a^*	158	432, 576, 608, 1494, 1922 nm	Log(1/R)	PLSR	$R_p^2=0.72$	2.40	[16]
b^*	158	440, 540, 608, 1052, 1378, 1525, 1866 nm	Log(1/R)	PLSR	$R_p^2=0.80$	2.40	[16]
Chroma	158	440, 968, 1042, 1158, 1508, 1878 nm	Log(1/R)	PLSR	$R_p^2=0.62$	2.50	[16]

注: SNV: standard normal variate, 标准正态变量校正; smooth: 平滑处理; D1: 1st-order derivative, 一阶导数处理; MSC: multiplicative scatter correction, 多元散射校正; PLSR: partial least squares regression, 偏最小二乘回归

总体看来, NIRS 尤其可见/近红外光谱(Vis/NIRS)可以很好地预测鸡肉颜色值, 整体结果良好。但对于颜色各指标的预测结果不尽一致, 这与样品鸡肉品种的差异、样品量的大小、指标范围值宽窄等因素的影响有关。

2.2 pH 值

动物被屠宰后, 肌肉内残留的 ATP 仍能产生乳酸, 从而导致肉品 pH 的动态变化。而 pH 值直接关系到肉的嫩度、烹饪损失以及保藏期等^[17]。所以对肉品 pH 值进行检测为有效监测肉质变化提供了可行性。应用 NIRS 预测鸡肉 pH 值的国内外研究结果见表 2, 整体结果显示 NIRS 对于 pH 值的预测结果可以接受, 但仍有提升空间。

2.3 持水力

持水力(water-holding capacity)是指肉品肌肉组织在受到外力作用时能够保持水分的能力, 对肉品的营养及风味等起到重要作用^[19]。持水力的强弱直接影响肉品加工、运输及储藏等过程中肉品营养汁液流失量, 最终影响消费者食用过程中肉的多汁性、弹性及咀嚼感等食用口感。

Liu 等^[13]采集鸡肉 400~1800 nm 的光谱, 并用来预测鸡肉的蒸煮损失, 预测集决定系数为 0.49, RPD 为 1.02。Samuel 等^[14]以解冻损失作为持水力指标, 应用 4 个波长 440、556、580、1384 nm 建立预测解冻损失模型, 决定系数可以达到 0.72。然而, Tejerina 等^[20]的研究展现出较差的结果, 决定系数只有 0.39。De Marchi 等^[12]研究了蒸煮损失及解冻损失的预测可行性, 交叉验证相关系数分别为 0.70 和 0.59, 结果有待进一步提高。Barbin 等^[16]应用 400~2500 nm 鸡肉的近红外光谱预测鸡肉压榨损失, 结果显示预测集决定系数为 0.68, RPD 为 1.8。沈杰^[21]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(synergic interval partial least squares regression, SiPLSR)预测其挤压出水百分比, 预测集相关系数达到 0.71。综上, NIRS 在鸡肉持水力预测结果不能令人满意, 未来研究应注重 NIRS 结合持水力的机理研究, 以提升预测结果准确性。

2.4 剪切力

剪切力(shear force)是一种经仪器实验、可描述肉嫩度的客观指标, 通过采集肉的切断力等值, 从而模拟主观上感官评价的咬力等以达到评定肉的嫩度的目的^[22]。Ghazali 等^[23]研究了应用可见/短波 NIRS(622~1005 nm)结合 PCR 预测鸡肉剪切力的可行性, 显示结果预测集的相关系数仅为 0.46。De Marchi 等^[12]得到交叉验证预测鸡肉剪切力结果为 0.27。Cheatman^[24]应用近红外反射光谱预测新鲜鸡肉剪切力值, 得到决定系数在 0.60 左右。应用 NIRS 预测鸡肉剪切力的研究整体有待进一步提高, 需要进一步探讨测量机制与肌肉纤维伸缩的关系, 集成图像处理分析等技术, 以期提高整体预测准确率。

2.5 化学成分

鸡肉中含有大量人体易吸收的营养物质, 蛋白质含量极其丰富, 为了杜绝以次充好、便于商家及消费者分类销售或购买, 对鸡肉多种成分含量进行检测十分有意义^[25]。而近红外在鸡肉中化学成分的定量检测开展已久, 从早期的蛋白质、脂肪、水分以及灰分到最近几年研究较多的脂肪酸、胆固醇等均有 NIRS 技术可行性的方法或应用研究^[26]。表 3 中可以看出, NIRS 技术对鸡肉内化学成分脂肪、蛋白质及水分的预测结果较好, 对于脂肪酸、胆固醇的预测结果差异较大, 而对灰分、干物质等预测结果较差。

3 近红外技术在鸡肉分类定性分析的应用

3.1 动物来源肉类鉴别

对于不同动物来源肉进行鉴别有利于判断是否有“挂羊头, 卖狗肉”的现象存在, 研究人员调研了鸡肉掺入其他类肉品中鉴别的可能性。Cozzolino 等^[38]采集了 400~2500 nm 波段下均质后不同动物来源肉品样本(46 个鸡肉、100 个牛肉、44 个猪肉、140 个羊肉)的光谱数据, 采用主成分分析(principal components analysis, PCA)结合 PLSR 建立定性判别模型, 结果显示整体判别正确率高于 85%。类似的,

表 2 NIRS 预测鸡肉 pH 结果汇总
Table 2 Publications of prediction of pH of chicken meat using NIRS

样品数	波段/波长	处理方法	建模方法	相关/决定系数 R/R^2	相对分析误差 RPD	参考文献
193	350~1800 nm	Log(1/R)	PLSR	$R_{cv} = 0.71$	1.42	[12]
144	400~1850 nm	Log(1/R)	PLSR	$R_v^2 = 0.91$	1.14	[13]
85	440, 556, 580, 1384 nm	Log(1/R)	PLSR	$R_v^2 = 0.67$	/	[14]
71	1100~2498 nm	Detrend	MPLSR	$R_p^2 = 0.67$	/	[18]
158	440, 526, 576, 670, 902, 970, 1076, 1390, 1694 nm;	Log(1/R)	PLSR	$R_p^2 = 0.67$	2.30	[16]

注: MPLSR: modified partial least squares regression, 修正偏最小二乘回归

表 3 NIRS 预测鸡肉化学成分结果汇总
Table 3 Publications of prediction of chemical components of chicken meat using NIRS

指标	样品数	波段/波长	处理方法	建模方法	相关/决定系数 R/R^2	相对分析误差 RPD	参考文献
脂肪	241	400~2498 nm	SNV+D2	MPLSR	$R^2=0.93$	0.26	[27]
脂肪	30	850~1050 nm	MSC	iPLS	$R=0.946/0.952$	/	[28]
脂肪	78	400~1800 nm	SNV	SiPLS	$R_p=0.77$	/	[21]
脂肪	148	400~2500 nm	MSC+D2+Norris	PLSR	$R_p=0.991$	/	[29]
脂肪	39	1308~2388 nm	D1	GLM	$R_v^2=0.97$	/	[30]
脂肪	120	1445~2348 nm	Reflectance	MLR	$R_v^2=0.83$	/	[20]
脂类	69	1100~2498 nm	Detrend	MPLS	$R_{cv}^2=0.99$	/	[18]
蛋白质	120	1445~2348 nm	Reflectance	MLR	$R_v^2=0.76$	/	[20]
蛋白质	30	850~1050 nm	MSC	iPLS	$R=0.978/0.963$	/	[28]
蛋白质	148	400~2500 nm	MSC+D2+Norris	PLSR	$R_p=0.989$	/	[29]
粗蛋白	243	400~2498 nm	SNV+D2	MPLSR	$R^2=0.85$	0.44	[27]
粗蛋白	70	1100~2498 nm	SNV+Detrend	MPLS	$R_{cv}^2=0.91$	/	[18]
水分	148	400~2500 nm	MSC+D2+Norris	PLSR	$R_p=0.980$	/	[29]
水分	109	400~2498 nm	Derivatives+MSC	PLSR	$R_v^2=0.95$	4.87	[31]
灰分	237	400~2498 nm	SNV+D2	MPLSR	$R^2=0.65$	0.57	[27]
灰分	120	1445~2348 nm	Reflectance	MLR	$R_v^2=0.46$	/	[20]
灰分	69	1100~2498 nm	SNV+Detrend	MPLS	$R_{cv}^2=0.05$	/	[18]
饱和脂肪酸	105	850~1050 nm	MSC	MPLS	$R_{cv}^2=0.90$	4.86	[32]
饱和脂肪酸	214	1100~1830 nm	SNV+D1	MPLSR	$R_{cv}^2=0.06$	1.17	[33]
总脂肪酸	144	400~2498 nm	MSC	MPLSR	$R_v^2=0.97$	5.5	[34]
总脂肪酸	200	400~2500 nm	Log (1/R)	PLSR	$R^2 > 0.8$	/	[35]
胆固醇	67	1100~2498 nm	SNV+Detrend	MPLS	$R_{cv}^2=0.34$	/	[18]
胆固醇	294	1100~1799 nm	5 种组合	PLSR	$R_p=0.812$	2.84	[36]
氮总量	109	400~2498 nm	Derivatives+MSC	PLSR	$R_v^2=0.82$	4.47	[31]
干物质	120	1445~2348 nm	Reflectance	MLR	$R_v^2=0.54$	/	[20]
肌苷酸	86	1000~2500 nm	SNV	PLSR	$R_p^2=0.83$	/	[37]

注: D2: 2nd-order derivative, 二阶导数处理; GLM: general linear model, 广义线性模型; MLR: multiple linear regression, 多元线性回归

Alfar 等^[39]研究了 900~1500 nm 波段下 NIRS 结合 SVM 分类算法对于猪、牛、鸡肉样品的鉴别, 总体预测集准确率达到了 86.67%。蒋祎丽等^[40]采集了鸡肉和猪肉的 400~2500 nm 以快速判别肉中是否掺入其他动物源的肉, 采用偏最小二乘判别分析(partial least squares discriminant analysis, PLS-DA)建立判别模型, 判别准确率可达 100%。可以看出, NIRS 技术在动物来源肉类辨别方面取得了很好的判别效果, 结果令人满意。

3.2 品种鉴别及产地溯源

为了检测鸡肉中是否有不同品种偷梁换柱、以次充好的现象存在, 龚艳等^[41]研究了 NIRS 鉴别 AA 肉鸡、京海黄鸡和狼山鸡的可行性, 验证集准确率可达 97.7%。史岩等^[42]调研了应用 NIRS 追溯鸡肉产地的可行性, 对我国大连、潍坊等 5 个地区鸡肉产地的鉴别率可以达到 100%。向灵孜等^[43]利用 NIRS 结合聚类分析技术对土鸡和肉鸡进行判别, 模型预测判别准确率达 100%。孙潇等^[44]对加工后

不同产地鸡肉样本进行近红外光谱扫描, 集合聚类分析及PCA对鸡肉进行产地溯源, 识别的准确率可达90%~95%。可以看出, 应用NIRS对不同品种或产地的鸡肉鉴别的效果很好。

3.3 等级划分

鸡肉品质的等级划分是具有实用前景的研究方向, 可以对不同品质的鸡肉进行划分等级, 提供了可选择性。Bowker等^[45]应用Vis/NIRS技术, 以新鲜及冷冻干燥的肉鸡鸡胸肉为研究对象, 对肉品持水力高低进行等级的划分预测, 结果显示Vis/NIRS对新鲜鸡胸肉品等级划分准确率可达74%~92%, 冷冻干燥鸡胸肉准确率为79%~86%。鸡胸肉木质硬度缺陷(wooden breast, WB)作为一种肉鸡鸡肉性状, 是近年来研究的热点, 此种肉食用品质差, 消费者接受程度低^[46], Wold等^[47]研究了应用NIRS进行在线检测WB划分鸡肉的可行性, 测试集可以达到100%, 展现出良好的实用性。

4 其他方面

近年来, 也有一些NIRS应用于鸡肉品质不同方面的研究。Hawkins等^[48]研究了鸡胸肉两侧及单侧不同位置近红外光谱的差异, 发现鸡肉两侧光谱有显著差异, 而单侧不同位置的NIRS差异不如两侧的差异明显。在另一项研究中, Hawkins等^[49]利用NIRS发现不同去骨时间下去骨的鸡胸肉, 其最终的蛋白质成分品质会有差异, 同时也验证了NIRS应用在监测鸡肉蛋白质成分变化方面的可行性。刘功明等^[50]应用NIRS结合PLSR建模方法验证了检测鸡肉加热的终点温度的可行性, 结果表明模型的预测温度与实际温度相关系数可达0.98。Grau等^[51]应用NIRS预测包装的鸡胸肉新鲜度, 以 K_1 值表征新鲜度, 最终结果显示预测集决定系数可达0.89, NIRS展现出良好的预测能力。

5 展望

随着鸡肉产销量的迅速上升, 挖掘可靠的检测技术来促进鸡肉品质标准的完善, 实现鸡肉品质认定及划分, 以提升百姓餐桌上食用鸡肉的整体质量, 是十分有意义和有前景的研究方向。本文综述了国内外近20年来近红外光谱分析技术在鸡肉品质检测中的方法及应用研究, 包括颜色、pH值、化学成分等定量检测方面研究以及不同动物源肉品鉴别、品种产地鉴别等定性检测方面研究, 发现NIRS技术作为快速、无损、实时、环保的一项极具潜力的检测技术, 近些年在鸡肉品质方面研究多数取得了可接受的检测结果。但由于不同研究鸡肉品种、类型(整肉、碎肉、均质肉)、实验条件等的不同, 以及光谱采集有限区域是否能够代表鸡肉品质等问题的影响, 不同研究成果的结果差异还较大。同时, NIRS技术需要与机器视觉、图像处理分析、

高光谱等技术进行集成分析, 通过结合光谱及图像数据以提升品质指标预测及判别的准确率, 提高模型鲁棒性, 最终能够加强成果的实际应用转化, 将好的研究成果应用于实际的鸡肉品质检测中才是本领域研究人员的终极目标以及消费者所期待的。

参考文献

- 文杰. 我国肉鸡生产现状与技术发展趋势[J]. 北方牧业, 2015, (11): 21-23.
Wen J. Production status and technology development trend of broiler in China [J]. North Anim Husb, 2015, (11): 21-23.
- 文杰. 肉鸡产业发展趋势与主推技术[J]. 兽医导刊, 2015, (13): 11-13.
Wen J. Development trend and main push technology of broiler industry [J]. Vet Sci, 2015, (13): 11-13.
- 向洋, 凌静. 鸡肉品质的影响因素研究进展[J]. 肉类研究, 2008, (1): 12-15.
Xiang Y, Ling J. Research progress on influencing factors of chicken quality [J]. Meat Res, 2008, (1): 12-15.
- 王小燕, 王锡昌, 刘源, 等. 近红外光谱技术在食品掺伪检测应用中的研究进展[J]. 食品科学, 2011, 32(1): 265-269.
Wang XY, Wang XC, Liu Y, et al. Application of near-infrared spectroscopy in food adulteration detection: A review [J]. Food Sci, 2011, 32(1): 265-269.
- 张仲源, 刘静, 管晓, 等. 近红外光谱分析技术在食品检测中的应用研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(11): 159-165.
Zhang ZY, Liu J, Guan X, et al. Research progress of application of near infrared spectroscopy in food analysis [J]. Food Ferment Ind, 2011, 37(11): 159-165.
- 孙通, 徐惠荣, 应义斌. 近红外光谱分析技术在农产品/食品品质在线无损检测中的应用研究进展[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(1): 122-126.
Sun T, Xu HR, Ying YB. Progress in application of near infrared spectroscopy to nondestructive on-line detection of products/food quality [J]. Spectrosc Spect Anal, 2009, 29(1): 122-126.
- 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. Research and progress of non-destructive testing technology of meat quality [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(12): 392-395.
- Prieto N, Roehe R, Lavín P, et al. Application of near infrared reflectance spectroscopy to predict meat and meat products quality: A review [J]. Meat Sci, 2009, 83(2): 175-186.
- 熊振杰. 基于高光谱成像技术的鸡肉品质快速无损检测[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
Xiong ZJ. Rapid and non-destructive detection of chicken meat quality based on hyperspectral imaging technique [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015.
- 袁先群. 肉类色泽变化机理研究进展[J]. 肉类研究, 2010, 71(1): 100-121.
Yuan XQ. Current research in meat color [J]. Meat Res, 2010, 71(1): 100-121.
- 陈鹏, 程镜蓉, 陈之瑶, 等. 鸡肉品质测定方法的研究进展[J]. 食品工

- 业, 2016, (3): 244–247.
- Chen P, Cheng JR, Chen ZY, *et al.* Research advance in determination of meat quality in broiler [J]. Food Ind, 2016, (3): 244–247.
- [12] De Machi M, 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]. Poult Sci, 2011, 90(7): 1594–1599.
- [13] Liu Y, Lyon BG, Windham WR, *et al.* Prediction of physical, color, and sensory characteristics of broiler breasts by visible/near infrared reflectance spectroscopy [J]. Poult Sci, 2004, 83(8): 1467–1474.
- [14] 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]. Poult Sci, 2011, 90(4): 914–921.
- [15] Jiang H, Yoon SC, Zhuang H, *et al.* Predicting color traits of intact broiler breast fillets using visible and near-infrared spectroscopy [J]. Food Anal Methods, 2017, 10(10): 3443–3451.
- [16] Barbin DF, Kaminishikawahara CM, Soares AL, *et al.* Prediction of chicken quality attributes by near infrared spectroscopy [J]. Food Chem, 2015, 168: 554–560.
- [17] 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 its related targets [J]. Food Res Dev, 2005, 26(1): 39–42.
- [18] Berzaghi P, Dalle ZA, Jansson LM, *et al.* Near-infrared reflectance spectroscopy as a method to predict chemical composition of breast meat and discriminate between different n-3 feeding sources [J]. Poult Sci, 2005, 84(1): 128–136.
- [19] 刘家忠, 王希彪. 鸡肉可榨出水分测定条件的初步探讨[J]. 肉类研究, 1991, (2): 30–32.
- Liu JZ, Wang XB. Preliminary study of chicken expressible moisture determination condition [J]. Meat Res, 1991, (2): 30–32.
- [20] Tejerina D, López-Parra MM, García-Torres S. Potential used of near infrared reflectance spectroscopy to predict meat physico-chemical composition of guinea fowl (*Numida meleagris*) reared under different production systems [J]. Food Chem, 2009, 113(4): 1290–1296.
- [21] 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. Inspection of poultry's quality based on X-ray and Near Infrared Spectroscopy Technology [D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2011.
- [22] 魏心如, 韩敏义, 王鹏, 等. 热处理对鸡胸肉剪切力与蒸煮损失的影响 [J]. 江苏农业学报, 2014(3): 629–633.
- Wei XR, Han MY, Wang P, *et al.* Effect of pretreatment conditions on Warner-Bratzler shear force and cooking loss of chicken breast [J]. Jiangsu J Agric Sci, 2014(3): 629–633.
- [23] Ghazali R, Rahim HA. First derivative prediction of raw broiler shear force using visible short wave near infrared spectroscopy [J]. Jurnal Teknolgi, 2016, 78(7): 1–6.
- [24] Cheatham BR. Prediction of the tenderness of cooked poultry pectoralis major muscles by near-infrared reflectance analysis of raw meat [J]. Inquiry, 2005, 35(6): 573–585.
- [25] 吴习宇, 赵国华, 祝诗平. 近红外光谱分析技术在肉类产品检测中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(1): 371–374.
- Wu XY, Zhao GH, Zhu SP, *et al.* Study on the application of Near Infrared Spectroscopy in the meat quality evaluation [J]. Sci Technol Food Ind, 2014, 35(1): 371–374.
- [26] 陶琳丽, 杨秀娟, 邓君明, 等. 畜禽肉化学成分近红外光谱检测技术研究进展[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(11): 3002–3009.
- Tao LL, Yang XJ, Deng JM, *et al.* Application of near infrared reflectance spectroscopy to predict meat chemical compositions: a review [J]. Spectrosc Spect Anal, 2013, 33(11): 3002–3009.
- [27] Mcdevitt R, Gavin A, 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]. Hispania, 2005, 13(1): 109–117.
- [28] 邢素霞, 郭培源, 向灵孜, 等. 基于近红外光谱的散养土鸡与笼养肉鸡的营养成分预测[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, (8): 2994–3001.
- Xing SX, Guo PY, Xiang LZ, *et al.* Nutrients components forecast on free-range and broiler chicken based on near infrared spectroscopy [J]. J Food Saf Qual, 2015, (8): 2994–3001.
- [29] 刘炜, 吴昊昊, 孙东东, 等. 近红外光谱分析技术在鲜鸡肉快速检测分析中的应用研究[J]. 中国家禽, 2009, 31(2): 8–11.
- Liu W, Wu HM, Sun DD, *et al.* Fast determination of fresh chicken using FT-NIR spectroscopy [J]. China Poult, 2009, 31(2): 8–11.
- [30] Abeni F, Bergoglio G. Characterization of different strains of broiler chicken by carcass measurements, chemical and physical parameters and NIRS on breast muscle [J]. Meat Sci, 2001, 57(2): 133–137.
- [31] Tamburini E, Castaldelli G, Ferrari G, *et al.* Onsite and online FT-NIR spectroscopy for the estimation of total nitrogen and moisture content in poultry manure [J]. Environ Technol, 2015, 36(18): 2285–2294.
- [32] Riovanto R, De MM, Cassandro M, *et al.* Use of near infrared transmittance spectroscopy to predict fatty acid composition of chicken meat [J]. Food Chem, 2012, 134(4): 2459–2464.
- [33] De MM, Riovanto R, Penasa M, *et al.* At-line prediction of fatty acid profile in chicken breast using near infrared reflectance spectroscopy [J]. Meat Sci, 2012, 90(3): 653–657.
- [34] Zhou LJ, Wu H, Li JT, *et al.* Determination of fatty acids in broiler breast meat by near-infrared reflectance spectroscopy [J]. Meat Sci, 2012, 90(3): 658–664.
- [35] 燕昌江, 李锋, 王亮, 等. 近红外光谱测定鸡肉品质指标的研究[C]. 中国畜牧兽医学会儿动物营养学会第十一次全国动物营养学术研讨会论文集, 2012.
- Yan CJ, Li F, Wang L, *et al.* Study on quality index of chicken by near infrared spectroscopy [C]. Proceedings of the Eleventh National Animal Nutrition Academic Conference of Animal Nutrition Branch of China animal husbandry and Veterinary Association, 2012.
- [36] 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.
- Wang H, Tian HY, Zhang SL, *et al.* Establishment of quantitative analysis model of chicken cholesterol based on medium-wavelength near-infrared spectroscopy [J]. Food Sci, 2016, 37(20): 134–140.
- [37] 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. Qualitative identification and quantitative analysis of chicken meat by near infrared spectroscopy [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2015.

- [38] Cozzolino D, Murray I. Identification of animal meat muscles by visible and near infrared reflectance spectroscopy [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2004, 37(4): 447–452.
- [39] Alfar JJ, Khorshidtalab A, Akmelawati R, *et al.* Towards authentication of beef, chicken and lard using micro near-infrared spectrometer based on support vector machine classification [J]. *ARPN J Eng Appl Sci*, 2016, 11(6): 4130–4136.
- [40] 蒋祎丽, 郝莉花, 张丽华, 等. 猪肉糜中掺鸡肉的近红外光谱快速定性判别方法研究[J]. *食品科技*, 2014, (11): 319–322.
Jiang YL, Hao LH, Zhang LH, *et al.* Rapidly qualitative discrimination of minced chicken in minced pork by near infrared reflectance spectroscopy [J]. *Food Sci Technol*, 2014, (11): 319–322.
- [41] 龚艳, 汤晓艳, 王敏, 等. 近红外光谱法对鸡肉品种的快速无损鉴别[J]. *食品科学*, 2015, 36(16): 148–152.
Gong Y, Tang XY, Wang M, *et al.* Rapid and nondestructive identification of chicken breeds by near infrared spectroscopy [J]. *Food Sci*, 2015, 36(16): 148–152.
- [42] 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.* Determination of geographic origin of chicken based on near infrared spectroscopy [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2014, 14(12): 198–204.
- [43] 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. Research on classifying chicken based on near-infrared spectroscopy [J]. *J Food Sci Technol*, 2014, 32(6): 66–71.
- [44] 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. Determining the geographic origin of cooked chicken based on near-infrared spectroscopy [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2015, 31(6): 315–321.
- [45] Bowker B, Hawkins S, Zhuang H. Measurement of water-holding capacity in raw and freeze-dried broiler breast meat with visible and near-infrared spectroscopy. [J]. *Poult Sci*, 2014, 93(7): 1834–1841.
- [46] 孙啸, 陈彩蓉, 周漫静, 等. 木质硬度缺陷鸡肉特征及其判定[J]. *食品科学*, 2017, 38(7): 82–87.
Sun X, Chen CR, Zhou MJ, *et al.* Characteristics and identification of woody breast fillets [J]. *Food Sci*, 2017, 38(7): 82–87.
- [47] Wold JP, Veisethkent E, Høst V, *et al.* Rapid on-line detection and grading of wooden breast myopathy in chicken fillets by near-infrared spectroscopy [J]. *PLoS One*, 2017, 12(3): 1–16.
- [48] Hawkins SA, Zhuang H, Sohn M, *et al.* Effect of varying postmortem deboning time and sampling position on visible and near infrared spectra of broiler breast filets [J]. *Int J Poult Sci*, 2014, 13(5): 272–278.
- [49] Hawkins SA, Bowker B, Zhuang H, *et al.* Post-mortem chemical changes in poultry breast meat monitored with visible-near infrared spectroscopy [J]. *J Food Res*, 2014, 3(3): 57–65.
- [50] 刘功明, 孙京新, 李鹏, 等. 近红外光谱法检测鸡、鱼肉加热终点温度[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(1): 155–162.
Liu GM, Sun JX, Li P, *et al.* Detection of endpoint temperature of chicken and fish by near-infrared spectroscopy [J]. *Chin Agric Sci*, 2016, 49(1): 155–162.
- [51] Grau R, Sanchez AJ, Giron J, *et al.* Nondestructive assessment of freshness in packaged sliced chicken breasts using SW-NIR spectroscopy [J]. *Food Res Int*, 2011, 44(1): 331–337.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



姜洪喆, 博士研究生, 主要研究方向为农产品无损快速检测技术。

E-mail: jianghongzhe@cau.edu.cn



王伟, 副教授, 主要研究方向为农产品无损快速检测技术, 机电一体化技术。

E-mail: playerwxw@cau.edu.cn