

文章编号: 1001-3806(2015)02-0284-05

高光谱成像技术检测冷却羊肉表面细菌总数

郑彩英¹, 郭中华^{1,2*}, 金灵¹

(1. 宁夏大学物理电气信息学院, 银川 750021; 2. 宁夏沙漠信息智能感知重点实验室, 银川 750021)

摘要: 为了对冷却羊肉表面细菌总数进行无损检测, 采用不同波段范围高光谱成像系统结合多种建模方法建立预测模型, 进行理论分析和实验验证。分别在 400nm ~ 1100nm 和 900nm ~ 1700nm 波长范围内获取冷却羊肉样本的高光谱图像信息, 结合偏最小二乘和人工神经网络(反向人工神经网络和径向基人工神经网络)建立预测模型。结果表明, 神经网络建模效果优于偏最小二乘; 其中, 径向基人工神经网络模型在 400nm ~ 1100nm 和 900nm ~ 1700nm 波长范围内相关系数分别为 0.9872 和 0.9988, 均方根误差分别为 0.8210 和 0.2507, 预测效果最好; 而 900nm ~ 1700nm 波长范围为最佳建模波长。这一结果说明利用高光谱图像技术对冷却羊肉表面细菌总数进行快速无损检测是可行的。

关键词: 光谱学; 无损检测; 高光谱成像系统; 冷却羊肉; 细菌总数

中图分类号: O433.4 **文献标志码:** A **doi:** 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2015.02.029

Measurement of total viable count on chilled mutton surface based on hyperspectral imaging technique

ZHENG Caiying¹, GUO Zhonghua^{1,2}, JIN Ling¹

(1. School of Physics and Electronic Information Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. Ningxia Key Laboratory of Intelligent Sensing for Desert Information, Yinchuan 750021, China)

Abstract: In order to obtain non-destructive assessment of total viable count (TVC) on chilled mutton surface, different kinds of recognition models were established based on different wavelength range hyperspectral imaging systems, then theoretical analysis and experiments were carried out. The hyperspectral imaging information of chilled mutton samples were collected in the region of 400nm ~ 1100nm and 900nm ~ 1700nm. The predictive models were established by partial least squares (PLS) and artificial neural network (back propagation artificial neural network and radial basis function artificial neural network (RBF-ANN)). The results show that the model which is on the basis of artificial neural network is better than PLS to predict TVC of chilled mutton surface. The best prediction result is based on the RBF-ANN model, the correlation coefficient and the root mean square error of prediction are 0.9872, 0.9988 and 0.8210, 0.2507 in the region of 400nm ~ 1100nm and 900nm ~ 1700nm. Meanwhile, the region of 900nm ~ 1700nm is the best modeling wavelength. Therefore, hyperspectral imaging technique can be used for the non-destructive detection of total viable count on chilled mutton surface.

Key words: spectroscopy; non-destructive detection; hyperspectral imaging systems; chilled mutton; total viable count

引言

羊肉蛋白质含量高于猪肉, 脂肪含量低, 钙、磷、

铁等矿物质明显高于猪肉、鸡肉, 是理想的绿色动物蛋白来源^[1]。随着居民生活水平的提高, 对健康、营养、安全等重视程度的增加, 冷却肉的需求量日益增长, 代表了未来肉制品的主流方向。冷却羊肉表面微生物的大量繁殖不仅使冷却肉的颜色、气味等感官性质发生改变, 更会导致病原体、毒素的形成, 对人体健康造成危害。

基金项目: 宁夏回族自治区自然科学基金资助项目 (N214047)

作者简介: 郑彩英(1988-), 女, 硕士研究生, 主要从事计算机网络与多媒体通信方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: guozhh@nxu.edu.cn

收稿日期: 2014-02-20; 收到修改稿日期: 2014-05-04

细菌总数(total viable count, TVC)是评价食品卫生质量的重要微生物学指标, 传统检测方法大多

基于快速测试片技术、电阻抗技术、微菌落技术、发射测量法、微热量技术、三磷酸腺苷生物发光技术、色谱法等^[2]方法,但存在操作繁琐、耗时长、产品破坏大、检测结果滞后等缺点,很难实现冷却肉在冷链流通、销售等环节的在线无损检测^[3]。

光谱技术已经广泛地应用于食品的分析 and 检验^[4],其中高光谱成像技术利用畜产品在紫外、可见或近红外等光谱区域的分光反射特性揭示其品质参量^[5],由于物体的反射光谱具有“指纹”效应,不同物不同谱、同物一定同谱的原理来分辨不同的物质信息。不同基团或同一基团在不同化学环境中的吸收波长和强度有明显差别,具有丰富的结构和组成信息,非常适合用于碳氢有机物质的组成和性质的测量。近年来在农畜产品内外品质检验(如嫩度、大理石花纹)、肉类、水果表面污染无损检测等^[6-15]中成为热点。

本试验同时在近红外高光谱成像系统 400nm ~ 1100nm 波长范围和 900nm ~ 1700nm 波长范围进行,以冷却羊肉表面细菌总数的无损检测为研究对象,通过高光谱成像技术确定冷却羊肉表面细菌总数的最佳建模特征波长,并利用多种方法建立预测模型加以分析比较,以期在羊肉实际安全质量检测过程中获得更加准确、快速、无损的监测手段。

1 材料与方法

1.1 材料

采用宁夏本地羊肉为实验对象,将采回样本分割为 5cm × 5cm × 2cm (长 × 宽 × 厚)的肉块,共计 80 个样本。第 1d 样本直接进行试验,对剩余样本分别包装标号,置于 4℃ 冰箱中贮存待测。实验过程中每 24h 从冰箱随机取肉样 4 个进行试验,共 20d,校正集与预测集成 3:1 的比例。

1.2 仪器

所用仪器包括高光谱成像系统、LRH-150B 生化培养箱(广东省医疗器械厂)、LDZM-80KCS 立式压力蒸汽灭菌锅(上海申安医疗器械厂)、HDLAP-PARATUS 超净工作台(北京东联哈尔仪器制造有限公司)、移液器、培养皿、电子天平等。高光谱成像系统包括研究的 HyperSpec VNIR 高光谱成像系统,光谱覆盖范围为 400nm ~ 1100nm(美国 Headwall Photonics 公司),以及 HyperSIS-NIR 近红外高光谱成像系统,光谱覆盖范围为 900nm ~ 1700nm(北京卓立汉光仪器有限公司)。

1.3 光谱采集和实际值测量

1.3.1 高光谱图像采集 测量期间每天随机从 4℃ 冰箱内拿出 4 个待测样品,将其置于室温下 30min 后采集样品的高光谱图像。为避免由于样本、仪器和环境变量带来的检测限差异^[16],在利用不同波长范围进行光谱值获取时,使用相同样本同时进行测量,且确保实验室周围温度、湿度、照明等外界条件一致,采集前系统设置如下:光谱范围 900nm ~ 1700nm,曝光时间为 10ms,曝光速率为 15mm/s,扫描宽度为 180mm;光谱范围 400nm ~ 1100nm,曝光时间为 10ms,曝光速率为 15mm/s,步进速率为 0.16mm/s,扫描宽度为 80mm,以确保图像清晰不失真。在采集样本图像之前,为校正相机暗电流和室内照明对图像的影响,进行黑白校正^[11]。

$$R = (R_0 - D) / (W - D) \quad (1)$$

式中, R 为校正后的高光谱图像, R_0 为原始高光谱图像, W 为白板图像, D 为暗图像。

1.3.2 样品表面微生物测量 采集高光谱图像后,立即按照 GB 4789.2-2010 食品安全国家标准《食品微生物学检验菌落总数测定》采用平板计数法测定冷却羊肉样本表面的细菌总数,按照 1:10 比例梯度稀释,选取两个合适稀释度倒平板,每个稀释度倒两个平板作为平行,随后将其置于恒温培养箱,48h 后计数,取对数值作为参考数据。

从图 1 可以看出,随着贮藏时间的延长,细菌总数呈不断增长的趋势。由于环境的改变,微生物需要适应新的环境即迟滞期,而使得前 5d 微生物数量变化不大,从第 6d 开始进入对数期,到 16d 时达到最值,后由于微生物进入衰亡期后,细菌总数下降。图中 CFU(colony forming unit)是菌落形成单位。

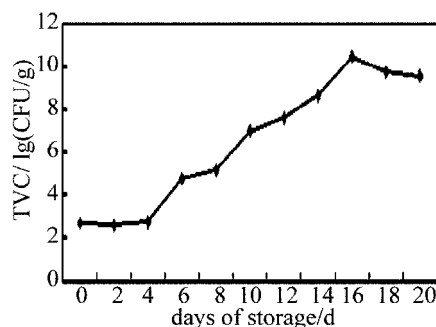


Fig. 1 Change of total bacterial colony during chilling storage of mutton at 4℃

1.3.3 光谱值的获取 高光谱图像数据分析采用 ENVI4.6 和 MATLAB 软件平台。对校正后样本高

光谱图像,选取表面一个感兴趣区域(region of interest, ROI)并计算平均反射光谱,依次按照此法获得总共 80 个样本的全波段原始反射光谱曲线见图 2。

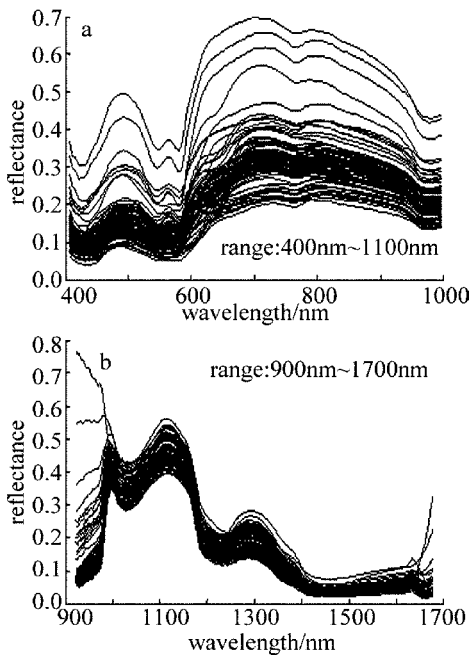


Fig. 2 Mean reflectance spectrum extracted from the hyperspectral image in ROI for all samples

2 结果与分析

2.1 光谱数据预处理

为增强分析信息,获得低背景干扰、高信噪比的分析信号,对原始光谱使用多元散射校正(multiple

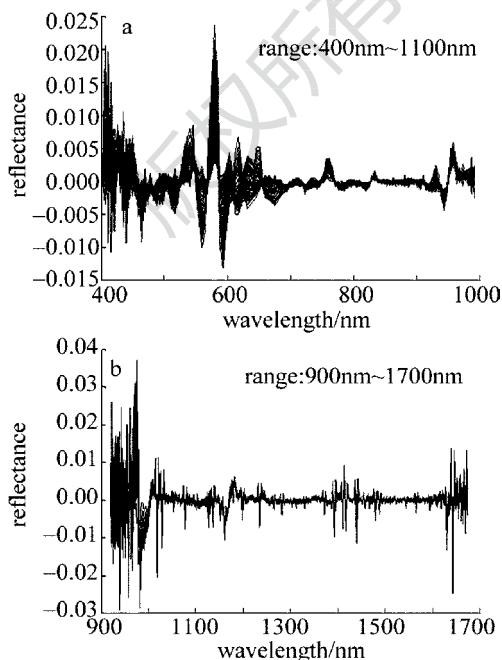


Fig. 3 The best preprocessed spectroscopy of prediction model

scattering correction, MSC)、导数法(derivative method, DM)、标准正态变量变换(standard normal variate, SNV)以及其相结合复合算法等 10 种方法进行预处理。最后对冷却羊肉表面的细菌总数建立模型,通过模型评价指标相关系数 R 和预测集均方根误差(root mean square error of prediction, RMSEP) E 来评价模型拟合精度和模型的预测能力。 R 值越接近 1, E 值越小,所建模型性能就越好。通过评价指标反映,可以得出 400nm ~ 1100nm 波长和 900nm ~ 1700nm 波长范围内,菌落总数建模的最佳光谱预处理方法为多元散射校正和 2 阶导数相结合(multiplicative scatter correction + second derivative, MSC + SD)。图 3 为不同波长范围下细菌总数建模的最佳预处理光谱图。

2.2 主成分分析提取最优波段

经预处理后光谱范围 400nm ~ 1100nm 共有 125 个波长,900nm ~ 1700nm 共有 256 个波长。若采用全部波长作为建模输入数据量太大,计算量较大,冗余信息多。通过主成分分析(principal component analysis, PCA),对数据进行降维,找出局部相关系数极大值或极小值所对应的波长作为特征波长,400nm ~ 1100nm 波长范围选择 6 个局部相关系数极大值和极小值作为特征波长,分别是 492nm, 559nm, 579nm, 593nm, 636nm 和 689nm 建立预测模型。900nm ~ 1700nm 波长范围选择 6 个局部相关系数极大值和极小值作为特征波长,分别是 987nm,

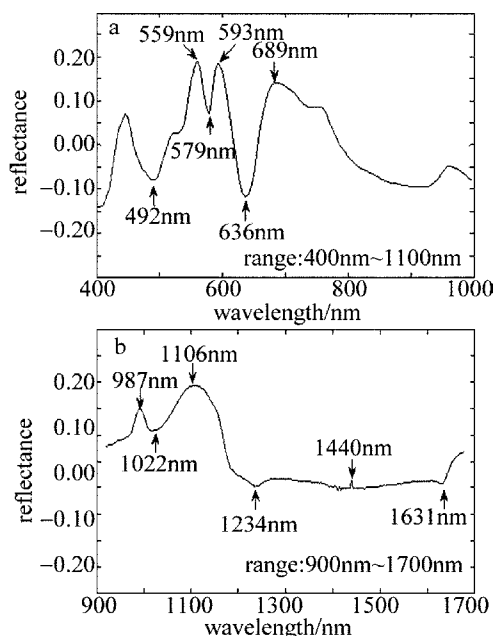


Fig. 4 Determination of feature wavelengths

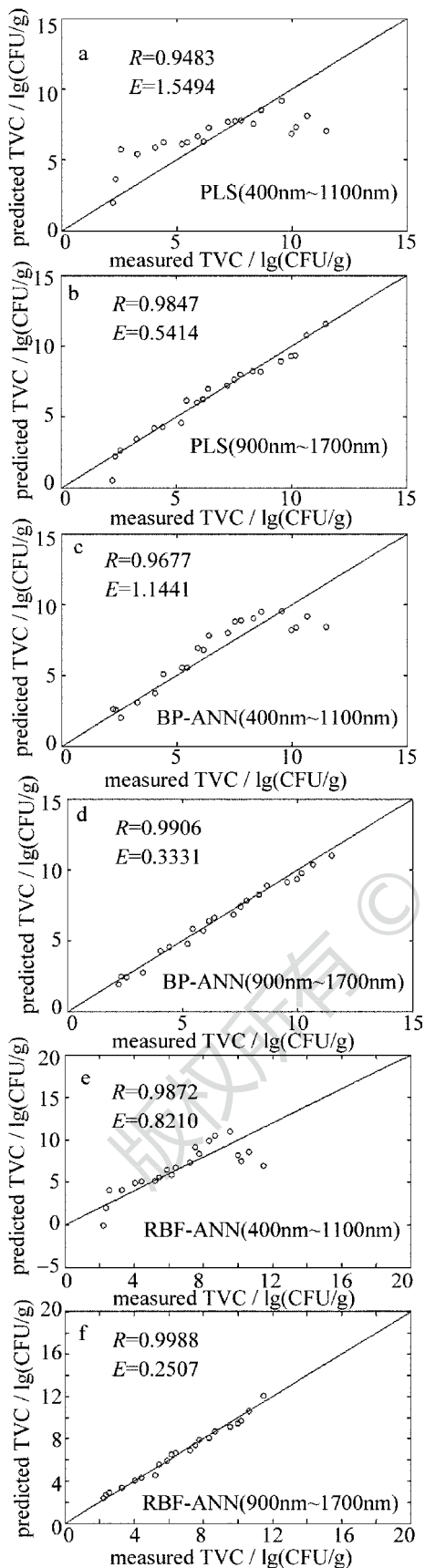


Fig. 5 Correlation diagram of quantitative prediction model

1022nm, 1106nm, 1234nm, 1440nm 和 1631nm 建立冷却羊肉表面细菌总数预测模型,特征波长选取见图 4。

2.3 模型的建立及预测结果

试验中使用偏最小二乘 (partial least square, PLS) 及神经网络建立模型并进行预测,比较各种建模方法以及不同波长范围预测细菌总数的能力,将经 MSC + SD 预处理及主成分分析提取最优波段后的 80 个冷却羊肉样本光谱数据依次建模,依据所建模型对预测集样品进行验证,PLS 和人工神经模型的预测结果如图 5 所示。

2.3.1 BP-ANN 建模 后向传播神经网络 (back propagation artificial neural network, BP-ANN) 由输入层、隐含层、输出层组成,是一种多层前馈神经网络,信号向前传递,误差向后传播。输入层包含 6 个节点,经反复训练,确定隐含层节点数为 10,迭代次数为 1000,目标误差为 0.001。

2.3.2 RBF-ANN 建模 径向基函数神经网络 (radial basis function artificial neural network, RBF-ANN) 属于前向神经网络类型,其基本思想是用 RBF 作为隐单元的基构成隐藏层空间,隐含层对输入变量进行变换,将低维模式的输入数据变换到高维空间内,使得低维空间内线性不可分的问题在高维空间内线性可分。输入层包含 6 个节点,隐含层节点数为 10。

2.3.3 建模结果比较 对经 MSC + SD 预处理及主成分分析降维后光谱数据,建立 PLS 和神经网络预测模型。预测结果见图 5,比较评价参量可以看出,神经网络建模效果优于 PLS 预测结果,其中,预测效果最好的 RBF-ANN 模型,在 400nm ~ 1100nm 和 900nm ~ 1700nm 波长范围内相关系数 R 分别为 0.9872 和 0.9988;均方根误差分别为 0.8210 和 0.2507。从整体的波长选择结果来看,在 900nm ~ 1700nm 波长范围内模型的精度优于 400nm ~ 1100nm 波长范围,预测效果较好,故 900nm ~ 1700nm 波长范围为最佳建模波长。

3 结论

本试验中使用高光谱图像技术,对冷却羊肉表面的细菌总数的检测方法进行研究,结合 PLS, RBF-ANN 和 BP-ANN 建立预测模型,结果表明, RBF-ANN 由于具有自适应确定、不易陷入局部最小、学习速率快和函数逼近能力强等特点,模型预测效果

最好。且在 900nm ~ 1700nm 波长范围内其模型精度优于 400nm ~ 1100nm 波长范围,900nm ~ 1700nm 波长范围为最佳建模波长。说明高光谱图像技术结合化学计量学分析方法能够实现羊肉表面的细菌总数的快速、无损检测,为实际的生产和生活提供了重要的理论依据。接下来将考虑结合羊肉内部品质对其进行综合评价,进一步完善预测模型。

参 考 文 献

- [1] WU D, SHAO K, DA L, *et al.* Current production and research development of foreign and domestic meat goats industry [J]. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2010, 31(6):124-126(in Chinese).
- [2] ZHOU J, YIN J J, HOU Y Z, *et al.* Development of methods for rapid detection technology of total bacteria in food[J]. *Food Research and Development*, 2010, 31(12):276-280(in Chinese).
- [3] TAO F F, WANG W, LI Y Y, *et al.* A rapid nondestructive measurement method for assessing the total plate count on chilled pork surface[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2010, 30(12):3405-3409(in Chinese).
- [4] ZHANG Y, CHENG Y, YAN Y T, *et al.* Study on characteristics of fluorescent spectra of several kinds of heated common edible oil [J]. *Laser Technology*, 2013, 37(1):109-113(in Chinese).
- [5] ZHU R G, MA B X, GAO Z J, *et al.* Research progress in non-destructive detection of livestock product quality based on hyperspectral imaging [J]. *Laser & Infrared*, 2011, 41(10):1067-1071(in Chinese).
- [6] PARK B, LAWRENCE K C, WINDHAM W R. Performance of hyperspectral imaging system for poultry surface fecal contaminant detection [J]. *Journal of Food Engineering*, 2006, 75(3): 340-348.
- [7] CHEN Q S, ZHANG Y H, WAN X M, *et al.* Study on detection of pork tenderness using hyperspectral imaging technique [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(9):2602-2607(in Chinese).
- [8] QIAO J, NGADI M, WANG N, *et al.* Pork quality and marbling level assessment using a hyperspectral imaging system [J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 83(1): 10-16.
- [9] WU J H, PENG Y K, JIANG F C, *et al.* Hyperspectral scattering profiles for prediction of beef tenderness [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2009, 40(12): 135-138(in Chinese).
- [10] PENG Y K, 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(2): 163-169.
- [11] WANG W, PENG Y K, ZHANG X L, *et al.* Study on modeling method of total viable count of fresh pork meat based on hyperspectral imaging system [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2010, 30(2): 411-415(in Chinese).
- [12] WEI B L, CHEN G X, XU J C, *et al.* Recognition of alcohol-free beer by fluorescent spectroscopy and probabilistic neural network [J]. *Laser Technology*, 2010, 34(6): 794-797(in Chinese).
- [13] XUE L, LI J, LIU M H. Detecting pesticide residue on navel orange surface by using hyperspectral imaging [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, 28(12):2277-2280(in Chinese).
- [14] GAMAL E, SUN D W, PAUL A. Near-infrared hyperspectral imaging for predicting colour, pH and tenderness of fresh beef [J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 110(1):127-140.
- [15] BARBIN D F, ELMASRY G, SUN D W, *et al.* Non-destructive assessment of microbial contamination in porcine meat using NIR hyperspectral imaging [J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2013, 17(1):180-191.
- [16] FU X B. Short-wave near infrared detection technology under complex conditions [D]. Changchun: Jinlin University, 2012:62-69(in Chinese).