

基于支持向量机的牛肉嫩度等级评价模型研究

田潇瑜, 徐杨*, 彭彦昆, 马世榜, 唐鸣, 牛力钊

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要: **目的** 利用 VIS/NIR 反射光谱建立基于支持向量机的生鲜牛肉嫩度等级的评价模型。 **方法** 以牛肉背最长肌为研究对象, 选取样本 58 个, 在牛肉新鲜切口处采集波长范围 400~1700 nm 的反射光谱信息, 使用肉类嫩度测量仪测量牛肉剪切力值, 应用支持向量机(SVM)模型评价牛肉嫩度等级。 **结果** 应用 SVM 模型可以较好地实现对牛肉嫩度等级的评价。尤其是经主成分分析降维预处理, 结合径向基核函数 SVM, 对牛肉训练集嫩度等级的回判率达到 95%, 对样品校正集判别的准确率进一步提高至 83.3%。 **结论** SVM 模型对牛肉嫩度等级评价结果较好, 进行主成分分析后, 判别结果有所提高。

关键词: 反射光谱; 支持向量机; 嫩度; 主成分分析

Research on support vector machine evaluation model of beef tenderness

TIAN Xiao-Yu, XU Yang*, PENG Yan-Kun, MA Shi-Bang, TANG Ming, NIU Li-Zhao

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

ABSTRACT: Objective To establish a support vector machine evaluation model of beef tenderness using VIS/NIR reflectance spectroscopy. **Method** A total of 58 strip loins samples were collected from longissimus of beef. The reflectance spectra range of 400~1700 nm were extracted from fresh cut of beef, and then Warner-Bratzler shear force (WBSF) values were measured. Evaluation model of beef tenderness was established using support vector machine (SVM) model. **Results** Application of SVM model showed good result for beef tenderness grade evaluation. Especially, using principal component analysis (PCA) after dimension reduction pretreatment, combined with radial basis function (RBF) of SVM, the accuracy researched 95% in training set, and 83.3% in calibration set. **Conclusion** The SVM model with PCA pretreatment demonstrated great performance for beef tenderness grade evaluation.

KEY WORDS: reflectance spectrum; support vector machine; tenderness; principal component analysis

1 引言

肉的感官品质一般从肉色、嫩度、风味、持水性、多汁性等方面来衡量评价, 而牛肉嫩度则是评价牛肉品质的最重要指标。牛肉的质地和老嫩程度, 直接关联着消费者对牛肉商品的满意度。目前, 肉类行业用来评估牛肉嫩度的方法主要有为感官测定法(又称主观评定法), 由经过培训的专业人员或消费者品尝

样品, 并对样品的嫩度评级, 但是该评定方法准备比较繁琐, 操作时间长, 结果易受评定人员主观影响。对于牛肉嫩度的机械评定, 通常采用 Warner-Bratzler 剪切力(WBSF)值, 但是该测量方法比较耗时, 并且对样品具有破坏性, 因此不适合快速、无损检测需求。现代光谱分析技术自 20 世纪 60 年代开始应用于农业分析研究, 目前已经广泛应用于农产品、食品品质研究。该技术近年来在食品行业发展较快, 具有快

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201003008)

*通讯作者: 徐杨, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 农畜产品品质安全无损检测技术与装备。E-mail: xuyang@cau.edu.cn

速在线分析、简单无污染、非破坏性分析可实现无损检测、可实现远程分析检测等优点^[1,2]。

Byrne 等^[3]采用主成分分析法(PCR)在 750~1098 nm 的光谱范围内研究了牛肉背最长肌(LD)的嫩度、纹理以及风味与近红外光谱的相关性; Park 等^[4]利用分析近红外反射光谱确定牛肉背最长肌嫩度的结果,同样采用的是主成分分析法分析来波长在 1100~2498 nm 处生肉的吸收光谱,发现其与剪切力测得的熟肉嫩度存在复相关系数 $r=0.692$, 并以此建立预测牛肉嫩度的模型; Sun 等^[5]利用多光谱图像信息分析了牛肉多个部位的颜色和纹理特征,认为利用支持向量机(support vector machine, SVM)模型判别牛肉的老嫩程度,准确率较高。国内,赵杰文等^[6]利用牛肉样本近红外吸收光谱和沃—布剪切仪测得的牛肉样本(LD)的最大剪切力值建立回归模对牛肉的嫩度等级进行了评价。吴建虎等^[7]利用高光谱散射信息拟合洛伦兹函数,提取特征参数后建立牛肉嫩度的预测模型,并评价了牛肉嫩度等级。本研究基于可见及近红外反射光谱,应用 SVM 建立牛肉嫩度等级的评价模型,并讨论采用原始光谱信息和经降维后的主成分作为输入变量对判别模型精度的影响,旨在寻求牛肉嫩度等级快速判别的方法,进一步提高判别准确率,符合在线检测系统的实际需要。

2 实验材料与方法

2.1 实验样品

实验所用样本取自北京市御香苑集团。取样过程如下:取宰后经 24 h 解僵、排酸后的鲁西黄牛的胴体左侧 12~13 椎骨间的肌肉,去掉脂肪和缔结组织,用无菌刀分割为约 4 cm×6 cm×3 cm 尺寸,用保鲜袋真空包装放置于低温保鲜箱中,运到实验室后整齐、无挤压的保存在 4 °C 冰箱中,使牛肉进行成熟嫩化。在此成熟过程中肌肉的骨架蛋白发生降解,肉的保水性提高,嫩度和风味得到改善^[8]。本实验共采集 58 个样本。

2.2 牛肉样品光谱采集

使用荷兰 Avantes 公司生产的光纤光谱仪 AvaSpec 采集牛肉样品的反射光谱信息。波长范围为 200~1750 nm, 光纤采集牛肉样品光谱时,控制探头采集垂直于牛肉肌纤维的新鲜切口上的反射信息,每个样本上采集 6 个不同点位置的光谱,得到一条平

均光谱曲线,在扫描样品时应尽量避开脂肪区域。

2.3 牛肉剪切力测量

按照《肉嫩度的测定剪切力测定法》(NY/T 1180-2006),将牛肉样品用密封袋包裹在 80 °C 的水浴中加热,保证肉块中心温度均达到 70 °C 左右,然后将加热好的肉块取出用密封袋密封在 4 °C 下冷却保存 12 h。对每个肉块沿着肌纤维方向钻取 6 条直径为 3 cm 的肉柱,尽量避开脂肪和结缔组织,用肉类嫩度剪切仪(C-LM3B 型数显式肌肉嫩度仪,北京天翔飞域仪器公司)对每条肉柱进行垂直于肌纤维的剪切实验,分别得到最大剪切力值,求其平均值得到该牛肉样本的最大剪切力值。本实验采用的牛背最长肌,将其嫩度可根据剪切力值分为“老”、“嫩”两类,认为剪切力值 44 N 的样本为嫩牛肉,剪切力值>44 N 的样本为老牛肉^[9]。牛肉样品嫩度等级分布情况如表 1 所示。

表 1 牛肉样品嫩度等级分布情况

Table 1 Distribution for tenderness grade of beef steaks

嫩度等级	嫩牛肉	老牛肉
样本数	34	24
剪切力值	44 N	>44 N
分级编号	0	1

2.4 SVM

SVM 是 20 世纪 90 年代形成的一种新的模式识别方法,它已表现出很多优于已有统计方法的性能。SVM 方法具有非线性、高维数和局部极小点等优点,已应用于分类、函数逼近和时间序列预测等方面。他可将待解决的模式识别问题转化成为一个二次规划寻优问题,理论上保证它将得到全局最优解,解决了在诸如神经网络方法中可能收敛到局部极值的问题。

在 SVM 方法中采用不同的核函数会产生不同的 SVM 算法。本研究采用径向基函数(RBF)作为核函数,如下列公式表示:

$$k(x_i, x) = \exp\left(-\frac{|x - x_i|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

SVM 的训练目标是一个一维的向量,因此将 2 个等级的牛肉样品目标输出模式设为 0 和 1,分别对应嫩牛肉和老牛肉。以牛肉光谱信息构成的 40×1673 的矩阵作为 SVM 的训练集,对模型进行训练,建立牛肉嫩度等级的评价模型。再以测试集中 18 个样本作为 SVM 模型的验证集合,对模型进行验证。

由于本研究采用 RBF 作为 SVM 的核函数建立识别模型, 其参数大小对其性能有很大的影响。其参数是 C 和 σ (其中 C 是误差惩罚参数, σ 是径向基核参数), C 实现在错分样本的比例和算法复杂度之间的折衷, 即在确定的特征子空间中调节学习机器置信范围与经验风险的比例以使学习机器获得最好推广能力。 σ 对 SVM 性能的优劣有直接影响, 所以需要首先选取合适的 σ , 将数据投影到合适的特征空间, 才可能得到推广能力良好的 SVM 分类器^[10]。

3 结果分析与讨论

图 1 所示为老嫩牛肉平均反射光谱特征及其反射率差值, 从图中可以看出, 在 600~1200 nm 波段范围, 老嫩牛肉的反射光谱有明显的差异, 在 670 nm 处差值达到了最大, 而在 400~600 nm 及 1400~1600 nm 范围内, 老嫩牛肉光谱比较接近, 差异不明显。从整体上可以看出, 老牛肉的反射率较嫩牛肉的低, 老牛肉吸光度比嫩牛肉要高^[6,12]。

首先将牛肉样品的可见近红外原始反射光谱进行 5 点平滑处理, 根据图 1 中的差值曲线选取老嫩牛肉差异较大的波段 600~1200 nm 作为输入变量, 可有效减少冗余信息。在此基础上, 对选定的波段进行主成分分析, 提取 10 个主成分, 其方差贡献率达到占整体光谱信息的 97.80%。分别以 40 个牛肉样品的选定波段和经过降维预处理得到的 10 个主成分信息作为 SVM 训练集的输入变量, 基于 MATLAB 程序进行

建模分析。

为了提高 SVM 信息融合模型的识别效果, 有必要需要先对参数 C 和 σ 进行优化。设初始径向基核参数 σ^2 为 4, 误差惩罚参数 C 为 0.8, 在 MATLAB 中运算, 选择验证集识别率最大的一组参数作为最优的 C 、 σ^2 参数。其最佳值 C 为 4.48, σ^2 为 12.46。

如表 2 所示, 通过主成分降维预处理, SVM 模型的准确率有所提高, 训练集的回判率达到 95%; 对 18 个预测样品进行等级评价, 其准确率为 83.3%。

对老嫩牛肉的判别情况来看, 训练集中嫩牛肉和老牛肉的判别率分别达到了 95.83% 和 93.75%, 而验证集中对嫩牛肉和老牛肉的的判别率分别达到了 90% 和 75%, 如表 3 所示。结果表明运用 SVM 可以较好的识别牛肉等级, 尤其是利用主成分分析对原始数据进行降维处理后, 其判别准确率得到了进一步的提高。

4 结 论

本文研究应用 SVM 基于 VIS/NIR 反射光谱建立生鲜牛肉的嫩度等级评价模型。通过对比老嫩牛肉的平均光谱和差值曲线, 选择光谱反射率差异较为明显的波段以减少冗余信息, 并且进行主成分分析对数据做降维预处理, 提取 10 个主成分作为 SVM 评价模型训练集的输入变量。研究结果表明, 应用 SVM 模型对牛肉预测集进行等级评价结果较好, 经主成

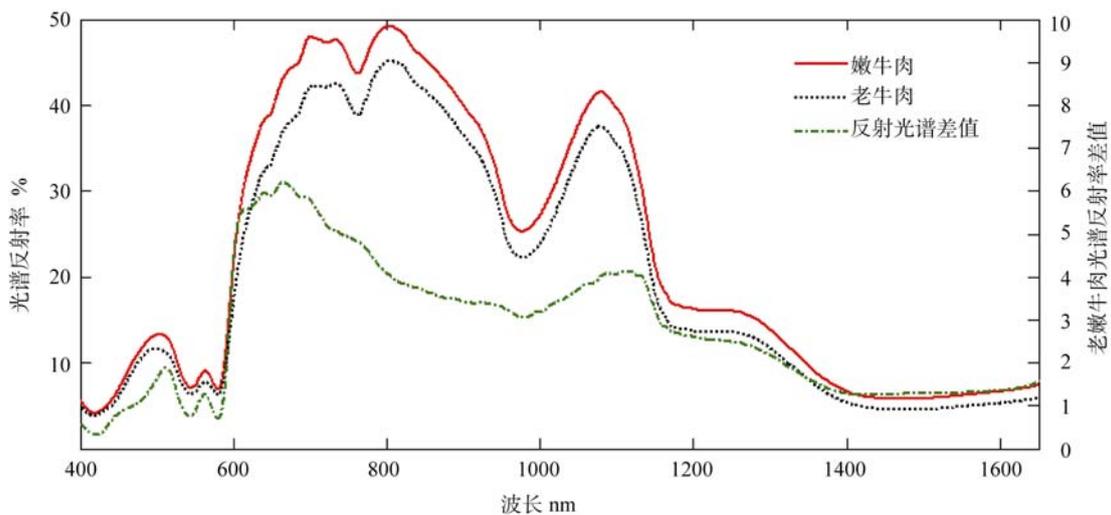


图 1 老嫩牛肉平均光谱及差值曲线

Fig. 1 The average and difference curve of tender and tough beef

表2 不同预处理方法的 SVM 预测结果

Table 2 SVM classification model results based on different pretreatment methods

预处理方法	训练集准确率	验证集准确率
原始波段	92.5%	72.2%
10个主成分	95%	83.3%

表3 主成分分析预处理的 SVM 评价模型预测结果

Table 3 SVM classification model results based on PCA

牛肉等级	样品数	训练集	验证集
嫩牛肉	34	95.83%	90%
老牛肉	24	93.75%	75%
总体	58	94.79%	82.5%

分分析降维预处理,对牛肉训练集嫩度等级的回判率达到95%,结合径向基核函数SVM,嫩度等级判别的准确率进一步提高至83.3%。本研究应用基于主成分分析的SVM方法,提高牛肉嫩度等级判别效率和准确率,为在线检测系统的建立提供了可靠判别模型。

参考文献

- [1] 徐霞,成芳,应义斌. 近红外光谱技术在肉品检测中的应用和研究进展[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(7): 1876-1880.
- [2] 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.
- [3] Park B, Chen YR, Hruschka WR, *et al.* Near-infrared reflectance analysis for predicting beef longissimus tenderness [J]. J Anim Sci, 76: 115-2120.
- [4] Byrne CE, Downey G, Troy DJ, *et al.* Non-destructive Prediction

of Selected Quality Attributes of Beef by Near-infrared Reflectance Spectroscopy between 750 and 1098 nm [J]. Meat Sci, 1998, 49(4): 1399.

- [5] Sun X, Chen KJ, Maddock-Carlin KR, *et al.* Predicting beef tenderness using color and multispectral image texture features [J]. Meat Sci, 2012, 92(4): 386-93
- [6] 赵杰文,翟剑妹,刘木华,等. 牛肉嫩度的近红外光谱法检测技术研究[J]. 光谱学与光谱分析. 2006, 26(4): 640.
- [7] 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): 135-138/150.
- [8] Mestre Prates JA, Garcia E, Costa FJ, *et al.* Contribution of major structural changes in myofibrils to rabbit meat tenderization during aging [J]. Meat Sci, 2002, 61: 103-113.
- [9] Vote DJ, Belk KE, Tatum JD, *et al.* Online prediction of beef tenderness using a computer vision system equipped with a Beef Cam module [J]. J Anim Sci, 2003, 81: 457-465.
- [10] 郑小霞,钱锋. 高斯核支持向量机分类和模型参数选择研究 [J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(1): 77-79.
- [11] Bowling MB, Vote DJ, Belk KE, *et al.* Using reflectance spectroscopy to predict beef tenderness [J]. Meat Sci, 2009, 82, 1-5.

(责任编辑:张宏梁)

作者简介



田潇瑜,博士研究生,研究方向:农产品无损检测。

E-mail: tianxiaoyu2005@yahoo.com.cn



徐杨,教授,博士生导师,主要研究方向:从事农畜产品品质安全无损检测技术与装备。

E-mail: xuyang@cau.edu.cn