

基于近红外光谱的生鲜猪肉新鲜度实时评估

赵松玮, 彭彦昆*, 王伟, 张海云, 宋育霖, 赵娟

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要: **目的** 运用近红外光谱对生鲜猪肉新鲜度进行实时评估。**方法** 利用多通道可见近红外光谱系统, 获取了猪肉表面 380~1080 nm 波长范围内的漫反射光谱数据, 采用多元散射校正(MSC)和变量标准化(SNV)的预处理方法, 然后使用偏最小二乘回归建立猪肉新鲜度的预测模型, 进而对猪肉新鲜度进行评价。**结果** 采用变量标准化处理后的偏最小二乘回归模型相对比较稳定, 建模效果比较好。对挥发性盐基氮 (TVB-N)的验证集的相关系数达到 0.91, 对 pH 值的验证集的相关系数达到 0.93。最后利用该模型对猪肉新鲜度进行评定, 评定准确率达 92.9%。**结论** 实验中运用多点的测量方式提高了近红外检测的精度和稳定性, 对于实时检测评估生鲜猪肉的新鲜度有很大的潜力。

关键词: 生鲜猪肉; 近红外光谱; 新鲜度; 挥发性盐基氮; pH 值

Real-time assessment of pork freshness based on visible/near infrared spectroscopy

ZHAO Song-Wei, PENG Yan-kun*, WANG Wei, ZHANG Hai-Yun, SONG Yu-Lin, ZHAO Juan

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

ABSTRACT: Objective To assess pork freshness using visible/near infrared spectroscopy. **Methods** Diffuse reflectance spectroscopy data were obtained from the pork surface of 380~1080 nm by use of multi-channel visible near-infrared spectroscopy system. The multiplicative scattering correction (MSC) and standard normal variables (SNV) were carried out as pre-treatment methods of the spectral data. The prediction model of pork freshness was then established using partial least squares regression, so as to evaluate the freshness of pork. **Results** The partial least squares regression model after SNV treatment was relatively stable, and the performance was better. The correlation coefficient of total volatile basic nitrogen (TVB-N) and pH value were 0.91 and 0.93 respectively. The accuracy rate of pork freshness assessment was 92.9% by this model. **Conclusion** The use of multi-point measurements can improve the accuracy and stability of the near-infrared detection, there is a great potential for real-time assessment of pork freshness by visible/near infrared spectroscopy.

KEY WORDS: pork; visible/near infrared spectroscopy; freshness; total volatile basic nitrogen; pH

1 引言

我国是一个猪肉生产大国, 猪肉在国内消费者肉类产品消费中一直占据着主导地位, 是我国居民日常生活不可或缺的副产品。猪肉品质的好坏, 直接

影响到人们的生活质量和健康安全, 同时也影响着整个肉品行业的发展。随着人民生活水平的不断提高, 放心安全的猪肉越来越受到消费者的青睐。

新鲜度是指肉品的新鲜程度。目前, 猪肉新鲜度检测方法主要有感官评价、微生物及理化检测。前者

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201003008)

*通讯作者: 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关键技术与装备。Email: ypeng@cau.edu.cn.

易受个体主观因素的影响, 而后者存在耗时长、工作量大等缺陷^[1]。近些年来, 针对肉品新鲜度的光谱检测手段越来越受到关注^[2]。Chou 等^[3]利用 600~1368 nm 光谱对猪肉糜的新鲜度进行了预测, 利用偏最小二乘回归(PLSR)的建模结果取得了 90%以上的准确率。Peng 等^[4]利用高光谱技术预测了猪肉新鲜度的参数, 在 470~1000 nm 的波长范围内, 对挥发性盐基氮(TVB-N)的预测, 使用平滑处理、多元散射校正(MSC)光谱建立的 PLSR 模型相关系数分别达到 0.90 和 0.89。

本文在已有研究基础上, 利用自行搭建的多通道近红外光谱系统^[5], 实时在线检测猪肉的品质参数。对生鲜猪肉近红外光谱数据进行测量, 使用 MSC 和变量标准化(SNV)的预处理方法, 利用 PLSR 的方法建立猪肉新鲜度各指标的预测模型, 进而对猪肉新鲜度进行预测与评定。

2 材料与方 法

2.1 实验材料

选购来自北京大红门肉类食品有限公司的冷鲜猪肉背最长肌部分作为实验材料, 屠宰后经过 24 h 排酸, 用实验室冷藏箱运回, 将冷鲜猪肉背最长肌均匀切割为 25 mm 厚度的肉块, 保证样品表面平整, 一共取得 56 块样品。然后将猪肉样品用保鲜袋包好并逐个编号放置于 4 ℃环境中贮藏, 每隔 12 h 测量一次, 每次测量两个样品, 在 14 d 内完成近红外光谱数据和新鲜度指标的理化值测定^[6]。猪肉样品进行光谱测试后立刻对同一样品进行肉品新鲜度指标 TVB-N、pH 值的检测。在进行光谱采集时, 要保持外界环境条件基本一致。

2.2 实验仪器

利用多通道近红外光谱系统进行光谱数据的测量, 该系统主要由近红外光纤光谱仪(AvaSpec-2048*14, 荷兰 Avantes 公司)、光纤多路复用器(FOM-IR400-2*8, 荷兰 Avantes 公司)、14 W 高功率卤钨灯光源(AvaLight-HAL, 荷兰 Avantes 公司)、反射探头(FCR-7IR400-2-ME, 荷兰 Avantes 公司)等组成。近红外光纤光谱仪的波长范围是 300~1100 nm, 光谱分辨率是 0.04~20 nm。通过控制光纤多路复用器多个通道的轮换, 可以实现对样品多个测量位置的同时在线检测, 使检测的精度更高, 测量结果更加稳定。

2.3 实验方法

2.3.1 近红外光谱数据的采集

利用多通道近红外光谱系统进行光谱的采集, 采集的是样品表面的漫反射信息。在采集样品光谱数据之前, 需要对光谱进行暗电流和白参考的校正工作, 因此最终获取的样品信息是漫反射率, 样品漫反射率的计算公式是:

$$R_s = \frac{C_s - C_d}{C_w - C_d} \quad (1)$$

式中: R_s 代表样品的漫反射率

C_s 代表样品的原始光谱强度

C_d 代表光谱仪的暗电流强度

C_w 代表光谱仪测定的白参考的光谱强度

2.3.2 标准值的测试

在进行样品光谱数据采集之后, 立刻对同一样品进行肉品新鲜度指标 TVB-N、pH 值的检测。

样本的 pH 值采用梅特勒-托利多实验室 pH 计进行测量(METTLER TOLEDO FE20, 瑞士), 每个样本在光谱采集区域的不同部位测量 3 次, 取测量平均值为该样本的 pH 值。

按照国标 GB/T5009.44-2003 执行《肉与肉制品卫生标准的分析方法》中进行采集。本实验通过对标准方法进行适当的改进, 采用 KDY-9820 型半自动定氮仪进行测定肉中的 TVB-N, 实验的方法和计算可以参照有关文献来测定^[7]。

2.3.3 预测模型的建立

从光谱采集区域提取样品的漫反射光谱数据, 进而建立猪肉新鲜度指标的预测模型。使用多元散射校正(multiplicative scattering correction, MSC)和变量标准化(standard normal variables, SNV)方法对漫反射光谱曲线进行预处理, 然后使用偏最小二乘回归(partial least squares regression, PLSR)的方法建立猪肉新鲜度的预测模型。

3 结果与分析

3.1 新鲜度预测结果分析

实验中有 56 个样品, 按照 3:1 的原则, 将 56 个猪肉样品分成校正集和验证集, 校正集有 42 个样品, 用于预测模型的建立, 验证集有 14 个样品, 用于预测模型的验证。由于原始光谱两端的数据噪声大, 在实验中选择 380~1080 nm 波长范围内的光谱数据建模, 如图 1 所示为原始光谱漫反射率曲线。

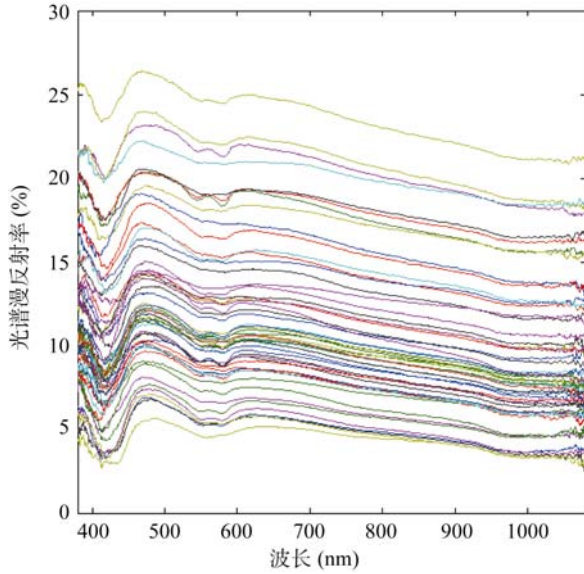


图 1 原始光谱漫反射率曲线

Fig. 1 Original spectral diffuse reflectance curve

经过 MSC 校正后得到的光谱数据,可以有效地消除散射影响所导致的基线平移和偏移现象,增强与成分含量相关的光谱吸收信息,提高了信噪比。如图 2 所示,是经过 MSC 校正后得到的光谱曲线。

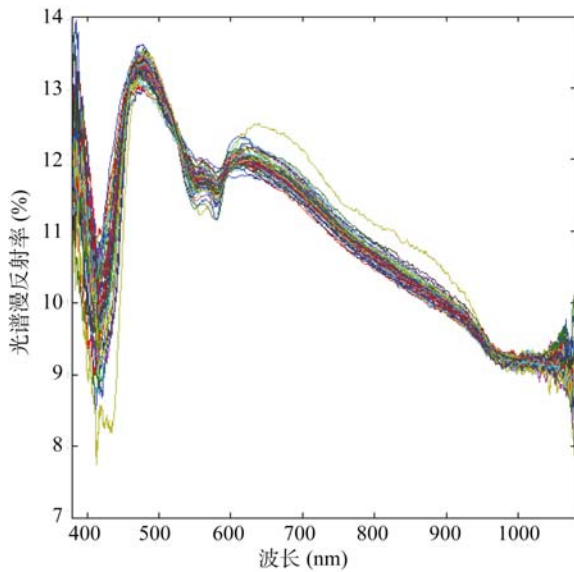


图 2 多元散射校正后的光谱曲线

Fig. 2 The spectral curves after MSC

SNV 是原始光谱减去该光谱的平均值后,再除以该光谱数据的标准偏差,实质是使原光谱数据标准正态化。如图 3 所示,是经过 SNV 后得到的光谱曲线。

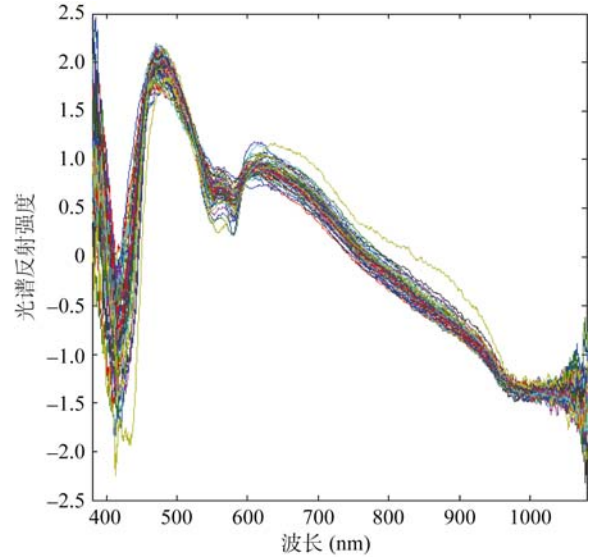


图 3 变量标准化后的光谱曲线

Fig. 3 The spectral curves after SNV

对原始光谱反射率经过不同的预处理之后,采用 PLSR 方法建模时,首先采用全交叉验证法确定 PLSR 建模的主成分数。结果如表 1 所示,其中 R_c 为校正集的相关系数,SEC 为校正集的校正标准差, R_v 为验证集的相关系数,SEV 为验证集的验证标准差。

结果表明,采用 SNV 处理后的 PLSR 模型相对比较稳定,建模效果比较好。在对 TVB-N 的建模中,采用全交叉验证选取的主成分数是 8 个,校正集的相关系数是 0.98,标准差为 1.1031,验证集的相关系数是 0.91,标准差是 2.3252。在对 pH 值的建模中,采用全交叉验证选取主成分数是 12 个,校正集的相关系数是 0.99,标准差为 0.0190,验证集的相关系数是 0.93,标准差是 0.1154。校正集和验证集的相关性结果如图 4~7 所示。

3.2 猪肉新鲜度的评价结果

猪肉新鲜度的评价主要以 TVB-N 的含量为依据,结合 pH 值指标进行综合评定。参照国标 GB2707-2005《鲜(冻)畜肉卫生标准》规定的猪肉新鲜度标准,将猪肉鲜度划分为两个等级:新鲜和不新鲜。在验证预测模型对猪肉新鲜度评定之前,先对预测集的样本按照 TVB-N 值、pH 值进行分类。新鲜肉:挥发性盐基氮含量 ≤ 15 mg/100 g, pH 5.8~6.2,可以安全食用。不新鲜肉:挥发性盐基氮含量 > 15 mg/100 g, pH > 6.2 ,这种肉为非食用肉或者是腐败变质肉。如表 2 所示为 SNV 处理光谱数据建立 PLSR 模型对猪肉新鲜度的评定结果,总的评定准确率是 92.9%。

表 1 PLSR 模型预测结果
Table 1 Model predicted results of PLSR

检测指标	数据处理方法	主成分数	R_c	SEC	R_v	SEV
TVB-N	SNV	8	0.98	1.1031	0.91	2.3252
pH 值	SNV	12	0.99	0.0190	0.93	0.1154
TVB-N	MSC	8	0.98	1.1121	0.91	2.3760
pH 值	MSC	12	0.99	0.0197	0.93	0.1164

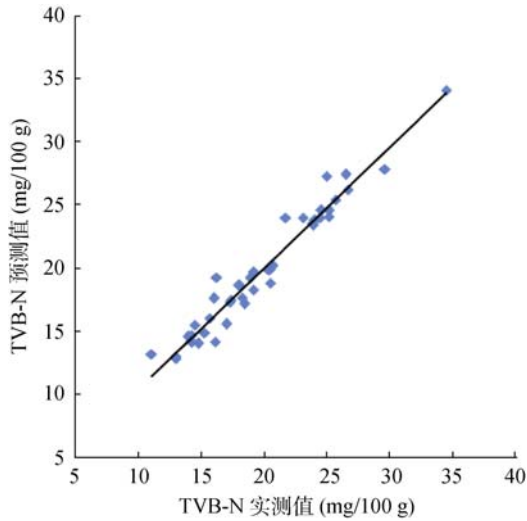


图 4 TVB-N 校正集模型结果

Fig. 4 Model result of TVN-N calibration set

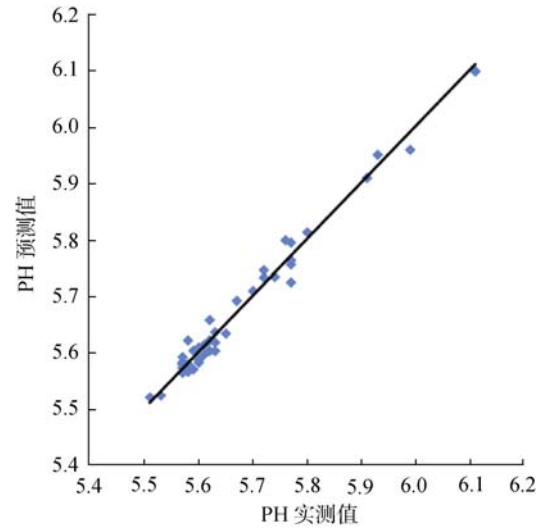


图 6 pH 值校正集模型结果

Fig. 6 Model result of pH calibration set

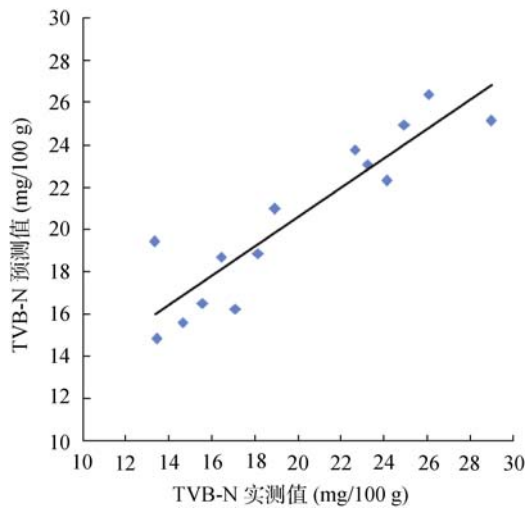


图 5 TVB-N 预测集模型结果

Fig. 5 Model result of TVN-N prediction set

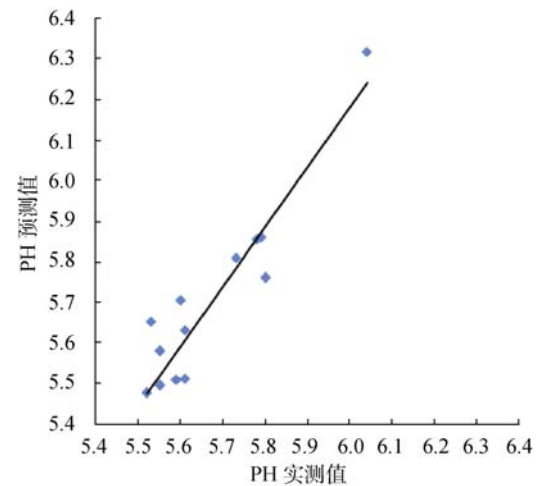


图 7 pH 值预测集模型结果

Fig. 7 Model result of pH prediction set

4 结论

本实验中利用多通道可见近红外光谱系统, 获取了猪肉表面 380~1080 nm 波长范围内的漫反射光谱数据, 采用 MSC 校正和 SNV 的预处理方法, 然后

使用 PLSR 建立猪肉新鲜度的预测模型, 进而对猪肉新鲜度进行评价。结果表明, 采用 SNV 处理后的 PLSR 模型相对比较稳定, 建模效果比较好。对 TVB-N 的预测相关系数达到 0.91, 对 pH 值的预测相关系数达到 0.93。最后利用该模型对猪肉新鲜度进行评

表2 猪肉新鲜度评定结果
Table 2 Assessment results of pork freshness

类别	数量	预测结果		准确率	
		新鲜	不新鲜		
新鲜	8	7	1	87.5%	
新鲜度级别	不新鲜	6	0	6	100%
	正确数量	14	7	6	92.9%

定, 评定准确率达 92.9%。因此采用该技术, 对于实时检测评估猪肉的新鲜度有很大的潜力。

参考文献

- [1] 赵家松, 严伟榆, 曹志勇, 等. 基于近红外技术的猪肉新鲜度检测仪设计[J]. 农机化研究, 2011, (8): 161-163.
- [2] 萧介宗, 骆秋英, 陈力骐, 等. 猪肉鲜度指标与近红外光谱相关性之探讨[J]. 农业机械学报, 2004, 13(4): 27-36.
- [3] Chou CH, Lou CCY, Chen RLC, *et al.* Evaluation of freshness of ground pork tenderloin by visible/near infrared spectroscopy [J]. J Food Drug Anal, 2010, 18(2): 107-112.
- [4] Peng YK, Zhang LL, Li YY, *et al.* Hyperspectral imaging technique for determination of pork freshness attributes [C]. Proc

SPIE, 2011.

- [5] Peng YK, Zhao SW, Wang W, *et al.* Real-time Evaluation System of Pork Freshness based on Multi-channel Near-infrared Spectroscopy [C]. ASABE, 2012.
- [6] Wu J, Peng Y, Wang W, *et al.* 2012. Prediction of beef quality attributes using VIS/NIR hyperspectral scattering imaging technique [J]. J Food Eng, 2012, 109, 267-273.
- [7] 葛晓鸣, 任飞, 杨娟芬. 全自动凯氏定氮仪测定金枪鱼肉中挥发性盐基氮含量[J]. 化学分析计量, 2008, 17(4): 78-79.

(责任编辑: 赵静)

作者简介



赵松玮, 硕士, 研究方向: 农畜产品无损检测。

E-mail: zhaosongwei56@gmail.com



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。

E-mail: ypeng@cau.edu.cn