

# 基于 FISS 成像光谱数据的鲜解冻肉识别研究

张学文<sup>1,2</sup>, 张立福<sup>1\*</sup>, 黄长平<sup>1,2</sup>, 郑兰芬<sup>1</sup>, 童庆禧<sup>1</sup>

1. 中国科学院遥感应用研究所, 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101  
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049

**摘要** 基于自主研发的地面成像光谱辐射测量系统(field imaging spectrometer system, FISS), 利用获取的可见/近红外波段成像光谱数据进行鲜猪肉和解冻猪肉的识别研究, 同时对鲜猪肉的新鲜度在类别和等级上分别进行识别研究。通过最小噪声分离变换和一阶微分处理, 消除数据高频随机噪声和基线偏移, 改善多重共线性, 运用 Wilks' lambda 逐步法选择特征波长, 采用 Fisher 线性判别函数建立判别分析模型。运用选择的前 8 个波段建立模型, 对鲜猪肉和解冻猪肉的识别即可高达 99%; 运用选择的前 6 个波段, 鲜猪肉新鲜度类别总体正确识别率达到 98%; 运用 28 个波段, 鲜猪肉新鲜度等级的总体正确识别率为 93.6%。研究结果表明, FISS 在肉类食品品质识别分类方面具有较高的应用潜力。

**关键词** 地面成像光谱辐射测量系统; 成像光谱技术; 猪肉品质识别; 光谱分析

中图分类号: O657.3 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2011)08-2187-04

## 引言

冷藏能够有效延长肉类食品的储藏时间, 但由于冷藏过程中冰晶的生长, 会导致肉类水分的丧失和蛋白质的变性, 从而影响肉类的品质<sup>[1]</sup>。冷藏肉类解冻后, 在肉类表面渗出的营养素将促进嗜温性细菌的增长, 可能会导致疾病<sup>[2]</sup>。因此, 欧盟法律规定, 食品标签应说明肉是否已冻结<sup>[3]</sup>。我国食品管理相关部门和肉类加工业也急需一个快速的方法对肉类的品质进行检测。由于解冻肉与鲜肉的物理和化学特性非常相似<sup>[4]</sup>, 凭人们的肉眼和传统的多光谱检测仪很难确定肉类是否经过冷藏。

可见/近红外光谱法是最新发展起来的一种快速无损的检测方法, 因其快速、简便、低成本、非破坏性等优点越来越受到人们的重视<sup>[5]</sup>。国内外, 用可见/近红外检测肉的研究已有很多报道。如胡耀华等<sup>[6]</sup>基于可见光和近红外光谱对肉色进行检测。Thyholt 等<sup>[1]</sup>研究了在可见/近红外波段, 识别鲜牛肉与解冻牛肉, 证实了基于可见/近红外光谱分析技术识别鲜/解冻肉的可行性。Ripoche 等<sup>[7]</sup>和 Gonzalez-Martin I 等<sup>[8, 9]</sup>实现了对肌内脂肪酸的种类及含量的检测和猪肉中矿物质的检测。Tügersen 等<sup>[10]</sup>在工业范围内对半冰冻牛肉的化学成分脂肪、湿度、蛋白质进行在线检测, 研究了不同

温度对光谱的影响以及不同的颗粒度对建模结果的影响。Anderson 等<sup>[11]</sup>利用 DA-700 近红外分析系统建立了肉品质在线检测系统, 对绞细牛肉的脂肪含量进行在线检测。Savenije 等<sup>[12]</sup>通过对肉色进行检测, 判别白肌肉(Pale, Soft, Exudative, PSE)和黑干肉(Dark, Firm, Dry, DFD)。但是国内目前尚未有鲜/解冻猪肉识别研究的报道。

本文基于自主研发的地面成像光谱辐射测量系统(以下简称 FISS), 分别对不同保存天数的鲜猪肉和解冻猪肉样品扫描成像, 获得猪肉样品的高光谱图像“立方体”数据, 利用可见/近红外波段识别鲜猪肉和解冻猪肉; 并对鲜猪肉的新鲜度在类别(天数)和等级(同一天内不同时段)上分别进行识别, 以探索一种快速可靠无损的猪肉品质鉴别方法。

## 1 实验部分

### 1.1 仪器

实验采用中科院遥感所与上海技物所联合研制地面成像光谱仪—FISS 系统。它在获取地物高分辨率图像(空间分辨率可达至毫米级)的同时, 能获取地物在可见/近红外波段的连续光谱, 具有“图谱合一”的特性。FISS 系统的主要参数见表 1<sup>[13]</sup>。

收稿日期: 2010-06-28, 修订日期: 2010-10-20

基金项目: 国家(863 计划)重点项目(2008AA121102, 2008AA121103)资助

作者简介: 张学文, 1982 年生, 中国科学院遥感应用研究所博士研究生 e-mail: zwx29887@163.com

\* 通讯联系人 e-mail: zhanglf@irsa.ac.cn

Table 1 Main parameters of FISS

波段数/个	344
光谱范围/nm	410~860
光谱分辨率/nm	优于 5
地面分辨率/mm	最高可优于 2
实验室辐射定标精度/%	优于 5
成像速率/(帧·s <sup>-1</sup> )	最高 20
扫描视场/(°)	-20~20
量化位数/位	12
信噪比	60% 波段 > 500
光谱采样间隔/nm	约 1.4

## 1.2 材料和数据获取

2010 年 5 月 18 日于市场购买刚宰杀的鲜猪肉。将来自不同部位的鲜猪肉分别均匀分成六份，一份作为鲜猪肉，其余五份用低密度的聚乙烯塑料袋包好，在 -4 °C 下冷藏。用 0~5 标记这六份猪肉。其中 0 代表鲜猪肉，1~5 分别代表冷藏的天数。

对鲜猪肉，每隔 4 h 测量一次，连续测量 3 天，直到猪肉变质。按测量天数不同分别标记为新鲜、次新鲜和变质，共 3 类；按同一天内测量时段不同分别为六级。每份冷藏猪肉各测量一天，共连续测量五天。对冷藏猪肉，数据获取前，在常温下解冻 2 h。利用三角架将 FISS 系统置于猪肉样本上方 1 m。为获取较高的数据质量，系统积分时间设置为 33 ms，相机光圈调至 11 F。室内光源为市场购买的普通卤素灯，环境温度为 25 °C 左右。主要分析软件为 ENVI 4.5 和 SPSS 15.0 等。

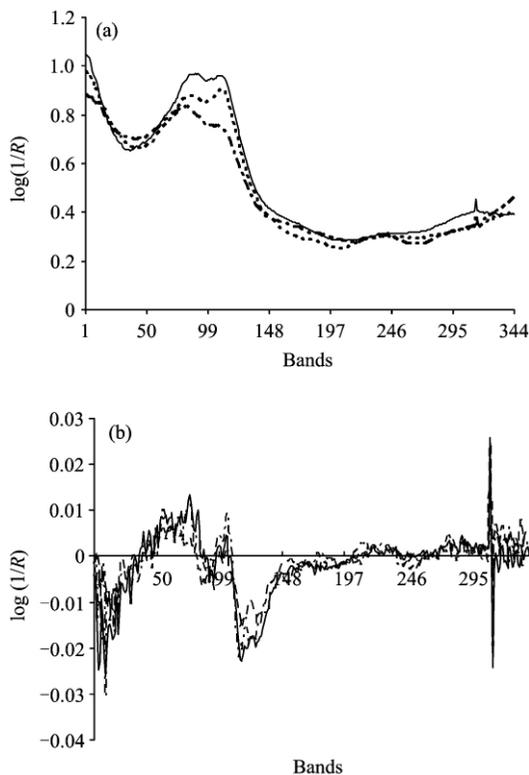


Fig 1 Comparisons of fresh pork spectral curves before (a) and after (b) preprocessing

## 1.3 数据预处理

分别对鲜猪肉和解冻猪肉样品图像“立方体”数据随机取样，每组各取得 100 个像元样本，其中 50% 的样本作为训练数据，建立判别模型，其余 50% 的样本作为验证数据，检验模型的有效性和精度。实验一共获取像元样本 2 300 个，其中有 1 800 个鲜猪肉样本，500 个冷藏猪肉样本。

由于数据在小于 410 nm 波长的信噪比较低，因此全部舍弃。对全部样本数据分别做最小噪声分离变换和一阶微分处理，以消除数据中的高频随机噪声和基线偏移，并改善数据的多重共线性<sup>[14, 15]</sup>。图 1 显示了鲜猪肉光谱曲线在预处理前后的比较，其中横坐标代表波段数，纵坐标分别代表吸收度[图 1(a)]和吸收度之差[图 1(b)]， $R$  表示反射率。

## 1.4 波段选择和分类方法

FISS 系统获取的猪肉光谱数据含有超过 300 个波段，有大量的光谱冗余，使用全部波段进行建模，会对模型的准确性产生影响。如何选择特征波段进行建模，是一个非常关键的问题。本文利用 SPSS 软件，采用 Wilks' lambda 逐步法进行猪肉的特征波长选择。在选定特征波长的基础上，采用 Fisher LDA 法(linear discriminant analysis)进行未知猪肉样本的识别。

## 2 结果与分析

### 2.1 鲜猪肉与解冻猪肉的识别

图 2 显示了鲜猪肉和解冻猪肉的识别结果。随着入选波段数目的增加，鲜猪肉和解冻猪肉的总体正确识别率快速提高。当只有一个波段时，鲜猪肉和解冻猪肉的识别率就达到 82%，该波段为 851 nm，位于近红外区域。入选的波段中还包括 704 nm，这是识别鲜肉和解冻肉的重要波段<sup>[16]</sup>。当入选波段增加到 8 个时，识别精度达到 99%。所有入选的九个特征波段的中心波长是(按入选顺序)：851, 421, 428, 704, 423, 840, 699, 854, 855 nm。

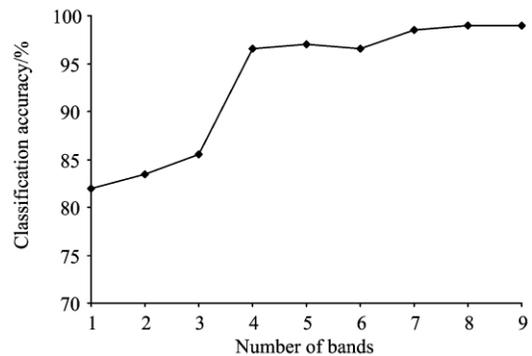


Fig 2 Classification results of fresh pork and frozen-thawed pork using selected bands

### 2.2 鲜猪肉新鲜度类别的识别

图 3 显示了鲜猪肉新鲜度类别的总体正确识别率随着入选波段数目的增加的变化情况。同样地，随着入选波段的增加，鲜猪肉新鲜度类别的识别率趋于快速增加。选择 3 个波段，识别率即达到 90%；当波段数目达到 6 个时，识别率高

达 98%。之后随着波段数目的增加, 识别率增加幅度变得十分微小, 精度趋于稳定。因此利用所选的前 6 个波段进行鲜

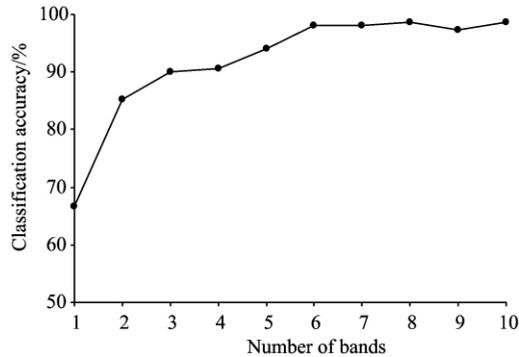


Fig 3 Classification results of freshness level of pork using selected bands

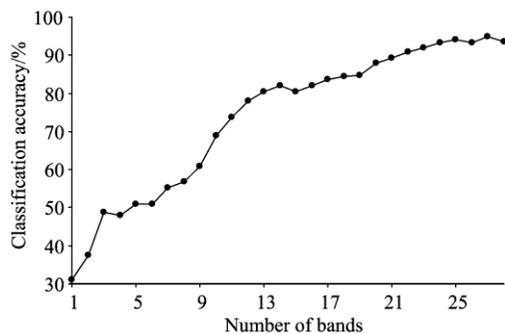


Fig 4 Classification results of freshness grade of pork using selected bands

猪肉的新鲜度类别识别可以达到比较理想的结果。所入选的 10 个特征波段的中心波长是(按入选顺序): 580, 538, 866, 752, 557, 829, 736, 593, 839 和 699 nm。

### 2.3 鲜猪肉新鲜度等级的识别

图 4 显示了鲜猪肉新鲜类不同等级的总体正确识别率随着入选波段数目增加的变化情况。随着波段数目的增加, 鲜猪肉新鲜度等级的总体识别精度有所波动, 但是整体趋势一直提高。选择入选的全部 28 个波段, 总体正确识别率可以达到 93.6%。可以看出, 到达相同水平的精度, 新鲜度等级识别所需要的波段数远多于新鲜度类别。

## 3 结论与展望

本文通过自行设计研制的 FISS 系统对市场购买的鲜猪肉进行鲜/解冻肉的分类, 猪肉新鲜度类别和等级的识别, 结论如下。

(1) 利用 8 个波段可以有效地实现对鲜猪肉和解冻猪肉的识别, 识别率高达 99%。

(2) 利用 6 个波段即可有效识别鲜猪肉的新鲜度类别, 总体正确识别率达到 98%。

(3) 利用入选的全部 28 个波段, 鲜猪肉新鲜度等级总体正确识别率可以达到 93.6%; 新鲜度等级的识别难度大于识别新鲜度类别。

结果表明, 可见/近红外光谱技术对猪肉的冷藏和新鲜度的识别时是完全可行的。FISS 系统能够用于猪肉品质的识别, 为猪肉乃至其他肉类的质量检测提供了一种快速、无损、精准且可视化的有效途径。

## References

- [1] Thyholt K, Isaksson T. *Journal of the Science and Food Agriculture*, 1997, 73: 525.
- [2] Boulter J I, Boland G J, Trevors J T. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 2000, 16: 115.
- [3] Sørensen L B. *Bulletin of International Institute of Refrigeration*, 2002, 4: 4.
- [4] Duflos G, Le F B, Mulak V, et al. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2002, 82: 1341.
- [5] LI Min-zan, HAN Dong-hai, WANG Xiu(李民赞, 韩东海, 王秀). *Spectroscopy and Its Applications(光谱分析技术及其应用)*. Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 2006.
- [6] HU Yao-hua, GUO Kang-quan, Suzuki T N, et al(胡耀华, 郭康权, 铃木孝范, 等). *Journal of Northwest A&F University(Natural Science Edition)(西北农林科技大学学报·自然科学版)*, 2008, 36(7): 160.
- [7] Ripoché A, Guillard A S. *Meat Science*, 2001, 58(3): 299.
- [8] Gonzalez-Martin I, Gonzalez-Perez C, Hernandez-Mendez J, et al. *Analytica Chimica Acta*, 2002, 468(2): 293.
- [9] Gonzalez-Martin I, Gonzalez-Perez C, Alvarez-Garcia N, et al. *Meat Science*, 2005, 69(2): 243.
- [10] Tügersen G, Arnesen J F, Nilsen B N, et al. *Meat Science*, 2003, 63: 515.
- [11] Anderson N M, Walker P N. *Transaction of the ASAE*, 2003, 46(1): 117.
- [12] Savenije B, Geesink G H, Van Der Palen J G P, et al. *Meat Science*, 2006, 73(1): 181.
- [13] TONG Qing-xi, XUE Yong-qi, WANG Jin-nian, et al(童庆禧, 薛永祺, 王晋年, 等). *Journal of Remote Sensing(遥感学报)*, 2010, 14(3): 416.
- [14] ZHANG Liang-pei, ZHANG Li-fu(张良培, 张立福). *Hyperspectral Remote Sensing(高光谱遥感)*. Wuhan: Wuhan University Press(武汉: 武汉大学出版社), 2005.
- [15] TONG Qing-xi, ZHANG Bing, ZHENG Lan-fen(童庆禧, 张兵, 郑兰芬). *Hyperspectral Remote Sensing(高光谱遥感—原理、技术与应用)*. Beijing: Higher Education Press(北京: 高等教育出版社), 2006.
- [16] Hunt M C, Acton J C, Benedict R C, et al. *Proceedings 44th Reciprocal Meat Conference*, 1991, Appendix 1.

## Fresh and Frozen-Thawed Meat Discrimination Based on FISS Imaging Spectral Data

ZHANG Xue-wen<sup>1,2</sup>, ZHANG Li-fu<sup>1\*</sup>, HUANG Chang-ping<sup>1,2</sup>, ZHENG Lan-fen<sup>1</sup>, TONG Qing-xi<sup>1</sup>

1. The State Key Laboratory of Remote Sensing Sciences, Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract** In the present paper, a self-developed Field imaging spectrometer system (FISS) was used to detect whether pork has been frozen and thawed. The preservation time of fresh pork has also been identified. Fresh and frozen-thawed pork was scanned and imaged and hyperspectral image cubes were acquired using FISS. To eliminate high-frequency random noise and baseline offset and improve the multi-collinearity, all samples were preprocessed by MNF (Minimum noise fraction) transform and first derivative. Multiple analysis models were built by using Wilks' lambda stepwise method to select proper wavelengths. Fisher LDA (linear discriminant analysis) was performed to discriminate fresh and frozen-thawed pork. Eight selected bands gave 99% correct results of fresh or frozen-thawed pork samples. For the freshness by the day, classification accuracy reached 98% with 6 selected bands, while for the freshness by the hour, classification accuracy reached 93.6% with all 28 selected bands. The results showed that FISS might be used as a screening method to identify the quality of meat.

**Keywords** FISS; Imaging spectroscopy; Pork quality discrimination; Spectral analysis

(Received Jun. 28, 2010; accepted Oct. 20, 2010)

\* Corresponding author