

畜产品品质的高光谱图像无损检测研究进展

朱荣光¹, 马本学¹, 高振江², 葛建兵¹

(1. 石河子大学机械电气工程学院, 新疆 石河子 832003; 2. 中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要:应用新兴的高光谱图像技术对畜产品品质进行无损检测是当前的研究热点之一。介绍了该技术的基本原理和分析过程, 总结分析了国内外畜产品品质高光谱图像无损检测的研究现状和存在问题, 提出了畜产品品质高光谱图像技术检测的未来研究发展方向, 以期对我国相关研究人员的研究工作提供参考。

关键词:高光谱图像; 畜产品品质; 无损检测

中图分类号:TS251; S123 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2011.10.002

Research progress in nondestructive detection of livestock product quality based on hyperspectral imaging

ZHU Rong-guang¹, MA Ben-xue¹, GAO Zhen-jiang², GE Jian-bing¹

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, China;

2. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: As an emerging nondestructive detection technology, hyperspectral imaging (HSI) for livestock product quality detection has become a research hotspot. Firstly, the basic principle and analysis process of HSI is introduced in the paper. Then the research status and existing problems in livestock product quality detection using HSI at home and abroad are summarized and analyzed. Finally, the development direction of future research in livestock product quality detection using HSI is proposed to researchers on the related study as a reference.

Key words: hyperspectral imaging; livestock product quality; nondestructive detection

1 引言

我国是畜牧业生产大国, 2009年, 畜牧业产值占农业总产值的34%, 畜牧业收入是农民收入的重要组成部分。品质检测对我国畜产品生产、消费及出口都十分重要, 传统的检测方法耗费时间长, 对样品造成破坏, 使用的化学试剂易造成环境污染。因此研究快速无损的畜产品品质检测技术, 在推动我国畜牧业健康优质发展、提高我国畜产品竞争能力和缓解环境压力等方面, 具有重要的意义。

近年来, 国内外学者对畜产品品质开展了许多无损检测研究, 常用技术主要有超声波、电磁特性、机器视觉、近红外光谱(NIRS)、智能辨识和高光谱图像(hyper spectral imaging, HSI)等^[1-5]。作为一

种新兴的光学无损检测技术, HSI融合了机器视觉和光谱分析两项技术的特点, 可以同时分析农畜产品的外在特征与内在品质, 并具有样品预处理简单、多指标同时测定、绿色、快速及无损等优点。本文从HSI技术的基本原理和分析过程, 畜产品品质HSI无损检测的研究现状、存在问题及发展方向等方面进行论述。

基金项目:石河子大学高层次人才科研启动项目(No. RCZX200943); 石河子大学科学技术研究发展计划项目(No. ZRXX2010YB05)资助。

作者简介:朱荣光(1982-), 男, 副教授, 博士, 研究方向为农畜产品无损检测。E-mail: rgzh_jd@shzu.edu.cn

收稿日期:2011-03-27; **修订日期:**2011-04-26

2 HSI 技术简介

2.1 HSI 技术基本原理及系统组成

HSI 利用畜产品在紫外、可见或近红外等光谱区域的分光反射特性揭示其品质参数。HSI 数据由一系列连续波长处的光学图像组成, 又称三维数据块, 其中二维代表的是图像的空间信息, 第三维是波长信息, 其光谱分辨率通常可达 $2 \sim 3 \text{ nm}$ 。样品的高光谱图像数据示意图如图 1 所示, 既有特定波长下的图像信息 (以坐标 x 和 y 表示), 又有特定像素下的光谱信息 (以 λ 表示)。HSI 技术可用于分析农畜产品的外在特征或内在品质, 另外, 由于高光谱图像中相似光谱特性的区域具有相似的化学成分, 通过图像处理可以实现样品组成成分或理化性质的可视化^[6]。

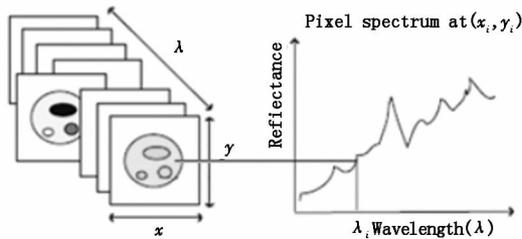


图 1 样品的高光谱图像数据示意图

Fig. 1 schematic diagram of sample HSI data

根据三维数据块获取方法的不同可将 HSI 系统分为两种。第一种是基于滤波器或滤光片的 HSI 系统, 它通过连续采集样品一系列波长下的二维图像获得高光谱图像数据; 第二种是基于图像光谱仪的 HSI 系统, 它采用“推扫式”成像方法获得高光谱图像数据。一套典型的“推扫式”HSI 系统主要由光源、镜头、成像光谱仪、CCD 相机、采集系统、平移控制系统及计算机等组件组成, 如图 2 所示。

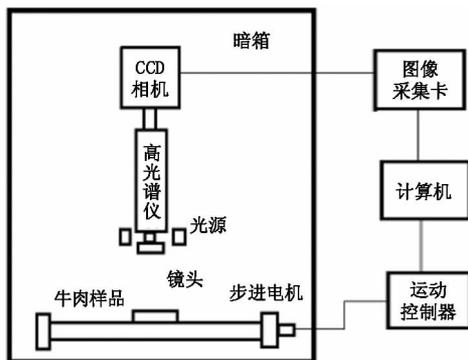


图 2 “推扫式”HSI 系统组成

Fig. 2 components of a push-broom HSI system

2.2 HSI 技术的分析过程

现有许多技术可用于畜产品品质的 HSI 分析, 其分析过程主要由数据预处理, 数据降维, 提取特征

信息及建立预测模型等步骤组成, HSI 技术的典型分析过程如图 3 所示。

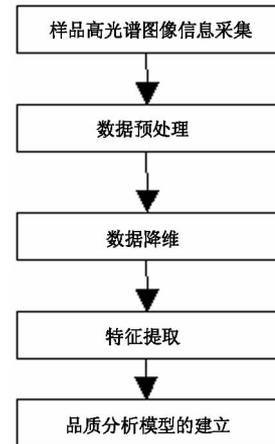


图 3 高光谱图像数据分析流程

Fig. 3 the flow chart of HSI data analysis

2.2.1 数据预处理

预处理通常是去除光谱信息中的非化学偏差 (如由于表面不均匀性带来的散射影响), 并准备用于后续分析的数据。常见的预处理方法主要包括 S-G 平滑、基线校正、中心化与导数处理等。另外一些图像操作也在预处理阶段进行, 包括阈值分割和掩膜处理等, 以去除多余背景信息, 并提取感兴趣的区域点 (ROIs)。

2.2.2 数据降维及特征提取

高光谱图像数据由大量包含连续波长光谱信息的图像组成, 因其光谱分辨率较高, 这使得对畜产品品质的检测结果较准确。但不同波段或相邻波段图像数据间相关性大, 冗余信息多, 不利于数据的处理和特征的提取。因此, 选择合适的降维方法, 可以在不损失重要信息的前提下最大限度地反映原始信息, 而特征提取紧随数据降维, 而且通常两者方法相似。常用的降维和特征提取方法主要有主成分分析 (PCA)、独立成分分析 (ICA)、逐步回归分析、偏最小二乘 (PLS)、遗传算法 (GA)、灰度共生矩阵 (GLCM) 法等。

2.2.3 分析模型的建立

由于高光谱图像数据具有波段数多、光谱分辨率高、数据量大等特点, 因此选择合理的建模方法对畜产品品质检测非常重要。在数据降维和特征提取处理后, 对获得的图像特征和光谱特征, 通过聚类、多元线性回归 (MLR)、偏最小二乘回归 (PLSR)、主成分回归 (PCR)、人工神经网络 (ANN) 和支持向量机 (SVM) 等方法建立分析模型, 实现对畜产品品质的检测及评价。

3 国内外研究进展

国际上应用 HSI 技术开展畜产品检测的研究最早始于 1998 年^[7], 该技术应用在中国畜产品检测研究领域则始于 2005 年左右, 目前国内外仅检索到少数几个实验室从事 HSI 技术的畜产品品质分析研究。HSI 技术在畜产品品质检测分析的应用研究主要有表面安全检测和肉质评价两个大的方向。

3.1 国外研究进展

3.1.1 国外畜产品的 HSI 表面安全检测研究

国外畜产品的 HSI 安全检测研究主要集中在对鸡皮肤肿瘤和胴体表面污染物的检测, 研究表明该技术检测水平较高, 完全可以代替人工肉眼检测。1998 年, Lu 等^[7]开展了 HSI 区分正常与非正常禽肉的初步研究, 并设计了一套 HSI 系统(425 ~ 950 nm)。Cao 等^[8]利用 HSI 开展了鸡皮肤肿瘤的检测研究, 通过 PCA 降维获得 3 个特征波长, 提取其比例图像的特征作为模糊分类器的输入, 具有很高的预测准确性。Kong 等^[9]研究了鸡皮肤肿瘤的高光谱荧光图像检测, 对 HSI 的预处理方法采用一级离散小波变换, 提取 2 个特征波长处的参数作为模糊分类器的输入。Park 等^[10-11]研究了排泄物及摄取食物对禽肉的污染问题, 利用 PCA 处理获得 4 个特征波长, 比例图像(565 nm/517 nm)经直方图拉伸处理后, 能有效地区分出污染物。Windham 等^[12]利用 HSI 系统使用逐步线性回归研究了区分禽肉污染物特征波长, 比例图像(574 nm/588 nm)有更好的分辨效果。Cho 等^[13]开展了基于 HSI 系统选择多个特征波长检测屠宰厂固定设备上粪便残留物的研究, 检测准确率达 99.7%。

3.1.2 国外畜产品的 HIS 肉质评价研究

国外 HSI 技术在畜产品肉质评价研究主要集中在品质分级和常见品质指标预测等方面。Qiao 等^[14]使用 HSI 技术提取猪肉的光谱特征进行其品质分级研究, 通过 PCA 获得多个主成分作为聚类和 ANN 的输入, 其分类准确率最高达到了 85%。Qiao 等^[15]利用高光谱图像技术对猪肉的 3 种常用品质指标: 滴水损失、PH 和肉色进行了预测评价研究, 结果显示: 滴水损失、PH 和肉色 3 种指标的预测相关系数分别为 0.77、0.55 和 0.86, 猪肉可以通过滴水损失或肉色指标成功进行分类。Liu 等^[16]在 Qiao 的基础上利用 Gabor 滤波器开展了对猪肉分级的优化, 通过二维 Gabor 函数过滤高光谱图像并提取纹理特征, 通过 PCA 提取光谱特征, 分类准确类有较大提高。Naganathan 等^[17-18]分别利用 400 ~

1000 nm 和 900 ~ 1700 nm 范围的 HSI 开展了牛肉嫩度的分类研究, 分别利用 PCA 和偏最小二乘回归(PLSR)提取特征变量和特征波段, 应用 GLCM 方法提取图像二阶统计矩纹理特征, 采用典型判别分析(CDA)方法建模, 分类准确率分别达到了 96.4% 和 77.0%。ElMasry 等^[19]使用 HSI 技术(900 ~ 1700 nm)对不同成分和处理方式的火鸡火腿切片进行品质分级, 通过 PCA 选择 8 个特征波长, 利用线性判别分析(LDA)进行分类, 证明了 HSI 技术对煮熟火鸡火腿切片分级的可行性。Kamruzzaman 等^[20]利用 HSI 开展了不同羔羊肌肉(半腱肌、背长肌、腰肌)的识别研究, 利用 PCA 进行降维、波长选择与数据可视化, 选择了 6 个主成分进行 LDA 分类, 正确率为 100%, 并建立了肌肉上的特征分布图。

3.2 国内研究进展

国内刘木华和赵杰文等^[3]率先对 HSI 技术在农畜产品品质无损检测领域的研究进展作了综述。目前 HSI 技术在国内畜产品检测的应用研究报道, 主要集中在中国农业大学彭彦昆教授的研究团队。彭彦昆和张静等^[21]利用 HSI 系统对 29 个牛肉样品中的细菌总数进行了预测分析, 研究分别比较了基于不同预处理方法、基于不同洛伦兹参数和回归方法、基于反射特征曲线和扩散特征曲线的建模效果, 表明 HSI 技术可以用于检测牛肉的微生物腐败。高晓东^[22]利用 HSI 技术开展了牛肉大理石花纹的评级研究(1 ~ 4 级), 大理石花纹阈值提取波长为 530 nm, 提取了大颗粒、中颗粒和小颗粒脂肪密度等三个大理石花纹特征参数, 基于 MLR 和全交互验证所建立校正模型的验证决定系数和交互验证标准差分别为 0.92 和 0.45。吴建虎等^[23-24]利用 HSI 技术开展了同时预测新鲜牛肉的嫩度、颜色、PH 值与系水力等品质参数的可行性, 研究分别比较了利用反射光谱和洛伦兹散射光谱、MLR 和 PLSR 方法对各品质参数预测效果和对嫩度分级结果的影响, 表明通过逐步回归提取特征波长、利用洛伦兹散射特征光谱和 MLR 建模可以较好的预测嫩度、颜色、PH 值, 并能对嫩度准确分级。

3.3 国内外研究小结

目前国内外应用 HSI 技术开展畜产品品质的检测研究主要集中在几个实验室; 主要以鸡肉、牛肉与猪肉为对象, 另外分别有一篇针对羊羔与火腿的研究报道; 检测指标主要有皮肤肿瘤、表面污染物、嫩度、颜色、滴水损失、pH 值、系水力与细菌总数等; 对

畜产品的品质分级主要有基于嫩度、大理石花纹、颜色、肌肉类别等的分类或分级;在特征提取方面,主要通过 PCA 或 PLS 与 GLCM 方法相结合提取图像特征,通过 PCA,PLS 或逐步回归提取光谱特征,另外还有 ICA,GA 可用于特征提取;在建模方法方面,主要应用了 MLR,PCR,PLSR,聚类、LDA,CDA 与 ANN 等,另外还有支持向量机(SVM)可用于其建模。

4 结论与展望

由于 HIS 技术能同时获取待测畜产品丰富的图像和光谱信息,能对畜产品品质进行无损检测和综合评价,因而该技术在畜产品品质检测方面有广阔的应用前景。目前国内外应用 HSI 技术开展畜产品品质的检测研究属于刚兴起的热点领域,并取得了带有引导性的成果。今后可在以下三个方面做进一步深入研究,使 HSI 技术更好的应用于我国畜牧业生产中:

(1)应用 HSI 技术探讨其他重要畜产品品质指标的可行性研究,如新鲜度、重金属含量等,扩展 HSI 技术在畜产品检测的研究领域。

(2)应用各种化学计量学、模式识别和信息融合方法,改善 HSI 对畜产品品质指标的特征提取效果和建模效果,提高所建模型的预测精度和适应性。

(3)应用 HIS 技术的研究成果开发畜产品品质的多光谱快速无损检测分级设备并实现在线检测分级,将这一无损检测技术逐步应用到实际中,促进畜牧业的优质化和标准化发展。

参考文献:

- [1] Tu Kang. Advances in non-destructive measurement techniques for quality detection of meat[J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, 2005,33(1):25-28. (in Chinese)
屠康. 肉类品质无损检测技术的研究进展[J]. 西北农林科技大学学报,2005,33(1):25-28.
- [2] Xu Xia, Cheng Fang, Ying Yibin. Application and recent development of research on near-infrared spectroscopy for meat quality evaluation[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2009,29(7):1876-1880. (in Chinese)
徐霞,成芳,应义斌. 近红外光谱技术在肉品检测中的应用和研究进展[J]. 光谱学与光谱分析,2009,29(7):1876-1880.
- [3] Liu Muhua, Zhao Jiewen, Zheng Jianhong, et al. Review of hyperspectral imaging in quality and safety inspections of agricultural and poultry products[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2005,36(9):139-143. (in Chinese)
刘木华,赵杰文,郑建鸿,等. 农畜产品品质无损检测中高光谱图像技术的应用进展[J]. 农业机械学报,2005,36(9):139-143.
- [4] Guo Peiyuan, Qu Shihai, Chen Yan, et al. Study on intellectual detection techniques to freshness of pork [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006,37(8):78-81. (in Chinese)
郭培源,曲世海,陈岩,等. 猪肉新鲜度的智能检测方法[J]. 农业机械学报,2006,37(8):78-81.
- [5] Peng Yanying, Sun Xudong, Liu Yande. Research progress of hyperspectral imaging in nondestructive detection of fruits and vegetables quality[J]. Laser & Infrared, 2010,40(6):586-592. (in Chinese)
彭彦颖,孙旭东,刘燕德. 果蔬品质高光谱成像无损检测研究进展[J]. 激光与红外,2010,40(6):586-592.
- [6] Gowena A A, Donnell C P, Cullen P J, et al. Hyperspectral imaging-an emerging process analytical tool for food quality and safety control[J]. Trends in Food Science & Technology, 2007,18(12):590-598.
- [7] Lu R F, Chen Y R. Hyperspectral imaging for safety inspection of food and agricultural products [C]. Proceedings of SPIE, 1999,3544:121-133.
- [8] Cao K, Mehl P M, Chen Y R. Use of hyper-and multi-spectral imaging for detection of chicken skin tumors[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2002,18(1):113-119.
- [9] Kong S G. Inspection of poultry skin tumor using hyperspectral fluorescence imaging [C]. Proceedings of SPIE, 2003,5132:455-463.
- [10] Park B, Lawrence K C, Windham W R, et al. Hyperspectral imaging for detecting fecal and ingesta contamination on poultry carcass [J]. Transactions of ASAE, 2002,45(6):2017-2026.
- [11] Park B, Lawrence K C, Windham W R. Hyperspectral imaging for food processing automation [C]. Proceedings of SPIE, 2002,4816:308-316.
- [12] Windham W R, Smith D P, Park B, et al. Algorithm development with visible/near-infrared spectra for detection of poultry feces and ingesta [J]. Transactions of ASAE, 2003,46(6):1733-1738.
- [13] Cho B K, Chen Y R, Kim M S. Multispectral detection of organic residues on poultry processing plant equipment based on hyperspectral reflectance imaging technique [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2007,57(2):177-189.
- [14] Qiao J, Ngadi M O, Wang N, et al. Pork quality and mar-

- bling level assessment using a hyperspectral imaging system[J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 83: 10 – 16.
- [15] Qiao J, Wang N, Ngadi M O, et al. Prediction of drip-loss, pH, and color for pork using a hyperspectral imaging technique[J]. *Meat Science*, 2007, 76: 1 – 8.
- [16] Liu L, Ngadi M O, Prasher S O, et al. Categorization of pork quality using gabor filter-based hyperspectral imaging technology[J]. *Journal of Food Engineering*, 2010, 99: 284 – 293.
- [17] Naganathana G K, Grimes L M, Subbiaha J. Visible/near-infrared hyperspectral imaging for beef tenderness prediction[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2008, 64: 225 – 233.
- [18] Naganathan G K, Grimes L M, Subbiah J. Partial least squares analysis of near-infrared hyperspectral images for beef tenderness prediction[J]. *Sens. & Instrumen. Food Qual.*, 2008, 2: 178 – 188.
- [19] ElMasry G, Iqbal A, Sun D W, et al. Quality classification of cooked, sliced turkey hams using NIR hyperspectral imaging system[J]. *Journal of Food Engineering*, 2011, 103: 333 – 344.
- [20] Kamruzzaman M, ElMasry G, Sun D W, et al. Application of NIR hyperspectral imaging for discrimination of lamb muscles[J]. *Journal of Food Engineering*, 2011, 104: 332 – 340.
- [21] Peng Yk, Zhang J, Wang W, et al. Potential prediction of the microbial spoilage of beef using spatially resolved hyperspectral scattering profiles[J]. *Journal of Food Engineering*, 2011, 102: 163 – 169.
- [22] Gao Xiaodong. Hyperspectral scattering profiles for prediction of the microbial spoilage of beef[D]. Beijing: China Agricultural University, 2009. (in Chinese)
高晓东. 基于高光谱成像技术的牛肉大理石花纹的评估[D]. 北京: 中国农业大学, 2009.
- [23] Wu Jianhu. Prediction of beef quality attributes using hyperspectral scattering imaging technique [D]. Beijing: China Agricultural University, 2010. (in Chinese)
吴建虎. 利用高光谱成像技术预测新鲜牛肉品质参数[D]. 北京: 中国农业大学, 2010.
- [24] Wu Jianhu, Peng Yankun, Jiang Fachao, et al. Hyperspectral scattering profiles for prediction of beef tenderness[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2009, 40(12): 130 – 134. (in Chinese)
吴建虎, 彭彦昆, 江发潮, 等. 牛肉嫩度的高光谱法检测技术[J]. *农业机械学报*, 2009, 40(12): 130 – 134.