

魏 菁,郭中华,徐 静. 基于高光谱和极限学习机的冷却羊肉表面细菌总数检测[J]. 江苏农业科学,2018,46(24):211-214.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.24.058

基于高光谱和极限学习机的冷却羊肉表面细菌总数检测

魏 菁,郭中华,徐 静

(宁夏大学物理电气信息学院,宁夏银川 750021)

摘要:为实现对冷却羊肉表面细菌总数(TVC)的无损检测,采用高光谱技术结合数学建模的方法,通过高光谱成像系统采集波长范围为 400 ~ 1 100 nm 冷却羊肉样本的高光谱信息,并采用基于极限学习机(ELM)及其改进算法建立冷却羊肉表面细菌总数预测模型,分别实现了基本的极限学习机(ELM)、核极限学习机(KELM)以及遗传算法优化核极限学习机(GA-KELM)3 种建模方法。通过试验验证,3 种建模方法中,GA-KELM 模型预测效果最佳,其训练集样本和预测样本的相关系数分别为 $R_c = 0.983\ 7$, $R_p = 0.930\ 6$,均方根误差为 $R_{MSEc} = 0.001\ 6$, $R_{MSEP} = 0.001\ 6$,从而验证了该方法的有效性。

关键词:高光谱技术;无损检测;极限学习机;细菌总数

中图分类号: TS251.5+3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)24-0211-03

羊肉因富含蛋白质,肉质鲜美,在肉类消费中占有较大比例。同时,随着生活水平的不断提高,食品健康与安全问题也日益受到重视,为确保肉品新鲜,销售冷却肉成为了肉类市场的主流方向,冷却肉是严格地按照卫生标准屠宰的畜禽类胴体,要在 24 h 内使温度降至 0 ~ 4 ℃,并在后续的一系列加工环节中始终保持在温度范围条件下的肉。尽管冷却肉可以在一定程度上延长保存期,但是牲畜在屠宰、加工和运输的过程中同样会受到污染,产生细菌微生物^[1],导致其加速腐败和变质,最终影响冷却肉的品质。细菌总数(total viable count, TVC)是评价肉类品质的重要指标^[2],肉类新鲜度可依据其表面的细菌微生物总数反映出来,对冷却肉表面细菌总数进行准确地检测,可及时对肉品新鲜度作出客观评价,确保“放心肉”的流通与销售。传统的细菌检测大多是基于物理和化学相结合的方法,如三磷酸腺苷光技术、基于快速测试片技术、电阻抗技术^[3]等,不仅操作繁琐,耗费时间长,还容易对样本结构造成破坏,因此无损检测技术显得尤为重要。

近年来,高光谱技术^[4](hyperspectral technique)已经广泛应用于食品无损检测中,它融合了光学、信息学、计算机技术等多种学科,是将二维图像技术和光谱技术结合起来的一种先进技术。由于特定波长的图像会对样品的某个特征有较显著的反应,通过图像维,可以清晰地看到表征样品外观性质,而通过光谱数据,可获取样品的内部信息,如物质组成和结构等。高光谱技术作为基于光学的无损检测新技术,相比于传统的检测技术,体现了较大的优势。高光谱技术也广泛地应用于对农畜产品品质的无损检测中。在国外,Qiao 等结合高光谱技术和人工神经网络对猪肉品质进行了分级^[5-6];

Naganathan 等利用 400 ~ 1 100 nm 波长范围高光谱成像系统对牛肉嫩度进行了分级^[7-8];Chao 等利用高光谱成像技术对整条鳕鱼的新鲜度进行了检测^[9]。在国内,吴建虎等开发出 1 组高光谱散射成像系统,通过多种特征指标对牛肉品质进行了预测^[10-11];高晓东利用光谱覆盖范围为 400 ~ 1 100 nm 的高光谱成像系统对牛肉的大理石花纹进行检测^[12];文东东以 3 个不同品种(黄陂黄牛、恩施山地水牛、西门塔尔奶牛)牛肉样本为研究对象,分别利用近红外光谱技术和高光谱技术,建立不同品种牛肉新鲜度定量检测模型^[13]。本试验基于高光谱技术结合极限学习机(ELM),对冷却羊肉表面细菌总数进行无损检测,并通过算法优化,实现了 3 种建模方法。

1 材料与方法

1.1 试验仪器

试验采用的仪器包括:Hyper VNIR 高光谱成像系统,其光谱覆盖范围为 400 ~ 1 100 nm,由美国的 Headwall Photonics 公司生产;生化培养箱(LRH-150B);立式压力蒸汽灭菌锅(LDZM-80KCS);超净工作台(HDLAPPARATUS)以及培养皿、移液皿、电子天平等。

1.2 材料与高光谱数据采集

将从农贸市场买回的新鲜羊肉切割成长度、宽度、厚度分别为 5 cm、5 cm、2 cm 的肉块,总共 85 个,试验期间(共计 17 d),每天从 4 ℃ 恒温冰箱中取出 5 个待测样品,至于室温下 30 min 之后采集高光谱图像,为确保图像的保真度,对高光谱系统的参数设置为:曝光时间和速度分别设置为 10 ms 和 15 nm/s,步进速度为 0.17 mm/s,扫描宽度为 80 mm,同时为了校正相机暗电流和室外照明对图像的影响,采集图像前先进行黑白校正。

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

式中: R_0 为原始图像, R 为校正后的图像, W 为白板图像, D 为暗图像,待 85 个样本的高光谱图像采集完成,使用 ENVI

收稿日期:2015-10-08

基金项目:国家自然科学基金(编号:61565014)。

作者简介:魏 菁(1989—),女,四川达州人,硕士,研究方向为计算机网络与多媒体通信。E-mail:119252940@qq.com。

4.8 软件进行数据分析, 先对每个图像提取表面感兴趣区域 (region of interest, ROI), 然后提取反射光谱值, 作为样本的原始光谱数据。

1.3 样本表面细菌微生物检测

按照食品安全国家标准^[14], 采用平板计数法对 85 个样本表面细菌微生物进行采集, 先将样本剪碎置于均质袋中拍打, 加入灭菌生理盐水, 采用均质器处理 1 min, 按 1:10 比例梯度稀释, 选取 2 个合适的稀释度倒平板, 每个稀释度倒 2 个平板作为平行, 随后将其置于 36 ℃ 恒温, 并取对数值作为试验参考数据。随机取训练样本数 60 个, 预测样本数 25 个, 接近 3:1 的比例进行建模。

1.4 光谱数据预处理

在采集到的原始光谱数据中, 由于受外界因素的干扰, 使得信息中还包含着大量噪声信号, 因此需要对原始数据进行预处理, 提高信噪比, 以减小噪声对数据分析带来的影响。试验采用标准正态变量变换 (SNV) 融合 sym4 小波函数的方法, 对原始数据进行预处理。

1.5 建模方法

极限学习机^[15-16] (extreme learning machine, ELM) 是一种单隐层前馈神经 (SLFN) 网络学习算法, 相比于传统的神经网络算法, 其优势有以下几点: (1) 不会陷入局部最优; (2) 无需迭代, 一次求解; (3) 无需设置复杂的参数。对于 1 个训练样本, (x_j, t_j) , $j=1, \dots, N$, $x_j, t_j \in R^N$, x_j 是输入数据, t_j 为目标输出, 可知具有 L 个隐含层神经元的单隐层前馈神经网络输出表达式为:

$$f(x_j) = \sum_{i=1}^L \beta_i h_i(x_j) = h(x_j) \beta. \quad (2)$$

公式 (2) 可简化为: $H\beta = T$, β_i 表示的是第 i 个隐含层输入神经元和输出神经元之间的连接权值, 其表达式为:

$$\beta = H^T \left(\frac{I}{C} + HH^T \right)^{-1} T. \quad (3)$$

式中: C 是惩罚系数, $T = [t_1, \dots, t_N]^T$ 为输入样本目标值向量。根据 Mercer 条件, 定义一个满足该条件的核函数:

$$\Omega_{ELM} = HH^T = \begin{bmatrix} K(x_1, x_1) & \cdots & K(x_1, x_j) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ K(x_N, x_1) & \cdots & K(x_N, x_N) \end{bmatrix} = K(x_i, x_j). \quad (4)$$

$$K(x_1, x_j) \text{ 为核函数, 可知: } h(x) H^T = \begin{bmatrix} K(x, x_1) \\ \vdots \\ K(x, x_N) \end{bmatrix}, \text{ 得到}$$

KELM 模型输出为:

$$f(x_j) = \begin{bmatrix} K(x, x_1) \\ \vdots \\ K(x, x_N) \end{bmatrix}^T \left(\frac{I}{C} + \Omega_{ELM} \right)^{-1} T. \quad (5)$$

通常选择径向基函数 (RBF) 作为核函数, 其表达式为:

$$K(x, x_1) = k(\|x - x_c\|) = \exp \left\{ -\|x - x_c\|^2 / (2 \times \sigma)^2 \right\}. \quad (6)$$

式中: σ 为控制宽度的核参数。

遗传算法 (genetic algorithm, GA), 又称基因进化算法, 是由 Holland 等于 1975 年提出, 它源于达尔文进化论, 借鉴生物进化过程而产生的一种寻优算法, 其原理是通过复制、交叉、

突变等操作产生下一代的解, 并逐步淘汰掉适应度函数值低的解, 增加适应度函数值高的解。KLEM 模型中的 2 个参数惩罚系数 (C) 和核参数 (σ), C 起着调节结构风险和经验风险之间平衡的作用, 而 σ 控制着函数的径向作用范围, 二者是影响 KELM 性能的 2 个主要因素。在参数设置过程中由于人为设置因素的影响, 导致了模型的精度不够理想。因此, 本研究提出遗传算法优化核极限学习机的方法, 通过对 C 和 σ 进行寻优, 而减少因核函数存在而导致参数设置敏感的问题。

2 结果与分析

2.1 光谱数据预处理

本试验采用 Matlab 2012a 软件进行数据分析, 绘制原始光谱曲线图 (图 1)。采用 sym4 小波函数, 分解尺度分别为 2、3、4、5 情况下的融合方法对原始数据进行预处理, 通过预测模型指标反应, 得出最佳预处理方法为分解尺度为 4 的 sym4 小波函数融合标准正态变量变换 (SNV), 具体见图 2。

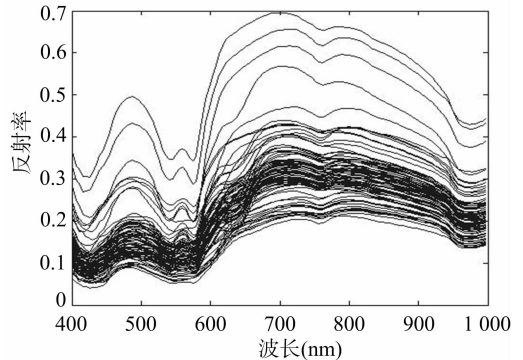


图1 全部样本原始光谱曲线

2.2 模型建立及结果分析

2.2.1 ELM 模型 参数设置为: 隐含层激励函数选择 sigmoid 函数, 隐含层节点数为 10, 仿真结果见图 3。

2.2.2 KELM 模型 选择 RBF 函数作为核函数, 参数范围设置为: $C \in [0.1, 10]$, $\sigma \in [1, 1000]$, 为了观察到取不同参数值的不同效果, 在参数设置中加入随机数, 以便观察到多种结果, 经过多次试验, 取 $C=4.5$, $\sigma=990$ 可得到最优结果, 仿真结果见图 4。

2.2.3 GA-KELM 模型 参数设置为: 种群规模 sizepop = 80, 迭代次数为 maxgen = 50, 交叉概率为 0.5, 变异概率为 0.02, 可知当迭代次数接近于 15 时, 适应度曲线趋于稳定, 预测结果和适应度曲线见图 5 和图 6。由表 1 可知 3 个模型预测结果的对比情况。以训练集和预测集的相关系数 (R) 和均方根误差 ($RMSE$) 作为评价指标, 并且以预测集指标为主。可以看出 3 种建模方法中, 采用 GA-KELM 模型的冷却羊肉表面细菌总数 (TVC) 预测模型效果最好, 4 个指标值分别为 0.930 6、0.001 6、0.983 7、0.001 6; 相比之下, ELM 模型的预测效果较差, 各指标值分别为 0.907 4、0.237 7、0.970 5、0.189 6。其中均方根误差较大, 这是因为 ELM 输入节点权重和隐元偏置是随机赋值, 导致 ELM 的输出不稳定, 泛化性能差, 精度较低。因此, 得出冷却羊肉表面细菌总数 (TVC) 预测最佳建模方法是分解尺度为 4 的 sym4 小波函数融合标准正态变量变换 (SNV) 的预处理方法结合 GA-KELM 预测模型。

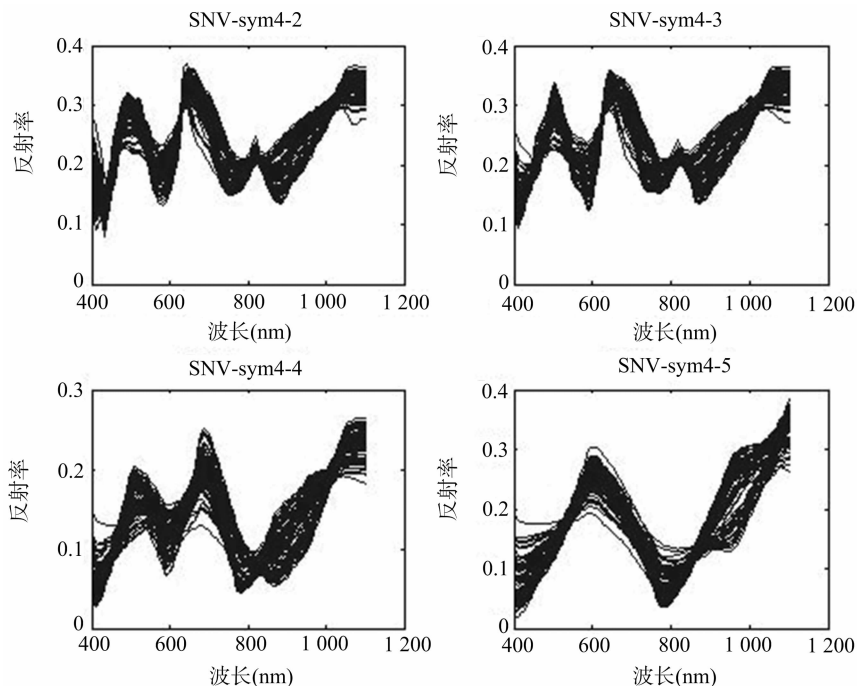


图2 预处理光谱图(SNV+sym4)

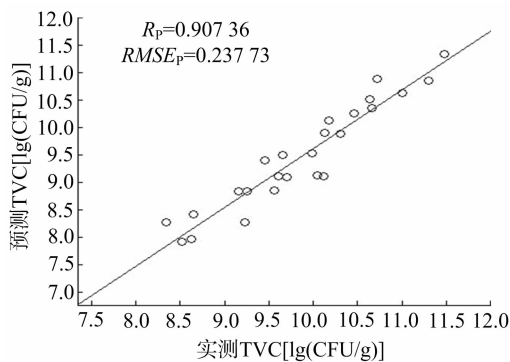


图3 ELM 模型

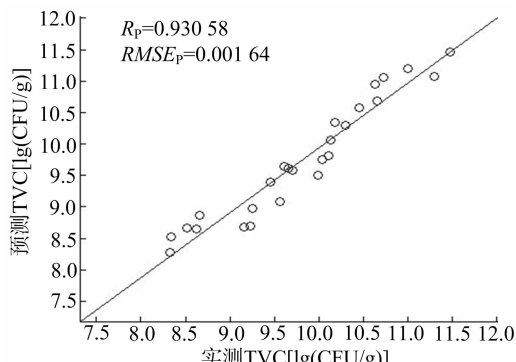


图5 GA-KELM 模型

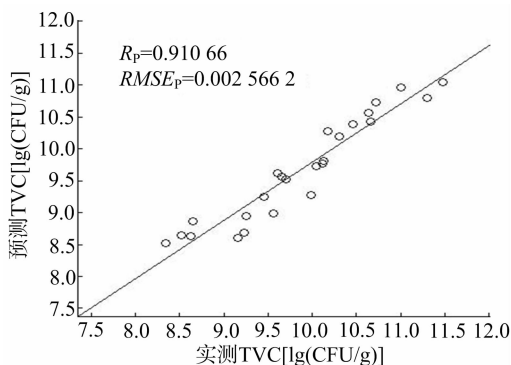


图4 KELM 模型

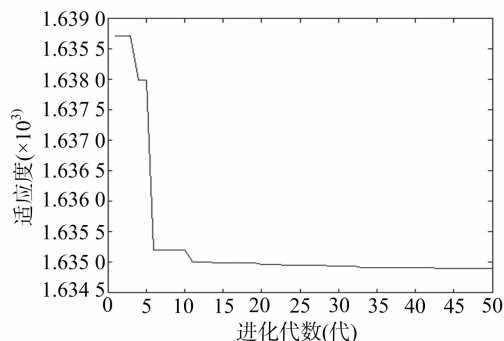


图6 适应度曲线

表 1 3 种模型预测结果对比

预测模型	R_p	R_{MSEp}	R_c	R_{MSEc}
GA - KLEM	0.930 6	0.001 6	0.983 7	0.001 6
KELM	0.910 7	0.002 6	0.985 0	0.001 5
ELM	0.907 4	0.237 7	0.970 5	0.189 6

3 结论

对冷却羊肉表面细菌总数进行无损检测,通过高光谱成像系统提取样本的高光谱信息,采用分解尺度为 4 的 sym4 小波函数融合标准正态变量变换(SNV)的预处理方法,结合 ELM、KELM 及优化算法 GA-KELM 分别建立预测模型,相

比于传统的检测方法,此方法快速有效且通过优化算法进一步提高了检测的准确性,也为下一步开发冷却肉制品细菌微生物无损检测平台提供了理论基础。但不足之处是光谱波段

徐 飞,钮福祥,孙 建,等. 冷冻对甘薯紫色花青素提取的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(24):214-216.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.24.059

冷冻对甘薯紫色花青素提取的影响

徐 飞,钮福祥,孙 建,朱 红,岳瑞雪,张 毅,张文婷

(江苏徐淮地区徐州农业科学研究所,江苏徐州 221121)

摘要:以甘薯常规打浆方法为对照,研究甘薯切细丁并置于 $-18 \sim -22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下冷冻处理 18~24 h 对甘薯花青素提取的影响。结果表明,甘薯料液比为 1 g : 6 mL 条件下,切丁冷冻法、常规打浆法对甘薯花青素的提取率分别是标准对照样品的 92.04%、78.68%,切丁冷冻法的提取率高于常规打浆法;冷冻法对甘薯花青素的提取效果优于常规打浆法,比较合理的料液配比为 1 g : 8 mL;甘薯切丁冷冻有利于汁液分离,淀粉、粗颗粒、可溶性膳食纤维等杂质含量相对较少,便于分离和纯化。

关键词:甘薯;花青素;冷冻;常规打浆法;提取率;料液比

中图分类号:TS210.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)24-0214-03

花青素具有抗氧化、抗肿瘤、降血压、降血糖和增强免疫力等众多医疗和营养保健价值^[1-2],而从紫薯中提取花青素是途径之一。花青素的提取方法有多种多样,既有水提取,也有有机溶剂提取和超临界 CO_2 萃取等,如采用 0.8% 柠檬酸水溶液、柠檬酸-磷酸二氢钠缓冲液和 1% 盐酸、95% 酸化乙

醇等作溶剂,采用高速逆流色谱、微波、酶法、超声波、超高压等手段提取,并采用大孔树脂、超滤膜、有机溶剂沉淀,且通过纸层析、薄板层析、柱层析、高效液相、膜分离技术等进行纯化分析^[3-8]。工业生产中,用乙醇提取花青素时会造成环境污染、有机溶剂残留及乙醇回收成本高等问题。用水提取时,为提高色素的浸出率,对原料一般采用破碎方法进行处理,破碎越充分浸提效果越好,花青素得率越高,但破碎越细,汁液分离越困难,不仅需要多级多次粗滤、精滤等,过滤速度缓慢,工作量大而复杂,而且耗水量很大,造成成本提高、水资源浪费、效率低下。目前,我国在花青素提取方面受到技术和装备的

收稿日期:2017-06-06

基金项目:国家甘薯产业技术体系建设项目(编号:CARS-11-B-20)。

作者简介:徐 飞(1965—),江苏新沂人,副研究员,从事农产品加工研究。Tel:(0516)82028151;E-mail:xuwei_11@126.com。

范围较为局限和单一,仅限于 400~1 100 nm,在下一步工作中,考虑在多种高光谱波长范围内进行试验对比,确定 1 种最佳建模的波长范围。

参考文献:

- [1] 思振华. 基于高光谱图像技术的羊肉表面污染及病变快速检测方法研究[D]. 银川:宁夏大学,2014.
- [2] 张雷蕾,彭彦昆,刘媛媛,等. 冷却肉微生物污染和肉色变化的 Vis/NIR 光谱无损检测[J]. 农业机械学报,2013,44(增刊1):159-164.
- [3] 周 钧,尹建军,侯玉柱,等. 食品中细菌总数快速检测技术的研究进展[J]. 食品研究与开发,2010,31(12):276-280.
- [4] 郑彩英,郭中华,金 灵. 高光谱成像技术检测冷却羊肉表面细菌总数[J]. 激光技术,2015,39(2):284-288.
- [5] Qiao J, Ngadi M O, 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.
- [6] 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.
- [7] Naganathan G K, Grimes L M. Partial least square analysis of near-infrared hyperspectral images for beef tenderness prediction[J]. Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety,2008,2(3):178-188.

- [8] Naganathan G K, Grimes L M, Subbiah J, et al. Visible/near-infrared hyperspectral imaging for beef tenderness prediction[J]. Computers and Electronics in Agriculture,2008,64(2):225-233.
- [9] U. K. Seafish Industry Authority. Innovative sensors to rapidly and non-destructively determine fish freshness, CMS/REP/110284/1[R]. Chipping Campden Gloucestershire; U. K. CCFRA,2009.
- [10] 吴建虎,彭彦昆,高晓东,等. 基于 VIS/NIR 高光谱散射特征预测牛肉的嫩度[J]. 食品安全质量检测技术,2009,1(1):20-26.
- [11] 吴建虎,彭彦昆,江发潮,等. 牛肉嫩度的高光谱法检测技术研究[J]. 农业机械学报,2009,40(12):135-138.
- [12] 高晓东. 基于高光谱成像技术的牛肉大理石花纹的评估[D]. 北京:中国农业大学,2009.
- [13] 文东东. 基于光谱技术的牛肉新鲜度监测模型维护方法研究[D]. 武汉:华中农业大学,2013.
- [14] 中华人民共和国卫生部. 食品微生物学检验 菌落总数测定:GB 4789.2—2010[S]. 2010.
- [15] Huang G B, Zhu Q Y, Siew C K. Extreme learning machine: a new learning scheme of feed forward neural networks [C]//In Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2004). Budapest, Hungary, July 2004:985-990.
- [16] Huang G B, Zhou H, Ding X, et al. Extreme learning machine for regression and multiclass classification[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics (Part B: Cybernetics), 2012,42(2):513-529.