

不同储存时间和取样部位牛肉颜色的高光谱图像检测*

朱荣光¹ 姚雪东¹ 高广娣¹ 唐明翔² 卢士玲² 马本学¹

(1. 石河子大学机械电气工程学院, 石河子 832003; 2. 石河子大学食品学院, 石河子 832003)

摘要: 为了探讨高光谱图像技术对不同储存时间和取样部位的牛肉颜色检测的可行性,采集具有代表性的牛肉后腿、里脊和背脊共82个牛肉样品的高光谱图像,并测量其亮度、红度、黄度和饱和度等颜色参数。选取感兴趣区域获取样品代表性光谱,通过选择适宜的谱区范围和预处理方法,建立并评价了预测各颜色参数的偏最小二乘校正模型。对于亮度、红度、黄度和饱和度,校正集的相关系数分别为0.80、0.91、0.91和0.93,校正标准差分别为2.23、1.18、0.82和1.12,预测集的相关系数分别为0.92、0.88、0.87和0.89,预测标准差分别为1.66、1.45、0.80和1.27。研究表明,高光谱图像技术可用于快速无损检测不同储存时间下、不同部位的牛肉颜色。

关键词: 牛肉 颜色参数 高光谱图像 偏最小二乘

中图分类号: TS251.7; O657.33 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2013)07-0165-05

Hyperspectral Imaging Detection of Beef Color under Different Storage Time

Zhu Rongguang¹ Yao Xuedong¹ Gao Guangdi¹ Tang Mingxiang² Lu Shiling² Ma Benxue¹

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

2. Food College, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract: In order to explore the feasibility of hyperspectral imaging technique to estimate beef color parameters under different storage time and sampling positions, hyperspectral images of 82 representative beef samples were acquired. Color parameters, including brightness (L^*), redness (a^*), yellowness (b^*) and saturation (C^*) were also determined. Their representative spectra were obtained by selecting regions of interest (ROIs). By comparing and choosing appropriate spectral regions and pretreatment methods, optimum partial least squares (PLS) calibration models of each beef color parameters were established and evaluated, respectively. As for L^* , a^* , b^* and C^* , the correlation coefficients of calibration were 0.80, 0.91, 0.91 and 0.93, and root mean square errors of calibration were 2.23, 1.18, 0.82 and 1.12, respectively. The correlation coefficients of prediction were 0.92, 0.88, 0.87 and 0.89, and root mean square errors of prediction were 1.66, 1.45, 0.80 and 1.27, respectively. The results showed that hyperspectral imaging technique could be used to rapidly and non-destructively analyze beef color parameters under different storage time and sampling positions.

Key words: Beef Color parameters Hyperspectral imaging Partial least squares

引言

颜色是选择牛肉最常用的指标,也是色、香、味、质中最先导的感官要素,且在国家鲜冻肉卫生标准中,肉色是评价牛肉新鲜程度的重要参数^[1]。目前

肉色主观评价主观性较强;客观评价主要通过色差计,测定时容易带来污染和安全问题。因此开发快速、无损及安全的颜色等重要品质指标的检测手段很有必要。当前研究中常用的无损检测技术主要有机器视觉、电子鼻、近红外光谱(NIRS)和高光谱图

收稿日期: 2012-07-03 修回日期: 2012-07-16

* 国家自然科学基金资助项目(31160329)和石河子大学高层次人才科研启动项目(RCZX200943)

作者简介: 朱荣光,副教授,主要从事农畜产品无损检测研究,E-mail: rgzh_jd@shzu.edu.cn

通讯作者: 姚雪东,副教授,主要从事农产品加工研究,E-mail: yaoxuedong@126.com

像(HSI)等^[2-8]。其中,近年来兴起的HSI可同时获得样品的图像和光谱信息,符合现代检测技术向多源信息融合方向发展的趋势。目前国内外已有利用NIRS^[9-11]和HSI^[12-14]检测肉品颜色的报道,但它们大多不考虑储存时间和取样部位的影响。目前尚未见利用HSI检测不同新鲜程度和取样部位牛肉颜色的报道。

本文探讨利用HSI对不同储藏时间和取样部位牛肉颜色检测的可行性,针对亮度 L^* 、红度 a^* 、黄度 b^* 和饱和度 C^* 等参数,通过比较不同的谱区范围和预处理对模型的影响,利用偏最小二乘(PLS)建立校正模型并通过预测集进行评价,以期为建立牛肉新鲜度的相关检测方法提供依据。

1 材料和方法

1.1 牛肉样品制备

82块牛肉样品均采自新疆西部牧业集团屠宰车间,将现场屠宰的牛肉依次编号放于真空蒸煮袋后,使用医疗保险箱送回实验室。牛肉样品主要取自牛肉后腿(28块)、里脊(26块)和背脊(28块)3个部位,采集分3批完成。样品经分割切块处理及密封包装后,储存在 $0\sim 4^{\circ}\text{C}$ 下并经过不同的储存时间(3、7、10 d),获得在新鲜程度和颜色上具有一定代表性的牛肉样品。

1.2 高光谱图像系统

高光谱图像系统采用“推扫式”成像方法,其结构示意图如图1所示。该系统主要由高光谱成像仪(V10E型,芬兰)、CMOS相机(MV-1024E型,中国)、光源(150 W 卤素灯,中国)、样品输送装置(DP23000Y型电控平移台,中国)、图像采集卡、暗箱和计算机等组件组成。该系统可采集到的光谱范围为 $400\sim 1\,000\text{ nm}$,光谱分辨率为 2.8 nm 。

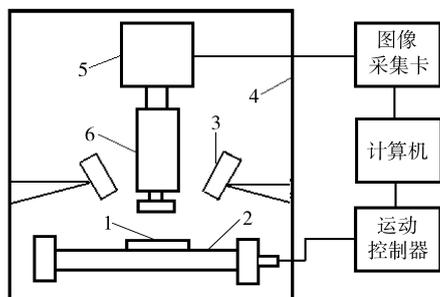


图1 推扫式高光谱图像系统

Fig.1 Push-broom hyperspectral imaging system

1.牛肉 2.步进电动机 3.光源 4.暗箱 5.CMOS相机 6.高光谱仪

1.3 高光谱图像采集

相机的曝光时间设置为 40 ms ,以保证图像清晰

和最强吸收峰未饱和。仪器与样品间物距设置为约 35 cm ,并将输送装置运行速度设定为 540 脉冲/s ,以避免图像尺寸和空间分辨率失真。系统工作时,线阵检测器在垂直于牛肉前进方向作横向扫描,并获取所扫描条状空间中各像素点在各波长处的图像信息。随着平移台的前进,线阵探测器扫描完整个样品表面,完成整个牛肉样品高光谱图像数据的采集。

1.4 高光谱图像黑白校正

由于摄像头中存在的暗电流和光源强度在不同波段下的分布不均匀,高光谱绝对图像 I 中通常会包含有较大的噪声信号,因此有必要对高光谱图像进行黑白校正。依次扫描白色和黑色校正板分别获得全白的标定图像 W 和全黑的标定图像 B 。利用公式 $I_R = (I - B) / (W - B)$,将采集到的样品绝对图像 I 转换成相对图像 I_R 。 I_R 即最终获得的样品高光谱图像信息。

1.5 样品颜色参数测定

根据国际照明委员会的标准,颜色参数用亮度 L^* 、红度 a^* 、黄度 b^* 和饱和度 C^* 表示。其中 C^* 与 a^* 、 b^* 值的关系为: $C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ 。牛肉样品经高光谱图像采集后,采用SMY-2000型手持色差计测量牛肉的颜色参数。具体方法是:色差计使用黑白板校正后,尽量选择牛肉表面的肌肉部分测量颜色,每个样品测量6次数据。6次数据的平均值即为 L^* 、 a^* 、 b^* 和 C^* 等颜色参数的真值。测量过程中要注意防止漏光。

1.6 数据处理与分析

高光谱图像数据采集使用Spectral cube软件(Spectral Imaging,芬兰),数据的处理采用ENVI 4.7(ITT, USA)、TQ 8.01(Thermo Fisher Scientific, USA)和Matlab 7.12(Mathworks, USA)等软件平台。根据交互验证标准差确定潜变量因子数。利用校正集相关系数 R 、校正标准差、交互验证标准差和预测标准差综合确定最优谱区范围和预处理方法。最后利用 R 、校正标准差、预测集相关系数 r 、预测标准差和相对分析误差对建模和预测效果进行评价。

2 结果与讨论

2.1 颜色参数的统计分析

利用色差计获得牛肉各颜色参数的真值之后,根据各参数值的梯度大小排序,按照3:1的比例分别获得其校正集和验证集样品。经异常值检验^[15]去除异常值后,校正集和预测集中牛肉样品的 L^* 、 a^* 、 b^* 和 C^* 等颜色参数值的统计结果如表1所示。

表 1 样品集各颜色参数的统计结果分析

Tab.1 Statistical analysis of color parameters

参数	校正集					预测集				
	样品个数	平均值	标准偏差	最小值	最大值	样品个数	平均值	标准偏差	最小值	最大值
L^*	59	32.41	3.71	23.00	39.86	21	32.38	4.11	22.92	40.34
a^*	60	14.81	2.85	6.60	20.78	20	14.79	3.05	6.81	19.36
b^*	59	6.83	1.95	1.55	11.77	19	6.91	1.62	3.11	9.48
C^*	61	16.51	3.03	9.23	23.16	20	16.47	2.85	10.46	21.34

2.2 样品代表性光谱及建模谱区范围的选择

在储存过程中,伴随着牛肉中蛋白质、脂肪的分解变化,肌肉颜色会不断发生变化。感兴趣区域主要取自于样品中心的肌肉部分,应注意避开由残余水分带来的明显发亮区域。每个样本的感兴趣区域大约包括有 2 500 个像素点,将感兴趣区域中所有点的平均光谱定义为各样品的代表性光谱。

在波长小于 490 nm 及大于 830 nm 时,光谱响应值较低,噪声较大。因此在建模时,仅考虑 490 ~ 830 nm 的谱区范围,如图 2 所示,并将其划分为多个子谱区。通过比较各子谱区的不同组合对建模效果的影响,利用 R 、校正标准差、交互验证标准差和预测标准差综合确定了各参数适用的谱区范围,如表 2 所示。试验表明,谱区范围的选择对建模效果的影响很大。例如,对于 L^* 参数,其他因素不变,如果选择全谱建模,由于干扰信息的影响,预测集的预测标准差将由 1.66 增大为 2.10。

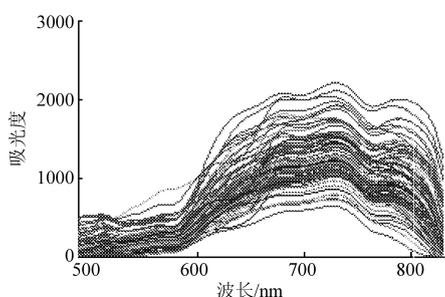


图 2 牛肉样品的光谱图

Fig.2 Spectra of beef samples

2.3 光谱预处理方法的选择

为了消除干扰信号影响及突出光谱中各参数特征信息,常需对光谱进行预处理。常用预处理方法主要有 Savitzky-Golay (S-G) 平滑、1 阶导数、2 阶导数、基线校正、多元散射校正、变量标准化、中心化和自动定标等^[4]。为了获得较好的建模效果,本研究比较了上述各种预处理及组合对建模效果的影响,并通过 R 、校正标准差、交互验证标准差和预测标准差确定了各参数适宜的预处理方法,如表 2 所示。其中 L^* 和 a^* 均采用多元散射校正 + 1 阶导数 + S-G 平滑 + 中心化处理,区别在于采用的平滑点数

不同,分别为 15 和 11 点;而 b^* 和 C^* 参数均采用变量标准化 + 1 阶导数 + S-G 平滑 + 中心化处理,区别也在于采用的平滑点数不同,分别为 9 和 11 点。经多元散射校正 + 1 阶导数 + S-G (15, 2) 平滑 + 中心化处理之后的光谱如图 3 所示。

表 2 各颜色参数的建模谱区范围和预处理方法的选择

Tab.2 Choices of spectral regions and preprocessing methods

参数	谱区范围	预处理方法
L^*	[504.9, 583.1], [725.7, 795.7]	多元散射校正 + 1 阶导数 + S-G (15, 2) 平滑 + 中心化
a^*	[497.1, 795.5]	多元散射校正 + 1 阶导数 + S-G (11, 2) 平滑 + 中心化
b^*	[584.1, 633.6], [758.5, 685.9]	变量标准化 + 1 阶导数 + S-G (9, 2) 平滑 + 中心化
C^*	[500.4, 534.5], [543.3, 577.4], [744.6, 788.8], [643.0, 737.68]	变量标准化 + 1 阶导数 + S-G (11, 2) 平滑 + 中心化

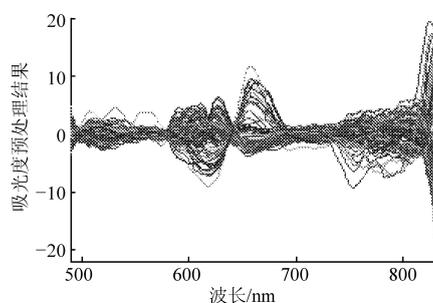


图 3 多元散射校正 + 1 阶导数 + S-G (15, 2) 平滑 + 中心化预处理后的光谱

Fig.3 Spectral data after preprocessing of MSC + 1D + S-G (15, 2) + mean-centering

2.4 各颜色参数校正模型的建立与评价

利用上述选定的谱区范围和预处理方法,建立 L^* 、 a^* 、 b^* 和 C^* 等各颜色参数的 PLS 校正模型,并利用预测集进行了评价。其建模与预测结果如表 3 所示。对于 L^* 、 a^* 、 b^* 和 C^* ,建模时分别使用了 5、8、10 和 10 个潜变量因子,校正集的 R 分别为 0.80、0.91、0.91 和 0.93,校正标准差分别为 2.23、1.18、0.82 和 1.12,预测集的 r 分别为 0.92、0.88、0.87、0.89,预测标准差分别为 1.66、1.45、0.80、1.27,相对分析误差分别为 2.48、2.10、2.04 和 2.24。其中各模型的 r 均大于 0.87,相对分析误差均大于 2.04,结果表明,所建模型能够对不同储存时间和取样部位的牛肉样品的 L^* 、 a^* 、 b^* 和 C^* 等颜色参数进行快速预测分析,并能取得较好的预测精度。各参数预测集样品的测量真实值与预测值之间的相关关系分析如图 4 所示。

表3 各颜色参数的PLS模型预测结果

Tab.3 PLS modeling results of color parameters

参数	潜变量 因子数	R	校正 标准差	r	预测 标准差	相对分 析误差
L^*	5	0.80	2.23	0.92	1.66	2.48
a^*	8	0.91	1.18	0.88	1.45	2.10
b^*	10	0.91	0.82	0.87	0.80	2.04
C^*	10	0.93	1.12	0.89	1.27	2.24

Savenije 等^[9]研究建立了猪肉 L^* 、 a^* 和 b^* 的 NIRS 模型, 相关系数分布在 0.66 ~ 0.89 之间。胡

耀华等^[10]利用 NIRS 对 106 个胸段眼肌样品进行分析, 颜色参数的 R 分布在 0.83 ~ 0.94 之间, 相对分析误差分布在 1.55 到 2.64 之间。而吴建虎等^[12]研究利用 HSI 对 33 个均位于胴体左侧 11 ~ 14 椎骨间垂直于肌肉分布在纤维部位的牛肉样品进行预测, 建立的模型的 r 分布在 0.73 ~ 0.92。本试验采用了后腿、里脊和背脊等 3 个部位的牛肉样品进行建模, 模型效果与上述研究基本相当。结果表明, 取样部位的差异对所建立模型的影响较小。

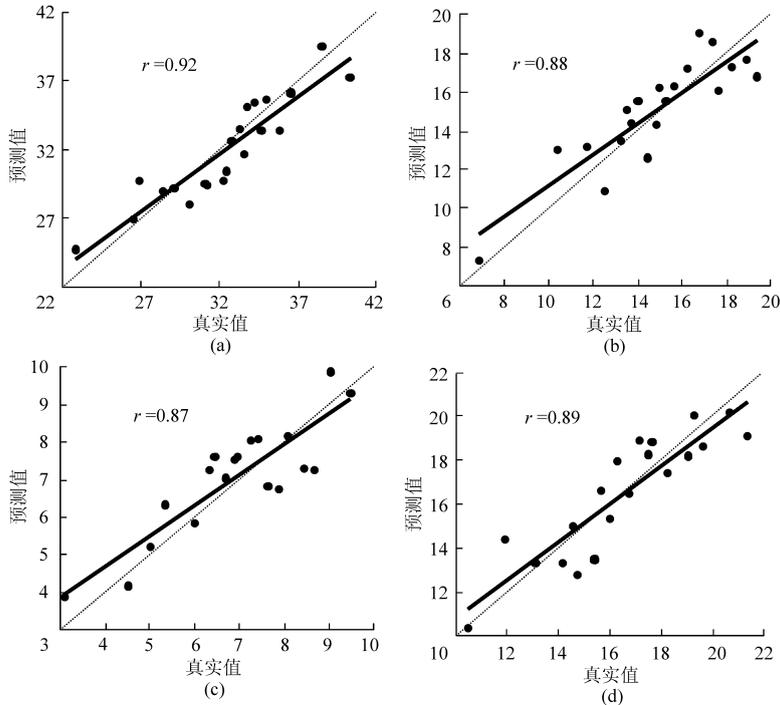


图4 验证集各颜色参数真值与预测值之间的相关关系

Fig.4 Correlation between true values and predicted values of color parameters in predicted sets

(a) L^* (b) a^* (c) b^* (d) C^*

3 结束语

通过选择适宜的谱区范围和预处理方法, 利用高光谱图像技术结合 PLS 回归实现了对不同储藏

时间和不同部位牛肉样品颜色参数(L^* , a^* , b^* , C^* 等)的预测分析, 并能取得较好的预测精度。该研究为进一步利用高光谱图像技术分析牛肉的新鲜度提供了依据。

参 考 文 献

- GB/T 5009.44—2003. 肉与肉制品卫生标准的分析方法[S].
- 孙永海, 赵锡维, 鲜于建川. 基于计算机视觉的冷却牛肉新鲜度评价方法[J]. 农业机械学报, 2004, 35(1):104~107. Sun Yonghai, Zhao Xiwei, Xianyu Jianchuan. Appraising method for freshness of chilled beef based on computer vision technique [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(1): 104~107. (in Chinese)
- 郭辉, 彭彦昆, 江发潮, 等. 手持式牛肉大理石花纹检测系统[J]. 农业机械学报, 2012, 43(增刊):207~210. Guo Hui, Peng Yankun, Jiang Fachao, et al. Development of conveyable beef-marbling detection system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(Supp.):207~210. (in Chinese)
- Burns D A, Ciurczak E W. Handbook of near infrared analysis [M]. 3rd ed. New York: CRC Press, 2008.
- 朱荣光, 马本学, 高振江, 等. 畜产品品质的高光谱图像无损检测研究进展[J]. 激光与红外, 2011, 41(10):1067~1071. Zhu Rongguang, Ma Benxue, Gao Zhenjiang, et al. Research progress in nondestructive detection of livestock product quality based on hyperspectral imaging[J]. Laser and Infrared, 2011, 41(10): 1067~1071. (in Chinese)
- 黄星奕, 周芳, 蒋飞燕. 基于嗅觉可视化技术的猪肉新鲜度等级评判[J]. 农业机械学报, 2011, 42(5):142~145. Huang Xingyi, Zhou Fang, Jiang Feiyan. Evaluation of pork freshness using olfaction visualization detection technique [J].

- Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(5): 142 ~ 145. (in Chinese)
- 7 李翠玲,彭彦昆,汤修映. 基于多光谱成像技术的猪肉新鲜度无损快速检测装置[J]. 农业机械学报,2012,43(增刊): 202 ~ 206.
Li Cuiling, Peng Yankun, Tang Xiuying. Device for rapid nondestructive detection of pork freshness based on multispectral imaging technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(Supp.):202 ~ 206. (in Chinese)
- 8 张海云,彭彦昆,王伟,等. 生鲜猪肉主要品质参数无损在线检测系统[J]. 农业机械学报,2013,44(4):146 ~ 151.
Zhang Haiyun, Peng Yankun, Wang Wei, et al. Nondestructive real-time detection system for assessing main quality parameters of fresh pork[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(4):146 ~ 151. (in Chinese)
- 9 Savenije B, Geesink G H, Palen J G P, et al. Prediction of pork quality using visible/near-infrared reflectance spectroscopy[J]. Meat Science, 2006,73(1):181 ~ 184.
- 10 胡耀华,郭康权,铃木孝范,等. 基于可见光和近红外光谱的肉色检测[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2008,36(7):160 ~ 164.
Hu Yaohua, Guo Kangquan, Suzuki Takanori, et al. Determination of fresh pork color by visible and near infrared spectroscopy with fiber optics in interactance mode[J]. Journal of Northwest A&F University: Nat. Sci. Ed., 2008,36(7): 160 ~ 164. (in Chinese)
- 11 陈宵娜,张德权,张柏林. 羊肉色泽傅立叶变换近红外光谱定量分析方法研究[J]. 核农学报,2010,24(2):336 ~ 340.
Chen Xiaona, Zhang Dequan, Zhang Bolin. Establishment of quantified analysis method of fresh mutton color with Fourier transform near-infrared spectroscopy[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2010,24(2): 336 ~ 340. (in Chinese)
- 12 吴建虎,彭彦昆,陈菁菁,等. 基于高光谱散射特征的牛肉品质参数的预测研究[J]. 光谱学与光谱分析,2010,30(7):1 815 ~ 1 819.
Wu Jianhu, Peng Yankun, Chen Jingjing, et al. Study of spatially resolved hyperspectral scattering images for assessing beef quality characteristics[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010,30(7): 1 815 ~ 1 819. (in Chinese)
- 13 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): 1 ~ 8.
- 14 ElMasry G, Sun D W, Allen P. Near-infrared hyperspectral imaging for predicting colour, pH and tenderness of fresh beef[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 110(1): 127 ~ 140.
- 15 Han Lujia, Liu Xian, Zhu Rongguang, et al. Quantification of MBM adulteration in compound fertilizers and composts by NIRS [J]. Biotechnology Agronomy Society and Environment, 2009,13(Supp.): 15 ~ 19.