

基于多传感器信息融合的注水肉检测方法研究

郭培源 王昕琨 林岩 许冠男

(北京工商大学计算机与信息工程学院, 北京 100048)

摘要 针对近年来备受关注的注水肉问题,提出一种可以快速、准确检测出注水肉的新方法。采用近红外(NIR)光谱技术测量肉品的水分含量,并建立肉品水分含量模型。为了提高 NIR 光谱测量精度和准确性,克服肉品水分测量受肉品体积重量的敏感性影响,将肉品的图像信息和 pH 值作为模型的辅助参量,以水分、图像、pH 值为特征数据,进行多传感器信息融合。最终,通过支持向量机(SVM)数据分类器对所测肉品是否为注水肉进行快速模式识别。

关键词 光谱学;注水肉;计算机视觉;近红外光谱;多传感器信息融合;支持向量机

中图分类号 TS207.3; TP29 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP50.073002

Detection of Meat Containing Excessive Moisture Based on Multi-Sensor Information Fusion

Guo Peiyuan Wang Xinkun Lin Yan Xu Guannan

(School of Computer and Information Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

Abstract A quick and accurate detection method which can identify whether the meat contain excessive moisture is proposed. By using near-infrared (NIR) spectroscopy measurement, the meat moisture content model is established. In order to improve the accuracy and sensitivity of NIR spectra measurement, image information and the pH value data are used as assistant parameters of the meat moisture content model. Multi-sensor information fusion is performed on the moisture, image information and pH value. The detection is completed with a support vector machine (SVM) data classifier.

Key words spectroscopy; meat containing excessive moisture; computer vision; near-infrared spectrum; multi-sensor information fusion; support vector machine

OCIS codes 300.6170; 300.6340; 120.0280

1 引言

近几年食品安全问题越来越受到人们的关注,2011年曝光了多起瘦肉精事件,使消费者震惊,而另一问题“注水肉”也引起了消费者的关注。注水肉是指不法商贩在屠宰前(待宰阶段)为了牟取利益,给牲畜大量灌水或者在屠宰放血后,通过颈动脉将清水、生产污水、工业色素、防腐剂等其他添加物注入到牲畜体内之后的劣质肉品,常见于猪肉和牛肉^[1-2]。国家标准《畜禽肉水分限量》规定的畜禽肉水分限量如下:如果猪肉、牛肉、鸡肉的含水量大于77%,羊肉含水量大于78%,既可判别为注水肉。而现阶段,注水肉检测方法主要有感官检测(即通过观肉色)和理化检测两种方法。感官检测方法虽然可以对肉品进行快速判断,但是准确性差;理化检测方法虽然可以得到准确的检测结果,但是进行化学实验需要的时间过久,不利于卫生检疫部门对问题肉品进行尽快处理。在这样的现状下,迫切需要一种快速、准确、实用的检测技术对注水肉进行检测,以便判断肉品是否可以放心食用。

收稿日期: 2013-01-07; **收到修改稿日期**: 2013-03-19; **网络出版日期**: 2013-06-06

基金项目: 北京市自然科学基金(4122020)

作者简介: 郭培源(1958—),男,博士,教授,主要从事农产品智能检测技术和多数据融合、嵌入式技术等方面的研究。

E-mail: ggppy@126.com

本文电子版彩色效果请详见中国光学期刊网 www.opticsjournal.net

随着信息技术的发展,将近红外(NIR)光谱探测、计算机视觉、多数据融合检测技术应用于食品安全中,能够为肉类品质提供一种快速、有效、实用的无损检测方法。由于肉中的水分含量是评价肉品是否为注水肉的重要依据,所以本文提出的注水肉检测方法以肉品的水分含量作为识别注水肉的主要参量,将肉品的颜色值和肉的 pH 值作为辅助参量,提取这三种特征数据,进行多信息融合。最终,通过支持向量机(SVM)数据分类器对所测肉品是否为注水肉进行快速识别。

2 肉品近红外光谱水分含量预测模型的建立

近红外光谱技术是利用化学物质在近红外光谱区内的化学特性,快速测定样品中一种或多种化学成分含量及特性的物理测定技术^[3-6]。利用近红外光谱时,一般将肉切碎或搅拌至均匀混合物,以便准确测定肉中水分的含量。本研究采用 FOSS 公司的 FoodScan 近红外光谱分析仪,采用近红外全光栅透射技术,获取测量肉品的光谱图,经过对光谱数据的进一步处理、分析得到肉品近红外光谱水分含量预测模型。

2.1 光谱数据采集及预处理

在室温 25 °C 的实验环境中,实验正常肉样品采用在屠宰场中购买的猪肉,注水肉样品采用屠宰放血后,通过颈动脉将生产污水注入到牲畜体内之后的劣质肉品。为验证所建立的模型是否可以更加广泛地适用,另取不同来源、不同批次、不同部位的 60 个猪肉样本进行验证,其中 30 组为正常肉品样本,30 组为注水肉样本。采集光谱后完成每个样本的对照组实验,即采用理化方法(GB/T 9695.15-2008 直接干燥法)^[7]测量肉品的水分值。在 Matlab7.11.0(R2010b)中,生成 data.mat 数据文件,将样本 1~40 组作为预测模型的训练集,样本 41~60 组作为预测模型的测试集。经分析、检测,注水肉样本水分含量大于 77%,超出国家注水肉标准,可以作为注水肉实验样本进行实验研究。实验数据统计结果如表 1 所示。

表 1 肉品水分近红外光谱预测模型的训练集和测试集

Table 1 Meat moisture of the training and testing sets for the NIR spectra model

Set	Sample size	Maximum /%	Minimum /%	Variance /%
Training	40	78.1	74.56	0.04
Testing	20	77.5	74.11	0.03

经反复实验,研究中采用了多元散射校正(MSC)和均值中心化方法对采集到的光谱数据做预处理。多元散射校正不仅可以有效地去除近红外光谱中样品颗粒分布不均匀以及颗粒大小所产生的散射影响,而且还可以对透射光谱测量过程中的光程长误差进行修正。

2.2 向后区间偏最小二乘筛选法预测模型

在 Matlab7.11.0(R2010b)中得到模型训练集样本光谱信息如图 1 所示,由于近红外光谱数据包含 850~1048 nm 的全波长,建模数据量较大,需要对建模所用光谱变量进行优化。如果采用原光谱数据建模,一方面数据量很大,另一方面一些波长范围包含的无用信息会影响模型精确性^[8]。因此,本文的预测模型采

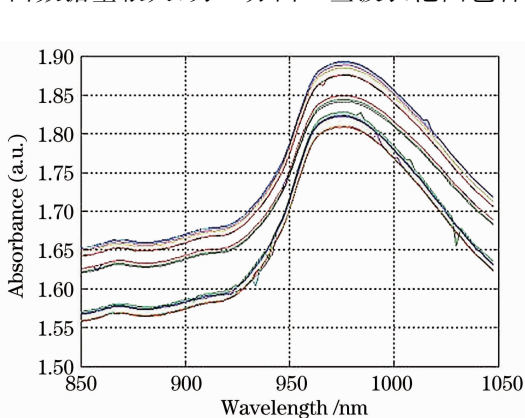


图 1 训练集样本光谱信息

Fig. 1 Spectral information of training set samples

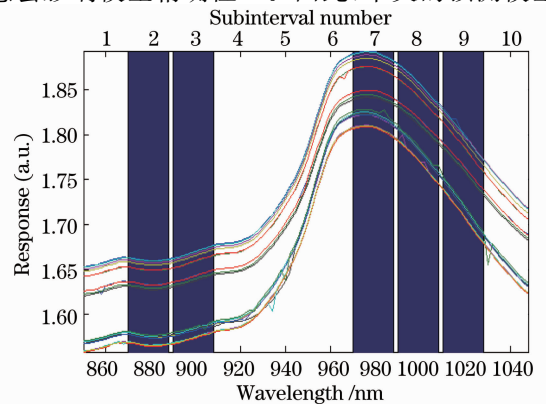


图 2 最佳模型子区间选取

Fig. 2 Selection of the best subintervals of the model

用向后区间偏最小二乘(BiPLS)筛选法^[9-11]对全波段光谱区间进行筛选,并在优化区间上建立偏最小二乘法(PLS)预测模型如图2所示。

根据 BiPLS 算法的最小校正均方根误差(RMSEC)原则(图2),选择第2、3、7、8、9号5个子区间建立 PLS 模型。此时 PLS 模型的交叉验证均方根误差(RMSEVC)、校正集相关系数(r_c)、预测相关系数(r_p)、预测均方根误差(RMSEP)分别为0.9821、0.442、0.9985、0.318。优化的模型建模所需的变量数减少了一半,模型的预测性能良好。但是,由于近红外光谱测量方法不是原始方法且需要不断的模型维护,其中存在的误差很有可能导致模型对肉品水分含量的预测错误,从而对肉品给出错误的识别结果,在反复验证后发现,预测结果的正确率十分不稳定,最低正确率为93.43%。而为了达到更好的检测效果,正确率应在96%左右^[6]。所以,为了提高模型的精确性,同时对肉品做出全面的评价,采用加入肉品辅助变量 pH 值和颜色信息进行多数据融合检测,优化已建立的预测模型。

3 肉品颜色信息的提取

3.1 光照箱体设计

为消除实验环境光对照明设备的干扰,本光照系统采用底部为400 mm×400 mm的正方形的封闭箱。箱体采用白色铝塑板,内腔壁均为白色,顶部为两个可调节的卤素灯光源。箱体顶部为摄像孔,放置数码相机。摄像孔正下方为升降托盘用于承载被测肉品^[11-14]。被测肉品整体的照度值可通过调节托盘的高度进行调节。光照箱实物结构图如图3所示。

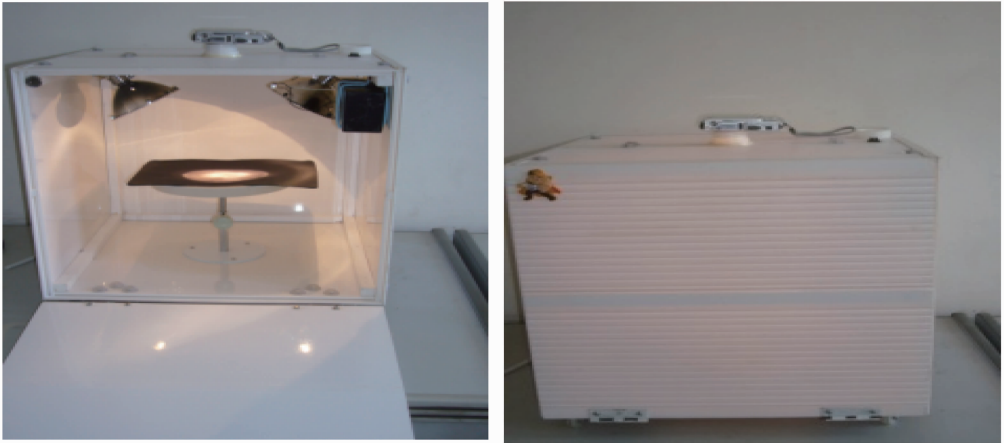


图3 光照箱体实物图

Fig. 3 Image acquisition system

3.2 图像的预处理和颜色值提取

在光照箱采集到图像后,先经过平滑和去噪处理后即可提取图像的颜色信息^[15-16]。用计算机视觉技术判别肉的颜色时,使用的是RGB颜色和HSI颜色模型。本研究所用颜色特征值是R、G、B和H、S、I分量的平均值和标准差。其中颜色的均值表示肉品颜色的基本色调,颜色的标准差表示肉品颜色的均匀性。在Matlab图像处理工具箱中可使用以下语句得到图像的R、G、B分量:

$$R = \text{photo}(:, :, 1); G = \text{photo}(:, :, 2); B = \text{photo}(:, :, 3).$$

根据RGB到HSI的转换方程,在Matlab中可以提取H、S、I分量:

$$H = \arccos \left\{ \frac{[(R - G) + (R - B)]}{[2(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}} \right\}, \quad (1)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} [\min(R, G, B)], \quad (2)$$

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B). \quad (3)$$

经实验分析,注水肉样品与正常肉样品的颜色存在一定差别,如图4所示:正常肉样品为樱桃红色且色

泽饱满;注水肉因注入大量水分,颜色为淡粉色。采集到的图像分辨率均调整为 295 pixel×228 pixel,格式为 bmp,采集到图像后,经过平滑去噪处理(如图 5 所示),可提取图像的颜色信息。

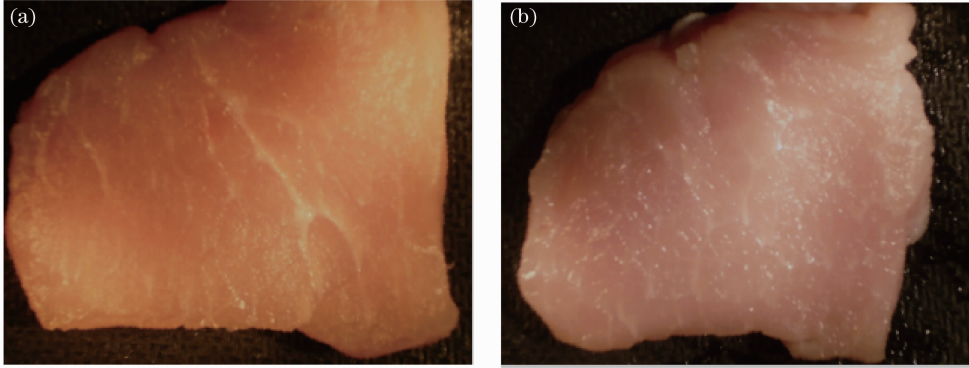


图 4 采集到的图像。(a)正常肉;(b)注水肉

Fig. 4 Collected images. (a) Normal meat; (b) excessive moisture meat

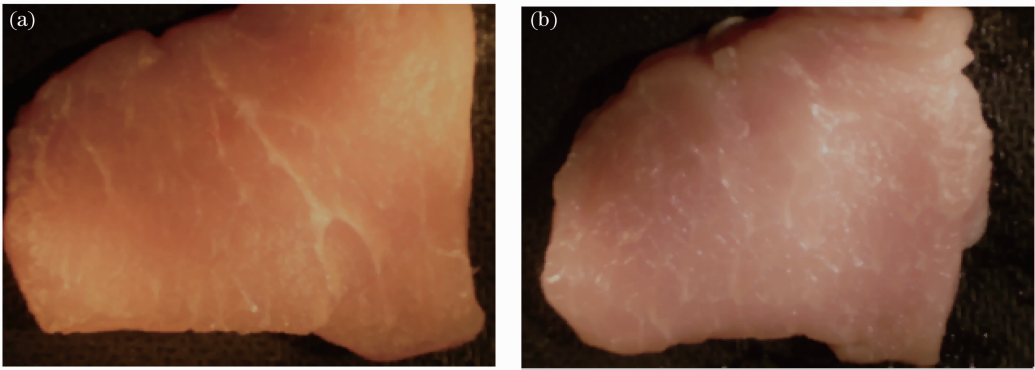


图 5 平滑后的图像。(a)正常肉;(b)注水肉

Fig. 5 Smoothed image. (a) Normal meat; (b) excessive moisture meat

因此,注水肉样品的颜色特征值(R 、 G 、 B 和 H 、 S 、 I)可以作为判断肉品是否为注水肉的依据之一。

4 肉品 pH 值的测量

肉品的 pH 值影响肉的颜色^[17-18]、锁水性以及肉品的质量,是肉品的重要品质之一。本文采用雷磁 PHS-3D 型 pH 计测量肉品的 pH 值,采集数据前需将肉品进行绞碎处理。

将电极插入到样品中,搅拌均匀后记录数值,再进行搅拌记录数值,如此重复直到记录下的 pH 值稳定。采集到的实验数据统计结果如表 2 所示。

表 2 肉品 pH 值测量结果统计

Table 2 Statistics of measurement results of pH value

Maximum	Minimum	Average	Standard deviation
5.83	5.16	5.47	1.4

图 6 是肉品 pH 值测量结果。正常肉和注水肉的 pH 值存在明显差异,正常肉品(如猪肉通肌)的 pH 值一般大于 5.4。而注水肉由于注入大量水分,使肉品中的水溶性物质进一步流失(如氨基酸等),从而使 pH 值降低。所以,根据肉品的 pH 值变化的趋势可识别肉品是否为注水肉。

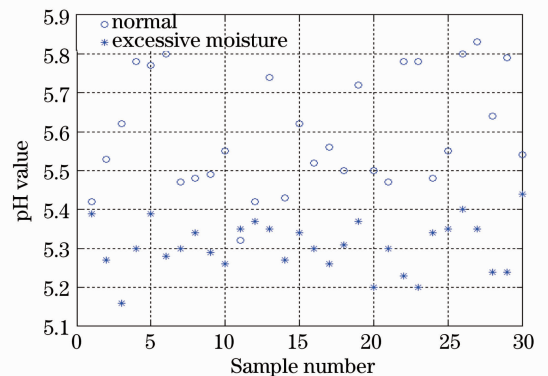


图 6 肉品 pH 值测量结果

Fig. 6 Measurement results of pH value

5 多传感器信息融合模型的建立

虽然利用近红外光谱可以对肉品的水分做出预测,但是这种方法不是原始方法,需要不断的进行模型维护^[19-20]。模型的预测结果会有一些的误差,如果只采用近红外光谱数据作为肉品是否为注水肉的依据,那么误差就很有可能导致识别结果的错误。为了保证识别结果的准确,采用多信息融合的方法,将近红外光谱检测到的肉品水分含量、图像采集系统获得的肉品颜色值(H 、 I 、 S 、 R 、 G 、 B)平均值和标准偏差以及 pH 计测量到的肉品 pH 值作为输入特征,采用 SVM 进行多传感器信息融合,建立基于多传感器数据融合的注水肉识别模型(支持向量机分类预测模型),对肉品是否为注水肉进行快速识别。其中,肉品 pH 值的训练集和测试集情况如表 3 所示。

表 3 多传感器信息融合模型的肉品 pH 值的训练集和测试集

Table 3 Meat pH values of the training and testing sets for the multi-sensor information fusion model

Set	Sample size	Maximum	Minimum	Variance
Training set	40	5.66	5.32	0.01
Testing set	20	5.70	5.31	0.01

综上所述,将肉品颜色值(H 、 I 、 S 、 R 、 G 、 B)平均值和标准偏差、肉品 pH 值以及利用近红外光谱模型预测的肉品水分含量,共 14 个特征分量作为 SVM 分类预测模型的输入特征,使用实验采集到的 60 组样品作为样品集,其中选取 40 组作为训练集,20 组作为预测集,即共 60 个样本,每个样本含有 14 个特征分量。本研究的总体结构如图 7 所示。在 Matlab 中建立支持向量机分类预测模型,由于内积核函数的选择直接影响分类器的性能,所以,采用多种内积核函数进行建模,并比较其结果。

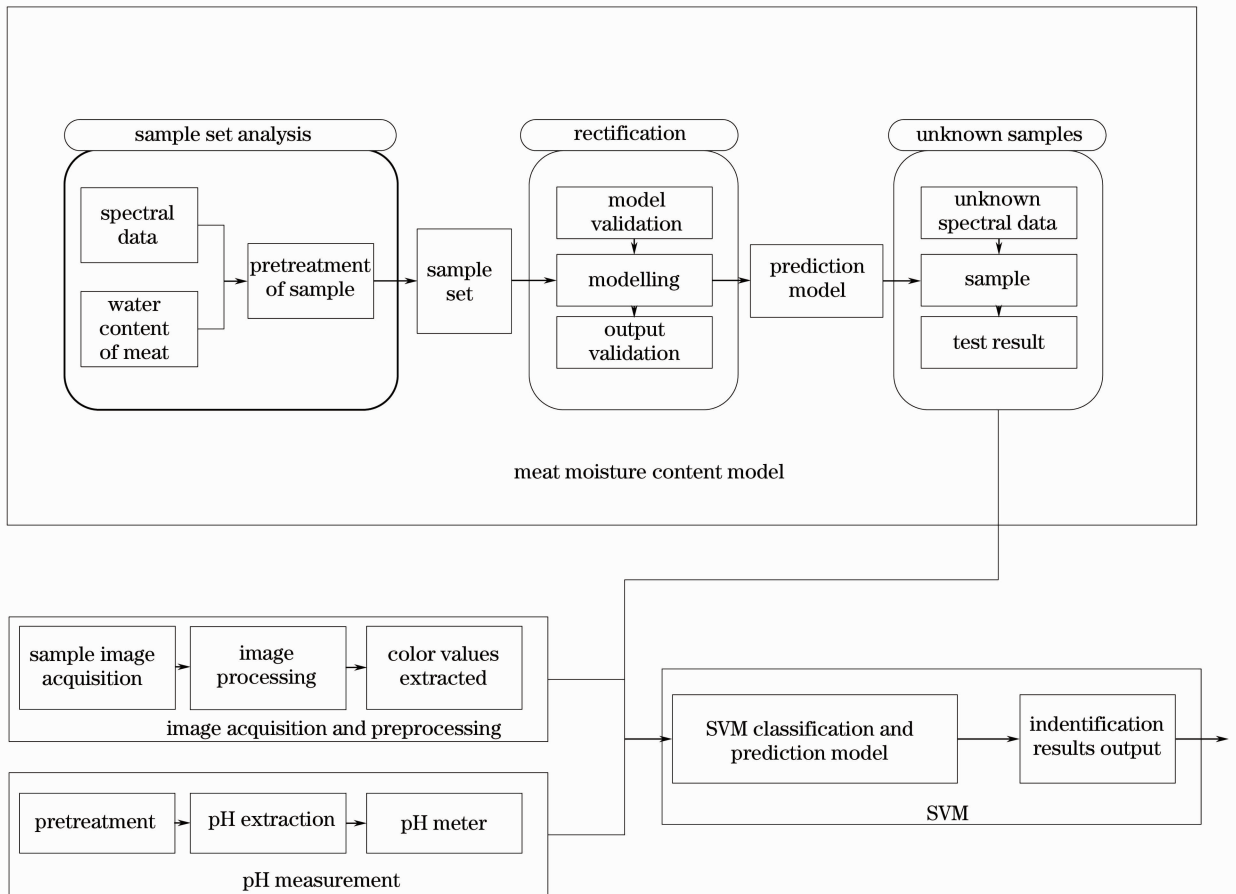


图 7 SVM 分类预测模型

Fig. 7 SVM classification and prediction model

在 Matlab7.11.0(R2010b)中,将采集到的数据生成 meat.mat 文件,将样本 1~40 组作为预测模型的训练集,样本 41~60 组作为分类预测模型的预测集。采用 libsvm 工具箱^[21]建立 SVM 分类预测模型,选取参数 $c=1, g=4$;其结果如图 8 所示,在多次训练中,最低运行结果为精度 95%,可以达到研究要求,实现了对肉品是否为注水肉快速判别。

之后为验证所建立的模型可以更加广泛地适用,又取来自不同批次的不同部位的 60 个猪肉样本进行验证,结果表明该模型同样适用。

6 结 论

采用近红外光谱技术测量肉品的水分含量。为了提高测量精度和准确性,克服肉品水分测量受体积重量的敏感性影响,将肉品的图像信息和 pH 值作为模型的辅助参量,建立和优化了多信息融合肉品水分含量模型。采用多传感器信息融合检测技术,在检测肉品内在物理特征信息的基础上,辅以外在检测信息,能对肉的品质做出准确的测量。实验证明,与理化检测方法和感官检测方法相比(前者操作复杂耗时又需要设备支持,后者依靠检测人员的经验),本文提出的方法更加方便、简单和准确。

因此,该方法可以实现对注水肉的快速、准确检测。卫生检疫部门及相关肉品厂家可以采用这种快速、准确、实用的检测技术对注水肉进行检测,以便在第一时间将问题肉品剔除市场,保证消费者的食用安全。

参 考 文 献

- 1 Kong Xianqin, Huang Suzhen. Meat quality nondestructive testing methods[J]. Meat Research, 2008, (8): 66—69.
孔宪琴, 黄素珍. 肉品品质的无损检测方法[J]. 肉类研究, 2008, (8): 66—69.
- 2 Zou Xiaobo, Zhao Jiewen. Agricultural Nondestructive Testing Technology and Data Analysis Method[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2008.
邹小波, 赵杰文. 农产品无损检测技术与数据分析方法[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008.
- 3 Sun Tong, Xu Huirong, Ying Yibin. Progress in application of near infrared spectroscopy to nondestructive on-line detection of products/food quality[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2009, 29(1): 122—126.
孙 通, 徐惠荣, 应义斌. 近红外光谱分析技术在农产品/食品品质在线无损检测中的应用研究进展[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(1): 122—126.
- 4 M S Brewer, J Novakofski, K Freise. Instrumental evaluation of pH effects on ability of pork chops to bloom [J]. Meat Science, 2006, 72(4): 596—602.
- 5 B S Andrews, S Huntchison, J A Unruh, *et al.*. Influence of pH at 24 h postmortem on quality characteristics of pork loins aged 45 days postmortem [J]. J Muscle Foods, 2007, 18(4): 401—407.
- 6 Zhang Haiyun, Peng Yankun, Wang Wei *et al.*. Rapid nondestructive detection of water content in fresh pork based on spectroscopy technique combined with support vector machine[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2012, 32(10): 2794—2798.
张海云, 彭彦昆, 王 伟, 等. 基于光谱技术和支持向量机的生鲜猪肉水分含量快速无损检测 [J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(10): 2794—2798.
- 7 Administration for Quality Supervision and Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Meat and Meat Products—Method for Determination of Moisture Content[S]. GB/T 9695.15—2008. Beijing: China Standards Press, 2008.
中华人民共和国质量监督检验检疫总局. 肉与肉制品水分含量测定[S]. GB/T 9695.15—2008. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- 8 Yang Zhimin, Ding Wu, Zhang Yao. Study on discrimination of raw meat and water-injected meat based on near-infrared spectroscopy and artificial neural network model[J]. Food Research and Development, 2012, 33(5): 118—119.
杨志敏, 丁 武, 张 瑶. 应用近红外技术快速鉴别原料肉注水的研究[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(5): 118—119.

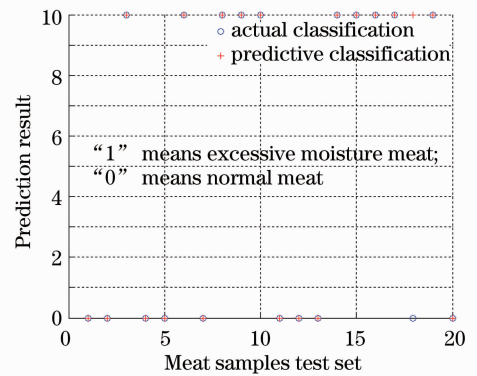


图 8 SVM 分类预测模型预测结果

Fig. 8 Prediction results of the SVM classification and prediction model predicted results

- 9 Zou Xiaobo, Zhao Jiewen, Xia Rong. Near infrared determination of sugar content in apples based on multi-resolution decomposition and interval partial least square (iPLS) method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(6): 79-82.
邹小波, 赵杰文, 夏 蓉. 苹果糖度近红外光谱小波去噪和 IPLS 建模[J]. 农业机械学报, 2006, 37(6): 79-82.
- 10 Li Xi. Research and Soft Sensing Applications of Partial Least-Squares Regression[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2007.
李 喜. 偏最小二乘回归理论的研究及软测量应用[D]. 大连: 大连理工大学, 2007.
- 11 Chen Bing, Li Shan, Wu Baohai, *et al.*. Multistage manufacturing quality analysis and forecasting on dimension association and partial least square regression[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2009, 15(2): 389-398.
陈 冰, 李 山, 吴宝海, 等. 基于尺寸关联和偏最小二乘回归的多工序质量分析与预测[J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15(2): 389-398.
- 12 Guo Peiyuan, Chen Yan, Xue Hong, *et al.*. Pork Freshness Intelligent Detection Device [P]. Chinese Patent, China, 101144780A, 2008-03-19.
郭培源, 陈 岩, 薛 红, 等. 猪肉新鲜度智能检测装置 [P]. 中国专利, 101144780A, 2008-03-19.
- 13 T Hansen, M A Petersen, D V Byrne. Sensory based quality control utilizing an electronic nose and GC-MS analyses to predict end-product quality from raw materials[J]. Meat Science, 2005, 69(4): 621-634.
- 14 S Panigrahi, S Balasubramanian, H Gu. Neural-network-integrated electronic nose for identification of spoiled beef[J]. LWT-Food Science and Technology, 2006, 39(10): 135-145.
- 15 Qu Shihai, Guo Peiyuan. Study on detection method to fresh degree of meat based on many message dealing[J]. J. Beijing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2006, 24(5): 26-31.
曲世海, 郭培源. 基于多信息处理的肉类新鲜度检测方法研究[J]. 北京工商大学学报: 自然科学版, 2006, 24(5): 26-31.
- 16 Chen Chun. Computer Image Processing Technology and Algorithm[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.
陈 纯. 计算机图像处理技术与算法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- 17 Tu Kang. Advances in non-destructive measurement techniques for quality detection of meat[J]. J Northwest Sci-Tech Univeristy of Agriculture and Forestry (Natural Science Edition), 2005, 33(1): 25-28.
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(自然科学版), 2005, 33(1): 25-28.
- 18 Bi Song, Guo Peiyuan. Pork freshness detecting method based on the change of germ area[J]. J Agricultural Mechanization Research, 2009, (5): 67-71.
毕 松, 郭培源. 基于细菌菌斑变化的猪肉新鲜度检测方法研究[J]. 农机化研究, 2009, (5): 67-71.
- 19 Yu Ruixue, Guo Peiyuan. Pork freshness detection based on photo-electric micro-technique[J]. J Beijing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2007, 25(4): 34-38.
于瑞雪, 郭培源. 基于光电显微技术的猪肉新鲜度智能检测[J]. 北京工商大学学报: 自然科学版, 2007, 25(4): 34-38.
- 20 Guo Peiyuan, Qu Shihai, Chen Yan, *et al.*. The study on intellectual detection technology to meat fresh degree based on much data merging[C]. ICSCA 06, 2006. 1822-1826.
- 21 Shi Feng, Wang Xiaochuan, Yu Lei, *et al.*. 30 Case Analysis of Matlab Neural Network[M]. Beijing: Beihang University Press, 2011.
史 峰, 王小川, 郁 磊, 等. Matlab 神经网络 30 个案例分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.