

生鲜猪肉细菌总数的高光谱特征参数研究

宋育霖, 彭彦昆*, 陶斐斐, 赵松玮, 赵娟

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要: **目的** 通过对高光谱数据进行洛伦兹拟合参数的分析, 讨论高光谱技术对生鲜猪肉细菌总数预测的可行性。**方法** 63个猪肉样品贮存于4℃冰箱中, 每天随机取出4块样品, 在400~1100 nm波长范围内获取猪肉表面的高光谱散射图像, 从高光谱图像中提取猪肉的反射光谱曲线, 利用洛伦兹函数进行拟合, 然后用单参数和不同参数结合的方法建立多元线性回归模型。**结果** 多参数结合的方法比单个参数建立的模型更好, 最好的模型结果是三个参数结合建立模型, 校正集相关系数为0.96, 标准差为0.42; 预测集相关系数为0.89, 标准差为0.46。**结论** 利用高光谱成像技术结合洛伦兹函数对快速检测猪肉细菌总数具有一定的可行性。**关键词:** 生鲜猪肉; 高光谱; 细菌总数; 洛伦兹拟合; 多元线性回归

Assessment of characteristic parameters of total viable count of fresh pork based on hyperspectral images

SONG Yu-Lin, PENG Yan-Kun*, TAO Fei-Fei, ZHAO Song-Wei, ZHAO Juan

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

ABSTRACT: Objective To develop a new technique by using Lorentz fitting parameter analysis so as to discuss the feasibility of predicting the bacteria total viable count (TVC) of fresh pork by using hyperspectral imaging technology. **Methods** Totally 63 fresh pork samples stored at 4°C were used in the experiment and 4 samples were taken out randomly each day. Hyperspectral scattering images and spectral reflectance optical data were acquired from surface of pork samples in the region of 400~1100 nm. Lorentz function was applied to fit the scattering profiles of pork. Both individual parameters and integrated parameters were explored to develop the multi-linear regression models for predicting pork TVC. **Results** The results indicated that the integrated parameters could perform better than individual Lorentz parameter. The best result for predicting pork TVC was achieved by the form of (a, b, c), with the correlation coefficient and standard error of 0.96 and 0.42 for calibration set, and 0.89 and 0.46 for prediction set, respectively. **Conclusion** Hyperspectral scattering technique combined with Lorentz function is potential for rapid determination of pork TVC.

KEY WORDS: pork; hyperspectral image; bacteria total viable counts; Lorentz fitting; multi-linear regression

1 引言

生鲜畜肉类产品在人们的日常饮食中占有较重的比例, 我国已发展成为世界最大的肉类生产大国。在微生物污染中, 细菌性污染是涉及面最广、影响最大、问题最多的一种污染^[1]。菌落总数是评价食品卫

生质量的重要微生物学指标, 可用以判断其是否腐败变质^[2]。传统的菌落检测方法大多基于平板计数法^[3]、电阻抗检测法^[4]、免疫学^[5,6]和微菌落技术^[7]等方法, 这些方法虽然有效, 但需要相当繁琐的预处理或细菌繁殖, 并不能有效控制肉中细菌污染物。

现代肉类安全与质量控制需要在工业在线监测

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201003008)、国家科技支撑计划项目(2012BAH04B00)

*通讯作者: 彭彦昆, 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。Email: ypeng@cau.edu.cn.

生产中使用快速的无损检测方法。使用光谱学包括高光谱成像系统一直得到广泛的研究,并有望替代传统的分析方法,克服破坏性和费时等缺点。高光谱成像技术融合了传统的图像和光谱技术,可同时得到待测物的空间位置信息和光谱信息,因此可以更好地反映样品的综合性状,目前已成为农产品品质评估和安全检测研究中的有效工具^[8-12]。Park等^[13,14]开发了高光谱图像系统用于检测禽肉表面的粪便和消化物污染从而间接检测其中所含的大肠埃希氏菌 O157: H7。陶斐斐等^[15-18]用 400~1100 nm 点扫描方式获取的对畜肉细菌总数检测的高光谱图像通过建模分析取得了较好的结果,相关系数可以达到 0.85 以上。

本研究在高光谱图像技术的基础上,致力于探索提高生鲜猪肉细菌总数预测建模方法的精度,采用洛伦兹拟合^[19, 20]的方法处理数据,并用多元线性回归建立预测模型。

2 材料与方 法

2.1 实验材料

生鲜猪肉(通脊)购于北京美廉美超市的鹏程肉食,置于蓄冷运输箱后立即运送至实验室,快速将肉样均匀分割成长×宽×高约为 8 cm×5 cm×2 cm 的肉块。第 1 d 冷却猪肉样本未经包装,分割完成后立即进行实验,由于第一天肉比较新鲜,故测定 3 个样品;第 2~16 d 冷却猪肉样本采用统一的包装方式,即将每块样本放入一个保鲜袋中,选择切面较平整的表面向上,包装后,将待测样品整齐、无挤压放于 4℃冰箱中。实验时从冰箱中随机取肉样,每天测定 4 个样品。

2.2 实验方法

2.2.1 高光谱图像的采集

每隔 12 h,从冰箱中取出两个样本,去掉样本外包装,在空气中暴露 3~5 min,使表面水分蒸发,开始利用高光谱系统^[11]采集高光谱图像。通过计算得出样本表面采集光谱的视场为 58 mm×200 μm(长×宽)的一条线。光谱仪一次可采集猪肉样本表面一条扫描线的光谱信息,该扫描线上的光线经过光谱仪后,在被散射成不同波长的光谱的同时又保留了它的原始空间信息,散射后的光信号被与光谱仪连接的 CCD 相机探测器获取,形成二维光谱图像,该图像一维代表空间信息,一维代表波长信息,像素灰度值代表反射强度。

在扫描时要注意样本的横截面与光谱仪和相机的轴线垂直,扫描线要避免脂肪和结缔组织。为提高图像的信噪比,对原始图像 1040×1376 作 2×2 binning 处理,处理后图像降为 520×688 像素。每个样本表面平行选 10 个不同位置的扫描线,每次获取一张图像,每个样本获取 10 个扫描图像,然后取 10 个图像的平均图像作为该样本的最终图像。

2.2.2 细菌总数标准值测定

采集完高光谱图像后,立即检测样本的菌落总数。根据国标 GB/T 4789.2-2010 检测得到的菌落总数即为细菌总数。本研究中记录的标准数据为每克猪肉中所含的细菌总数,为方便记录,取其对数值。

2.3 高光谱图像的处理

2.3.1 高光谱图像的校正

在采集所有试样图像之前,为校正相机暗电流对图像的影响,采用盖住镜头的方法获取黑图像,然后按公式(1)计算校正反射光谱:

$$R = R_s - R_d \quad (1)$$

其中 R ——校正反射强度

R_s ——试样样本原始图像反射强度

R_d ——暗图像的反射强度。

2.3.2 高光谱图像的数据分析方法

采用洛伦兹函数对校正光谱数据进行拟合,洛伦兹函数的公式为:

$$R = a + \frac{c}{1 + (x/b)^2} \quad (2)$$

其中 R ——校正反射强度

a ——洛伦兹分布曲线的渐近值

b ——散射曲线的半波带宽,即反射值为峰值的 1/2 处,散射曲线的带宽

c ——洛伦兹曲线在 $x=0$ 处的峰值

x ——该点距离光入射点(曲线中心点)距离

通过洛伦兹拟合猪肉样本的光谱曲线得到的洛伦兹参数,可以代表样本的不同的光学特性。这个过程是在软件 Matlab 7.0 环境下基于最小二乘曲线拟合原理进行的。然后用提取的洛伦兹参数建立多元线性回归预测模型;单个参数和不同形式的综合参数被用于建立多元预测模型研究中。

3 结果与讨论

3.1 数据拟合和洛伦兹参数

单个样品的原始三维图像和拟合的所有样本的三个参数 a, b, c 如图 1 所示。

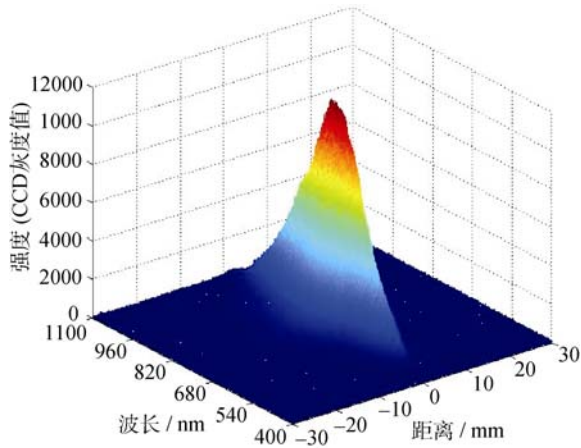


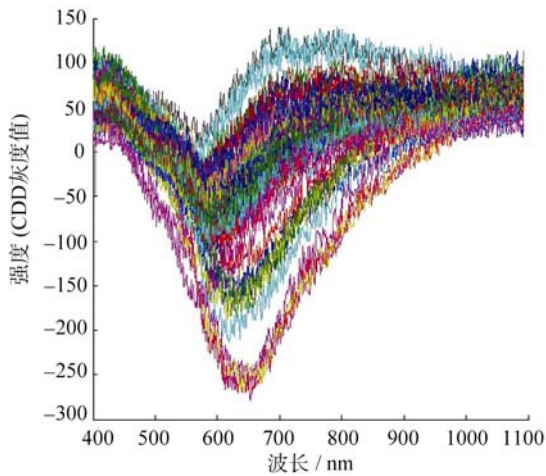
图 1 猪肉的三维高光谱图像

Fig. 1 Three dimensional hyperspectral image of pork samples

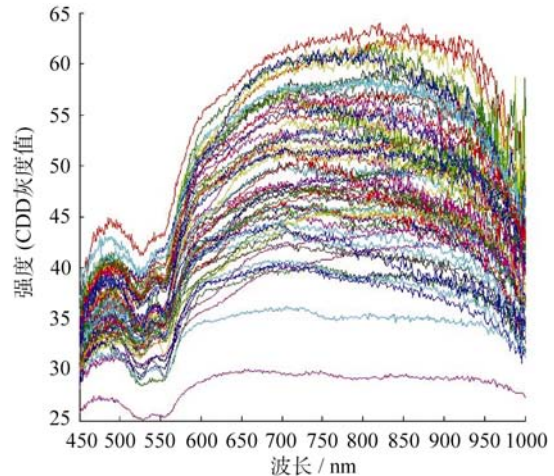
图 1 中光谱信息分别为波长范围 400~1100 nm, 空间位置以入射点为中心的-30 到 30 mm 的距离, 和 CCD 相机采集的猪肉样本的校正反射强度。图 2(a) 为所有样本拟合之后的渐进值的图像; 图 2(b)为所有样本拟合之后的半波带宽值; 图 2(c)为曲线在 $x=0$ 处的峰值。

3.2 单个参数预测细菌总数

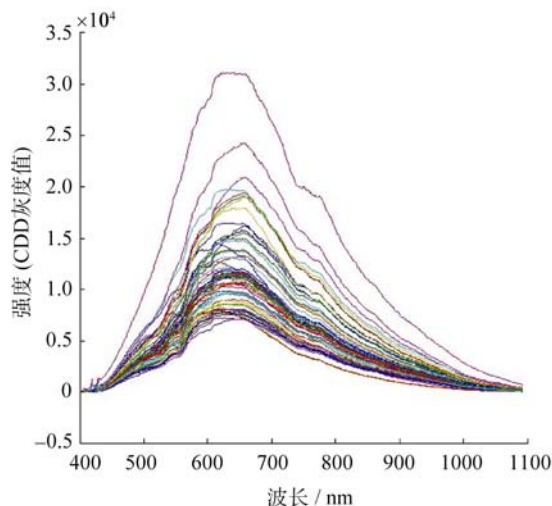
对所有的63个样本进行分组, 校正集为48个样本, 预测集为15个样本。分别用参数 a, b, c 与细菌总数的标准值建立多元线性回归模型, 选取的特征波长数均为8, 校正集和预测集的相关系数 R 和标准偏差 SEC 结果如表1所示。



(a) 洛伦兹参数a
(a) Parameter a of Lorentz



(b) 洛伦兹参数b
(b) Parameter b of Lorentz



(c) 洛伦兹参数c
(c) Parameter c of Lorentz

图 2 猪肉的洛伦兹三参数

Fig. 2 Three Lorentz parameters of pork samples

表1 单参数模型预测结果

Table 1 Model predicted results of individual parameter

单个参数	校正集 R_c	校正集 SEC	预测集 R_v	预测集 SEC
a	0.84	0.60	0.62	0.72
b	0.79	0.68	0.71	0.70
c	0.84	0.60	0.79	0.89

相关性最好是c(半波带宽), 其公式为:

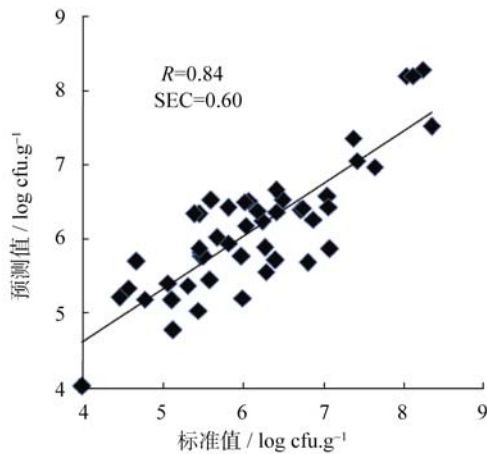
$$Y=4.64+0.02X_{926}-0.02X_{1080}+0.003X_{418}-0.0056X_{1090}-0.0126X_{896}-0.01X_{912}+0.0045X_{773}+0.01X_{840}$$

其中 Y ——猪肉细菌总数预测值

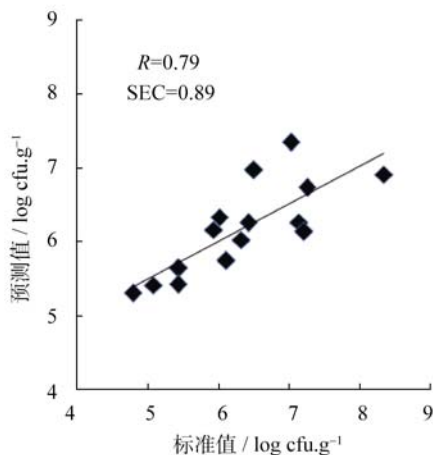
X ——特定波长处的参数c的值

其校正集和预测集模型预测结果如图 3(a), 3.(b)

所示。



(a) 校正集模型结果
(a) Model result of calibration set



(b) 预测集模型结果
(b) Model result of prediction set

图3 峰值的多元线性回归模型结果

Fig. 3 Model results of the multivariate linear regression of peak

3.3 综合参数预测细菌总数

两参数结合的方式, 根据公式可得共有3种结合方式, 分别为(a,b), (a,c), (b,c)。分组结果与单个参数相同; 三种结合方式分别与细菌总数的标准值建立多元线性回归模型, 选取的特征波长为8, 但因为是两参数结合, 所以变量数为16; 三参数结合的方式只有一种(a,b,c), 其建立多元线性回归的特征波长数也为8, 变量为24。两参数和三参数校正集和预测集的相关系数和标准偏差结果如表2所示。

表2 综合参数模型预测结果

Table 2 Model predicted results of integrated parameter

综合参数	校正集 R_c	校正集 SEC	预测集 R_v	预测集 SEC
(a,b)	0.91	0.50	0.84	0.51
(a,c)	0.96	0.34	0.68	0.68
(b,c)	0.86	0.64	0.73	0.65
(a,b,c)	0.96	0.42	0.89	0.46

4 结论

本研究的结果表明, 高光谱散射技术结合洛伦兹函数是一个预测猪肉细菌总数的快速、无损工具; 利用高光谱成像技术结合洛伦兹函数对快速检测猪肉细菌总数具有一定的可行性。单个洛伦兹参数c优于其他单个参数预测猪肉细菌总数。此外, 为了提高模型的性能参数, 不同形式的综合参数用来建立预测模型, 结果表明, 综合方法显著提高模型的性能。在这项研究中, 预测猪肉细菌总数最好的结果是(a, b, c), 它的预测集相关系数为0.89。高光谱散射结合洛伦兹函数对于提供一个实时检测系统评估猪肉细菌总数有很大潜力, 并可能在未来的肉类安全监测中成为一个强大的工具, 全面监控肉类的质量和安全特性。

参考文献

- [1] 国务院发展战略中心中国食品安全战略研究课题组. 中国食品安全战略研究[J]. 农业质量标准, 2005, (1): 4-7.
- [2] 王长远, 马万龙, 姜昱男. 猪肉新鲜度的检测及肉质综合评定[J]. 农产品加工学刊, 2007, (10): 75-77.
- [3] GB 4789. 2-2010 食品微生物学检验菌落总数测定[S].
- [4] 周向华, 王衍彬, 叶兴乾. 电阻抗法在食品微生物快速检测中的应用[J]. 粮油加工与食品机械, 2003, (10): 73-75.
- [5] 施文正, 汪之和. 酶联免疫吸附分析法在食品分析中的应用[J]. 食品研究与开发, 2003, 24(3): 84-87.
- [6] 孙震, 张灏. 双歧杆菌免疫学检测方法的研究[J]. 食品与生物

- 技术学报, 1999, (2): 28–32.
- [7] 许欣, 裴晓方, 赵亮, 等. 微生物技术快速定量测定矿泉水中细菌总数的初步研究[J]. 预防医学情报杂志, 2001, 17(3): 137–138 .
- [8] Qin JW, Lu RF. Measurement of the Absorption and Scattering Properties of Turbid Liquid Foods Using Hyperspectral Imaging [J]. Appl Spectrosc, 2007, 61(4): 388–396.
- [9] Peng YK, Lu RF. Improving apple fruit firmness prediction by effective correction of multispectral scattering images [J]. Postharv Biol Technol, 2006, 41(3): 266–274.
- [10] Qiao J, Ngadi MO, Wang N, *et al.* Pork quality and marbling level assessment using a hyperspectral imaging system [J]. J Food Eng, 2007, 83(1): 10–16.
- [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): 135–138/150.
- [12] 单佳佳, 吴建虎, 陈菁菁, 等. 基于高光谱成像的苹果多品质参数同时检测[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(10): 2729–2733.
- [13] Park B, Lawrence KC, Windham WR. Hyperspectral imaging for detecting fecal and ingesta contamination on poultry carcass [J]. Trans ASAE, 2002, 45(6): 2017–2026.
- [14] Park B, Lawrence KC, Windham WR. Performance of hyperspectral imaging system for poultry surface fecal contaminant detection [J]. J Food Eng, 2006, 75(3): 340–348 .
- [15] 陶斐斐, 王伟, 李永玉, 等. 冷却猪肉表面菌落总数的快速无损检测方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(12): 3405–3409.
- [16] 王伟, 彭彦昆, 张晓莉. 基于高光谱成像的生鲜猪肉细菌总数预测建模方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(2): 411–415.
- [17] Tao FF, Peng YK, Li YY, *et al.* Simultaneous determination of tenderness and Escherichia coli contamination of pork using hyperspectral scattering technique [J]. Meat Sci, 2012, 90: 851–857.
- [18] Peng YK, Zhang J, Wang W, *et al.* Potential prediction of the microbial spoilage of beef using spatially resolved hyperspectral scattering profiles [J]. J Food Eng, 2011, 102: 163–169.
- [19] Peng YK, Lu RF. Modeling multispectral scattering profiles for prediction of apple fruit firmness [J]. Trans Am So Agric Eng, 2005, 48(1): 235–242 .
- [20] Peng YK, Lu RF. Improving apple fruit firmness predictions by effective correction of multispectral scattering images [J]. Postharv Biol Technol, 2006, 41(3): 266–274 .

(责任编辑: 张宏梁)

作者简介



宋育霖, 硕士生, 研究方向: 农畜产品品质安全无损检测技术与装备。

E-mail: songyulin219@163.com



彭彦昆, 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: ypeng@cau.edu.cn