

基于稳态空间分辨光谱技术的猪肉嫩度测量方法研究

张根伟, 文 星, 王忠义, 赵东杰, 黄 岚*

中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083

摘 要 猪肉嫩度是肉的主要感官和食用品质之一, 常规嫩度测试方法费时繁琐, 难以达到大批量快速无损检测。基于组织光学原理和稳态空间分辨光谱技术, 首先采用多通道可见近红外光谱仪检测猪背最长肌样品, 获得样品的约化散射系数; 之后每个样品一分为二, 其中一块鲜肉用 GLM₄ 型嫩度仪测试, 另一块按常规测试方法测试。研究结果表明 700 nm 波长点处样品约化散射系数与鲜肉剪切力值线性回归 $R^2 = 0.8349$, 鲜肉剪切力值与按常规测试方法剪切力值线性回归 $R^2 = 0.7716$ 。因此, 可以用鲜肉约化散射系数来得到猪肉嫩度, 获得和常规嫩度测试方法同等效果; 采用基于组织光学的稳态空间分辨光谱技术直接预测猪肉嫩度, 可以实现快速无损检测的目的。

关键词 猪肉; 嫩度; 稳态空间分辨光谱

中图分类号: O657.3 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2010)10-2793-04

引 言

猪肉的嫩度是肌肉纤维在肉质酶作用下熟化与结缔组织在一起的力学物理特性, 反映其在食用时口感的老嫩, 是肉的主要感官和食用品质之一, 是消费者评判肉质常用指标。肌肉的嫩度由肌肉组织、结缔组织与脂肪组织的分布情况、分布数量及这些组织的理化性状等因素决定^[1,2]。对肉嫩度的评价目前主要有主观评价和客观评价2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通过品尝肉来判断老嫩, 直观、简单易行, 但由于主观因素的干扰, 如人的年纪的大小、味觉的不同、牙齿的好坏等, 而且这种检测方法只能作比较评价, 无法量化, 所以很难做到客观准确。客观评价是用剪切力仪器测量肉的剪切力, 即一定钝度的刀切断一定粗细的肉所需的力。

利用可见近红外光谱技术检测肉的嫩度, 国内外文献报道主要集中在牛肉嫩度的检测上^[3-5], 猪肉嫩度的文献很少^[6], 而国内以猪肉消费为主, 研究一种快速无损检测猪肉嫩度的方法很有意义。可见近红外光从肉品组织表面入射, 由于组织对入射光的散射和吸收作用, 在肉品组织表面所检测的漫反射光携带有丰富的组织结构和物质含量信息, 通过测量肉品组织表面漫反射光的空间分布来反演出与吸收、散射对应的吸收系数 μ_a 、约化散射系数 μ_s' 等组织光学特性参

数是目前最受关注的方法之一。光的散射会发生在肉品内部肌纤维、结缔组织与脂肪组织及周围间质粒子之间折射率不连续的边界上, 并与这些组织细胞的结构及结构变化、细胞数量、分布相关; 肌肉的嫩度由肌肉组织、结缔组织与脂肪组织的分布情况、分布数量及这些组织的理化性状等因素决定, 而这些因素将直接影响着肉品的散射特性, 并可由约化散射系数 μ_s' 反映出来。基于组织光学的稳态空间分辨光谱技术, 采用多通道可见近红外光谱仪可以同时检测猪肉样品不同位置的漫反射率, 获得猪肉样品的约化散射系数 μ_s' , 并研究约化散射系数与猪肉嫩度的关系, 尝试提出一种快速非破坏性检测猪肉嫩度的方法。

1 基本原理

蒙特卡罗仿真表明^[7,8] 光在生物组织内的传播路径呈现香蕉状, 光源与检测器之间距离越远, 检测深度越深; 通过多个传感器检测距离光源不同距离位置处的漫反射光就可以得到肉品不同深度的组织信息, 如图1所示。

当入射到组织内的光强度恒定时, 求解均匀半无限大边界条件下的稳态漫射方程, 可得到(1)式^[9]

$$\frac{\partial OD}{\partial \rho} \times \ln 10 = \mu_{\text{eff}} + \frac{2}{\rho} \quad (1)$$

收稿日期: 2009-11-02, 修订日期: 2010-02-06

基金项目: 国家(863计划)项目(2007AA10Z212)资助

作者简介: 张根伟, 1984年生, 中国农业大学信息与电气工程学院研究生 e-mail: zhgw1984@gmail.com

* 通讯联系人 e-mail: biomed_hl@263.net

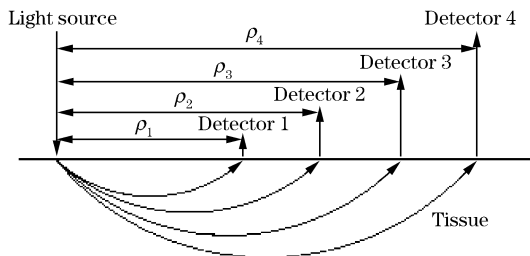


Fig 1 The configuration of the light source and the detectors
Tissue 为肉品组织; Light source 为光源; detector1, detector2, detector3, detector4 分别为 4 个漫反射光检测器; $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ 分别为光源到 4 个检测器之间的距离

由于猪肉样品是强散射介质, 则 $\mu_s \gg \mu_a$, 于是,

$$\mu_{\text{eff}} = \sqrt{3\mu_s \mu_a} \quad (2)$$

由(1)和(2)式可推出

$$\mu_s = \left(\frac{\partial OD}{\partial \rho} \times \ln 10 - \frac{2}{\rho} \right)^2 \quad (3)$$

式中: OD 表示光密度, 其值为 $\log(I_0/I)$, I_0 为入射光强, I 表示出射光强; ρ 是光源与检测器之间的距离; μ_{eff} 是组织的有效衰减系数, μ_s 是组织的约化散射系数, μ_a 是组织的吸收系数。

猪肉的颜色主要取决于肌肉中的色素物质肌红蛋白(deoxygenated myoglobin, Mb)和血红蛋白(deoxygenated hemoglobin, Hb), 肌红蛋白和血红蛋白与氧结合分别生成氧合肌红蛋白(oxygenated myoglobin, MbO₂)和氧合血红蛋白(oxygenated hemoglobin, HbO₂), 如果放血充分, 肌红蛋白在肉中色素物质的比例为 80%~90%^[1], 占主导地位。在 600~900 nm 谱区血红蛋白和肌红蛋白是组织的主要吸收物质, 其吸收系数可近似用(4)式表示

$$\mu_a^{\lambda} = \epsilon_{\text{Hb}}^{\lambda} c_{\text{Hb}} + \epsilon_{\text{HbO}_2}^{\lambda} c_{\text{HbO}_2} + \epsilon_{\text{Mb}}^{\lambda} + \epsilon_{\text{MbO}_2}^{\lambda} c_{\text{MbO}_2} \quad (4)$$

式中: λ 为波长, ϵ^{λ} 为消光系数, 文献[10]中的附表得到; 吸收物质浓度值以 c 表示。文献[11]表明 Mb 与 Hb, MbO₂ 与 HbO₂ 在 600~900 nm 谱区的吸收谱几乎重叠, 因此(4)式可改写为

$$\mu_a^{\lambda} = \epsilon_{\text{Hb}}^{\lambda} (c_{\text{Hb}} + c_{\text{Mb}}) + \epsilon_{\text{HbO}_2}^{\lambda} (c_{\text{HbO}_2} + c_{\text{MbO}_2}) \quad (5)$$

考虑到肉品中还有很少一部分水的吸收^[12], 因此吸收系数

$$\mu_a^{\lambda} = \mu_a^{\lambda} + \mu_{\text{H}_2\text{O}}^{\lambda} \quad (6)$$

本实验样品全部选择猪背最长肌, 通过 WSG-S 测色色差计测量通参 L^* , a^* , b^* 值, a^* 代表红度, 当样品 a^* 基本保持一致时, 可以认为样品吸收系数值基本一致, 在此基础上可以用(3)式计算出样品 μ_s 值, 研究 μ_s 值与嫩度之间的关系。

2 实验材料与方法

2.1 实验材料

冷却肉样品来自北京第五肉联厂, 经过标准屠宰加工,

卫生检疫部门检验合格。每次分别取猪背最长肌 0.5 kg, 采样 100 mm × 80 mm × 50 mm 的猪背最长肌样品进行检测, 共测量 12 个样品。样品采用保鲜袋包装后保存于 0~4 °C 的冰箱内。

2.2 检测装置及检测步骤方法

基于稳态空间分辨光谱技术, 采用 ZGW-1 型多通道可见近红外光谱仪, 测试装置如图 2。本系统按照文献[13]的方法用固态模型进行校准, 约化散射系数误差 < 8%。检测时首先将 Avantes 公司生产的 AvaLight HAL-S 型光源打开, 光通过光纤入射到猪背最长肌样品, 通过多通道光纤同时将 4 个距离光源不同距离的漫反射光谱传入光学平台, 光学平台选用光谱响应范围为 600~1100 nm 的 CCD(charge coupled device) 线阵图像传感器作为检测器。检测时将光源光纤以及多通道光纤固定到一设计好的探头中紧贴样品表面防止漏光。将 CCD 线阵图像传感器输出电信号经过信号调理、模数转换后保存到 FIFO(first input first output) 存储器芯片中。系统采用 ARM7 系列芯片 LPC2220 做为主控制器控制整个系统, 用 CPLD(complex programmable Logic Device) 芯片控制 CCD 采集、模数转换以及 FIFO 存储逻辑时序, 最后将数据通过 USB(universal serial BUS) 接口传送到计算机上进行数据处理。

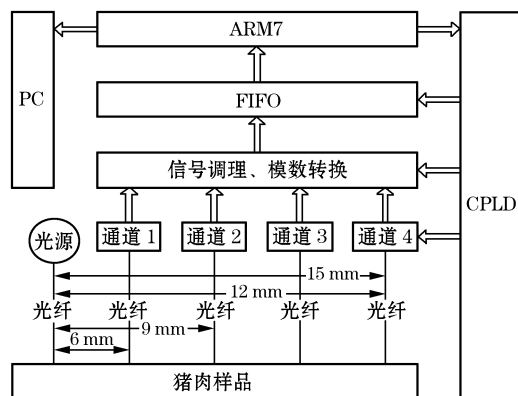


Fig 2 Schematic diagram of multi-channel spectrometer

嫩度测试步骤如下: 用上海精密科学仪器有限公司生产的 WSG-S 测色色差计测量生肉样品的 L^* , a^* , b^* 值; 用四道光谱仪获得每个鲜猪肉样品 600~1100 nm 的光谱, 这 4 条光谱分别是光源到检测器距离为 6, 9, 12 和 15 mm 处获得的光谱, 从每个鲜肉样品取 5.5 cm × 5.5 cm × 4 cm 两块, 其中一块鲜肉用直径为 1.27 cm 取样器顺着肌纤维纹理取样, 取长度不小于 2.5 cm 的 3 个样, 用 G- LM4 嫩度仪测试嫩度值; 另一块则按照常规测试方法进行, 即中华人民共和国农业行业标准 NY/T 1180—2006 测试嫩度。从冰箱中取出肉样, 剔除肉表面的筋、腱、膜及脂肪; 放入恒温水浴锅中 80 °C 加热, 待肉样中心温度达到 70 °C 时将肉样取出冷却至中心温度为 20 °C; 用直径为 1.27 cm 的取样器顺着肌纤维纹理取样, 取长度不小于 2.5 cm 的 3 个样, 用 G- LM4 嫩度仪测试嫩度值。

3 结果与讨论

通过上述多通道 CCD 可见近红外光谱仪可以得到 4 个不同位置处 600~ 1 100 nm 波长范围的漫反射率。利用稳态空间分辨光谱技术, 由四通道光谱数据用 (1) 式可以算出 μ_{eff} , 在吸收系数近似一致的条件下, (3) 式可以解算出这一波段中的约化散射系数 μ_s 。12 个样品中剔除 3 个异常值样品, 分别计算猪肉背最长肌鲜肉嫩度值与 μ_s 以及常规方法

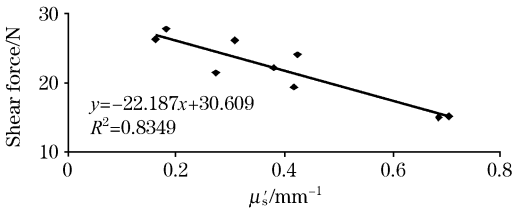


Fig 3 Correlation between reduced scattering coefficient of fresh meat at 700 nm and shear force values

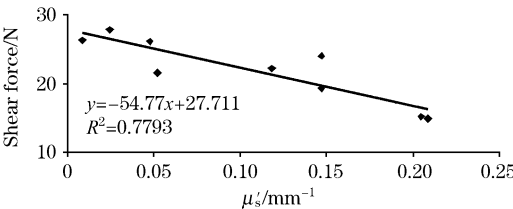


Fig 4 Correlation between reduced scattering coefficient of fresh meat at 760 nm and shear force values

Table 1 Reduced scattering coefficient μ_s of fresh meat at 700 nm, 760 nm and shear force values

样品	700 nm μ_s/mm^{-1}	760 nm μ_s/mm^{-1}	鲜肉/N
1	0 685 8	0 208 7	14 88
2	0 702 7	0 204 7	15 10
3	0 424 6	0 147 0	24 01
4	0 381 0	0 118 1	22 10
5	0 416 9	0 146 7	19 30
6	0 181 6	0 024 3	27 80
7	0 308 6	0 047 1	26 10
8	0 162 9	0 010 0	26 23
9	0 274 1	0 051 9	21 46

所测猪肉背最长肌嫩度值的相关关系, 如图 3、图 4 和图 5 所示。700 和 760 nm 波长处的与鲜肉嫩度值相关系数最高, 结果如表 1 所示。

实验结果还表明, 样品的猪肉背最长肌鲜肉的嫩度值与常规方法所测嫩度值具有显著相关性(图 5), 且纤维越粗约化散射系数越小^[14], 纤维越粗剪切力愈大, 这个结果与文献 [15] 报道一致。这样可以考虑无损得到鲜肉的约化散射系数, 并通过模型计算出剪切力, 以满足应用之需要。

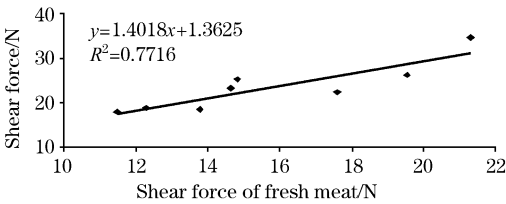


Fig 5 Correlation between fresh meat shear force values and shear force values by conventional method

影响猪肉嫩度的因素很多, 但外在因素是通过内在的因素(肌肉组织、结缔组织与脂肪组织)起作用的, 肌肉的组织学特性直接影响着猪肉的嫩度指标。刘顺德等^[16] 研究结果表明: 肌肉嫩度与肌纤维直径和密度密切相关, 肌纤维越细且密度越大的且肌内脂肪含量越高猪肉越嫩, 反之, 肌纤维直径的增大, 肌肉嫩度则降低。

生物光子学的研究表明, 不同的组织细胞结构和其分布不同, 在 600~ 1 100 nm 波长有着不同的约化散射系数^[15], 因此, 尝试以约化散射系数来反映嫩度的关系存在着理论基础, 在本研究中也得到了实验的支持。

4 结 论

基于组织光学的稳态空间分辨光谱技术多通道可见近红外光谱仪可以无损、快速得到猪肉样品的约化散射系数 μ_s 。研究了猪肉嫩度值与约化散射系数 μ_s 的关系, 两者显著相关, 且约化散射系数越小, 鲜肉剪切力愈大; 通过多通道光谱得到鲜肉样品的约化散射系数 μ_s , 利用建立好的模型便可得到猪肉样品的嫩度值。由于仅考虑了 Mb, MbO₂, Hb, HbO₂ 和水的吸收, 上述结论仍然是初步的; 在进一步的研究中还要考虑其他物质(如细胞色素等)的吸收, 以提高现有方法的准确度。

参 考 文 献

[1] ZHOU Guang hong(周光宏). Meat Science(肉品学). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press(北京: 中国农业科技出版社), 1999.

[2] WANG Yong hui, MA Li zhen, ZHANG Ya jie, et al(王永辉, 马俪珍, 张亚杰, 等). Meat Research(肉类研究), 2006, (1): 48.

[3] Shackelford S D, Wheeler T L, Koohmaraie M. Meat Science, 2005, 69: 409.

[4] Bowling M B, Vote D J, Belk K E, et al. Meat Science, 2009, 82: 1.

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

[6] Geesink G H, Schreutelkamp F H, Frankhuizen R, et al. Meat Science, 2003, 65: 661.

[7] Wang L, Jacques S L, Zheng L. Comput. Meth. Programs Biomed, 1995, 47: 131.

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

- [8] DING Hai shu, WANG Feng, SU Chang(丁海曙, 王 峰, 苏 畅). Journal of Tsinghua University(清华大学学报), 1999, 39: 5.
- [9] Suzuki Susumu, Takasaki Sumio, Ozaki Takeo, et al. SPIE, 1999, 3597: 582.
- [10] Matcher S J, Elwell C E, Cooper C E, et al. Anal. Biochem., 1995, 227: 54.
- [11] Sevick E M, Chance B, Leigh J, et al. Anal. Biochem., 1991, 195: 330.
- [12] Chance B, Cope M, Gratton E, et al. Rev. Sci. Instrum., 1998, 69(10): 3457.
- [13] ZHAO Jun, DING Hai shu, ZHAO Zhong yao, et al(赵 军, 丁海曙, 赵忠耀, 等). Journal of Optoelectronics • Laser(电子 • 激光), 2005, 16(4): 496.
- [14] XIE Shu sen, HUANG Lu hua, ZHENG Wei, et al(谢树森, 黄禄华, 郑 蔚, 等). Acta Photonica Sinica(光子学报), 1996, 25(2): 97.
- [15] LIU Shu de, LIU Meng zhou, WANG Yi tao, et al(刘顺德, 刘孟洲, 王玉涛, 等). Journal of Agricultural Sciences(农业科学研究), 2006, 27(2): 33.

Measurement of Pork Tenderness by Using Steady Spatially-Resolved Spectroscopy

ZHANG Ger wei, WEN Xing, WANG Zhong yi, ZHAO Dong jie, HUANG Lan*

College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

Abstract Tenderness is one of the main sensory and eating qualities of meat. Conventional measurement of tenderness is a time consuming and invasive method. Using steady spatially-resolved spectroscopy, a multi-channel visible and near infrared spectroscopy instrument was established to obtain the reduced scattering coefficient μ_s of porcine longissimus muscle samples. After spectra collection, each fresh meat sample was divided into two parts, one was tested by means of G- LM4 tenderness instrument, and the other was measured by conventional method. The results showed that reduced scattering coefficient of the samples was significantly correlated to fresh meat shear force values ($R^2=0.8349$) at 700 nm. Also, there was a significant correlation between fresh meat shear force values and shear force values by conventional method ($R^2=0.7716$). In conclusion, the potential of the steady spatially-resolved spectroscopy technique as a rapid and non-invasive tool to measure tenderness of pork was found.

Keywords Pork; Tenderness; Steady spatially resolved spectra

(Received Nov. 2, 2009; accepted Feb. 6, 2010)

* Corresponding author