

近红外光谱法对鸡肉品种的快速无损鉴别

龚 艳, 汤晓艳*, 王 敏, 陶 瑞, 毛雪飞

(中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 农业部农产品质量安全重点实验室, 北京 100081)

摘 要: 选取爱拔益加肉鸡(又名AA肉鸡)、京海黄鸡和狼山鸡鸡胸肉各40个肉样,应用便携式近红外光谱仪在1 000~2 500 nm波长条件下分别对鸡肉肉块和肉糜进行光谱扫描,并测定肉样的颜色、蛋白质、脂肪和水分含量。各选择90个肉样作为建模集,采用偏最小二乘判别分析法分别建立了鸡肉肉块和肉糜的品种鉴别模型。所建的两个模型对校正集和验证集样本的鉴别准确率均分别为100%和97.7%,对剩余预测集的各30个肉样进行鉴别分析的鉴别准确率均为90%。

关键词: 鸡肉品种; 近红外光谱; 快速无损鉴别

Rapid and Nondestructive Identification of Chicken Breeds by Near Infrared Spectroscopy

GONG Yan, TANG Xiaoyan*, WANG Min, TAO Rui, MAO Xuefei

(Key Laboratory of Agri-food Safety and Quality, Ministry of Agriculture, Institute of Quality Standards and Testing Technology for Agro-products, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Totally 40 chicken breast muscle samples from AA broiler chicken, Jinghai yellow chicken and Langshan chicken were subjected to near infrared (NIR) analysis. Chicken meat slice and meat emulsion were scanned with a portable NIR spectrometer (1 000–2 500 nm), respectively and then analyzed for color, protein, fat and moisture. A total of 90 chicken samples were selected as modeling sets. Breeds identification models of chicken meat slice and meat emulsion were established using partial least squares discriminant analysis (PLS-DA). The established models showed 100% and 97.7% accuracy for discriminating calibration set and validation set and 90% accuracy for the remaining 30 chicken samples, respectively.

Key words: chicken breeds; near infrared spectroscopy; rapid and nondestructive identification

中图分类号: S805

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2015)16-0148-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201516027

鸡肉一直是我国消费最为普遍的肉制品之一。据统计,2012年我国的鸡肉总产量达到了1 370万 t,是世界第二大鸡肉产国。巨大的产销量使得鸡肉的品质评定成为肉制品行业所关注的焦点,目前国内市场上的鸡肉品种可达100种以上^[1],包括外来种、地方种和培育种等。不同品种的鸡肉在口感和品质上存在很大差异,部分品种的鸡肉一经宰杀分类,其肉品性状和色泽较为相似,人们肉眼无法区分,尽管已有研究通过形态学标记分析和生产性能测定等手段^[2]鉴别鸡肉品种,但鉴定周期长、受环境影响大,很难推广应用于鸡肉品种的快速鉴别。为了保护一些鸡肉品种的知识产权和育种者的权益,对鸡肉品种进行鉴别非常重要。

近红外技术是一种灵敏、快速、无损的新型检测技

术,其在农产品定量和定性检测分析方面得到了广泛应用。在肉品检测分析领域,近红外技术不仅已成功地应用于肉品中化学成分,如蛋白质、脂肪、水分^[3-5]、脂肪酸^[6]、挥发性盐基氮^[7]和羟脯氨酸^[8]等的定量分析,而且成功地应用于肉品的定性鉴别,如用于鉴别不同品种^[9]、不同种类^[10]、不同年龄^[11]、不同部位^[12]的肉,但是利用近红外光谱技术对鸡肉品种进行快速无损鉴别的研究鲜有报道。为了能快速、准确、无损地鉴别不同品种的鸡肉,本研究应用近红外光谱技术分别获取了3个不同品种鸡肉样品的光谱信息,结合偏最小二乘判别分析(partial least squares discriminant analysis, PLS-DA)法,研究近红外光谱技术快速鉴别鸡肉品种的可行性。

收稿日期: 2015-02-11

基金项目: 国际科技合作专项(2012DFA31140); 公益性行业(农业)科研专项(201303083); 农业部“948”重点项目(2011-G5)

作者简介: 龚艳(1985—),女,硕士研究生,研究方向为畜产品质量安全。E-mail: ghabcd.happy@163.com

*通信作者: 汤晓艳(1976—),女,研究员,博士,研究方向为畜产品质量安全。E-mail: txycaas@126.com

1 材料与amp;方法

1.1 材料

鸡肉取自江苏省南通市,包括爱拔益加肉鸡(又名AA肉鸡)、京海黄鸡和狼山鸡的各40个鸡胸肉样本,鸡达到上市日龄时宰杀,取其同侧鸡胸肉,剔除可见脂肪和结缔组织。AA肉鸡来自海门包场镇志中养殖场,京海黄鸡来自海门京海禽业集团有限公司京海黄鸡扩繁场,狼山鸡来自如东狼山鸡保种场。样品在-20℃条件下储存运输。

1.2 仪器与设备

SupNIR-1550近红外光谱仪 聚光科技公司;Kjeltec™2300凯式定氮仪、Soxtec™2050脂肪测定仪丹麦Foss公司;GM2000研磨仪 德国Retsch公司。

1.3 方法

1.3.1 光谱采集

将样品在0~4℃条件下解冻24h,再将样品置于室温半30h。应用近红外光谱仪分别对鸡肉肉块和肉糜进行光谱扫描,鸡肉肉糜是在2000r/min的条件下对鸡肉样品进行绞碎后得到。测量之前,仪器首先进行预热;待自检完成后,设定仪器的测试参数,波长范围1000~2500nm,分辨率10nm,仪器平均扫描次数30次,随后进行背景扫描,每个样本重复扫描3次,取3次的平均光谱作为每个样本的光谱。

1.3.2 样品测定

1.3.2.1 颜色值(L^* 、 a^* 和 b^*)的测定

应用色差计于鸡肉肉块表面3个不同的位置测定3组 L^* 、 a^* 和 b^* 值,取平均。每次测定前需要对色差计进行白板校正,绿灯闪烁时指示一次测量完成。

1.3.2.2 蛋白质、粗脂肪和水分含量的测定

按照GB/T 9695.11—2008《肉与肉制品:氮含量测定》^[13]、GB/T 9695.7—2008《肉与肉制品:总脂肪含量测定》^[14]和GB/T 9695.15—2008《肉与肉制品:水分含量测定》^[15]分别对所取鸡胸肉样本的蛋白质、脂肪和水分值进行测定。

1.3.3 统计分析

应用SAS/PC(8.0)软件对3个品种鸡肉样品的颜色值(L^* 、 a^* 、 b^*)、蛋白质、脂肪和水分含量测定值进行均值差异显著性检验。光谱数据经格式转换后,应用Unscrambler(version 9.8, CAMO)的PLS-DA对3个品种鸡肉进行鉴别。

PLS-DA法PLS的一种变体,它是通过创造“虚拟变量”来建立模型,利用PLS法建立“虚拟变量”Y与光谱

变量X的回归预测模型,然后通过比较“虚拟变量”预测值大小确定样品的类别。本研究建模过程中,将3个品种的鸡肉光谱,分别赋予值1、2和3(1代表AA肉鸡,2代表京海黄鸡,3代表狼山鸡)作为光谱数据的参考值,采用偏最小二乘回归技术建立鉴别模型,以校正模型的决定系数 R^2 、交互验证均方根误差(root mean square error of cross validation, RMSECV)和预测均方根误差(root mean square error of prediction, RMSEP)3个指标评价模型的拟合精度和预测精度。如果预测值在AA肉鸡、京海黄鸡和狼山鸡所赋予值(1、2和3)±0.50范围内,则判断其预测准确。一般 R^2 越大, RMSECV和RMSEP越小,模型精度越高。

2 结果与分析

2.1 3个品种鸡肉测定结果

表1 3个品种鸡肉颜色值(L^* 、 a^* 、 b^*)、蛋白质、粗脂肪和水分含量的统计情况

Table 1 Statistics of color (L^* , a^* and b^*), protein, fat and moisture contents in three breeds of chicken

指标	品种	最小值	最大值	平均值	标准偏差
L^*	AA肉鸡	48.90	58.81	53.90 ^a	2.61
	京海黄鸡	50.68	63.29	58.17 ^b	2.62
	狼山鸡	46.00	60.68	54.70 ^a	3.16
a^*	AA肉鸡	1.09	6.45	3.34 ^a	1.07
	京海黄鸡	1.82	5.59	3.38 ^a	0.99
	狼山鸡	1.36	13.29	4.83 ^b	2.18
b^*	AA肉鸡	5.77	13.29	9.55 ^a	1.65
	京海黄鸡	5.19	16.07	9.55 ^a	2.13
	狼山鸡	4.20	14.03	8.73 ^a	2.40
蛋白质含量/%	AA肉鸡	23.37	26.24	24.91 ^a	0.67
	京海黄鸡	22.27	26.53	24.68 ^a	0.88
	狼山鸡	24.35	26.19	25.39 ^b	0.39
脂肪含量/%	AA肉鸡	0.22	1.71	1.01 ^a	0.33
	京海黄鸡	0.64	2.25	1.23 ^b	0.37
	狼山鸡	0.89	2.30	1.55 ^c	0.37
水分含量/%	AA肉鸡	69.92	74.57	72.88 ^a	0.97
	京海黄鸡	67.22	74.19	72.54 ^a	1.34
	狼山鸡	66.70	73.80	72.41 ^a	1.10

注:同指标同列平均值标注不同小写字母为差异显著($P<0.05$),标注相同字母为差异不显著($P>0.05$)。

从表1可以看出,AA肉鸡和狼山鸡 L^* 值差异不显著($P>0.05$),均显著低于京海黄鸡($P<0.05$);AA肉鸡和京海黄鸡 a^* 值差异不显著($P>0.05$),均显著低于狼山鸡($P<0.05$);3个品种鸡肉 b^* 值差异不显著($P>0.05$)。AA肉鸡和京海黄鸡的蛋白质含量差异不显著($P>0.05$),均显著低于狼山鸡的蛋白质含量($P<0.05$);3个品种鸡肉的脂肪含量差异显著,AA肉

鸡的脂肪含量要显著低于京海黄鸡的脂肪含量，并且均显著低于狼山鸡的脂肪含量 ($P < 0.05$)；3个品种鸡肉水分含量差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.2 3个品种鸡肉的近红外光谱特征

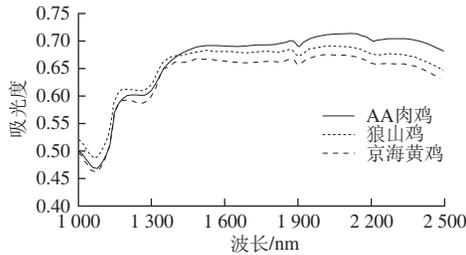


图1 鸡肉肉块样本平均光谱
Fig.1 Average spectrum of chicken meat slice

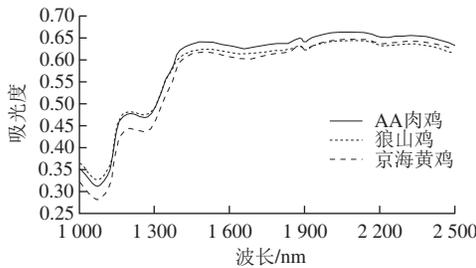


图2 鸡肉肉糜样本平均光谱
Fig.2 Average spectrum of chicken meat emulsion

本研究对3个品种鸡肉肉块和肉糜样本的光谱数据分别取平均，分别获得3条平均光谱曲线见图1和图2。可以看出AA肉鸡、京海黄鸡和狼山鸡的光谱曲线变化趋势基本一致，但3个品种鸡肉样本的光谱曲线在吸收峰上存在明显差异。为进一步强化光谱特征，本研究对鸡肉肉块和肉糜的原始光谱数据分别进行了一阶求导 (Savitzky-Golay, 11点) 处理，然后对处理后的光谱数据分别取平均值。由图3、4可以看出，3个品种鸡肉近红外光谱在1150、1210、1315 nm和1395 nm附近的光谱特征差异较大。

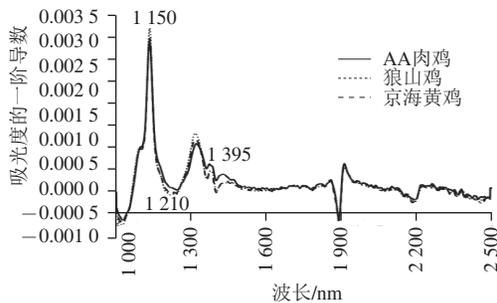


图3 鸡肉肉块样本光谱的一阶导数平均谱图
Fig.3 Average spectrum (first-order derivative) of chicken meat slice

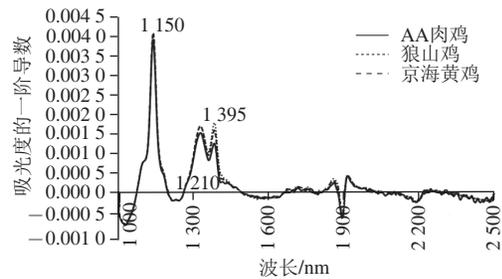


图4 鸡肉肉糜样本光谱的一阶导数平均谱图

Fig.4 Average spectrum (first-order derivative) of chicken meat emulsion

2.3 3个品种鸡肉近红外光谱数据主成分分析 (principal component analysis, PCA)

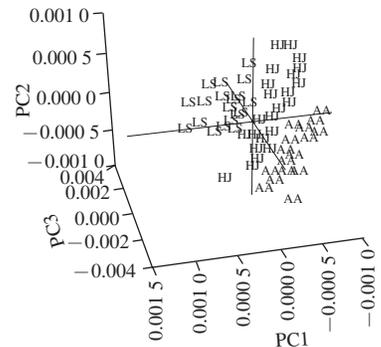


图5 鸡肉肉块样本一阶导数光谱图校正所得PC1、PC2和PC3得分三维投影图

Fig.5 3D scatter plot of scores corresponding to the first three principal components calculated using the first-order derivative average spectra for chicken meat slice

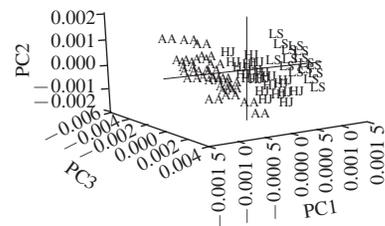


图6 鸡肉肉糜样本一阶导数光谱图校正所得PC1、PC2和PC3得分三维投影图

Fig.6 3D scatter plot of scores corresponding to the first three principal components calculated using the first-order derivative average spectra for chicken meat emulsion

本研究对鸡肉肉块和肉糜的近红外光谱预处理数据进行PCA，依据预测残差平方和分别提取出7个和5个主成分，利用样本的前3个主成分得分作图，获得PC1、PC2和PC3，当整个的样品集全部由PC1、PC2和PC3表示时，3个品种鸡肉样本呈现明显不同的分布特征 (图5和图6)。可以看出同一品种鸡肉样本具有相似的得分特性。鸡肉肉块：AA肉鸡 (AA) 的 $PC1 < -0.0005$ ， $PC3 < 0.002$ ；京海黄鸡 (HJ) 的 $PC1 < -0.0005$ ， $0.004 > PC3 > 0.002$ ；狼山鸡 (LS) 的 $PC1 > -0.0005$ ，

PC3 > 0.004。鸡肉肉糜：AA肉鸡的PC1 < 0.001，PC3 < -0.004；京海黄鸡的0.001 5 > PC1 > 0.001，PC3 > -0.004；狼山鸡的PC1 > 0.001 5，PC3 > -0.004。

2.4 3个品种鸡肉PLS-DA的建立与预测

适当的光谱预处理方法可以消除基线偏移、噪声、光散射及样品不均匀等带来的干扰，优化谱图信息，提高模型的精度^[16]，本研究对3个品种鸡肉校正集样本的全波段光谱分别进行了一阶、二阶求导（Savitzky-Golay，5点、9点、11点），多元散射校正（multiplication scatter correction，MSC）及标准正态化结合去趋势化校正（SNV+De-trending）等预处理，利用PLS-DA法建立校正模型，结果发现鸡肉肉块的光谱数据经一阶求导（Savitzky-Golay，11点）处理建立的模型判别准确率最高（表2），校正集和验证集判别准确率分别达到100%和97.7%，预测集判别准确率达到90%（27/30）（图7），校正模型的决定系数 R^2 、RMSECV和RMSEP分别为0.98、0.10和0.33；鸡肉肉糜的光谱数据经一阶求导（Savitzky-Golay，5点）平滑处理建立的模型判别准确率最高（表2），校正集和验证集判别准确率分别达到100%和97.7%，预测集判别准确率达到90%（27/30）（图8），校正模型的决定系数 R^2 、RMSECV、RMSEP分别为0.97、0.13和0.31。

表2 不同的光谱预处理方法对建模效果的影响
Table 2 Effects of different spectral pretreatment methods on modeling

样本状态	预处理	主成分数	R^2	RMSEC	判别正确率/%		
					校正集	验证集	预测集
肉块	S-G (5) +1D	6	0.99	0.08	100	100.0	83.3
	S-G (9) +1D	7	0.98	0.10	100	96.6	86.7
	S-G (11) +1D	7	0.98	0.10	100	97.7	90.0
	S-G (5) +2D	4	0.99	0.08	100	97.8	83.3
	S-G (9) +2D	3	0.98	0.12	100	97.7	83.3
	S-G (11) +2D	3	0.97	0.14	100	97.7	86.7
	S-G (11) +1D+MSC	6	0.98	0.11	100	97.8	86.7
	S-G (11) +1D+SNV	6	0.98	0.10	100	97.7	83.3
	S-G (11) +1D+SNVD	6	0.98	0.10	100	97.7	83.3
	S-G (11) +2D+SNV	3	0.98	0.12	100	98.9	86.7
	S-G (11) +2D+SNVD	3	0.98	0.12	100	100.0	86.7
	S-G (5) +1D	5	0.97	0.13	100	97.7	90.0
	S-G (9) +1D	5	0.96	0.16	100	96.4	83.3
S-G (11) +1D	5	0.96	0.17	100	96.5	86.7	
S-G (5) +2D	3	0.98	0.12	100	98.9	76.7	
S-G (9) +2D	3	0.98	0.12	100	97.7	86.7	
S-G (11) +2D	3	0.98	0.11	100	100.0	83.3	
S-G (11) +1D+MSC	3	0.92	0.23	100	93.2	90.0	
S-G (11) +1D+SNV	3	0.93	0.22	100	93.0	86.7	
S-G (11) +1D+SNVD	4	0.94	0.20	100	95.4	86.7	
S-G (11) +2D+SNV	2	0.95	0.17	100	96.4	83.3	
S-G (11) +2D+SNVD	3	0.98	0.12	100	95.4	86.7	

注：5点卷积平滑；1D.一阶导数处理；2D.二阶导数处理；MSC.多元散射校正；SNVD.标准正态化+去趋势化校正。

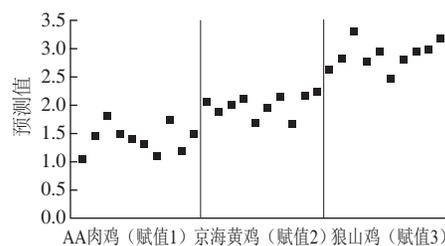


图7 鸡肉肉块预测集肉样的真实分类和预测值比较分布图
Fig.7 Distribution of the true and predicted values for the prediction clusters from chicken meat slice

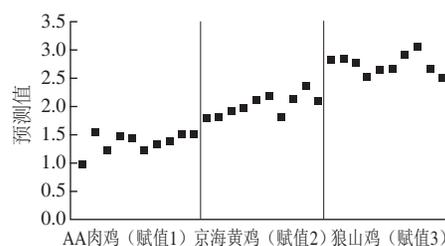


图8 鸡肉肉糜预测集肉样的真实分类和预测值比较分布图
Fig.8 Distribution of the true and predicted values for the prediction clusters from chicken meat emulsion

3 讨论与结论

不同品种鸡肉的近红外光谱有其各自的特征，这主要与其品质不同有关。本研究结果显示，AA肉鸡和狼山鸡的 L^* 值差异不显著 ($P > 0.05$)，均与京海黄鸡差异显著 ($P < 0.05$)；AA肉鸡和京海黄鸡的 a^* 值差异不显著 ($P > 0.05$)，均与狼山鸡差异显著 ($P < 0.05$)；3个品种鸡肉的 b^* 值差异不显著 ($P > 0.05$)。综上表明仅用色差方法无法对3个品种鸡肉进行区分。研究结果还显示，AA肉鸡、京海黄鸡和狼山鸡的粗脂肪含量差异显著 ($P < 0.05$)，狼山鸡的粗脂肪含量要高于京海黄鸡和AA肉鸡，其他文献报道也证明了品种影响肌肉的脂肪含量。岳永生等^[17]报道土种鸡和新浦东鸡肌肉的粗脂肪含量极显著的高于AA肉鸡和京白鸡，这为土种鸡肌肉味道香醇提供了物质基础。AA肉鸡、京海黄鸡和狼山鸡的水分含量差异不显著 ($P > 0.05$)，这与姜琳琳^[18]的研究相类似：北京油鸡、艾维茵肉鸡和快大黄鸡水分含量也没有表现出明显的差异性。潘珂等^[19]比较分析了江西省不同品种鸡肉中的蛋白质含量，结果表明蛋白质含量在不同鸡肉品种之间差异极显著 ($P < 0.01$)；张艳云等^[20]比较了油鸡和艾维茵白羽肉鸡的常量化学成分的含量，结果表明两品种鸡肉的蛋白质含量差异不显著 ($P > 0.05$)；姜琳琳^[18]的研究也表明品种对蛋白质含量的影响不大。本实验结果显示，AA肉鸡和京海黄鸡的蛋白质含量差异不显著，均与狼山鸡的蛋白质含量差异显著。

AA肉鸡、京海黄鸡和狼山鸡的脂肪含量存在显著性差异,在相应的一阶导数平均谱图中可得到体现。本研究中AA肉鸡、京海黄鸡和狼山鸡肉样的近红外一阶导数平均光谱在脂肪的特征吸收区(即1 150、1 210 nm和1 395 nm)^[21]存在明显差异,这对判别3个品种鸡肉非常重要。Prieto等^[11]通过不同脂肪含量肉类的近红外吸收不同这一特点,成功鉴别了成年阉牛肉和未成年牛肉。刘晓晔等^[10]通过普通公牛肉和淘汰母牛肉脂肪含量的差异运用近红外成功鉴别了这两类牛肉。

基于上述光谱信息差异,本研究应用PLS-DA方法对鸡肉肉块和肉糜分别建立品种鉴别模型。其中鸡肉肉块的校正模型 R^2 达到0.98, RMSECV为0.10;利用所建模型对肉块预测集的30个样本进行预测,预测准确率达90%, RMSEP为0.33。鸡肉肉糜的校正模型 R^2 达到0.97, RMSECV为0.13;同样利用所建模型对肉糜预测集的30个样本进行预测,预测准确率达90%, RMSEP为0.31。结果表明利用近红外光谱技术对鸡肉品种进行无损鉴别是可行的。国内外相关研究也利用近红外光谱对不同类型肉进行了相关的鉴别研究。Alomar等^[22]采用近红外光谱技术结合PLS-DA方法对黑白花奶牛和赫里福德牛两个不同品种的牛肉进行了分类鉴别,识别准确率分别为78.7%和78.8%。Andrés等^[9]应用近红外光谱技术对两个不同品种的羊肉的鉴别准确率达到100%,原因可能是不同品种羊肉的脂肪酸组成不同造成近红外吸收不同。同样Juarez等^[23]也成功地对6个西班牙羊品种进行了近红外光谱鉴别分析,其判别正确率达到83%。牛晓颖等^[24]和Cozzolino等^[25]利用近红外技术对猪肉、牛肉和羊肉等不同种类肌肉进行了鉴别,鉴别正确率分别达到95%和80%,表明近红外技术可以成为一种快速鉴别不同种类肌肉的方法。

上述研究结果表明,通过3个品种鸡肉脂肪含量不同导致近红外吸收不同这一特点可成功鉴别不同品种的鸡肉,近红外光谱技术对不同品种的鸡肉进行快速无损鉴别是可行的。

参考文献:

- [1] 陈印权. 我国肉用鸡品种及市场现状[J]. 中国禽业导刊, 2005, 22(11): 11-12.
- [2] HAJIBABAEI M, JANZEN D H, BURNS J M, et al. DNA barcodes distinguish species of tropical Lepidoptera[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 2006, 103(4): 968-971.
- [3] PAU T, LETICIA M, NOHA M, et al. Prediction of water and protein contents and quality classification of Spanish cooked ham using NIR hyperspectral imaging[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 117(3): 272-280.
- [4] SU Huawei, SHA Kun, ZHANG Li, et al. Development of near infrared reflectance spectroscopy to predict chemical composition with a wide range of variability in beef[J]. Meat Science, 2014, 98(2): 110-114.
- [5] BARBIN D F, ELMASRY G, SUN D W, et al. Non-destructive determination of chemical composition in intact and minced pork using near-infrared hyperspectral imaging[J]. Food Chemistry, 2013, 138(2/3): 1162-1171.
- [6] ZHOU Lianguan, WU Hui, LI Jing, et al. Determination of fatty acids in broiler breast meat by near-infrared reflectance spectroscopy[J]. Meat Science, 2012, 90(3): 658-664.
- [7] 马世榜, 彭彦昆, 徐杨, 等. 可见/近红外光谱结合变量选择方法检测牛肉挥发性盐基氮[J]. 江苏大学学报, 2013, 34(1): 44-48.
- [8] GONZALEZ-MARTIN M I, BERMEJO C F, HIERRO J M H, et al. Determination of hydroxyproline in cured pork sausages and dry cured beef products by NIRS technology employing a fibre-optic probe[J]. Food Control, 2009, 20(8): 752-755.
- [9] ANDRÉS S, MURRAY I, NAVAJAS E A, et al. Prediction of sensory characteristics of lamb meat samples by near infrared reflectance spectroscopy[J]. Meat Science, 2007, 76(3): 509-516.
- [10] 刘晓晔, 汤晓艳, 孙宝忠, 等. 普通公牛肉和淘汰母牛肉的近红外光谱鉴别方法[J]. 食品科学, 2012, 33(24): 244-248.
- [11] PRIETO N, ANDRES S, GIRALDEZ F J, et al. Discrimination of adult steers (oxen) and young cattle ground meat samples by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS)[J]. Meat Science, 2008, 79(1): 198-201.
- [12] KAMRUZZAMAN M, GAMAL M, DAWEN S, et al. Application of NIR hyperspectral imaging for discrimination of lamb muscles[J]. Meat Science, 2011, 104(3): 332-340.
- [13] 杨万颖, 罗美中, 孟海鸥, 等. GB/T 9695.11—2008 肉与肉制品: 氮含量测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [14] 吴处森, 贺建华, 郭新东, 等. GB/T 9695.7—2008 肉与肉制品: 总脂肪含量测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [15] 陈泽勇, 杨万颖, 罗美中, 等. GB/T 9695.15—2008 肉与肉制品: 水分含量测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [16] 赵洪波, 谭红, 史会兵, 等. 近红外光谱技术鉴别猪肉和牛肉的研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(26): 151-155.
- [17] 岳永生, 陈鑫磊, 牛庆恕, 等. 四种不同类型鸡肌肉品质的比较研究[J]. 中国畜牧杂志, 1996, 32(2): 30-32.
- [18] 姜琳琳. 不同品种鸡的肌肉化学成分及其与风味关系的比较研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006: 20-21.
- [19] 潘珂, 欧阳建华, 林树茂, 等. 江西地方鸡种肉品质的比较研究[J]. 动物科学与动物医学, 2000, 17(1): 24-25.
- [20] 张艳云, 孙龙生, 李筱倩, 等. 部分地方品种鸡胸肌化学成分含量比较研究[J]. 江苏农学院学报, 1997, 18(4): 73-76.
- [21] 陆婉珍, 袁洪福, 徐广通, 等. 现代近红外光谱分析技术[M]. 2版. 北京: 中国石化出版社, 2006: 30.
- [22] ALOMAR D, GALLO C, CASTANEDA M, et al. Chemical and discriminant analysis of bovine meat by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS)[J]. Meat Science, 2003, 63(4): 441-450.
- [23] JUAREZ M, ALCALDE M J, HORCADA A, et al. Southern Spain lamb types discrimination by using visible spectroscopy and basic physicochemical traits[J]. Meat Science, 2008, 80(4): 1249-1253.
- [24] 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]. 光谱学与光谱学分析, 2014, 34(10): 2737-2742.
- [25] COZZOLINO D, MURRAY I. Identification of animal meat muscles by visible and near infrared reflectance spectroscopy[J]. Swiss Society of Food Science and Technology, 2004, 37(4): 447-452.