

基于特征融合的猪肉新鲜度高光谱图像检测

朱启兵¹, 肖盼¹, 黄敏¹, 尹克²

(1. 江南大学,轻工过程先进控制教育部重点实验室,江苏 无锡 214122; 2. 杭州电子科技大学,电子信息学院,浙江 杭州 310018)

摘要: 利用高光谱反射图像技术研究了猪肉新鲜度的无损检测。采集了 180 个猪肉样本在 400~1 000 nm 范围内的高光谱反射图像,提取了高光谱图像的光谱均值和熵两类特征;分别利用连续投影算法、主成分分析,以及连续投影算法结合主成分分析 3 种特征降维方法,提取了反映肉类新鲜度信息的重要特征变量;并建立了这些特征变量与挥发性盐基氮(TVB-N)的最小二乘支持向量机(LSSVM)预测模型;在此基础上提出了猪肉 TVB-N 含量的可视化检测方法。研究结果表明:相比于单一特征模型,利用光谱均值和熵融合特征的 LSSVM 模型可显著提高模型的准确度;连续投影算法结合主成分分析的特征降维方法,可显著降低模型的复杂度,提高模型准确度。利用光谱均值和熵两类特征,通过连续投影算法和主成分分析相结合的特征降维方法所建立的 LSSVM 预测模型,可取得最佳的预测准确度,其预测集的均方根误差 RMSEP 为 1.96,相关系数(RP)为 0.948,剩余预测偏差(RPD)为 3.12,可满足实际检测需要。建立在此基础上的可视化方法,可直观显示肉类的腐败区域和程度。

关键词: 猪肉;高光谱图像;挥发性盐基氮;特征融合;特征降维;可视化检测

中图分类号:R 155.5 文献标志码:A 文章编号:1673—1689(2015)03—0246—07

Feature Fusion for Detection of Pork Freshness Based on Hyperspectral Imaging Technology

ZHU Qibing¹, XIAO Pan¹, HUANG Min¹, YIN Ke²

(1. Key Laboratory of Advanced Process Control for Light Industry, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. School of Electronic Information, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: It is of great importance for quick and nondestructive detection of meat freshness to ensure the quality of meat products and reduce the risks of food safety accidents. In this manuscript, the hyperspectral imaging technology has been used to study the nondestructive detection of pork freshness. The hyperspectral reflectance images between 400 and 1 000 nm of 180 pork samples were acquired. The mean and entropy feature were calculated from the hyperspectral reflectance image. Successive Projection Algorithm(SPA), Principal Component Analysis(PCA), and SPA combined with PCA were respectively used to extract the important feature variables which reflect well the characteristics of the meat freshness. And the Volatile Base Nitrogen (TVB-N)

收稿日期: 2014-05-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(61275155、61271384),浙江省公益项目(2013C32044)。

作者简介: 朱启兵(1973—),男,安徽合肥人,工学博士,副教授,主要从事农产品无损检测、图像处理方面的研究。

E-mail: zhuqib@163.com

prediction models using Least Squares Support Vector Machine (LSSVM) were developed. On this basis, a visual detection method for the TVB-N content of pork was raised. The results demonstrated that: it can significantly improve the precision of model using the fusion of the mean and entropy features; and the feature dimension reduction method of SPA combined with PCA can significantly reduce the complexity of the model, while improving the model accuracy. The LSSVM prediction model using the fusion feature of mean and entropy based on dimension reduction method of SPA combined with PCA can obtain the best prediction accuracy. The Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP) is 1.96, and the Relevance of Prediction (RP) is 0.948. The Residual Prediction Deviation (RPD) is 3.12, which meet the needs of the actual detection for pork freshness. The visualization detection method for pork freshness can display directly and clearly the area and degree of meat corruption.

Keywords: pork, hyperspectral image, TVB-N, feature fusion, feature dimension reduction, visual detection

肉类食品含有丰富的蛋白质、脂肪、矿物质等,可提供给人体丰富的营养物质,是人类膳食结构的重要组成部分。肉类产品在加工、包装、贮藏、运输等环节易受到酶、微生物等作用,发生腐败变质。腐败变质的肉不仅营养价值和口感发生改变,甚至会产生有毒物质,危害身体健康,引发食品安全事故。近年来,我国肉类产品的流通量和流通距离呈不断增长的态势,随之而来的是不断增大的肉类腐败变质风险,以及由此产生的食品安全事故。因此,迫切需要解决肉类新鲜度的快速无损检测问题^[1-2]。

根据国家鲜、冻畜禽肉的卫生标准,对肉类新鲜度的评定主要采用感官指标与实验室理化指标分析相结合的方法。感官指标检测方法主要是人工对肉类的色泽、气味等进行评价,具有快速性、现场性等特点;但感官指标检测的准确性依赖于检验人员的经验,同时存在着主观性、结果不宜量化的缺点。实验室理化指标分析方法主要是针对肉类在腐败过程中的物理化学指标的变化特性,通过测定某一相关指标的含量实现肉类新鲜度检测的方法。目前主要有:pH值、挥发性盐基氮(TVB-N)、三甲胺等指标测定方法^[3]。上述方法通常都需要复杂的物理或化学预处理,存在操作步骤繁琐、测定速度慢、破坏检测样品等缺点,无法满足肉类新鲜度快速、无损检测的要求。

肉类新鲜度无损检测的准确度依赖于准确、全面地获取反映肉类新鲜度的特征信息^[4]。近年来,国内外学者尝试用机器视觉^[5]、电子鼻^[6]、近红外光谱

分析^[7]、稳态空间分辨光谱分析^[8]、多传感器融合^[9]等技术进行肉类新鲜度的快速无损检测。这些技术为肉类新鲜度快速无损检测提供了新的途径和思路。

近年来,具有光谱、图像集成优势的高光谱图像技术也被应用到肉类的新鲜度检测中^[10-11]。相比于机器视觉技术或光谱分析技术,高光谱图像技术检测的被测物既有图像信息又有光谱信息,其图像信息包含了被测物体的形态学特征以及丰富的光谱信息,可以反映被测物体的物理结构、化学成分等。这些数据信息为肉类新鲜度的检测提供了充分的信息保证。但是遗憾的是,在肉类新鲜度高光谱图像检测中,仍多是提取单一的光谱特征来构建模型。这一方面浪费了高光谱图像带来的丰富信息;另一方面猪肉的腐败变质是一个复杂的过程,导致依赖于单一特征的评价模型在准确度及模型的鲁棒性上无法满足应用需求。

本论文作者从高光谱图像的特征提取入手,通过对高光谱图像中光谱特征、熵特征的充分提取,获取反映肉类新鲜度的全面信息。同时针对多特征融合易产生的信息冗余,及随之导致的模型过拟合问题,利用连续投影算法(successive projections algorithm, SPA)、主成分分析(principal component analysis, PCA)等方法对波段(特征)信息进行降维处理,降低了特征信息的冗余复杂度。研究结果表明:相比于光谱、熵等单一特征,基于多特征融合的光谱图像检测方法,可显著提高肉类新鲜度的检测准确度。

1 材料与方法

1.1 实验材料和高光谱图像采集

实验猪肉购自无锡天鹏食品城,将10条新鲜屠宰猪的里脊部位切割制作为186个长宽高为5 cm×4 cm×2.5 cm的样本,每个样本约50 g。用保鲜袋将样本密封放置恒温为4℃的冰箱内保存。分别在第1—14和第17—20天每天取出10个样本进行实验;其余为第21天完成。需要说明的是:由于第11—14天的TVB-N值变化非常小,并且考虑到建模需要足够多的腐败样本,因此第15、16天没有进行实验。实验前,参照参考文献[10],去掉样本外包装,在空气中暴露30 min,使表面水分蒸发后,开始采集高光谱图像。

猪肉样本的高光谱图像采集,采用参考文献[12]所示的高光谱图像采集系统采集。相关实验参量设置为:物距25 cm,空间分辨率0.15 mm,光谱像素进行倍数10的合并操作(即实际的高光谱波段间隔为6.4 nm),曝光时间180 ms,运动平台步长为80 μm。

对采集好高光谱图像的猪肉样本,立即通过半微量凯氏定氮法(GB/T5009.44-2003)测定其挥发性盐基氮含量^[13],作为衡量肉类新鲜度的标准。

1.2 数据处理

1.2.1 高光谱图像预处理 为降低外界环境以及仪器噪音等带来的影响,每采集5幅图像做一次校正,即试验前先采标准白板和全黑背景图像,利用公式(1)进行校正:

$$A_i = \frac{\overline{X}_i - R_i}{\overline{R} - R_i} \quad (1)$$

式(1)中, $\overline{X}_i$ 、 $\overline{R}$ 和 R_i 分别表示第*i*个波段下样品的高光谱反射图像、标准白板图像和全黑背景图像。

1.2.2 特征提取 对校正后的高光谱图像进行图像中值滤波、增强处理;基于波长600 nm处的图像非常清晰,使用自动阈值分割方法在该波长下对每个猪肉样本提取轮廓;在相应猪肉样本的轮廓内对每个波长下的图像,提取熵和光谱特征。光谱的均值特征能反应出肉样的内部化学成分变化信息;而熵特征主要反映出纹理结构、组织成分变化范围及程度的均匀性。

光谱均值特征 $A_{\text{mean}}^{(s,t)}$ 和熵 $B_{\text{entropy}}^{(s,t)}$ 的计算公式为:

$$A_{\text{sum}}^{(s,t)} = \sum_{i_r=1}^m \sum_{i_c=1}^n A_{(i_r,i_c)}^{(s,t)} \quad (2)$$

$$A_{\text{mean}}^{(s,t)} = A_{\text{sum}}^{(s,t)} / N_s \quad (3)$$

$$B_{\text{entropy}}^{(s,t)} = \sum_{i_r=1}^m \sum_{i_c=1}^n -\frac{A_{(i_r,i_c)}^{(s,t)}}{A_{\text{sum}}^{(s,t)}} \log_2 \frac{A_{(i_r,i_c)}^{(s,t)}}{A_{\text{sum}}^{(s,t)}} \quad (4)$$

式(2)(3)(4)中, $A_{(i_r,i_c)}^{(s,t)}$ 表示第*s*个样本在第*t*个波段下高光谱图像矩阵第*i_r*行第*i_c*列的相对光强值, N_s 表示第*s*个样本所提取轮廓内高光谱图像中像素点的个数。

为了进一步去除噪音,将提取特征后的光谱均值特征及熵特征数据进行5点平滑处理;并通过对均值特征和熵特征数据的综合分析,剔除了6个奇异样本,共保留180个样本进行分析。

1.2.3 特征建模 高光谱图像特征与TVB-N之间存在着某种程度的非线性关系,作者采用最小二乘支持向量机(Least Squares Support Vector Machine, LSSVM)作为建模工具,具体建模方法参照文献[14]进行。考虑到利用多特征进行肉类新鲜度检测时,会带来的LSSVM过拟合风险,将SPA、PCA,以及它们的结合(先通过SPA对原始特征进行选择,再利用PCA进行主成分提取,简记为SPA+PCA)引入到肉类新鲜度高光谱图像检测中,实现对高维原始特征的降维,达到降低LSSVM过拟合风险,提高检测准确度的目的。

1.2.4 模型性能评价 本文中主要通过比较测试集中预测值与标准值的相关系数(RP)、其均方根误差(Root Mean Square Error for Prediction, RMSEP),以及剩余预测偏差(Residual Prediction Deviation, RPD)的大小来判定模型的好坏。RP越大表示预测准确度越高,RMSEP越小说明预测值越准确。RPD反映模型的稳健性,RPD越大,表示模型的稳健性越高^[15]。为了充分验证模型的稳定性与鲁棒性,采用30次随机仿真实验,即每次实验从去除奇异样本后的180个样本中随机选择3/4(135个)作为建模集建立预测模型,剩余样本(45个)作为预测集;并将30次随机抽样的仿真平均结果作为依据。

2 结果与分析

2.1 TVB-N值随时间的变化

按国家标准GB2722,TVB-N含量值^[16]:TVB-N值小于15 mg/hg表示新鲜,大于15 mg/hg而小于25 mg/hg表示次新鲜,大于25 mg/hg表示腐败。图

1 给出了平均 TVB-N 含量随储存时间的变化关系。

从图 1 中可以看出,TVB-N 的含量随储存时间的增加呈递增趋势,其中第 1—3 天比较稳定;第 4—9 天变化缓慢;第 3—4 天有显著的变化,是因为前 3 d 保鲜袋内有空气,使假单胞菌等有氧细菌增加,导致蛋白质分解增加;第 10—11 天也有显著的变化,是因为随着保鲜袋内现有空气的消耗,有氧细菌减少,乳酸菌等无氧细菌此时达到高峰,导致蛋白质分解速度加快。并且从图 1 中可以看出,猪肉样本在第 4 天且从第 5 天开始基本变为次新鲜,从第 15 天开始肉样基本变腐败^[17-18]。

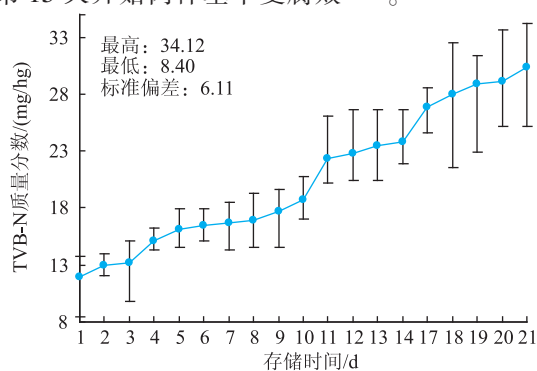


图 1 TVB-N 值随存储时间的变化

Fig. 1 TVB-N values of different storage time

2.2 特征曲线的比较

图 2 和图 3 分别展现了第 1 天、第 5 天、第 10 天、第 14 天、第 17 天、第 21 天猪肉样本高光谱图像的均值特征曲线和熵特征曲线。其中每条特征曲线由每天所有特征曲线求平均后得到。

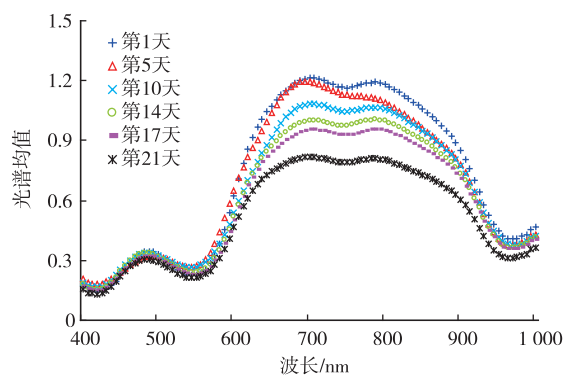


图 2 均值特征曲线

Fig. 2 Curve of mean feature

从图 2 可见,在 420、550、760 nm 及 980 nm 附近都呈现了明显的化学物质吸收特性。其中 420 nm 附近为脱氧肌红蛋白质、氧合肌红蛋白质和高铁肌

红蛋白质的吸收峰值;560 nm 附近为肌红蛋白质的氧化导致的吸收峰;760 nm 附近为血红蛋白以及肌红蛋白质的吸收峰;980 nm 左右为水吸收峰^[19-20]。而且从图 2 还可以看出,相对反射光强值随时间增加而变小。原因在于,随着储存时间的增加,肉体表面颜色变暗,并伴随着肉体的腐败糜烂,从而导致肉体表面的相对反射光强变小。

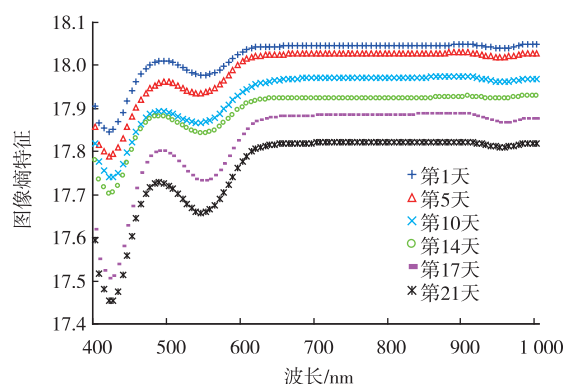


图 3 熵特征曲线

Fig. 3 Curve of entropy feature

从图 3 中可以看出,熵值随肉的储存时间的增加呈变小趋势。熵值越大说明肉的组织均匀性越好。在储存的早期,肉的表面纹理结构较均匀,熵值也较大;随着时间的增加,猪肉样本的腐败由小的区域慢慢扩展,导致组织表面纹理的均匀性变差,从而使得熵值变小。而且从图 3 还可以看出,分别在 420 nm 以及 560 nm 处出现了谷值,而在这两处正好是图 2 中肌红蛋白质的两处吸收峰,由此说明随着猪肉的腐败,蛋白质的加速分解,肌红蛋白质的变化呈现出极大的不均匀性。

2.3 在全波段条件下不同特征建模结果的比较

表 1 给出了光谱均值特征 (Mean, M)、熵特征 (Entropy, E) 以及两者融合特征 (Mean+Entropy, EM) 的建模结果。从表 1 中可以看出,在全波段条件下,光谱均值特征的预测误差 RMSEP 为 3.15,要优于熵特征的 3.22。可能的原因在于熵特征更易受到实验样品部位、实验时样品排放密实情况等因素的较大影响。尽管利用光谱均值特征建立的预测模型准确度要高于熵值特征,但是其 RPD 也仅为 1.94。当采用两种特征融合方式后,预测误差 RMSEP 降低到 2.16,RPD 提高到 2.83,说明融合特征能够弥补单一特征对肉类新鲜度表征能力的不足,可显著提高肉类新鲜度的预测准确度。

表 1 3 个特征在 4 个模型下 30 次随机的平均正确预测准确度

Table 1 Average result of random 30 times for three features in four models

方 法	特 征	变 数	RC	RMSEC/ (mg/hg)	RP	RMSEP/ (mg/hg)	RPD
ALL	E	94	0.951	1.84	0.853	3.22	1.90
	M	94	0.947	1.94	0.864	3.15	1.94
	EM	188	0.992	0.76	0.937	2.16	2.83
SPA	E	25	0.952	1.83	0.844	3.30	1.85
	M	39	0.937	2.10	0.853	3.34	1.83
	EM	33	0.978	1.26	0.945	1.99	3.07
PCA	E	26	0.986	0.98	0.901	2.71	2.25
	M	29	0.995	0.58	0.906	2.59	2.36
	EM	27	0.982	1.14	0.939	2.10	2.91
SPA+PCA	E	20	0.986	0.97	0.909	2.58	2.37
	M	25	0.983	1.06	0.912	2.49	2.45
	EM	23	0.987	0.94	0.948	1.96	3.12

2.4 不同特征降维方式下建模结果的比较

由表 1 可知,对于单一特征,SPA 特征选择后的模型预测准确度和 RPD 有了一定程度的下降。可能的原因在于 SPA 在寻找最低限度冗余信息的变量时会降低信号的信噪比^[21]。在特征较少时,由于单一特征缺少信息的互补作用,干扰信息对建模准确度的影响变得更为严重。而对于融合模型,其准确度和 RPD 得到了提高,说明融合特征在去除冗余特征后,两种特征之间的互补作用仍然得到有效保留,减弱了干扰信息对模型性能的影响,提高了模型的预测能力和鲁棒性。

由于 PCA 不仅能有效去除原始特征的冗余信息,还可以去除原始特征中的干扰信息。因此,相比于全波段 LSSVM 模型,无论是单一特征,还是融合特征,其建模准确度和 RPD 都得到了提高。需要说明的是,本文中 PCA 主成分数目的选择依据主成分特征的贡献率 95% 确定。

当采用 SPA+PCA 进行特征降维后,原始特征信息间的冗余性和干扰信息得到了进一步的压缩抑制。相比于全波段、SPA、PCA 模型,无论是单一特征,还是融合特征,其模型准确度最高。其 RPD 达到 3.12,说明模型性能优异,可以满足实际应用需求。图 4 为 30 次随机实验中其中一次结果的相关系数图。结果表明:SPA 筛选了少量的信息量丰富且具有代表性的特征变量,大大降低了特征变量信息的

冗余度;利用 PCA 进一步降维去噪,提取特征变量的主成分进行分析,使模型的准确度及鲁棒性进一步得到提升。

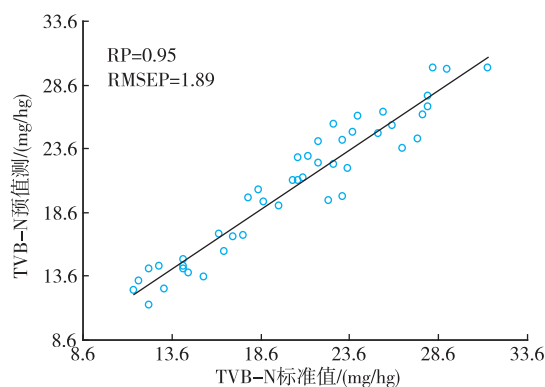


图 4 融合特征的预测模型结果

Fig. 4 Result of prediction model for fusion feature

2.5 猪肉新鲜度可视化检测

考虑到肉类的腐败变质是一个从局部到整体发展的过程,可视化地识别肉样的腐败变质部位及程度对于肉类新鲜度检测具有重要意义。利用本文 2.4 节获得的最佳模型,建立猪肉腐败变质部位及其程度的可视化图形方法,即利用上述建模方法计算猪肉高光谱图像每个像素点所对应的 TVB-N 含量值,然后用猪肉高光谱图像每个像素点所得到的 TVB-N 含量值取代每个像素点的光强值,从而得到一幅由 TVB-N 含量值所构成的图像,如图 5 所示。

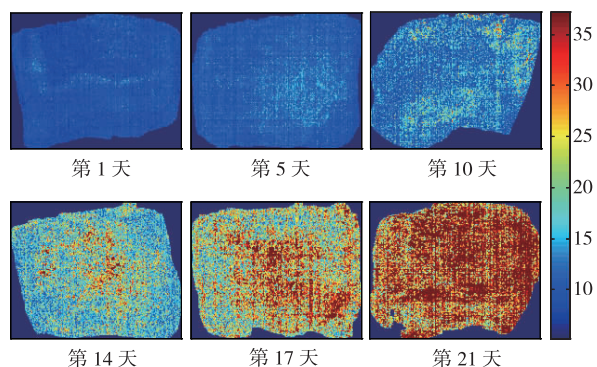


图5 不同存储时间猪肉样本新鲜度的可视化检测结果

Fig. 5 Visual detection of freshness of pork samples at different storage time

图5直观地体现出猪肉样本每个像素所对应点的腐败程度,实现了基于特征融合的猪肉新鲜度的可视化检测,分别展现了第1天、第5天、第10天、第14天、第17天、第21天的猪肉样本新鲜度

的可视化检测结果。可以看出,随着储存天数的增加,腐败部位和程度都有加强的趋势。

3 结 语

针对传统肉类新鲜度高光谱图像检测仅提取单一信息,带来的信息丢失问题,提出了基于光谱特征和图像熵特征融合的肉类新鲜度高光谱图像检测方法。研究表明:融合特征能够弥补单一特征对某一信息的表征能力的不足,可显著提高模型的预测准确度;利用SPA与PCA结合的数据降维策略可显著降低数据噪音和特征冗余度,使模型的准确度和鲁棒性有了显著提高。基于SPA+PCA+LSSVM的TVB-N预测模型准确度最高,其平均预测误差RMSEP为1.96 mg/hg;剩余预测偏差RPD为3.12。预测模型性能优秀,可实际应用。

参考文献:

- [1] 侯瑞锋,黄岚,王忠义,等. 肉品新鲜度检测方法[J]. 现代科学仪器,2005(5):79-83.
HOU Ruifeng, HUANG Lan, WANG Zhongyi, et al. Noninvasive measuring method of freshness of meat [J]. *Modern Scientific Instruments*, 2005(5): 79-83. (in Chinese)
- [2] Geesink G H, Schreutelkamp F H, Frankhuizen R, et al. Prediction of pork quality attributes from near infrared reflectance spectra[J]. *Meat Science*, 2003, 65(1): 661-668.
- [3] 林亚青,房子舒. 猪肉新鲜度检测方法综述[J]. 肉类研究, 2011, 25(5): 62-65.
LIN Yaqin, FANG Zishu. A review on detection methods for pork freshness [J]. *Meat Research*, 2011, 25 (5): 62-65. (in Chinese)
- [4] WANG Fangrong, JIN Lisheng, ZHANG Tieqiang, et al. Research on meat species and freshness identification method based on spectral characteristics[J]. *Optik*, 2013, 124(23): 5952-5955.
- [5] WANG Xiwei, ZHAO Maocheng, JU Ronghua, et al. Visualizing quantitatively the freshness of intact fresh pork using acousto-optical tunable filter-based visible /near-infrared spectral imagery [J]. *Computers and Electronics In Agriculture*, 2013, 99: 41-53.
- [6] TIAN Xiuying, CAI Qiang, ZHANG Yongming. Rapid classification of hairtail fish and pork freshness using an electronic nose based on the PCA method[J]. *Sensors*, 2012, 12(1): 260-277.
- [7] Savenije B, Geesink G H, Vandderpalen J G P, et al. Prediction of pork quality using visible/near-infrared Reflectance spectroscopy[J]. *Meat Science*, 2006, 73(1): 181-184.
- [8] 文星,梁志宏,黄岚,等. 基于稳态空间分辨光谱的猪肉新鲜度检测方法[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 334-339.
WEN Xing, LIANG Zhihong, HUANG Lan, et al. Measurement of pork freshness by steady spatially-resolved spectroscopy[J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(9): 334-339. (in Chinese)
- [9] 周炜. 基于多源信息融合技术的猪肉新鲜度无损检测方法研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- [10] 张雷蕾,李永玉,彭彦昆,等. 基于高光谱成像技术的猪肉新鲜度评价[J]. 农业工程学报, 2012, 28(7): 254-259.
ZHANG Leilei, LI Yongyu, PENG Yankun, et al. Determination of pork freshness attributes by hyperspectral imaging technique [J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(7): 254-259. (in Chinese)
- [11] CHEN Quansheng, ZHANG Yanhua, ZHAO Jiewen, et al. Nondestructive measurement of total volatile basic nitrogen (TVB-N) content in salted pork in jelly using a hyperspectral imaging technique combined with efficient hypercube processing algorithms

- [J]. **Analytical Methods**, 2013, 5(22):6382–6388.
- [12] 黄敏, 朱晓, 朱启兵, 等. 基于高光谱图像的玉米种子特征提取与识别[J]. 光子学报, 2012, 41(7):868–873.
HUANG Min, ZHU Xiao, ZHU Qibing, et al. Morphological characteristics of maize seed extraction and identification based on the hyperspectral image[J]. **Acta Photonica Sinica**, 2012, 41(7):868–873. (in Chinese)
- [13] 上海市食品卫生监督检验所. GB/T5009.44–2003, 肉与肉制品卫生标准的分析方法[S]. 北京: 卫生部, 2003.
- [14] Tan T C, Alkarkhi A F M, Easa A M. Assessing the freshness of meat by using quantum-behaved particle swarm optimization and support vector machine[J]. **Journal of Food Quality**, 2013, 36(5):351–360.
- [15] Saeys W, Mouazen A M, Ramon H. Potential for on site and online analysis of pig manure using visible and near infrared reflectance spectroscopy[J]. **Biosystems Engineering**, 2005, 91(4):393–402.
- [16] 卫生部卫生监督中心卫生标准处. 食品卫生检验方法: 理化检验部分[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [17] 刘超群, 王宏勋, 宫智勇. 冷鲜猪肉内外细菌菌群分离鉴定及变化规律研究[J]. 食品科学, 2011, 32(23):240–243.
LIU Chaoqun, WANG Hongxun, GONG Zhiyong. Isolation, identification and change pattern of internal and external bacteria floras in fresh chilled pork[J]. **Food Science**, 2011, 32(23):240–243. (in Chinese)
- [18] 江芸, 高峰, 徐幸莲, 等. 真空包装冷却猪肉冷藏过程中菌相变化[J]. 食品科学, 2011, 32(4):241–245.
JIANG Yun, GAO Feng, XU Xinglian, et al. Correlation analysis between parameters of spoilage and spoilage microorganisms of vacuum-packaged chilled beef[J]. **Food Science**, 2011, 32(4):241–245. (in Chinese)
- [19] 王磊, 林奇. 分子吸收光谱技术在肉类研究中的应用[J]. 肉类研究, 2009(8):51–54.
WANG Lei, LIN Qi. Application of meat research in the technology of molecular absorption spectrum [J]. **Meat Research**, 2009(8):51–54. (in Chinese)
- [20] Bowen W J. The absorption spectra and extinction coefficients of myoglobin [J]. **The Journal of Biological Chemistry**, 1949, 179:235–245.
- [21] Ye S F, WANG D, MIN S G. Successive projections algorithm combined with uninformative variable elimination for spectral variable selection[J]. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, 2008, 91(2):194–199.

会 议 信 息

会议名称(中文): 第四届“奶牛营养与牛奶质量”国际研讨会

会议名称(英文): The 4th International Symposium on Dairy Cow Nutrition and Milk Quality

开始日期: 2015-05-08

结束日期: 2015-05-10

所在城市: 北京市 海淀区

具体地点: 北京友谊宾馆

主办单位: 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所

议题: 奶业挑战与合作

会议主席: 李明 王加启

联系人: 张养东 赵圣国

联系电话: 010-62816069

E-MAIL: jiaqi wang@vip.163.com

通讯地址: 北京海淀区圆明园西路2号

邮政编码: 100193

会议注册费: 600–1500

会议网站: www.mrtweb.cn

会议背景介绍: 自2009年5月第一届“奶牛营养与牛奶质量”国际研讨会成功举办以来, 2011年5月和2013年5月又连续成功召开了第二届和第三届“奶牛营养与牛奶质量”国际研讨会。“奶牛营养与牛奶质量”国际研讨会已经成为推动中外奶业科技合作, 了解国际奶业科技最新进展、加强国内外奶业同仁相聚交流的重要平台。当前, 全球奶业形势复杂多变, 新技术新产品日新月异, 未来奶业向何处发展? 为了推动交流, 共商奶业发展大计, 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所、美国奶业科学学会和中国奶业协会定于2015年5月8日–10日在北京友谊宾馆举办第四届“奶牛营养与牛奶质量”国际研讨会。