文章编号：1672-8785(2018)09-0022-05

基于近红外光谱技术的猪肉品质检测应用研究

戴小也* 於鑫慧 饶中钰

（中国矿业大学信息与控制工程学院，江苏 徐州 221116）

摘 要：为研究一种快速有效的猪肉质量检测方法，解决传统检验方法耗时、成本高等问题，从市场上收集了 109 组猪肉样品，通过理化方法将其区分为健康猪肉和病死猪肉。使用 FT-NIR 光谱仪采集了样品的光谱，并对光谱进行去噪和降维处理。结果显示，光谱数据经过标准正态变换，结合多元散射校正处理和傅里叶变换降维后，建立了基于支持向量机的分类模型，5-折交叉验证准确率达到 94.5%。结果表明，利用该方法可以很好地进行不同品质猪肉样品的分类，为用近红外光谱技术检测猪肉质量提供了依据和基础。

关键词：猪肉质量检测；近红外光谱分析；支持向量机

中图分类号：O433.4；TP391.4 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.1672-8785.2018.09.004

Research on Application of Pork Quality Detection Based on Near Infrared Spectroscopy

DAI Xiao-ye*, YU Xin-hui, RAO Zhong-yu

(*School of Information and Control Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China*)

Abstract: To study a rapid and effective pork quality inspection method which could solve the problems of time-consuming and high cost in traditional inspection methods, 109 groups of pork samples were collected from markets and farms. The samples were divided into healthy pork and diseased or dead pork by physical and chemical methods. A FT-NIR spectrometer was used to acquire the spectra of the samples. The spectra acquired were processed in noise reduction and dimensionality reduction. The results showed that after processing, a prediction model based on support vector machine algorithm was established. The accuracy of 5-fold cross validation was up to 94.5%. The results showed that the method could be used to classify the pork of different quality and provide the basis for the application of near-infrared spectroscopy in pork quality detection.

Key words: pork quality inspection; near-infrared spectrum amalysis; support vector machine

收稿日期：2018-07-13

基金项目：中国博士后科学基金项目(2014M551695)；国家自然科学基金项目(61492424)

作者简介：戴小也(1992-)，男，湖北宜都人，硕士生，主要从事光谱分析和模式识别研究。

E-mail：xydai_2016@163.com

0 引言

目前，随着猪肉的需求量不断提高，某些不法商家通过贩卖低劣品质的猪肉以赚取利润，危害消费者的身心健康，破坏市场的正常秩序。因此做好猪肉质量的检测工作十分重要。传统方法中，主要通过查看放血位置、观察整个胴体、查看淋巴结等感官检测来判别猪肉是否为病死猪肉，这些方法步骤繁琐且主观性强。化学方法通过检测肉制品的某些化学指标实现猪肉质量的判别。这种方法耗时长、成本高且会损坏样品，无法满足肉制品市场检验检疫工作的快速无损要求。

相较于上述方法，近红外光谱技术具备快速、易操作和成本低[1,2]以及不需要前处理等优点，在食品、药品、农产品等[3,4]分析领域中得到了大量的应用。近红外光谱技术定性分析主要应用于食品的品种鉴别[5,6]、产地溯源[7,8]以及不同品质产品的鉴别[9,10]。在肉制品的分析检测方面，目前主要应用于化学成分含量和理化指标的分析检测包括 pH 值、蒸煮损失、蛋白质、脂肪含量[11,12]等物理化学指标。近红外光谱在直接检测猪肉质量方面尤其是在健康和病死猪肉的鉴别应用研究并不多。

本文首先通过近红外光谱仪分别采集健康和病死猪肉的光谱数据，采取标准化、光散射校正和平滑法等方法进行光谱去噪处理，并通过主成分分析和傅里叶变换提取光谱信息、实现数据降维，最后将处理后的数据建立基于支持向量机的猪肉样品的分类模型，将 5-折交叉验证分类的正确率大小作为评价模型优劣的指标，探讨在支持向量机模型下最佳的预处理方法。

1 实验部分

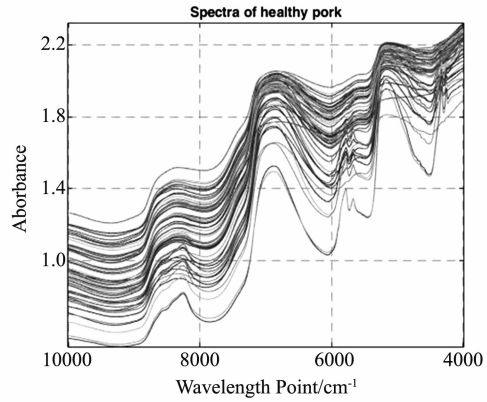
1.1 实验数据采集

从市场、养殖场搜集了不同品质的猪肉样品。制样依照国家标准“肉与肉制品：取样方法” GB/T 9695，利用美国厂商 Thermo 生产的型号为 Antaris Ⅱ的 FT-NIR 光谱分析仪采集猪肉光谱，如图 1 所示。其光谱范围为 4000～10000 cm^{-1}，共 1557 个波长点，每组样品扫描 64 次，取其平均值作为样品光谱。共采集光谱 109 组，其中健康猪肉 63 组，病死猪肉 46 组。利用软件 TQ Analyst 和 MATLAB R2017a 对光谱数据进行分析处理。

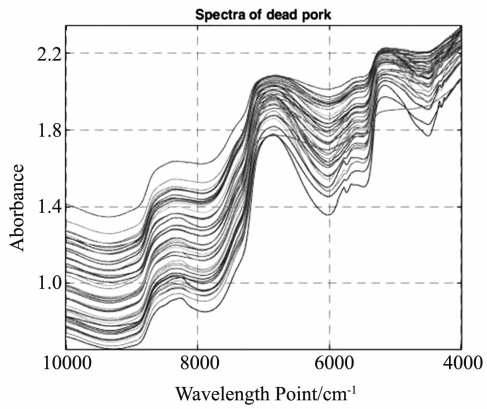


图 1 实验所用的 FT-NIR 近红外光谱仪

图 2 所示样品的原始光谱由于光散射、样品背景而导致曲线出现明显的偏移和漂移，需要后续光谱预处理，提取数据特征并突出光谱样品中“感兴趣”的信息。



(a) 健康猪肉的光谱曲线



(b) 病死猪肉的光谱曲线

图 2 109 条原始光谱曲线

1.2 数据的预处理和降维

受到某些外界要素如样品状态、实验环境变化的影响，收集到的光谱数据不仅有样品本身的结构信息，其他的一些无关信息如随机噪声也包含其中，这使得模型的预测准确度和稳定性大大降低。因此需要用一定的方法在原始光谱的基础上作必要的处理，如归一化、散射校正、标准化、平滑等。光谱数据采集时包含了 1557 个波长点。若使用全波段的光谱建模，会造成数据量大、运算复杂、效率低下的问题。因此需要采用适当的降维方法降低数据的维数，以压缩光谱并提取有效信息。

本文中，选择标准化、光散射校正和 S-G 卷积平滑三种方法实现原光谱数据去噪和平滑，并分别应用主成分分析与傅里叶变换方法对经预处理后的光谱数据压缩降维。

主成分分析(Principal Component Analysis，PCA)作为一种数据降维方法[13]，用少数几个互不重叠的特征指标去表征原始数据中信息高度重叠的多个指标，实现数据量的压缩和信息提取。

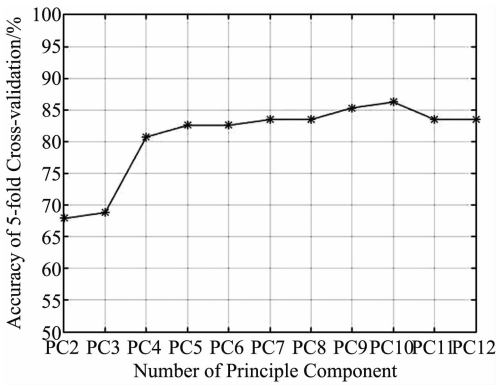


图 3 主成分数的选择对 SVM 的 5 折交叉验证正确率的影响

为选取建立模型所用的主成分数，把经过主成分分析后的前 n 个得分最高的主成分(n=2～12)作为支持向量机(Support Vector Machines，SVM)分类判别的输入，进行判别分析，以 5-折交叉验证正确率作为选择依据。图 3 为 SVM 模型的 5-折交叉验证准确率随主成分数选择变化的折线图。由图可知，交叉验证的正确率在 n=2～10 呈不断上升的趋势，而在 n>5 时变化基本趋于平稳。表 1 中前 5 个主成分的总得分达到 99.914%以上，可代表原始数据中的所有信息。因此，本文选定 n=5 为最佳的主成分数，即把得分最高的 5 个主成分作为判别模型的输入。

表 1 得分最高的 5 个主成分变量的贡献率

主成分	贡献率(%)	累计贡献率(%)
PC1	92.480	92.480
PC2	6.526	99.001
PC3	0.635	99.636
PC4	0.201	99.837
PC5	0.077	99.914

傅里叶变换(Fourier Transform，FT)[14]的主要原理是通过积分变换方法把原始信号分解为一系列不同频率正弦(或余弦)信号的叠加，变换后的信息代表了原始信号不同频率的分量，使得原始信号中与频率有关的特征信息在频域中显现出来。

将原始信号通过 FT 变换后，得到 1557 个频率分量，选择前 n(n=15、20、25、30、35、50、60、70、80、90、100)个分量(以复数的形式表示)的幅值作为数据经过降维处理后的 SVM 的输入，通过留出法(Hold-out)和 5-折交叉验证判定的正确率作为所建立模型的预测准确度。

1.3 定性分析模型的建立及评估方法

1.3.1 支持向量机方法

SVM 方法常用于线性或者非线性分类[15]，其基本原理是，找到一个能以不同类别样品点分开的某个超平面，并且使从每一个采样点到该超平面的欧式距离最大化，以提高模型的鲁棒性和泛化能力。

由于 SVM 模型预测的准确度受某些参数的影响，如惩罚参数 c 和参数 g 大小，需要选择使预测准确度最高的参数 c 和 g。本文用网格法搜索给定范围内使选取 5-折交叉验证率最高的模型对应的 c、g，作为最佳参数。以所

得最佳参数作为建立留出法 SVM 验证模型中的参数 c、g，其样本划分见表 2。

表 2 留出法的样品集划分

项目	健康猪肉	病死猪肉
总数目	63	46
训练集数目	53	35
测试集数目	10	11

1.3.2　模型评估方法

综合比较留出法和 5-折交叉验证法的预测效果，并评判所建立模型的优劣。留出法是一种常用的评估模型优劣的方法，它将数据样本按照一定比例分割为 2 个子集，一个用于训练模型，另一个用于测试所建模型的优劣。5-折交叉验证法是将原样本集平均分成 5 个两两不重合的小样品集，取出 5 个中任意一个，并把另外 4 个样品集作为模型的训练集，用于模型预测能力的评估。循坏往复进行 5 次 SVM 模型的训练和预测。最后综合这 5 个模型的预测准确度，取这 5 次建模预测正确率的平均值作为模型交叉验证的准确率。

2 结果与讨论

本实验将多种去噪和降维方法相结合，实现了光谱数据的去噪预处理和压缩降维，并将预处理和降维之后的数据作为 SVM 模型的输入，进行建模预测，并对其主要参数进行优化，最后得到其交叉验证和 5-折交叉验证的正确率。

由表 3 可知，未经过任何预处理的光谱数据模型的预测效果不太理想，原因是原始光谱数据包含了各种与预测量不相关的信息，它们的存在会给模型的预测带来无法预知的后果。经过标准正态变量(Standard Normal Variate，SNV)或乘法散射校正(Multiplicative Scatter Correction，MSC)处理后，可有效地消除光谱数据中的噪声和无效信息，5-折交叉验证准确率可以达到 87.16%以上。而同时经过 MSC+SNV+S-G 卷积平滑的光谱数据的预测结果反而不太理想，因为光谱曲线过度平滑会导致部分目标信息的损失。

如表 4 所示，对光谱数据进行傅里叶变换后，再选取前 n(n=15、30、50、60、70、80、90、100)个正弦分量的幅值作为分类模型的特征输入，进行判别分析。该方法的建模效果较理想，留出法和 5-折交叉验证均可达到 90%以上。当 n=80 时，5-折交叉验证准确率达到了 94.50%，原因是应用傅里叶变换对光谱处理的过程中，不仅大大降低了数据的维数，而且也起到了消除光谱中噪声的作用。当所取的特征数目 n 增加时，5-折交叉验证率缓慢增加，而当 n 增大到一定程度后，基本保持平稳。因为所选的特征数目越多，其所包含的

表 3 各种预处理方法的预测准确率

降维/预处理方法	简单交叉验证		5-折交叉验证率
	测试集验证率	训练集验证率	
None+ PCA	72.14%	89.03%	81.65%
MSC+PCA	85.00%	94.20%	87.16%
SNV+PCA	83.57%	94.31%	87.16%
MSC+SNV+ PCA	82.15%	92.54%	86.56%
S-G 平滑(21 个平滑点)+PCA	84.29%	94.38%	88.07%
S-G 平滑(21 个平滑点)+MSC +PCA	82.47%	91.87%	87.88%
S-G 平滑(21 个平滑点)+SNV+PCA	86.21%	92.59%	89.64%

原光谱信息就越多，而单个频率点所包含的信息量会随频率点的增加而减少，前 50～100 个频率分量已可解析原光谱的信息。

表 4 经 SNV、MSC 和 FT 处理后的交叉验证率

特征维数	测试集	训练集	5 折交叉
15	86.43%	96.99%	91.74%
30	87.62%	98.58%	92.66%
50	98.52%	98.52%	93.58%
60	90.95%	99.20%	92.66%
70	86.19%	97.44%	93.58%
80	89.29%	96.93%	**94.50%**
90	91.43%	99.94%	93.58%
100	90.95%	100%	92.66%

总的来说，光谱数据尚未经过预处理时区分效果不理想。对预处理后的数据进行判别的过程中，经过 MSC+SNV 并结合 FT 降维后的预测效果最好，准确率可达到 91.74%～94.50%。

3 结论

利用近红外光谱分析对不同品质的猪肉进行了鉴别分析。傅里叶变换的处理方法不仅可以有效降低数据维数，提高模型的预测效率，而且能够起到一定的去噪作用，使得模型预测相较于其余几种方法有更高的准确率。经过散射校正和标准正态变量变换处理后的光谱数据结合傅里叶变换降维所建立的基于 SVM 的分类模型取得了良好的预测效果，使用 5-折交叉验证法进行验证，其准确率可达到 94.50%。该结果表明，基于近红外的光谱技术可以实现对猪肉质量的快速准确在线检测，为养殖场、肉制品市场病死猪肉的检验检疫工作提供了一种快速有效的方法。

参考文献

[1] 郝冬梅，周亚男，王玉，等. 基于可见-近红外光谱与稀疏表示的注水肉识别[J]. **光谱学与光谱分析**，2015，**35**(1)：93-98.

[2] Cascant M M, Breil C, Fabiano-Tixier A S, et al. Determination of Fatty Acids and Lipid Classes in Salmon Oil by Near Infrared Spectroscopy [J]. *Food Chemistry*, 2017, **239**: 865-871.

[3] Wang J, Wang J, Chen Z, et al. Development of Multi-cultivar Models for Predicting the Soluble Solid Content and Firmness of European Pear (Pyrus communis, L.) Using Portable vis-NIR Spectroscopy [J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2017, **129**: 143-151.

[4] Huang Y, Lu R, Chen K. Prediction of Firmness Parameters of Tomatoes by Portable Visible and Near-Infrared Spectroscopy [J]. *Journal of Food Engineering*, 2017, **222**: 185-198.

[5] Yang Y, Zhuang H, Yoon S C, et al. Rapid Classification of Intact Chicken Breast fillets by Predicting Principal Component Score of Quality Traits with Visible/near-Infrared Spectroscopy [J]. *Food Chemistry*, 2018, **244**: 184-189.

[6] Lang C, Almeida D R A, Costa F R C. Discrimination of Taxonomic Identity at Species, Genus and Family Levels Using Fourier Transformed Near-Infrared Spectroscopy (FT-NIR) [J]. *Forest Ecology & Management*, 2017, **406**: 219-227.

[7] Zhuang X G, Wang L L, Qi C, et al. Identification of Green Tea Origins by Near-infrared (NIR) Spectroscopy and Different Regression Tools [J]. *Science China Technological Sciences*, 2017, **60**(1): 84-90.

[8] Wang P, Yu Z. Species Authentication and Geographical Origin Discrimination of Herbal Medicines by Near Infrared Spectroscopy: A Review [J]. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 2015, **5**(5): 277-284.

[9] Ma H L, Wang J W, Chen Y J, et al. Rapid Authentication of Starch Adulterations in Ultrafine Granular Powder of Shanyao by Near-infrared Spectroscopy Coupled with Chemometric Methods [J]. *Food Chemistry*, 2017, **215**: 108-115.

[10] Kapper C, Klont R E, Verdonk J M A J, et al. Prediction of Pork Quality with Near Infrared Spectroscopy (NIRS): 1. Feasibility and Robustness of NIRS Measurements at Laboratory Scale [J]. *Meat Science*, 2012, **91**(3): 294-299.

（下转第 48 页）