牛肉嫩度的近红外光谱法检测技术研究

赵杰文[1], 翟剑妹[1*], 刘木华[2], 蔡健荣[1]

1. 江苏大学生物与环境工程学院, 江苏 镇江 212013
2. 江西农业大学工学院, 江西 南昌 330045

摘 要 利用近红外光谱技术研究了牛肉嫩度的检测方法。在波数为4 000~ 10 000 cm^{-1}范围内测定牛肉样本近红外吸收光谱, 然后用沃-布剪切仪测得牛肉样本(背长肌)的最大剪切力值并进行主观嫩度等级评价。把剪切力值小于6 kg的牛肉归为嫩牛肉, 等级值定为1; 大于9 kg的牛肉归为老牛肉, 等级值定为3; 介于6和9 kg之间的牛肉归为中等嫩度的牛肉, 等级值定为2。研究结果表明, 老牛肉吸收的近红外光一般都要比嫩牛肉多, 表现为吸光度要大; 用多元线性回归法对校正集建立模型, 得到相关系数r为0.806; 用此模型对牛肉预测集19个样本进行预测, 分级正确率为84.21%。该研究说明利用近红外技术对牛肉嫩度进行预测是可行的。

主题词 牛肉; 近红外; 多元线性回归; 嫩度
中图分类号: O657.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-0593(2006)04-0640-03

引 言

肉的嫩度指肉在食用时口感的老嫩, 反映了肉的质地[1]。它是肉的主要食用品质之一, 是消费者评判肉质优劣的最常用指标。对肉嫩度的评价目前主要有主观评价和客观评价这两种方法。主观评价要靠经过培训且经验丰富的专业评审人员, 由于主观因素的干扰, 往往误差较大; 客观评价目前主要借助仪器测量肉的剪切力, 即测定一定钝度的刀切断一定粗细的肉所需的力量。这种方法具有破坏性, 被切肉的取样过程复杂、耗时。因此, 发展一个精确的、不具破坏性的方法来客观地预测牛肉的嫩度很有必要。

近年来, 牛肉嫩度的近红外光谱检测技术在发达国家受到了越来越多的关注。Hildrum等[2]研究发现牛肉的近红外反射光谱在牛肉的成熟期间会发生改变, 而牛肉嫩度的大部分变化也是在牛肉成熟期间造成的, 牛肉的近红外反射光谱和嫩度有一定的关联。Park等[3-5]研究了近红外反射光谱预测牛肉背长肌嫩度的方法。Byrne[6]用主成分分析法在750~1 098 nm光谱范围内研究了牛肉背最长肌的嫩度、纹理以及风味与近红外光谱的相关性。Rùdbotten等[7]用近红外光谱法对屠宰后不同时期的牛肉品质进行了预测。Liu等[8]则把近红外光谱拓宽到可见光范围, 对牛肉的颜色、纹理和感观品质(包括剪切力值)的预测进行了可行性分析。但是目前国内尚未有相关研究的报道。

本研究的目的是确定近红外吸收光谱和牛肉嫩度值之间的相关关系, 以期找到一种利用近红外光谱预测牛肉嫩度的方法。

1 材料和方法

1.1 材料

牛被屠宰后, 取位于第12至13根肋骨之间约3 cm厚的牛肉背长肌, 共收集样本64个。样本用保鲜袋装好后置于2 ℃下冷藏7天, 让其充分成熟嫩化。

1.2 牛肉近红外吸收光谱扫描

本研究中使用的近红外光谱分析仪器是由Nicolet生产的Nexus670型傅里叶近红外光谱仪。仪器的光谱范围11 000~ 3 800 cm^{-1}, 检测器选用InGaAs检测器。

光谱扫描时, 控制近红外光线照射在与肌纤维相垂直的横截面上, 以8 cm^{-1}的分辨率进行64次扫描。对每个样本上3个不同的位置进行光谱扫描, 得到3条光谱曲线, 用这3条光谱曲线求平均形成一条平均光谱曲线。扫描时应尽量避免近红外光束照在脂肪区域。

1.3 牛肉剪切力测定实验

按照目前国内通用的方法, 即把肌肉用塑料膜(袋)包装, 放到水中加热, 水浴温度控制在75~ 80 ℃左右, 加热到

收稿日期: 2004-12-26, 修订日期: 2005-05-08
基金项目: 国家高技术"863"计划(2002AA248051)和国家自然科学基金(30370813)资助项目
作者简介: 赵杰文, 1946年生, 江苏大学生物与环境工程学院教授 * 通讯联系人

肉中心温度 70 ℃为宜。将肌肉取出用保鲜袋装好置于 4 ℃下冷却 24 h。按与肌纤维平行的方向切取剪切样本 3~ 4 个，样本为长条形，截面尺寸为 10 mm× 10 mm，长度为 25 mm 左右。用沃-布剪切仪附件(TA-XT2i Texture Analyser)对每个剪切样本垂直于肌纤维方向进行剪切，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。

1.4 牛肉嫩度的主观评价

由 7 位受过专门培训并积累了一定经验的评审人员对 64 个样本进行嫩度分级，共分成 1，2，3 三级：1 指嫩牛肉；2 指中等嫩度的牛肉；3 指老牛肉。

2 多元统计分析

64 个样本的光谱分成两个集合，即校正集(45 个)和预测集(19 个)。校正集用于数学模型的建立；预测集用于对所建模型进行检验。

常用的统计模型主要有多元线性回归(MLR)、多元逐步回归(SMR)、主成分分析(PCA)、主成分回归(PCR)、偏最小二乘法(PLS)、人工神经网络(ANN)和拓扑(Topological)分析等方法。本文采用多元线性回归方法[9]。多元线性回归的表达式为

$$F = b_0 + b_1 + f_{\lambda_0} + b_2 f_{\lambda_1} + \cdots\cdots + b_N f_{\lambda_N}$$

式中 F 表示测得的牛肉样本的最大剪切力值；b_0 表示回归方程的常数项系数；b_1，b_2，…，b_N 表示回归系数；f_{λ_0}，f_{λ_1} …f_{λ_N}，表示各波数点处的吸收光谱值。λ_i(i = 0，1，…N)表示与各波数点相应的特征波长，i 表示方程的自变量个数。λ_i，i 是回归方程中的两个重要参数。

逐步回归分析是多元回归分析中最常用的方法之一。按照入选自变量的方法可将逐步回归分成以下三种：向前逐步回归、向后逐步回归和有进有出的逐步回归。本文选用有进有出的逐步回归法。

3 结果分析

3.1 牛肉样本剪切力分析

将实验所测得的 64 个牛肉样本的最大剪切力值与主观评价实验中评审员的嫩度分级相对照，得出：剪切力值小于 6 kg 的牛肉为嫩牛肉，嫩度等级为 1；剪切力值大于 9 kg 的牛肉为老牛肉，嫩度等级为 3；剪切力值介于 6 和 9 kg 之间的牛肉为中等嫩度的牛肉，嫩度等级为 2。如表 1 所示。

Table 1　Beef's maximum shear force and its corresponding tenderness grade judged by taste panel

嫩度等级	嫩	中等	老
剪切力值/kg	< 6	6~ 9	> 9
主观评价嫩度等级	1	2	3

根据以上对应关系，校正集 45 个样本中嫩牛肉、中等嫩度牛肉、老牛肉的样本数分别为 16，11，18；预测集 19 个样本中嫩牛肉、中等嫩度牛肉、老牛肉的样本数分别为 5，10，4。

3.2 牛肉背长肌的近红外(NIR)吸收光谱特性

图 1 是不同嫩度牛肉的近红外吸收光谱。其中实线表示老牛肉(剪切力值为 10.05 kg)的吸收光谱，虚线表示嫩牛肉(剪切力值为 4.02 kg)的近红外吸收光谱。由图中可以看出，老牛肉吸光度要比嫩的牛肉高。本研究就是利用这一特性对牛肉嫩度进行判别和分类的。

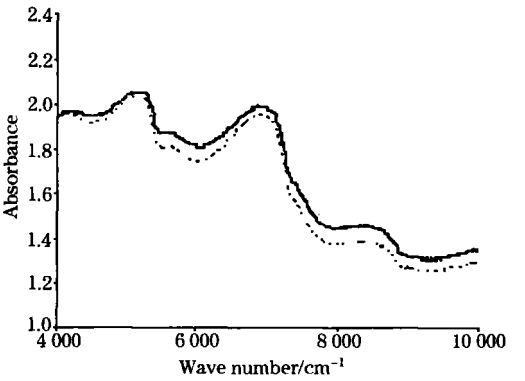

Fig 1　NIR spectra of tender beef(dashed line) and tough beef(solid line)

Table 2　Comparison of the maximum shear force of beef with its corresponding tenderness grade

编号	最大剪切力值/kg	主观评价嫩度等级	预测嫩度等级
1	3.96	1	1
2	10.89	3	3
3	5.52	1	1
4	8.36	2	2
5	6.55	2	2
6	5.67	1	1
7	3.33	1	1
8	9.26	3	2*
9	7.35	2	2
10	8.71	2	2
11	7.31	2	2
12	8.59	2	2
13	7.09	2	3*
14	13.15	3	3
15	9.14	3	3
16	2.09	1	1
17	6.54	2	2
18	6.17	2	3*
19	8.79	2	2

注：* 表示预测错误的样本

3.3 牛肉嫩度等级预测的多元线性回归(MLR)模型

用校正集的 45 个牛肉样本在波数 4 000~ 10 000 cm^{-1} 范围内进行有进有出的逐步回归，建立校正模型，得到回归方程的表达式为

$$F = 1.072 + 697.414X_{5120} - 682.331X_{5230} - 516.657X_{7630} + 822.860X_{7680} - 813.913X_{8130} - 118.401X_{7450} + 617.105X_{8400}$$

式中 X_{5120}, X_{5230}, X_{7630}, X_{7680}, X_{8130}, X_{7450}, X_{8400} 表示各个波数点处的吸光度值。方程的相关系数 r 为 0.806。用该模型对预测集的 19 个牛肉样本进行嫩度等级预测。结果如表 2 所示。

由表 2 可以看出, 嫩度等级为 1 的预测正确率为 100%, 嫩度等级为 2 的预测正确率为 80%, 嫩度等级为 3 的预测正确率为 75%, 全部预测集的总体等级预测正确率为 84.21%。本工作的研究方法很有实用意义, 与日常生活也密切相关。最近, 近红外光谱法在各个领域的应用很广, 不断有新的应用报道, 可参阅文献[10]。

4 结 论

(1) 在波数为 4 000~10 000 cm^{-1} 范围内, 老牛肉吸收近红外光一般要比嫩牛肉大, 表现为吸收光谱值要大。

(2) 用多元线性回归法对牛肉在波数为 4 000~10 000 cm^{-1} 范围内建立模型, 得到相关系数 r 为 0.806。用此模型对牛肉预测集进行预测, 正确率为 84.21%。

(3) 用近红外光谱技术可以对牛肉屠宰厂中的牛肉进行非破坏性检测, 由本文研究可以得出: 近红外光谱技术对牛肉嫩度等级的预测是完全可行的。

参 考 文 献

[1] ZHOU Guang-hong(周光宏). Meat Science(肉品学). Beijing: China Agriculture Press(北京: 农业出版社), 1999.

[2] Naes Tormod, Hildrum Kjell Ivar. Applied Spectroscopy, 1997, 51(3): 350.

[3] Park B, Chen Y R, Hruschka W R, et al. American Society of Animal Science, 1998, 76: 2115.

[4] Park Bosoon, Chen Yud-Ren Hruschka William R, et al. Assessment of Beef Tenderness Using Near-Infrared Spectroscopy. Proceedings of the 1997 ASAAE Annual International Meeting. Part 3. Aug 1-14, 1997. Minneapolis, USA, 1997.

[5] Park B, Chen Y R, Hruschka W R, et al. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 2001, 44(3): 609.

[6] Byrne C E, Downey G, Troy D J. Meat Science, 1998, 49(4): 399.

[7] Rùdbotten R, Nilsen B N, Hildrum K I. Food Chemistry, 2000, 69: 427.

[8] Liu Yongliang, Lyon Bsenda G, Windham William R, et al. Meat Science, 2003, 65: 1107.

[9] LU Wan-zhen, YUAN Hong-fu, XU Guang-tong, et al(陆婉珍, 袁洪福, 徐广通, 等). Modern NIR Spectroscopic Analysis Techniques(现代近红外光谱分析技术). Beijing: China Petrochemistry Press(北京: 中国石化出版社), 2000.

[10] BAI Qi-lin, CHEN Shao-jiang, DONG Xiao-ling, et al(白琪林, 陈绍江, 董晓玲, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2004, 24(11): 1345.

The Determination of Beef Tenderness Using Near-Infrared Spectroscopy

ZHAO Jie-wen[1], ZHAI Jian-mei[1*], LIU Mu-hua[2], CAI Jian-rong[1]

1. School of Biological and Environmental Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China

2. Industry College of Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China

Abstract The prediction of beef tenderness was studied using near-infrared spectroscopy. The absorption spectra of beef samples were collected between 4 000 and 10 000 cm^{-1}, the maximum shear force of these samples was obtained using the Warner-Bratzler attachment, and subjective judgment for the tenderness grade of beef was studied. Beef samples with the maximum shear force less than 6 kg were regarded as tender, and their tenderness grade was defined as the value of 1. Those with the maximum shear force greater than 9 kg were regarded as tough, and their tenderness grade was defined as the value of 3. And those with the maximum shear force between 6 and 9 kg were regarded as medium, and their tenderness grade was defined as the value of 2. The study shows that the absorption value of tougher beef is generally higher than that of tender beef. Multiple linear regression was used to build the model between the absorption value and tenderness grade. The results give the correlation coefficient r is 0.806. The accuracy of the model for predicting tenderness grade of beef was 84.21% for a validation set including 19 samples. This result indicates that NIR spectroscopy is capable of predicting tenderness grade of beef.

Keywords Beef; Near infrared; Multiple linear regression; Tenderness

(Received Dec. 26, 2004; accepted May 8, 2005)

* Corresponding author