

# 生鲜猪肉水分含量的快速无损检测

张海云<sup>1,2</sup>, 彭彦昆<sup>1\*</sup>, 王伟<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083;

2. 山东理工大学机械工程学院, 淄博 255049)

**摘要:** **目的** 研究生鲜猪肉水分含量与 1000~1680 nm 范围内近红外吸收光谱之间的关系, 对生鲜肉的水分含量进行快速无损检测。**方法** 将原始光谱经中值平滑、多元散射校正和一阶导数复合预处理, 结合多元线性回归和偏最小二乘回归两种建模方法建立生鲜肉水分含量的预测模型。**结果** 应用所建立的模型对 111 个实际生鲜猪肉样品的水分含量进行预测, 得到较为满意的预测结果, 两种模型的预测相关系数分别为 0.839 和 0.810。**结论** 所建模型适合于生鲜猪肉水分的无损快速检测。

**关键词:** 生鲜猪肉; 近红外光谱技术; 水分含量; 多元线性回归; 偏最小二乘回归; 无损检测

## Rapid non-destructive detection of water content in fresh pork

ZHANG Hai-Yun<sup>1,2</sup>, PENG Yan-Kun<sup>1\*</sup>, WANG Wei<sup>1</sup>

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. College of Mechanical Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

**ABSTRACT: Objective** To investigate the relationship between the water content in the fresh pork and the near infrared absorption spectrum in the range of 1000 nm~1680 nm. And to detect the water content in the fresh pork by using the rapid non-destructive technology. **Methods** Through spectral analysis, it indicated that the optimal pretreatment method was the combination of the median smooth, multiple scattering correction and first derivative. Two models were established with the multiple linear regression (MLR) and partial least square regression (PLSR) method. **Results** All 111 samples were predicted by the two models, both of which could give satisfactory results with the correlation coefficient of 0.839 and 0.810, respectively in the validation sets. **Conclusion** This research demonstrated that the model was suitable for the non-destructive rapid detection for the fresh pork water content.

**KEY WORDS:** fresh pork; near infrared spectroscopy; water content; multiple linear regression; partial least square regression; non-destructive detection

## 1 引言

水分含量是生鲜肉品质中一个重要的衡量指标, 水分含量过高或过低都会直接影响肉的食用品质和营养品质, 影响肉类的加工、运输和储藏<sup>[1]</sup>。特别是近年来注水肉的出现, 使得水分含量的检测显得尤

为重要。因此探讨用于生鲜肉水分的快速、准确、无损检测方法具有重要的现实意义。

基于近红外的检测方法以其快速、无损等特点广泛应用于肉品的嫩度、细菌总数、pH、挥发性盐基氮、脂肪和蛋白质等品质参数的检测<sup>[2-10]</sup>。其中肉品水分含量的近红外检测也取得了一定的研究成果, 已有

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费资助(项目编号: 201003008)

\*通讯作者: 彭彦昆, 教授, 博士生导师, 主要从事农畜产品品质安全无损检测技术与装备方面的研究。E-mail: ypeng@cau.edu.cn

研究<sup>[11-15]</sup>在采集光谱信息时,一般是使光纤探头和样品表面之间保持一定的距离(5~15 mm左右),所采集的光谱信息很难反映生鲜肉内部的水分信息,对肉品内部的水分含量很难精确测定。姬瑞勤<sup>[16]</sup>等以生鲜猪肉为样品,采用近红外离散式光源,应用基于稳态空间分辨方法的漫反射方式解决了检测深度问题,测量生鲜肉水分含量,得到了比较好的实验结果。本文在现有研究基础上,采用近红外光谱技术进行生鲜肉水分含量的无损快速检测。

## 2 材料与方法

### 2.1 仪器设备

采用荷兰AVANTES公司的近红外光谱仪,其参数如下:线阵铟钾砷InGaAs探测器,光谱波长范围1000~1750 nm,光谱分辨率为2.4 nm,采样间隔为0.5 nm。用系统配套的光谱采集软件AvaSoft 7.5实时采集吸收光谱。还用到卤钨灯(功率为14 W)和稳压电源组成的光源,标准反射探头,高度可调的载物台,光谱采集暗箱,GZX-9070MBE数显鼓风干燥箱(上海博讯),内装变色硅胶的干燥器,JA1003分析天平(上海越平科学仪器有限公司),铝制称量瓶 $\Phi 55 \times 30$  mm(深圳市朗宁达科技有限公司),BM253绞肉机(广东美的集团有限公司),BCD-215DC冰箱(青岛海尔集团),聚乙烯薄膜食品袋,玻璃棒等。

### 2.2 样品来源与光谱数据采集

实验所用样本为当天屠宰的不同新鲜猪胴体上的眼肌。每条胴体上分别取2个样品,用自封袋包装,保持温度2~6℃用专用蓄冷储运箱迅速运回无损检测实验室。快速剔除脂肪或结缔组织,将肉样尺寸修整为厚度为 $3 \pm 0.2$  cm的肉块,共取有效样品111个。将样品用自封袋包装,放于4℃冰箱中保鲜存放。

用实验室构建的近红外光谱采集系统,采集波长为1000~1750 nm范围生鲜猪肉样本表面的吸收光谱。在扫描光谱时,为防止外界环境光的干扰,将样品及光纤探头放在一个密闭的暗室中。采集样品光谱前,先打开电源采集标准校正白板:调节样品与探头之间的距离和积分时间使其光谱曲线不饱和,采集保存为白参考,再关闭电源采集其黑参考并保存。光谱采集、存储和记录过程由光谱仪自带的软件(AvaSoft 7.5)进行。光谱仪参数设置为:平均次数:15次,积分时间:33.32 ms。实验时先用滤纸沾试样

品表面的水分,以防表面残留的水分对光谱曲线产生影响。通过手动调节高度可调的载物台,把光纤探头贴近样品表面进行光谱数据的采集。另外为提高建模的稳定性,本实验中对每个样品表面分别在3个不同部位采集光谱,计算其平均值作为该样品的光谱曲线。

### 2.3 样品水分含量理化值测量

采集完近红外光谱数据后,立即依照国标法GB\_5009.3-2010(食品中水分测定)<sup>[17]</sup>进行样本水分含量的检测,用于对照。

### 2.4 模型的建立与评价

分别采用多元线性回归(Multiple Linear Regression, MLR)和偏最小二乘回归法(Partial Least Square Regression, PLSR)建立预测模型。MLR模型通过校正集和预测集的相关系数和标准差来预测模型的好坏。而PLSR模型分别通过校正集和预测集的交叉验证相关系数和交叉验证均方差来评定。好的模型要求相关系数高,标准差小,且校正集和预测集的差异较小。

## 3 结果与分析

### 3.1 光谱数据预处理

数据处理采用MATLAB7.6(Mathworks Inc.)分析软件。图1为生鲜猪肉在波长为1000 nm~1680 nm范围内的原始吸收光谱曲线(因为在1680 nm~1750 nm范围内,噪声的信号强度远大于有效信息的强度,所以在进行光谱数据处理前,将该部分信号去掉)。从图中可以看出,曲线在波长为1450 nm处有较强的吸收峰,这是因为猪肉中水分含量较多,其O-H基团吸收峰很明显。

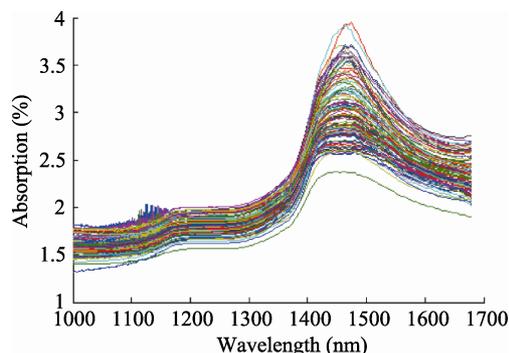


图1 原始光谱

Fig. 1 Original spectrum

为消除光谱采集过程中随机非目标因素对光谱的影响, 提高建模精度, 建模前对光谱采用 21 点中值滤波(M21)、多元散射校正(Multiple Scattering Correction, MSC)、一阶导数(first derivative, FD)等进行预处理<sup>[18]</sup>。图 2 为经过中值平滑和多元散射校正后的光谱曲线。比较图 1、2 发现, 经过MSC处理能有效地消除基线漂移。通过对比模型的相关系数和验证标准差, 确定出了最佳的数据预处理方法: 中值滤波、多元散射校正和一阶导数复合处理。

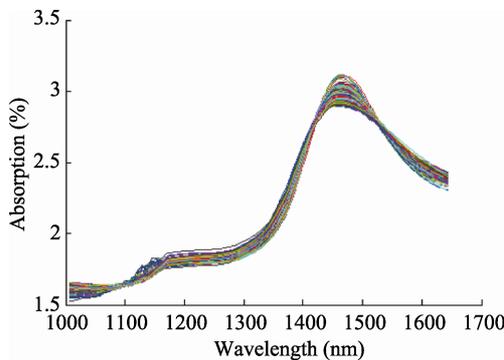


图 2 平滑和多元散射校正后的光谱

Fig. 2 Spectrum after using MFilter and MSC

### 3.2 模型的建立及预测

从 111 个样品中随机抽取 84 个样品作为校正集, 用于模型的建立, 27 个样品作为验证集用于模型的预测。

#### 3.2.1 MLR 模型的建立与验证

首先对校正集样本通过选择特征波段来选择确定变量数, 通过回归函数求出相应的参数, 建立多元线性回归模型, 然后对预测集进行预测。图 3 为生鲜猪肉水分含量的吸收光谱曲线与理化值的简单相关分析图。由图可以看出, 样品的吸收光谱曲线

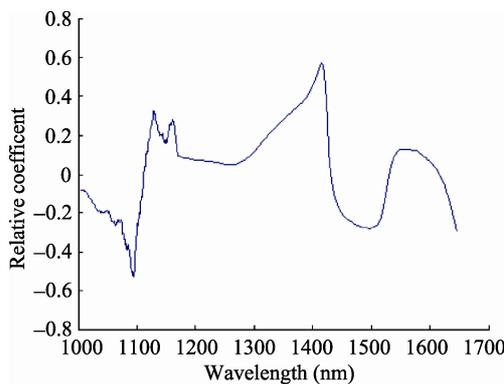


图 3 水分含量与光谱曲线的相关关系图

Fig. 3 Correlation between moisture and spectrum

与其水分含量在 1000~1680 nm 波长范围内有较大变化, 其中部分波长范围内呈正相关, 其它波长范围内呈负相关, 且单一波长的相关系数达到了 0.608, 说明样本的水分含量与吸收光谱值有较好的相关性。

表 1 不同光谱预处理、MLR 建模方法的校正结果  
Table 1 Result of calibration and validation based on MLR and different spectrum pretreatments

预处理方法	特征变量数	MLR 建模			
		$R_c$	SEC	$R_p$	SEP
M21+MSC	2	0.724	0.821	0.714	0.979
M21+MSC	7	0.791	0.780	0.756	0.852
M21+FD+MSC	7	0.825	0.582	0.839	0.641

分别采用逐步回归法和根据简单相关关系图自选波长, 分别得到其多元线性回归方程和相关系数。可见采用 M21、FD 和 MSC 复合预处理方法得到的模型相关系数较高(表 1)。本文采用逐步回归法选择了 7 个波长 1060 nm、1077 nm、1082 nm、1104 nm、1166 nm、1410 nm 和 1446 nm。该模型校正集与预测集的预测相关系数  $R_c$  和  $R_p$  分别为 0.825 和 0.839, 说明利用该多元线性回归模型预测生鲜猪肉的水分含量是可行性, 但从结果看校正集和预测集的相关系数不是太高。

#### 3.2.2 PLSR 模型的建立与验证

为全面利用样品全波段的光谱信息, 探讨不同建模方法所建模型的稳定性, 用 PLSR 法对水分含量建立回归模型。首先利用全交叉验证法选择合理的主成分数, 主成分数选择时要避免“过拟合”或“欠拟合”现象。光谱数据经预处理后, 对校正集依次提取变量的 1、2、3…… $n$  个主成分, 建立预测模型, 进而对模型进行全交叉验证, 求出该主成分所对应的验证相关系数  $R_{cv}$  和交叉验证均方差  $RMSE_{cv}$ , 对  $n$  组数据进行比较分析, 由最佳主成分图求出  $R_{cv}$  最大和  $RMSE_{cv}$  最小所对应的那个主成分数, 该数据即为所求的最佳主成分数。

图 4 是对采用中值滤波、一阶求导和多元散射校正预处理后的校正集进行全交叉验证所得的主成分图。当最佳主成分数为 10 时, 相关系数  $R_{cv}$  最高, 而交叉验证均方差  $RMSE_{cv}$  最小。该模型对校正集和预测集进行预测的相关系数分别为: 0.837 和 0.810。

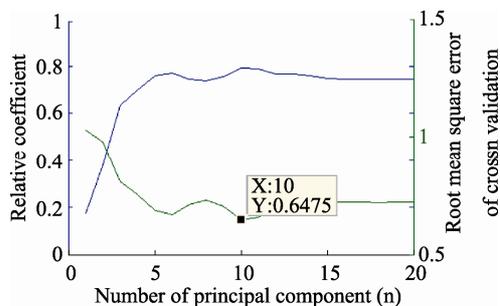


图4 最佳主成分求解图

Fig. 4 Optional principal component number of prediction model for filter-paper samples

## 4 结论

本文利用可见近红外技术在 1000 nm~1680 nm 范围对生鲜猪肉的眼肌采集其吸收光谱曲线,结合多元线性回归和偏最小二乘回归两种方法对生鲜肉的水分含量进行了定量分析。研究表明光谱经  $M21$  平滑、 $FD$  和  $MSC$  复合预处理后,能有效地消除噪声和由于样品表面纹理、肉样厚度不同等因素引起的基线漂移。通过逐步回归法选择了 1060 nm、1077 nm、1082 nm、1104 nm、1166 nm、1410 nm 和 1446 nm 等 7 个特征波长,建立多元线性回归方程,其校正模型相关系数  $R_c=0.825$ , 预测集相关系数  $R_p=0.839$ 。而用偏最小二乘法进行交叉验证所得最佳主成分数为 10, 该模型对校正集和预测集的预测相关系数分别为 0.837 和 0.810。

从实验结果看,两种建模方法的预测相关系数不是太高,这主要是由于猪肉样本纹理不同,属于各向异性样品,同时由于光源强度低,所采集的只是样品表层的信息,因而会影响到预测模型的精度。后续研究中要从光源选择和数据处理方法两个方面入手,提高模型的预测精度,为后续在线系统的研究提供稳定的模型。

## 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. 9.
- [2] 陶斐斐, 王伟, 彭彦昆, 等. 冷却猪肉表面菌落总数的快速无损检测方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(12): 3405-3409.
- [3] 廖宜涛, 樊玉露, 伍学千, 等. 猪肉 pH 值的可见近红外光谱在线检测研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(3): 681-684.
- [4] Wang W, Peng YK, Zhang XL. Study on Modeling Method of Total Viable Count of Fresh Pork Meat Based on Hyperspectral Imaging System [J]. Spectrosc Spectral Anal, 2010, 30(2):

411-415.

- [5] 吴建虎, 彭彦昆, 陈菁菁, 等. 基于高光谱散射特征的牛肉品质参数的预测研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(7): 1815-1819.
- [6] 吴建虎, 彭彦昆, 高晓东, 等. 基于 VIS/NIR 高光谱散射特征预测牛肉的嫩度[J]. 食品安全质量检测技术, 2009, 1(1): 20-26.
- [7] 蔡健荣, 万新民, 陈全胜. 近红外光谱法快速检测猪肉中挥发性盐基氮的含量[J]. 光学学报, 2009, 29(10): 2809-2812.
- [8] 高晓东, 吴建虎, 彭彦昆, 等. 基于高光谱成像技术的牛肉大理石花纹的评估[J]. 农产品加工·学刊, 2009, 10: 33-372.
- [9] Anderson NM, Walke PN. Measuring fat content of ground beef stream using on-line visible/NIR spectroscopy [J]. Trans ASAE, 2003, 46(1): 117-124.
- [10] 侯瑞锋, 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, 26(12): 2193-2196.
- [11] Monroy M, Prasher S, Ngadi MO, et al. Pork meat quality classification using Visible/Near-Infrared spectroscopic data [J]. Biosystems Eng, 2010, 107(3): 271-276.
- [12] Prevolnik M, Candek-Potokar M, Skorjanc D. Predicting pork water-holding capacity with NIR spectroscopy in relation to different reference methods [J]. J Food Eng, 2010, 98(3): 347-352.
- [13] 刘魁武, 成芳, 林宏建, 等. 可见/近红外光谱检测冷鲜猪肉中的脂肪、蛋白质和水分含量[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(1): 102-105.
- [14] Savenije B, Geesink GH, VanderPalen JGP, et al. Prediction of pork quality using visible/near-infrared reflectance spectroscopy [J]. Meat Sci, 2006, 73(1): 181-184.
- [15] Geesink G H, Schreutelkamp F H, Frankhuizen R, et al. Prediction of pork quality attributes from near infrared reflectance spectral [J]. Meat Sci, 2003, 65(1): 661-668.
- [16] 姬瑞勤, 黄岚, 刘莉, 等. 鲜肉水分近红外漫反射方法及实验研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28(8): 1767-1771.
- [17] GB5009.3—2010, 食品中水分的测定(s).
- [18] 李民赞, 韩东海, 王秀. 光谱分析技术及其应用(M). 北京: 科学出版社. 2006.

(责任编辑: 张宏梁)

## 作者简介



张海云, 博士生, 副教授, 主要研究方向: 农畜产品品质安全无损检测技术与装备研究。

E-mail: zhy@sdut.edu.cn



彭彦昆, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 农畜产品品质安全无损检测技术与装备研究。

E-mail: ypeng@cau.edu.cn