

# 南疆鲜羊肉水分含量的近红外光谱法无损检测

陈杰, 姚娜

(塔里木大学信息工程学院, 新疆阿拉尔 843300)

**摘要:** 本文在近红外反射光谱 780~1700 nm 的波长范围内采集新宰杀的同一品种的羊的后腿肉 134 个样本的光谱数据, 来实现快速无损的南疆生鲜羊肉含水量的检测。这些光谱数据经中值平滑滤波、多元散射校正、一阶导数、标准化处理、中心化变换和 S-G 平滑等预处理方法对原始光谱进行降噪处理; 然后以 13:1 的比例将样本分为训练集和测试集, 并采用 PLSR 建立预测模型, 使用所建模型对生鲜羊肉水分含量进行预测。结果为: 训练集的预测相关系数  $R_c$  为 0.94、标准差 MSEV 为 0.04, 预测成功率为 97.6%, 测试集的预测相关系数  $R_v$  为 0.89、标准差 MSEV 为 0.07, 预测成功率为 96.4%。实验结果证实结合中值平滑滤波、多元散射校正、一阶导数、标准化处理、中心化变换和 S-G 平滑等多种预处理方法建立的基于近红外光谱 PLSR 模型, 可以对南疆鲜羊肉的水分含量进行精确的快速无损评价, 并且能为南疆生鲜羊肉水分含量的快速无损检测技术的应用提供理论上的指导。

**关键词:** 鲜羊肉; 近红外光谱; 水分含量; 偏最小二乘法

文章编号: 1673-9078(2017)12-267-271

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.12.040

## Nondestructive Detection of Moisture Content in Fresh Mutton Using near Infrared Spectrometry of Southern Xinjiang

CHEN Jie, YAO Na

(Information Engineering College, Tarim University, Alar 843300, China)

**Abstract:** In order to realize fast nondestructive testing of moisture content fresh mutton in southern Xinjiang, the spectroscopic data of the 134 samples of same variety in fresh hind legs meat of sheep in the range of 780~1700 nm wavelength were collected in this study. The original spectrums were processed by noise reduction such as median smoothing filtering, multiple scatter correction, a derivative, standardization, centralized transformation, smoothing retreatment methods, and S-G smoothing. The samples were divided into training set and test set by a ratio of 13:1. PLSR was adopted to establish the prediction model to forecast the moisture content of the fresh mutton. The results showed that the prediction correlation coefficient of training set was 0.94, its MSEV was 0.04, and prediction success rate was 97.6%, while the prediction correlation coefficient of the test set was 0.89, its standard deviation MSEV was 0.89, and the success rate of prediction was 96.4%. Experimental results confirmed that the established PLSR model combined with preprocessing such as median smoothing filtering, multiple scatter correction, a derivative, standardization, centralized transformation, and the S-G smooth could provide accurately fast nondestructive evaluation for the moisture content of fresh mutton, and provide theoretical reference application for rapid nondestructive testing of the moisture content in fresh mutton.

**Key words:** fresh mutton; near infrared spectrum; moisture content; partial least squares

食品的品质问题在人们的生活水平不断的提高之下, 受到消费者的关注也逐渐增多。食品品质所引起的食品安全事故也随之增多, 因此食品品质的快速无损检测是当前食品安全中亟待解决的一个问题。目前, 化学比色分析法、近红外光谱法、免疫学分析法、生物传感器技术、生物芯片检测法以及生物学发光检测法等检测方法是在无损检测方法中使用较多的技

术。近红外光谱法是指电磁波的波长范围在中红外光与可见光之间的, 它所处的波长区域是 700~2500 nm 之间, 有机物的近红外光谱吸收物质主要是含氢基团<sup>[1]</sup>, 肉类中的大多数有机化合物都含有不一样的含氢基团<sup>[2]</sup>, 所以, 想要得到各种含氢基团的含量只要对肉类实行近红外光谱分析就能获得, 并且对近红外光谱进行进一步分析可以得到与肉类品质有联系的其它的信息。在农产品和肉制品等食品检测中近红外光谱技术有着较多的应用<sup>[3]</sup>, 它的特点是: 检测成本低, 速度快, 而且不损伤待检测样品等, 是一项非常好的食品品质分析技术。

收稿日期: 2017-6-28

基金项目: 国家青年自然科学基金资助项目 (61640413)

作者简介: 陈杰 (1982-), 女, 副教授, 研究方向: 农业遥感

通讯作者: 姚娜 (1981-), 女, 副教授, 研究方向: 图像处理及农业信息化

羊肉较细腻,蛋白质和维他命的含量都很高。与猪肉和牛肉相比,它的脂肪和胆固醇等元素含量较低。常吃羊肉对人体增强免疫能力和能提高整体的身体素质都有很好的帮助,而且多吃也不会有相反的作用,所以中国西北有一种流行的说法:“要想长寿,常吃羊肉”。新疆的羊肉品质优,而肉质最鲜美的羊肉当属南疆塔里木河流域出产的,它不仅肉质细腻,而且没有膻味和腥味。而在南疆由于维吾尔族同胞比例相对较大,对羊肉的需求量更是大于其他地区。在中国,由于社会经济发展较快,人们生活水平也有了显著的提高,因此,不同消费水平的消费者对羊肉的肉品也有了相应的要求。水在生鲜羊肉中的比例很重要,它直接影响着鲜肉的品质和口感。而且,畜禽的鲜肉加工、储藏、贸易与食用也会受到含水量的直接影响。新鲜肉类水的含量越高,各种有害细菌的生长速度也就越快,这就加快了肉的腐烂速度;如果把新鲜的肉类进行风干之后来存储,虽然有利于保存却不利于肉品的重量,因此就会造成不必要的经济损失,而且风干之后的肉品的颜色以及味道也会很大程度上被破坏。传统的鲜肉肉品含水量的检测方法是干燥法,它的缺点是消耗时间,并且破坏样本内部组织,检测的效率较低<sup>[4,5]</sup>。

近红外光谱法对鲜肉的肉品品质等食品安全方面安全进行检测的技术在最近几年发展很快。ElMasry<sup>[6]</sup>通过近红外光谱技术研究了新鲜牛肉的持水力,而且使用偏最小二乘模型法来获取定牛肉持水力的系数以标准误差估计值,精度较高,效果比较理想。Togersen<sup>[7]</sup>是在近红外光谱反射率的基础上来测试冷冻牛肉的牛肉脂肪含量、水含量以及蛋白质的含量,效果也比较显著。张海云<sup>[8]</sup>测定的生鲜猪肉的含水率,最佳结果回归系数可以达到 0.839,他所使用的光谱是波长在 1000~1680 nm 的近红外光。基于近红外光谱来测定猪肉糜的水分含量,在数据预处理环境使用了阶导数方法,测试回归系数为 0.914<sup>[9]</sup>,非常高,因此,对水分含量的预测起到较好的预测作用。近几年,采用近红外光谱来测定新鲜肉水分含量的前期工作都是把生鲜肉进行切碎<sup>[10-14]</sup>,虽对鲜肉样品有一定的破坏性,确取得了相当不错的成绩,但是,这些成绩主要是在牛肉和猪肉方面比较多,在羊肉品质方面的研究,鲜有学者展开研究,主要原因是太过重视生羊的成长速度和重量,却忽视了来改进羊肉肉品。本论文在已有的对猪肉和牛肉的研究基础上来研究羊肉的肉品。羊肉样品选择超市销售的新鲜羊后腿肉块,以此研究来实现新鲜羊肉水分含量的实时评价;本文采集的近红外光谱信息来自样本的切口,这些切口必须是平整无筋

无油,然后根据光谱信息建立平稳准确的水分含量的预测模型,在理论上给新鲜羊肉水分含量的无损检测技术予以技术支持。

## 1 实验材料和方法

### 1.1 数据采集仪器设备

试验使用的近红外光谱分析仪型号为 JDSU-MicroNIR 1700 Spectrometer,光谱采用 900 nm~1650 nm; 20 mL 烧杯(若干个)、干燥箱(电热恒温干燥箱,控温范围为:室温+10~200 °C,温度允许变化范围:±1 °C)、天平(精度 0.0001 g)、无菌刀、手术切刀、医用手套、镊子、干燥切板、剪刀和保鲜袋等。采用 GB 5009.3.15-2010(直接烘干法)标准进行烘干。

### 1.2 样品采集

样品取自于当日宰杀的南疆山羊的新鲜后腿肉部分,用无菌刀分割成尺寸约 6 cm×6 cm×4 cm 的块,采集光谱信息。

采集光谱步骤:

取白板,白板与近红外光谱仪器之间的距离取 2 mm(主要是用来去除外界环境造成的影响);

采集暗背景图像数据(主要是用来消除仪器内部原因造成的误差);

打开光源采集 100%数据;

将白板从升降台上拿掉,将肉样品放在升降台,肉样与仪器保持间距 2 mm;

在肉样上选一个用于适于测量水分的位置测得光谱数据,每一个样品检测 3 次,并且取 3 次的平均值作为最终检测结果;最终测得的光谱曲线如图 1 所示。

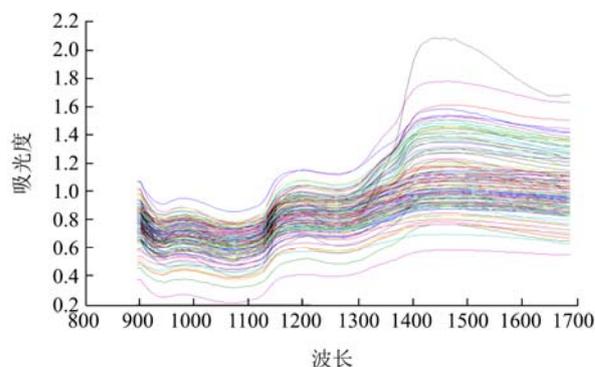


图 1 原始光谱数据图

Fig.1 The original spectrums data graphs

烘干法步骤:

1.取四个空烧杯贴标签;

2.使用天平称量空杯子重量并记录;

3. 杯子重量分别清零, 从水分光谱数据采集部位用手术刀取 3~5 g 左右的样品称重得到鲜羊肉的重量 (每一个样本取样 4 次) 并记录;

4. 把四个加肉烧杯放进烤箱;

5. 烤箱温度设定 105 恒温, 烘烤 18~20 h (无水分时烘干机自动停止烘干);

6. 冷却至常温再取出 (防止温度过高烧杯壁有水珠凝结);

7. 称重并记录 (烧杯和干肉共同的重量);

8. 计算水分含量: (烧杯和干肉共同的重量-空烧杯重量)/鲜羊肉的重量×100%。

### 1.3 数据的预处理

由于光谱仪器自身的局限性使得采集的原始光谱数据在两侧的波端存在较大的噪声, 因此本试验在 900~1650 nm 的光谱上获取光谱值。同时, 在采集数据的时候, 羊肉的采样薄厚程度、室内光线强弱、室内温度波动等条件要统一, 在测量羊肉的近红外光谱数据的时候, 一些频率较高的噪声、基线漂移和光散射等被一起采进羊肉的光谱数据内, 对光谱信息与羊肉样品的组成和成分造成影响, 在这种情况下, 就要使用预处理方法来清除原始数据中的干扰成分。针对这种情况, 使用频率最高的光谱数据预处理技术有以下几种: S-G (savitzky-golay) 平滑法、导数处理法、多元散射校正法 (multiplication scatter correction, MSC)、变量标准化法 (standard normalized variate, SNV)、中心化处理方法。S-G 平滑法主要是把通过的近红外光谱数据进行滤波, 滤除掉高频部分, 留存频率较低的有用信息, 增强信噪比, 去除噪声; 近红外光谱数据经过导数处理之后基线漂移和平缓背景干扰噪声的不良响应就能去除, 并且光谱轮廓和分辨率较之前也有了很好的改善; 多元散射校正法和变量标准化在去除光谱散射信息方面起到了很多的作用, 同时也能与成分含量一致的光谱吸收信息也得到了加强; 中心化处理以后的信号不同变量间量纲的不同就会被去除, 随着数据自身变异以及数值大小而来的变化也会减小甚至去除。本文使用的光谱数据预处理方法有 S-G 平滑、多元散射校正、一阶导数、变量标准化和中心化等 5 种。

#### 1.3.1 多元散射校正

多元散射校正(MSC)是由 Martens 等人提出的用来去除由颗粒度造成的散射影响, 它在近红外漫反射光谱的数据预处理中受到了强烈的欢迎<sup>[15]</sup>。多元散射校正的使用过程如下所示:

(1) 计算所有样品光谱的平均光谱

$$A_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{i,j} \tag{1}$$

(2) 将每个样品的光谱数据与平均光谱进行线性回归, 得到回归系数  $m_i$ 、 $b_i$ :

$$A_i = m_i A + b_i \tag{2}$$

(3) 计算校正后的光谱

$$A_i(\text{MSC}) = \frac{A_i - b_i}{m_i} \tag{3}$$

其中,  $i=1,2,\dots,n$ ,  $n$  为样品数;  $j$  表示第  $j$  个波数。

图 2 为经过 S-G 平滑、多元散射校正、一阶导数、变量标准化、中心化这 5 种方法对原始光谱进行预处理后的图形。

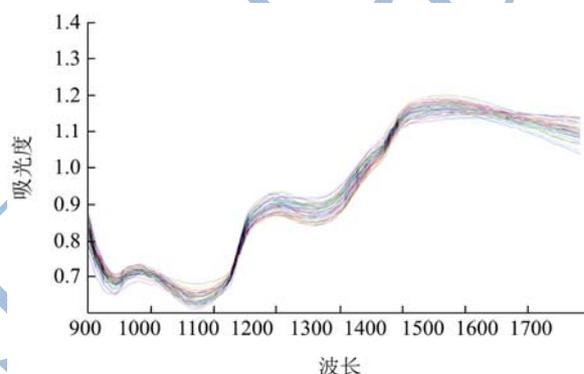


图 2 五种预处理后的光谱图像

Fig.2 Spectral images after five kinds of preprocessing

### 1.4 模型的建立

使用频率较高的建立模型的方法有主成分分析、偏最小二乘法以及神经网络法等。本文中使用的最小二乘法建立羊肉水分含量的预测模型。试验使用以下四个参数来评估所建立的预测模型的预测情况: 所建立的预测模型对采样羊肉的水分含量的校正值和标准值间的相关系数  $R_c$  和校正标准差  $MSEC$ , 所建立的预测模型对采样羊肉的水分含量的预测值和标准值间的相关系数  $R_v$  和验证标准差  $MSEV$ 。通常,  $MSEC$  和  $MSEV$  会随着相关系数  $R_c$  与  $R_v$  的值增大而变小, 而相关性越大的模型精确程度会升高。

## 2 试验结果与预测情况

### 2.1 羊肉样品的数据获取情况

表 1 是所测试的 134 个采样羊肉水分含量的测试结果。从表中能看出, 羊肉的水分含量波动较大, 符合建立近红外校正模型的所有要求。其中, 样本数据以 13:1 的比例分为训练集和测试集。

表 1 物理测定含水率的分析结果

Table 1 The analysis results of the physics determination of moisture content

采样集合	最大含水量/%	最小含水量/%	含水量均值/%	含水量的标准差 SD
训练集	80.1	70.96	74.8	0.040381
测试集	79.8	70.8	74.82	0.076719

## 2.2 PLSR 建模及预测

本文对原始光谱采用 5 种预处理方法后使用 PLS 建模并进行预测。

偏最小二乘回归法 (PLSR) 是用来解决多重数据相关性的, 它的基本原理是在成分提取的基础上实现的, 并且能很好的描述自变量的所包含的数据<sup>[16]</sup>。在本文的 PLSR 算法中, 主成分个数的确定采用外部交叉证实法<sup>[17]</sup>。也就是将所测试的样本分为训练样本和测试样本两部分, 使用训练样本建立含有 1 个主成分的 PLSR 模型, 之后将测试样本的近红外光谱信息与模型进行融合分析, 由此可以得到预测值, 并且以此为基础可以得到验证标准差。之后, 使用属于训练集的羊肉样本构建 2 个主成分的 PLSR 模型。这个过程建立 1 个主成分时基本一致, 2 个主成分模型引入羊肉的测试集样本近红外光谱数据之后则可以得到预测值和验证标准差。使用相同的方法, 依次累积主成分的个数, 步骤和内容不变, 当验证标准差为最小的时候主成分的个数即为最佳主成分数。因此, 以此为理论, 计算出所建立的模型的最佳主成分数为 7。有一点需要注意: 在选择主成分时要避免出现“过拟合”或“欠拟合”的情况。最后, 依据最佳主成分数可以建立预测模型。

图 3 和图 4 所示为对训练集和测试集进行预测的结果。

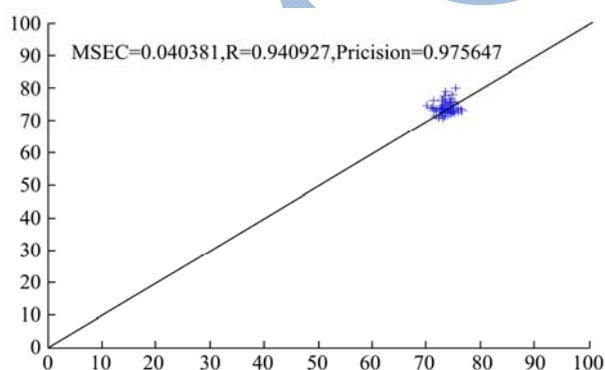


图 3 训练集的预测结果

Fig.3 The predictive results of the training set

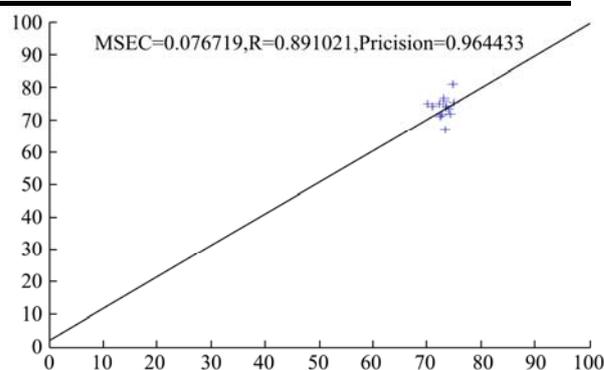


图 4 测试集的预测结果

Fig.4 The predictive results of the test set

由图所示, 其训练集和测试集的预测相关系数和均方根误差分别为 0.94, 0.89 和 0.04, 0.07。偏最小二乘回归分析法建立校正和预测模型是使用所采集的羊肉样品整个波谱的光谱数据来完成的, 因此, 可以获得不错的相关系数和完美的预测结果。从本研究对羊肉水分含量的预测结果看, 其预测结果相对较好。这是因为文中使用了 5 种光谱预处理后方法, 它们在消除由于羊肉样表面不平整和光纤探头与样品间的距离不一致而造成的光谱曲线的偏差有很好的效果。

从以上两幅图可以看出, 偏最小二乘回归模型由于经过 5 种预处理在预测方面表现良好, 这就意味着此模型在生鲜羊肉水分含量的快速无损检测技术的发展上能起到一定的指导意义。

## 3 结论

文中使用近红外光谱检测方法, 使用近红外光谱技术来预测新鲜羊肉的水分含量。中值平滑滤波、多元散射校正、一阶导数、标准化处理、中心化变换、S-G 平滑等预处理方法对原始光谱进行降噪处理, 滤除掉了高频部分、基线漂移和平缓背景干扰噪声、光谱散射信息、同时, 也加强与成分含量一致的光谱吸收信息和增强信噪比。通过这些预处理方法将与含水率无关的光谱信号滤除, 并结合偏最小二乘回归方法建立预测模型。研究证明: 经过 5 种预处理方法处理后建立的 PLSR 模型训练集的预测相关系数  $R_c$  为

0.94、标准差 MSEC 为 0.04, 预测成功率为 97.6%, 测试集的预测相关系数  $R_v$  为 0.89、标准差 MSEV 为 0.07, 预测成功率为 96.4%。结果表明, 使用近红外光谱技术获取羊肉数据, 在处理数据时使用五种数据预处理方法、并采用 PLSR 建立的预测模型在对生鲜羊肉的水分含量进行预测时效果突出, 预测能力和预测精度都相对较高, 因此, 该文可以为开发在线无损检测羊肉水分含量的设提供理论和技术支持。

## 参考文献

- [1] 闵连吉. 肉的科学及加工技术[M]. 北京: 中国食品出版社, 1988  
MIN Lian-ji. Meat science and processing technology [M]. Beijing: Chinese food press, 1988
- [2] 郭建, 覃业梅, 代秋芳. 鲜肉水份含量的电导法测量[J]. 湘潭大学自然科学学报, 2002, 24(4): 45-48  
GUO Jian, QIN Ye-mei, DAI Qiu-fang. The conductance of the fresh water content measurement method [J]. Xiangtan University Journal of Natural Science, 2002, 24(4): 45-48
- [3] 滕召胜, 刘坤华, 唐瑞明, 等. 粮食水分快速检测技术综述[J]. 中国粮油学报, 1999, 14(3): 53-57  
TENG Zhao-sheng, LIU Kun-hua, TANG Rui-ming, et al. Grain moisture rapid detection technology comprehensive review [J]. Journal of China Grain and Oil, 1999, 14(3): 53-57
- [4] 刘旭, 陈华才, 刘太昂, 等. PCA-SVR 联用算法在近红外光谱分析烟草成分中的应用[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(12): 2460-2463  
LIU Xu, CHEN Hua-cai, LIU Tai-ang, et al. PCA-SVR algorithm used in the application of near infrared spectral analysis of tobacco ingredients [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2007, 27(12): 2460-2463
- [5] 孙淑敏, 郭波莉, 魏益民, 等. 近红外光谱指纹分析在羊肉产地溯源中的应用[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(4): 934-941  
SUN Shu-min, GUO Bo-li, WEI Yi-min, et al. Nir fingerprinting in the application of lamb origin traceability [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(4): 934-941
- [6] ElMasry G, Dawen Sun, Allen P. Non-destructive determination of water-holding capacity in fresh beef by using NIR hyperspectral imaging [J]. Food Research International, 2011, 44(9): 2624-2633
- [7] Tøgersen G, Arnesen J F, Nilsen B N, et al. On-line prediction of chemical composition of semi-frozen ground beef by non-invasive NIR spectroscopy [J]. Meat Science, 2003, 63(4): 515-523
- [8] 张海云, 彭彦昆, 王伟. 生鲜猪肉含水率的快速无损检测[J]. 食品安全质量检测学报, 2012, 3(1): 23-26  
ZHANG Hai-yun, PENG Yan-kun, WANG Wei. Rapid non-destructive detection of water content in fresh pork [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2012, 3(1): 23-26
- [9] 李祖红, 吕亚琼, 张秋菊, 等. 近红外光谱在烟草相似性分析中的应用[J]. 现代仪器与医疗, 2014, 2: 61-63  
LI Zu-hong, LV Ya-qiong, ZHANG Qiu-ju, et al. The application of near-infrared spectroscopy in tobacco similarity analysis [J]. Modern Instruments and Medical Treatment, 2014, 2: 61-63
- [10] 徐霞, 成芳, 应义斌. 近红外光谱技术在肉品检测中的应用和研究进展[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(7): 1876-1880  
XU Xia, CHENG Fang, YING Yi-bin. The application of near infrared spectroscopy in the meat and research progress [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2009, 29(7): 1876-1880
- [11] 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 Xi-yu, ZHAO Guo-hua, ZHU Shi-ping. The near infrared spectral analysis technology application in meat product detection is reviewed [J]. The Food Industry Science and Technology, 2014, 35(1): 371-374
- [12] 汤修映, 牛力钊, 徐杨, 等. 基于可见/近红外光谱技术的牛肉含水率无损检测[J]. 农业工程学报, 2013, 11: 247-284  
TANG Xiu-ying, NIU Li-zhao, XU Yang, et al. Based on visible/near infrared spectroscopy technology non-destructive testing water content of beef [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2013, 11: 247-284
- [13] 杨建松, 孟庆翔, 任丽萍. 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 Jian-song, MENG Qing-xiang, REN Li-ping, et al. Rapid evaluation of beef quality by NIRS technology [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010, 30(3): 685-687
- [14] 刘媛媛, 彭彦昆, 王文秀, 等. 基于偏最小二乘投影的可见/近红外光谱猪肉综合品质分类[J]. 农业工程学报, 2014, 30(23): 306-313  
LIU Yuan-yuan, PENG Yan-kun, WANG Wen-xiu, et al. Based on partial least squares projection integrated visible/near infrared spectra of pork quality classification [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2014, 30(23): 306-313
- [15] Xiaojing Tian, Jun Wang, Shaoqing Cui. Analysis of pork adulteration in minced mutton using electronic nose of metal oxide sensors [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 119(4):

- 744-749
- [16] R Riovanto, M De Marchi, M Cassandro, et al. Use of near infrared transmittance spectroscopy to predict fattyacid composition of chicken meat [J]. Food Chemistry, 2012, 134(4): 2459-2464
- [17] Douglas F Barbin, Gamal ElMasry, Da-Wen Sun, et al. Non-destructive determination of chemical composition in intact and minced pork usingnear-infrared hyperspectral imaging [J]. Food Chemistry, 2013, 138(2-3): 1162-1171

现代食品科技