

# 高光谱成像技术检测延边黄牛肉的新鲜度

赵健

(长春财经学院信息工程学院, 吉林长春 130122)

**摘要:** 为了提高黄牛肉的质量以及食用安全性, 本研究采用高光谱成像技术对延边黄牛肉新鲜度进行检测。通过成像系统采集黄牛肉样品的高光谱图像, 对高光谱图像做黑白校正处理, 结合 S-G 滤波和均值滤波对处理后的高光谱图像进行去噪处理, 并采用主成分分析法对高光谱数据进行降维。采用半微量定氮法测定延边黄牛肉的挥发性盐基氮含量, 通过多个 BP-ANN 弱分类器组建强分类器, 将延边黄牛肉的挥发性盐基氮含量输入强分类器中, 以挥发性盐基氮含量为指标, 根据分类结果实现延边黄牛肉新鲜度的检测。实验结果表明, 当波长为 700~750 nm 时, 延边黄牛肉的挥发性盐基氮含量最高, 表明肉内部被破坏的程度较高, 肉类的新鲜度越差; 在第 10~11 d 时, 延边黄牛肉 TVB-N 质量分数变化较为明显; 采用所提方法对高光谱图像去噪后, 信号频率由 -15 dB~15 dB 区间波动变为 -5 dB~5 dB 区间波动, 信号的频率波动较小, 趋于稳定, 表明所提方法可有效的去除图像中存在的噪声; 所提方法的检测结果准确率最高可达 99%, 具有较高的检测准确率, 且去噪效果较好。

**关键词:** 高光谱成像; 延边黄牛肉; 新鲜度; 检测方法

文章编号: 1673-9078(2020)02-271-276

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.2.038

## Detection of the Freshness of Yanbian Yellow Beef by Hyperspectral

### Imaging

ZHAO Jian

(Information Engineering College, Changchun University of Finance and Economics, Changchun 130122, China)

**Abstract:** In order to improve the quality and safety of Yanbian yellow beef, hyperspectral imaging technique was used to detect its freshness. Hyperspectral images of Yanbian yellow beef sample were collected by the imaging system, and then subjected to black-and-white correction. The processed hyperspectral images were denoised via the combined use of S-G filter and mean filter before being processed by principal component analysis to reduce dimension. The total volatile basic nitrogen (TVB-N) content of Yanbian yellow beef was determined by the semi-micro nitrogen determination method. The strong classifiers of Yanbian yellow beef were established through multiple BP-ANN weak classifiers. The TVB-N content of Yanbian yellow beef was placed as an input into the strong classifier and taken as the index, and then the freshness of Yanbian yellow beef was detected according to the classification results. The results showed that at the wavelength of 700~750 nm, the TVB-N content was the highest, suggesting a higher degree of internal damage in meat and poorer freshness of meat. On the 10th to 11th day, the TVB-N content of the Yanbian yellow beef changed significantly. After the hyperspectral image was denoised, the signal frequency fluctuated from -15 dB~15 dB to -5 dB~5 dB, and the fluctuation of signal frequency gradually decreased and tended to be stable. These results indicate that the proposed method was highly accurate with high denoising ability: The detection method can effectively remove the noise existing in the image, and the accuracy of this method was as high as 99%.

**Key words:** hyperspectral imaging; Yanbian yellow beef; freshness; detection method

随着生活水平的提高, 人们的消费观逐渐转变为质量型, 更加注重食品的新鲜度, 新鲜度是衡量牛肉安全和质量的重要指标。牛在被宰割以后, 肉体会产生僵直、成熟、自溶、腐败等现象, 在僵直和成熟阶段, 肉是最新鲜的, 更适宜食用<sup>[1-3]</sup>。但肉在储藏过程中, 易出现变质和腐败的现象, 从而失去营养价值,

收稿日期: 2019-07-18

基金项目: 吉林省教育厅产学研合作育人项目 (201801060171)

作者简介: 赵健 (1979-), 男, 讲师, 研究方向: 大数据、电子商务

甚至会严重影响牛肉的食用安全性, 因此牛肉新鲜度检测方法已成为当前研究的热点<sup>[4,5]</sup>。

近年来农产品、食品新鲜度检测技术不断发展, 具有易实现、客观、重要性和迅速等优点。目前延边黄牛肉新鲜度检测方法有电子鼻技术、融合高光谱和图像深度特征的食品分类与检测方法、红外透射光谱检测方法等。但以上传统方法并不能有效去除其图像中存在的噪声, 导致得到的检测结果与实际不符, 存在图像去噪效果差和检测结果准确率低的问题。李佳

婷等<sup>[6]</sup>提出了基于电子鼻的鸡蛋新鲜度检测方法,利用电子鼻技术,通过挥发物的检测来尝试对 20 °C、70% RH 贮藏条件下的鸡蛋新鲜度进行预测,并采集鸡蛋的理化指标作为新鲜度的衡量标准,通过线性判别分析对储藏不同天数的鸡蛋进行分类分析。但是该方法采集的指标过多,计算时易出现错误,导致检测结果不准确;王巧华等<sup>[7]</sup>提出了基于机器视觉的鸭蛋新鲜度检测方法,运用机器视觉技术,采集鸭蛋彩色图像,并对其进行图像预处理去除背景,采用梯度法跟踪边缘,先判断出气室的位置,后利用 Hough 变换检测直线提取出鸭蛋气室分界线,获得气室区域大小,从而求得气室面积与整蛋面积比,同时提取鸭蛋心区域面积与整蛋面积比,分别计算 R,G,I 分量灰度均值,以这 5 个指标为特征参数,将样本按 2:1 的比例分为训练集和预测集,对鸭蛋新鲜度进行分级,但该方法构建的判别模型精准度较低,导致检测结果准确率较差;朱培逸等<sup>[8]</sup>提出了基于电子鼻和改进无监督鉴别投影算法的大闸蟹新鲜度识别方法,通过自制电子鼻系统采集活体大闸蟹的气味信息,采用流行学习算法对大闸蟹样本的多维特征响应进行降维,提取样本的低维特征向量,再利用反向传播神经网络实现对大闸蟹新鲜度的识别,并与理化指标挥发性盐基氮进行比较。但该方法不能有效的去除大闸蟹图像中存在的噪声,导致图像去噪效果较差。

为了方便快捷检测牛肉的新鲜度,同时避免上述方法在检测新鲜度时存在的问题,提出基于高光谱成像技术的延边黄牛肉新鲜度检测方法,以期对延边黄牛肉的加工提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

在吉林延边隆玛特超市中购买新鲜的延边黄牛肉,并在半小时内将其带回实验室,在超净台上将其切成 3×3×1 cm 的块状,并控制样本重量在 34.5~35.5 g 范围内,采用密封袋将其密封,利用真空泵将密封袋内的空气抽出,将包装好的样本放入冰箱内,冰箱温度控制在 4 °C。

通过挥发性盐基氮含量 TVB-N 检测黄牛肉的新鲜度,在放置的过程中黄牛肉的新鲜度逐渐下降,其挥发性盐基氮含量不断增多。为了加大在实验过程中样本之间的挥发性盐基氮含量的差异,获得更离散、更有跨度的数据,分别在第 1、3、5、7、9、11 和 13 d 取出样本,采集高光谱数据,并测量样本的挥发性盐基氮含量,完成对黄牛肉新鲜度的检测。

### 1.2 图像预处理

成像系统包括多光谱成像系统和高光谱成像系统,通过高光谱成像系统对样本进行扫描,获得黄牛肉的高光谱图像。成像装置主要由计算机、高光谱相机、载物移动平台、控制器和卤素灯等部件构成。为了降低数据采集过程中受到的外界环境干扰,将移动载物台、光源和相机放置在暗箱中<sup>[9]</sup>。

由于相机会受到暗电流和光源强度分布不均匀等因素的影响,导致原始黄牛肉高光谱图像中存在条带噪声,为降低噪声对数据处理的影响,需要对高光谱数据进行黑白校正处理。条带噪声在图像中表现为周期性带状噪声,产生的主要原因是传感器平台、扫描机械运动和光学性质差异等。

结合 S-G 滤波和均值滤波对高光谱图像进行去噪处理,可以降低图像信息的损失,最大可能的保留原始高光谱图像中存在的信息,主要思想为:寻找均值分布的谷值和峰值,通过上述两个值判断条带噪声所在列数,利用 S-G 滤波方法处理列均值分布,采用匹配校正公式,获取去除条带噪声的黄牛肉图像灰度值,具体过程如下:

(1) 计算条带噪声图像中,所有列扫描得到的均值,根据计算结果获得均值分布图  $\mu_i$ :

$$\mu_i = \frac{1}{H} \sum_{j=1}^H I(i, j) (i=1, 2, \dots, L) \quad (1)$$

式中, H 代表图像的高度;  $I(i, j)$  代表像素对应的灰度值;  $j=1$  代表灰度值取值从 1 开始,  $\sum_{j=1}^H$  表示  $j$  取值一直到数值 H, 并对

所有值进行求和; L 代表图像的宽度。

(2) 获取均值分布图在初始时刻对应的峰值,并存储峰值的位置和高度。上述峰值可通过下式计算得到,即为局部极大值点;

(3) 获取初始时刻均值分布图对应的谷值,并记录其位置和高度,谷值可通过下式计算得到,即为局部极小值点;

(4) 删掉均值分布图中存在的陡峭谷值和峰值。条带噪声会对峰值集合 P 造成影响,产生陡峭峰值,设置阈值  $T_g$ , 当阈值  $T_g$  小于峰值的陡度时,从集合 P 中去除该峰值,获得新集合  $P_1$ 。同理将大于阈值  $T_g$  的谷值从谷值集合 V 中删除,获得新集合  $V_1$ 。通过均值分布对应的平均差分值  $U_d$  计算阈值  $T_g$ :

(5) 删掉均值分布图中存在的邻近谷值和峰值。当两个峰值在峰值集合中的距离较近时,一般情况下都是条带噪声造成的,设置阈值  $T_d$ , 当阈值  $T_d$  大于峰值距离时,删掉较小的峰值获得集合  $P_2$ , 同理获得

新的谷值集合  $V_2$ 。

(6) 根据谷值集合  $V-V_2$  和峰值集合  $P-P_2$  进行平滑滤波处理, 其中  $-$  代表的是集合之间的差运算, 分别对条带噪声所在列和非条带噪声区域进行均值滤波和 S-G 滤波处理, 去除条带噪声获得均值分布  $\tilde{U}=[\tilde{\mu}_1, \tilde{\mu}_2, \dots, \tilde{\mu}_L]$ 。

(7) 通过下式进行矩匹配校正, 获取不含条带噪声的图像灰度值:

$$Y_i[j] = \frac{\tilde{\sigma}_i}{\sigma_i} X_i[j] + \tilde{\mu}_i - \frac{\tilde{\sigma}_i}{\sigma_i} \quad (2)$$

式中:  $Y_i[j]$  代表图像像素校正后对应的灰度值;  $\tilde{\sigma}_i$  代表的是通过 S-G 滤波处理后得到的第  $i$  列均值;  $\sigma_i$  代表的是存在条带噪声的原始图像第  $i$  列均值;  $X_i[j]$  代表图像像素校正后对应的灰度值;  $\tilde{\mu}_i$  代表的是经过 S-G 滤波处理后得到的第  $i$  列均值。

高光谱图像是一个庞大的数据, 其中存在大量的冗余数据, 后期处理数据较为复杂<sup>[10,11]</sup>。为了降低计算数据过程的复杂性, 获取优质的黄牛肉信息, 采用主成分分析法对高光谱数据进行降维, 在方差贡献率的基础上选取贡献度靠前的几个主成分, 每个主成分都是通过不同步长下对应的图像与权重系数乘积的线性总和得到的, 利用最佳主成分对应的最大局部权重系数选取特征波长, 用于描述样本图像, 体现黄牛肉的品质信息。

### 1.3 延边黄牛肉新鲜度检测

#### 1.3.1 测定 TVB-N 理化指标

挥发性盐基氮含量 TVB-N 指的是, 肉类食品在贮藏过程中会受自身生物酶和外界微生物的影响, 导致蛋白质分解生成胺类和氨等碱性含氮挥发性物质, TVB-N 在肉类中的含量越高, 表明肉内部被破坏的程度越高, 肉类的新鲜度越差, 采用半微量定氮法测定其 TVB-N 值。

#### 1.3.2 半微量定氮法测定延边黄牛肉新鲜度

通过若干个 BP-ANN 弱分类器组建强分类器, 将 TVB-N 值输入强分类器中, 实现对其新鲜度的检测, 具体步骤如下:

(1) 赋初值: 设  $n$  代表训练集中存在的样本总数;  $D_1(i)$  代表训练集内样本对应的初始概率分布。

(2) 训练弱分类器: 设  $M$  代表迭代次数, 也是弱分类器的总数。对第  $m$  个弱分类器进行训练时, 通过初始训练样本对弱分类器进行训练。

(3) 构建强分类器  $F(x)$ , 将高光谱图像中获取

的挥发性盐基氮含量, 输入至强分类器  $F(x)$  中进行分类, 实现黄牛肉新鲜度的检测。

#### 1.3.3 数据处理

本文绘图采用 Origin 9.1 软件, Windows 10 操作系统, 微软 SQL server 2010 R2, MATLAB 数学软件, 利用 SPSS 19.0 分析软件对延边黄牛肉高光谱图像采集到的原始数据进行统计学分析, 采用 Excel 进行相似度分析。

## 2 结果与分析

为了验证基于高光谱成像技术的延边黄牛肉新鲜度检测方法的整体有效性, 需要对其进行测试。在进行新鲜度检测前需要对高光谱成像数据采集软件进行设置。本次测试的操作系统为 Linux, Intel core i5 处理器, 4 核 CPU, 内存 4GB。实验样本的高光谱成像采集系统由光谱成像仪、光源系统、扫描平台三大部分组成, 其光谱波长范围为 500 nm~1000 nm、分辨率为 3 nm、像素为 100×100。图 1 为延边黄牛肉高光谱图像采集界面。

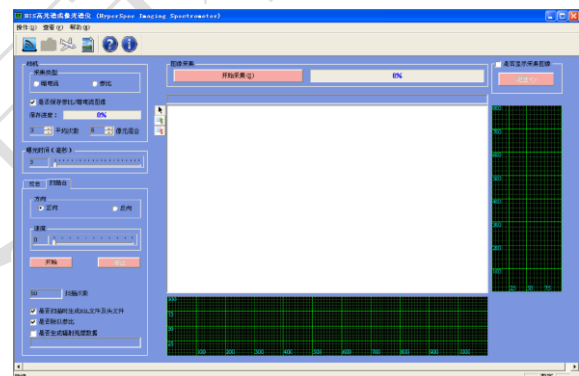


图 1 延边黄牛肉高光谱图像采集界面

Fig.1 Hyperspectral image acquisition interface of Yanbian yellow beef

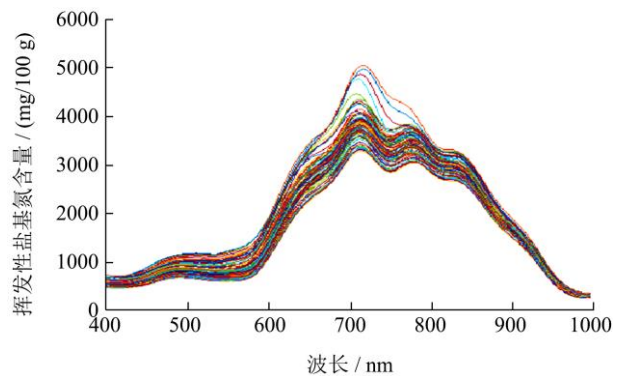


图 2 延边黄牛肉挥发性盐基氮含量

Fig.2 Volatile base nitrogen content in Yanbian yellow cattle meat

在实验室中利用高光谱图像采集软件完成对试验样本光谱图像采集, 提取样本光谱数据, 利用 Matlab

软件绘制其挥发性盐基氮含量，如图 2 所示。

根据图 2 可知，当波长为 700~750 nm 时，挥发性盐基氮含量最高，表明肉内部被破坏的程度最高，肉类的新鲜度最差。根据黄牛肉的存储时间，分析其 TVB-N 质量分数，结果如图 3 所示。

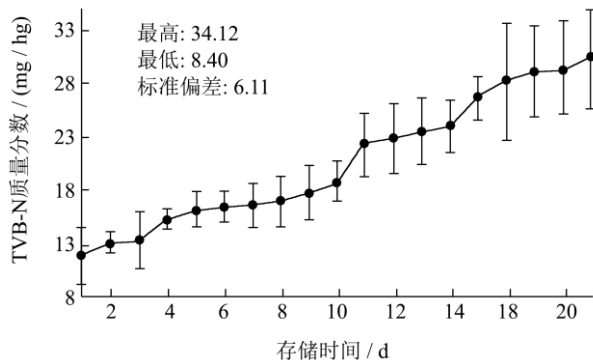


图 3 延边黄牛肉 TVB-N 质量分数

Fig.3 TVB-N mass fraction of Yanbian yellow beef

根据图 3 可知，延边黄牛肉 TVB-N 质量分数随着存储时间的增长而逐渐增长，其中，存储时间在第 1~3 d 时，TVB-N 质量分数较为稳定；在第 3~4 d 时，TVB-N 质量分数开始变化；在第 4~9 d 时，TVB-N 质量分数变化缓慢；在第 10~11 d 时，TVB-N 质量分数变化较为明显；在第 15 d 检测以后，肉质基本腐败。

在图像中普遍存在噪声，会对新鲜度检测结果造成影响，分别采用基于高光谱成像技术的延边黄牛肉新鲜度方法、文献<sup>[6]</sup>方法、文献<sup>[7]</sup>方法和文献<sup>[8]</sup>方法对图像进行去噪处理，对比四种不同方法的去噪效果，测试结果如图 4 所示。

分析图 4a 可知，采用本文方法对高光谱图像去噪后，信号频率由 -15 dB~15 dB 区间波动变为 -5 dB~5 dB 区间波动，信号的频率波动逐渐变小，趋于稳定，表明提出方法能够有效去除图像中存在的噪声，这是因为该方法结合了 S-G 滤波和均值滤波的优点对图像进行了去噪处理；分析图 4b 可知，采用文献<sup>[6]</sup>方法对高光谱图像去噪后，其信号频率在 -10 dB~10 dB 区间波动，而去噪前的信号频率在 -13 dB~13 dB 区间波动，信号频率变化较小；分析图 4c 可知，采用文献<sup>[7]</sup>方法去噪后的信号频率与去噪前的信号频率相比，信号频率均在 -14 dB~14 dB 区间波动，没有发生明显变化；分析图 4d 可知，采用文献<sup>[8]</sup>方法去噪后的信号频率与去噪前的信号频率相比，信号频率均在 -14 dB~12 dB 区间波动，也没有发生明显变化，表明以上三种方法均不能有效的去除图像中存在的噪声。对比四种不同方法的测试结果可知，基于高光谱成像技术的延边黄牛肉新鲜度检测方法的去噪效果好。

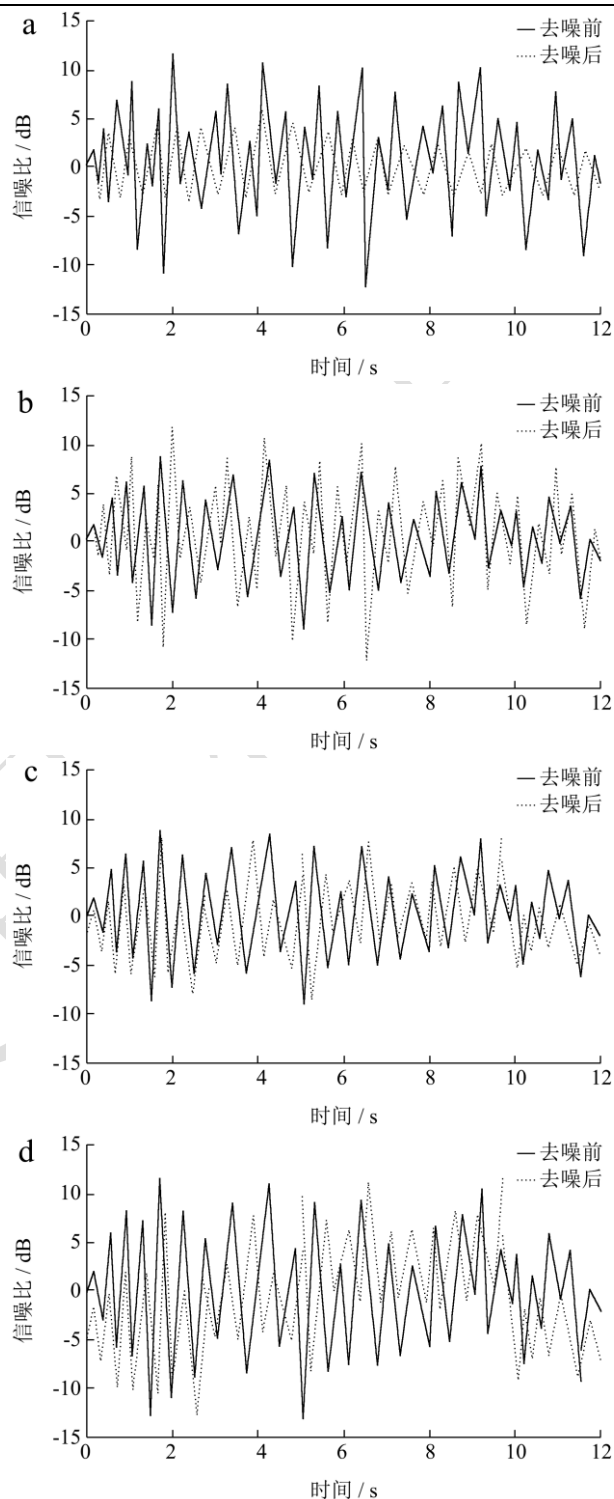


图 4 四种不同方法的去噪结果

Fig.4 Denoising results of four different methods

注：(a) 所提方法的去噪结果；(b) 文献<sup>[6]</sup>方法的去噪结果；(c) 文献<sup>[7]</sup>方法的去噪结果；(d) 文献<sup>[8]</sup>方法的去噪结果。

将检测结果准确率作为评价指标，对基于高光谱成像技术的延边黄牛肉新鲜度检测方法、文献<sup>[6]</sup>方法、文献<sup>[7]</sup>方法和文献<sup>[8]</sup>方法进行测试，四种不同方法的测试结果如图 5 所示。

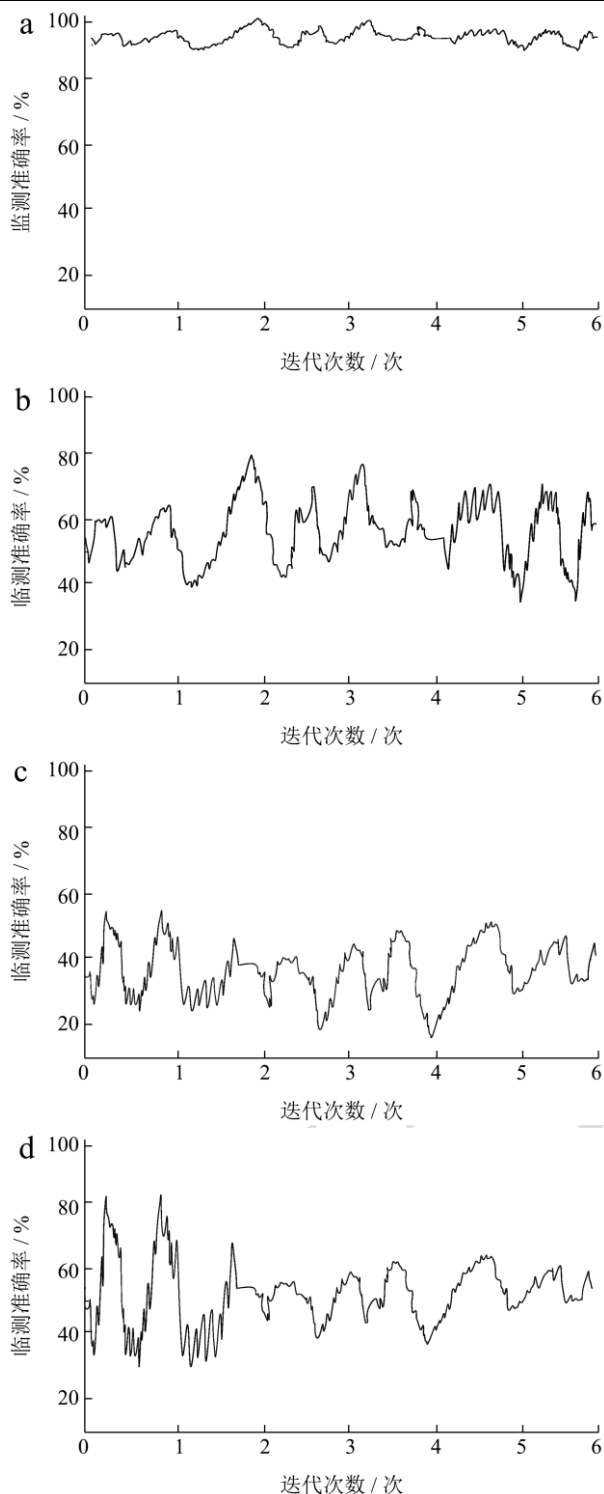


图5 四种不同方法的检测结果准确率

Fig.5 Accuracy of checking results for four different methods

注：(a) 所提方法的检测结果准确率；(b) 文献<sup>[6]</sup>方法的检测结果准确率；(c) 文献<sup>[7]</sup>方法的检测结果准确率；(d) 文献<sup>[8]</sup>方法的检测结果准确率。

分析图5可知，采用本文方法得到的检测结果准确率在88%~99%区间；文献<sup>[6]</sup>方法的检测结果准确率在35%~80%区间；文献<sup>[7]</sup>方法的检测结果准确率在60%以下；文献<sup>[8]</sup>方法的检测结果准确率在81%以下，

可以看出所提方法的检测结果准确率最高可达99%，明显高于其他三种方法的检测结果准确率。这是因为所提方法融合了多个弱分类器构建强分类器，通过划分挥发性盐基氮的含量，检测了黄牛肉的新鲜度，提高了检测结果的准确率。

### 3 结论

黄牛肉在进行屠宰、加工、运输和销售的过程中，会受外部环境的影响，导致其出现腐败变质的现象，会对人们的身体健康造成危害，因此需要检测黄牛肉的新鲜度。当前检测方法存在图像去噪效果差、检测结果准确率低的问题，提出基于高光谱成像技术的延边黄牛肉新鲜度检测方法，通过S-G滤波和均值滤波对高光谱图像进行去噪处理，利用主成分分析法对高光谱数据进行降维，从而实现对高光谱图像中条带噪声的有效去除，准确的完成对黄牛肉新鲜度的检测。

### 参考文献

- [1] 侯宝睿,孟静南,海丹,等.六种气调条件包装处理的酱牛肉在不同储藏温度下保鲜效果的研究[J].肉类工业,2017,9:19-30  
HOU Bao-rui, MENG Jing-nan, HAI Dan, et al. Study on the preservation effect of six kinds of modified atmosphere conditions packing and treating of spiced beef at different storage temperatures [J]. Meat Industry, 2017, 9: 19-30
- [2] 徐璐,吴轶,王连英.冷链物流中远程食品新鲜度检测的电子鼻系统设计[J].电子器件,2016,39(5):1170-1174  
XU Lu, WU Yi, WANG Lian-ying. Design of electronic nose system for remote freshness detection of food in cold chain logistics [J]. Chinese Journal of Electron Devices, 2016, 39(5): 1170-1174
- [3] 田卫新,何丹丹,杨东,等.一种基于高光谱图像的熟牛肉TVB-N含量预测方法[J].食品与机械,2016,32(12):70-74  
TIAN Wei-xin, HE Dan-dan, YANG Dong, et al. A method for predicting TVB-N content of cooked beef based on hyperspectral image [J]. Food & Machinery, 2016, 32(12): 70-74
- [4] 古淑青,詹丽娜,赵超敏,等.基于液相色谱-串联质谱法的肉类特征肽段鉴别及掺假测定[J].色谱,2018,36(12):85-94  
GU Shu-qing, ZHAN Li-na, ZHAO Chao-min, et al. Identification of meat characteristic peptides based on liquid chromatography-tandem mass spectrometry and adulteration determination [J]. Chinese Journal of Chromatography, 2018, 36(12): 85-94
- [5] 高亚文,欧昌荣,汤海青,等.光谱技术在水产品鲜度评价中

- 的应用[J].核农学报,2016,30(11):2210-2217
- GAO Ya-wen, OU Chang-rong, TANG Hai-qing, et al. Spectroscopic techniques for assessing freshness of aquatic products [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2016, 30(11): 2210-2217
- [6] 李佳婷,王俊,李园,等.基于电子鼻的鸡蛋新鲜度检测[J].现代食品科技,2017,4:300-305
- LI Jia-ting, WANG Jun, LI Yuan, et al. Egg freshness detection based on electronic nose [J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 4: 300-305
- [7] 王巧华,王彩云,马美湖.基于机器视觉的鸭蛋新鲜度检测[J].中国食品学报,2017,17(8):268-274
- WANG Qiao-hua, WANG Cai-yun, MA Mei-hu. Detection of duck egg freshness based on machine vision [J]. Chinese Journal of Food, 2017, 17(8): 268-274
- [8] 朱培逸,徐本连,鲁明丽,等.基于电子鼻和改进无监督鉴别投影算法的大闸蟹新鲜度识别方法[J].食品科学,2017,38(18):310-316
- ZHU Pei-yi, XU Ben-lian, LU Ming-li, et al. Novelty recognition method of hairy crab based on electronic nose and improved unsupervised discrimination projection algorithm [J]. Food Science, 2017, 38(18): 310-316
- [9] 刘宸,杨桂燕,王庆艳,等.线扫描式拉曼高光谱成像技术无损检测奶粉三聚氰胺[J].农业工程学报,2017,33(24): 277-282
- LIU Chen, YANG Gui-yan, WANG Qing-yan, et al. Non-destructive detection of melamine in milk powder using Raman hyperspectral imaging technology combined with line-scanning [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(24): 277-282
- [10] 赵春晖,尤伟,齐滨,等.基于 Hausdorff 度量的高光谱异常目标检测算法[J].哈尔滨工程大学学报,2016,37(7):979-985
- ZHAO Chun-hui, YOU Wei, QI Bin, et al. Hyperspectral anomaly target detection algorithm based on Hausdorff measure [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2016, 37(7):979-985
- [11] 王凡.基于 PCA 网络的光谱-空间联合的高光谱图像分类[J].计算机仿真,2018,35(10):360-363
- WANG Fan. Hyperspectral image classification combined with spectral-spatial based on PCA network [J]. Computer Simulation, 2018, 35(10):360-363

(上接第 209 页)

- [33] Huang R T, Lu Y F, Inbaraj B S, et al. Determination of phenolic acids and flavonoids in *Rhinacanthus nasutus* (L.) kurz by high-performance-liquid-chromatography with photodiode-array detection and tandem mass spectrometry [J]. Journal of Functional Foods, 2015, 12(12): 498-508
- [34] Schütz K, Kammerer D R., Carle R., et al. Characterization of phenolic acids and flavonoids in dandelion (*Taraxacum officinale* WEB. ex WIGG.) root and herb by high-performance liquid chromatography/electrospray ionization mass spectrometry [J]. Rapid Communications in Mass Spectrometry, 2005, 19: 179-186
- [35] Dias M I, Barros L, Alves R C, et al. Nutritional composition, antioxidant activity and phenolic compounds of wild *Taraxacum Ruderale* [J]. Food Research International, 2014, 56(2): 266-271