

# 基于可见光和近红外光谱鲜猪肉蒸煮损失和嫩度检测的研究

胡耀华<sup>1</sup>, 熊来怡<sup>1</sup>, 蒋国振<sup>1</sup>, 刘 聪<sup>1</sup>, 郭康权<sup>1</sup>, 佐竹隆显<sup>2</sup>

1. 西北农林科技大学机电学院, 陕西 杨凌 712100

2. 日本筑波大学, 日本 305-8702

**摘要** 蒸煮损失和嫩度是决定猪肉的食用品质的重要指标, 文章提出了可见光/近红外漫反射光谱检测真空包装猪肉的蒸煮损失和嫩度的新方法, 从而实现对其快速、无损、无污染测定。利用光谱专用分析软件 Unscrambler9.6 对采集的近红外漫反射光谱分别进行卷积平滑、二阶微分法和多元散射校正预处理, 用偏最小二乘法(PLS)建立其定量校正模型。结果表明近红外光谱漫反射法的预测值与常规方法测定值的相关系数分别为 0.81 和 0.78。该研究结果说明基于可见光/近红外光谱漫反射光谱的检测方法简便易行, 是无损检测猪肉的蒸煮损失和嫩度的较好方法。

**关键词** 可见光/近红外光谱; 蒸煮损失; 肌肉嫩度; 偏最小二乘法; 猪肉

**中图分类号:** S123 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2010)11-2950-04

## 引言

肉的嫩度是消费者对肉的口感惬意程度的重要指标, 是决定肉食用品质的最主要的因素。蒸煮损失是反映肉加工品质的重要指标, 在猪肉的加工过程中, 蒸煮损失的大小与加工企业的经济效益有着直接的关系, 且其也反映了肉制品的适口性, 因而也备受消费者的关注<sup>[1]</sup>。然而嫩度受多种因素的影响, 例如, 品种、年龄、肌肉部位、肌纤维直径、肌肉化学成分(肌内脂肪含量, 羟脯氨酸含量)、屠宰全过程, 尤其是测定前处理工艺等<sup>[2-4]</sup>。几十年来, 人们试图用物理的和化学的方法测定嫩度, 尤其是想用各种复杂机械来模拟人的咀嚼动作, 但始终未能找出被普遍接受的方法<sup>[5]</sup>。早在 20 世纪 30 年代初由 Warner<sup>[6]</sup>和 Bratzler<sup>[7]</sup>设计的一种简单的剪切仪(Shear Device), 一直沿用至今, 被国际认可。陈润生等<sup>[8]</sup>根据剪切力(Shear force)原理设计的 C-LM 型肌肉嫩度计被国内普遍应用。

分光法检测越来越广泛地应用到农产品品质检测中, 特别是可见光和近红外光检测技术发展迅速<sup>[9]</sup>。近红外检测技术 NIRS(near infrared spectroscopy)是利用分析波长略高于可见光的近红外光(780~2 500 nm)进行无损伤、快速定量或定性分析<sup>[10,11]</sup>, 在肉品品质检测<sup>[12,13]</sup>方面也得到了广泛应用。

目前, 评价嫩度和蒸煮损失存在耗时长, 样品准备复杂和损害样品等诸多问题。本研究利用可见/近红外光谱对猪眼肌进行无损检测, 探讨了利用可见/近红外技术对的嫩度和蒸煮损失进行评价的可行性。尝试用可见/近红外漫反射光谱对任意厚度的鲜猪肉嫩度和蒸煮损失进行检测, 并通过改变预处理的方法和利用优化最小二乘法建立定标方程, 探讨提高预测精度的方法和途径。

## 1 实验材料和方法

### 1.1 样品的采集

样品由日本全农饲料畜产中央研究所提供。将猪屠宰和分割后, 放置于 4 °C 冷藏库中 48 h, 取猪胴体胸段眼肌作为实验样品。共计 104 头猪的眼肌相邻的两样品分别用于近红外光谱和肌肉嫩度, 蒸煮损失的测定。

### 1.2 光谱的采集

样品的厚度约为 25 mm, 用低密度的聚乙烯塑料袋真空包装, 保持 15 °C 左右, 将其运送到非破坏检测实验室。仪器为 NIR System 6500(Foss NIR System, USA)近红外光谱分析仪, 采用漫反射模式(Interactance Mode)。仪器的扫描波长范围 400~1 098 nm, 扫描间隔为 2 nm。对每个样品分别采集 5 个不同的部位<sup>[14]</sup>光谱, 取其平均光谱。

在实验前, 为减少由于温度变化造成的水分损失, 在 25

收稿日期: 2009-12-12, 修订日期: 2010-03-16

基金项目: 国际合作中日据点大学项目(08080704), 教育部留学人员项目(K308020801)和西北农林科技大学青年学术骨干项目(Z111020903)资助

作者简介: 胡耀华, 女, 1973 年生, 西北农林科技大学机电学院副教授 e-mail: huyaohua@nwsuaf.edu.cn

℃的恒温水槽下放至 30 min 以后开始进行测试。光谱采集过程中,始终用黑布对试样进行遮光屏蔽以防止外界光源的干扰。

1.3 蒸煮损失的测定

沿胸椎部背最长肌眼肌的平行方向切取 2 cm×2 cm×4 cm,并称取其重量,将样品放入聚乙烯塑料薄膜袋中,将空气排出并扎好,放入 70 ℃恒温水浴槽中,放置 1 h 后,用自来水将其冷却 30 min 至室温。再从袋中将样品取出,用滤纸轻轻拭去样品表面的肉汁,然后再称样品的重量。蒸煮损失的计算方法为肉块加热前后的重量差与肉块加热前重量的百分比值。样品的蒸煮损失的测定统计数值见表 1。

Table 1 Statistical data of cooking loss and shear force of fresh pork loin

| Items   | Cooking loss/%  |                | Shear force/kgf |                |
|---------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
|         | Calibration set | Validation set | Calibration set | Validation set |
| N       | 72              | 32             | 72              | 32             |
| Maximum | 33.99           | 29.52          | 6.58            | 5.95           |
| Minimum | 6.07            | 6.67           | 2.38            | 2.44           |
| Mean    | 19.46           | 19.48          | 4.09            | 4.15           |
| SD      | 5.43            | 5.83           | 0.71            | 0.86           |
| CV/%    | 27.90           | 29.93          | 17.36           | 20.72          |

1.4 肌肉嫩度的测定

参考 Li<sup>[15]</sup>和吴菊清等<sup>[16]</sup>的方法测定,将冷却至室温的肉样,按与肌纤维呈垂直方向切取宽度为 4 cm 的肉片,再用 1 cm 直径的圆形取样器顺肌纤维方向钻切肉样块,做 6 个重复。肌肉嫩度一般用剪切力值来表示。用沃布氏嫩度计沿肌纤维垂直方向剪切肉柱,按嫩度测定仪使用说明操作,记录 6 个肉块的剪切力值,计算算术平均数。单位用牛顿(N)或公斤力(kgf)表示。正常肉平均剪切力值愈高表示肉愈老化,剪切力值愈低则肉愈嫩。样品的剪切力值的测定统计数值见表 1。

1.5 光谱处理和数据分析

利用 The Unscrambler (Version 9.6, Camo, Oslo, Norway)分析软件,首先对原始光谱分别进行卷积平滑,二阶微分法和多元散射校正预处理,然后采用偏最小二乘法(PLS)作为建模算法,建立校正模型。

2 结果与讨论

2.1 样品近红外线光谱分析

图 1 给出了同一样品的在五个不同位置的可见光/近红外光谱,可见其在不同的位置的光谱差异。由图中可以看出,在 980 nm 处出现的强烈的吸收峰,该峰应该是 O—H 基团第二泛音。因为猪肉中含有较多的水分,所以, O—H 基团吸收峰很明显。另外,在可见光范围内 456 和 560 nm 有两个很明显的吸收峰,反映了其颜色的差异。为减少误差,用五个位置的平均光谱进行分析。

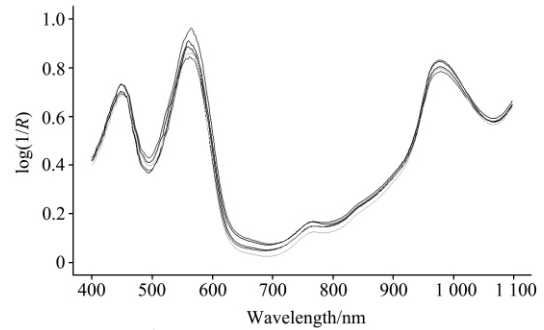


Fig 1 Visible/NIRS spectra of sample at five positions

2.2 数据分析的结果

近红外漫反射光谱分别经卷积平滑、二阶微分和多元散射校正预处理后,采用校正集的样品,用最小二乘回归法建立校正模型,再用建立的校正模型检验验证集样品其结果如表 2 和表 3 所示。从表 2 和表 3 可以看出,不同的预处理方法对其预测结果的影响。

Table 2 Calibration and validation results for cooking loss of pork loin using different pretreatment methods

| Pretreatment and wavelength | F | R    | SEC /% | SEP /% | Bias  |
|-----------------------------|---|------|--------|--------|-------|
| Smoothing spectra           |   |      |        |        |       |
| 400~698 nm                  | 3 | 0.69 | 3.93   | 4.39   | -0.08 |
| 700~1 098 nm                | 4 | 0.68 | 3.96   | 4.32   | -0.14 |
| 400~1 098 nm                | 7 | 0.73 | 3.67   | 4.23   | 0.10  |
| 2nd derivative spectra      |   |      |        |        |       |
| 400~698 nm                  | 2 | 0.65 | 4.09   | 4.33   | -0.03 |
| 700~1 098 nm                | 5 | 0.71 | 3.79   | 4.56   | 0.19  |
| 400~1 098 nm                | 2 | 0.65 | 4.09   | 4.33   | -0.03 |
| MSC spectra                 |   |      |        |        |       |
| 400~698 nm                  | 8 | 0.80 | 3.45   | 3.73   | -0.91 |
| 700~1 098 nm                | 5 | 0.69 | 4.13   | 4.18   | -0.96 |
| 400~1 098 nm                | 8 | 0.81 | 3.35   | 3.51   | -0.99 |

Table 3 Calibration and validation results for meat tenderness (shear force) of pork loin using different pretreatment methods

| Pretreatment and wavelength | F  | R    | SEC /% | SEP /% | Bias  |
|-----------------------------|----|------|--------|--------|-------|
| Smoothing spectra           |    |      |        |        |       |
| 400~698 nm                  | 2  | 0.30 | 0.68   | 0.68   | -0.08 |
| 700~1 098 nm                | 5  | 0.33 | 0.67   | 0.67   | -0.09 |
| 400~1 098 nm                | 2  | 0.24 | 0.69   | 0.70   | -0.09 |
| 2nd derivative spectra      |    |      |        |        |       |
| 400~698 nm                  | 1  | 0.31 | 0.66   | 0.72   | -0.10 |
| 700~1 098 nm                | 2  | 0.36 | 0.65   | 0.72   | -0.08 |
| 400~1 098 nm                | 1  | 0.31 | 0.66   | 0.72   | -0.10 |
| MSC spectra                 |    |      |        |        |       |
| 400~698 nm                  | 2  | 0.32 | 0.67   | 0.70   | -0.06 |
| 700~1 098 nm                | 19 | 0.78 | 0.44   | 0.57   | -0.14 |
| 400~1 098 nm                | 3  | 0.32 | 0.67   | 0.69   | -0.06 |

从表 2 可以看到,对于猪眼肌的蒸煮损失的测定结果,多元散射校正预处理方法在 400~1 098 nm 波长范围内其相关系数、校正集标准差和验证集标准差分别为 0.81、3.35% 和 3.51%,预测的精度要高于其他预处理方法的波长范围。

从表 3 可见,对于猪眼肌的嫩度(剪切力值)的测定结果,多元散射校正预处理方法在 700~1 098 nm 波长范围内其相关系数、校正集标准差和验证集标准差分别为 0.78、0.44% 和 0.57%,预测的精度要远远高于其他预处理方法的

波长范围,预测结果好于用 Geesink 等<sup>[17]</sup>的近红外反射光谱检测结果,Geesink 等给出的近红外反射光谱与剪切力值的决定系数为 0.20。

图 2 是近红外漫反射光谱的预测值与的蒸煮损失测定值的关系。可以看出,红外光谱预测值与蒸煮损失值有明显的相关性,可以反映蒸煮损失的变化。由于本检测方法对试样的厚度和形状没有要求,所以,用近红外漫反射光谱对猪肉蒸煮损失的预测具有较高的实用价值。

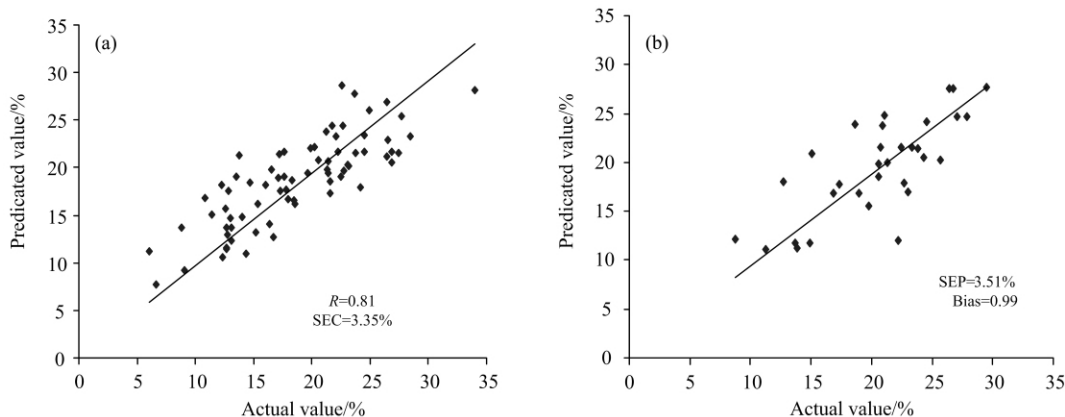


Fig 2 The relationship between measured value and NIR predicted value of cooking loss

(a): Relationship between actual value and NIR predicted value for calibration set;

(b): Relationship between actual value and NIR predicted value for validation set

### 3 结 论

用可见光/近红外漫反射光谱检测猪肉蒸煮损失,用 72 个样品建立校正集定标模型,其相关系数和标准差分别为 0.81 和 3.35%。用建立的校正模型对 32 个检验集的样品进行预测,其预测值与测定值的标准差为 3.51%。

用可见光/近红外漫反射光谱检测嫩度,同样用 72 个样品建立校正集定标模型,在近红外波长区间,其相关系数和

标准差分别为 0.78 和 0.44 kgf。用建立的校正模型对 32 个检验集的样品进行预测,其预测值与测定值的标准差为 0.57 kgf。

多元散射校正的方法是测定猪肉的蒸煮损失和嫩度时较好的光谱预处理方法。用可见/近红外漫反射光谱测定猪肉的蒸煮损失和嫩度的方法是可行的。检测的结果为迅速评价猪肉品质,为合理组织猪肉的贮运、加工和分级提供理论依据,从而保障消费者的利益和加工企业的经济效益。

### 参 考 文 献

- [1] WANG Yong-hui, MA Li-zhen, ZHANG Ya-jie, et al(王永辉, 马丽珍, 张亚杰, 等). Academic Periodical of Farm Products Processing (农产品加工·学刊), 2005, (12): 15.
- [2] CHEN Run-sheng, XU Shi-qing(陈润生, 徐士清). Journal of Northeast Agricultural University(东北农学院学报), 1983, 14: 39.
- [3] CHEN Run-sheng(陈润生). Northeast Swine Production(东北养猪), 1986, 1: 12.
- [4] CHEN Run-sheng(陈润生). Meat Industry(肉类工业), 1987, 12: 3.
- [5] Pearson A M. Objective and Subjective Measurements for Meat Tenderness. in: Proc. Meat Tenderness Symposium, Campbell Soup Comden, New Jeksey, 1963. 135.
- [6] Warner K F. Proc. Amer. Soci. Animal Production, 1928, 21: 114.
- [7] Bratzler L J. Determining Tederness of Meat by Using the Warner-Bratzler Method. in: Proc. 2nd Annu. Reciprocal Meat Conf., National Livestock and Meat Board, AMSA, IL. 1949.
- [8] CHEN Run-sheng, MA Xiao-yu, LEI De-tian(陈润生, 马小愚, 雷得天). Journal of Northeast Agricultural University(东北农学院学报), 1988, 19(3): 277.
- [9] YING Yi-bin, HAN Dong-hai(应义斌, 韩东海). Non-Destructive Measurement Technology for Agricultural Products(农产品无损检测技术). Beijing: Chemical Industry Press(北京: 化学工业出版社), 2005. 5.
- [10] Osborne Brian G. Near-Infrared Spectroscopy in Food Analysis. in: Encyclopedia of Analytical Chemistry. Edited by Robert A. Meyers.

JohnWiley & Sons Ltd. Chichester. ISBN 0471 976709.

- [11] LU Wan-zhen, YUAN Hong-fu, XU Guang-tong, et al(陆婉珍, 袁洪福, 徐广通, 等). Modern Near-Infrared Spectroscopy Analytical Technology(现代近红外光谱分析技术). Beijing: China Petrochemical Press(北京: 中国石化出版社), 2000.
- [12] HU Y, Guo K, Suzuki T, et al. Transaction of the ASABE, 2008, 51(3): 1029.
- [13] González-Martín I, González-Pérez C, Hernández-Méndez J, et al. Meat Science, 2003, 65: 713.
- [14] HU Yaohua, SUZUKI Takanori, LI Yongyu, et al. The Journal of the Society of Agricultural Structures, 2007, 38(1): 21.
- [15] LI C B, CHEN Y J, XU X L, et al. Meat Science, 2006, 72: 9.
- [16] WU Ju-qing, LI Chun-bao, ZHOU Guang-hong, et al(吴菊清, 李春保, 周光宏, 等). Food Science(食品科学), 2008, 29(10): 136.
- [17] Geesink G H, Schreutelkamp F H, Frankhuizen R, et al. Meat Science, 2003, 65: 661.

## Measurement of Cooking Loss and Tenderness of Fresh Pork Using Visible/Near Infrared Spectroscopy

HU Yao-hua<sup>1</sup>, XIONG Lai-yi<sup>1</sup>, JIANG Guo-zhen<sup>1</sup>, LIU Cong<sup>1</sup>, GUO Kang-quan<sup>1</sup>, SATAKE Takaaki<sup>2</sup>

1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China

2. University of Tsukuba, 305-8572, Japan

**Abstract** Cooking loss and tenderness are important quality characteristics of fresh pork. To find a rapid, non-destructive and non-contaminated method to measure them, visible/near infrared spectroscopy was proposed for measurement of cooking loss and tenderness of vacuum-packed pork loin. The acquired raw spectra were pretreated by Savitsky-Golay smoothing, second derivative and MSC, respectively using the software of Unscrambler 9.6. A total of 104 samples were used in the experiment. The samples were divided into calibration set and validation set. The calibration set was used to set up calibration model and then the model was adopted to predict the samples of validation set. The partial least square regression(PLSR) was used to build calibration model. The results show that the correlation coefficient for cooking loss and shear force are 0.81 and 0.78 respectively. It is feasible and effective that measure cooking loss and shear force of vacuum-packed fresh pork loin using visible/near infrared spectroscopy in intertance mode.

**Keywords** Visible/near infrared spectroscopy (NIRS); Cooking loss; Tenderness; Partial least square regression (PLSR); Pork

(Received Dec. 12, 2009; accepted Mar. 16, 2010)