

基于机器视觉的鸡胴体表面污染物在线检测技术\*

陈坤杰 杨 凯 康 睿 章夏夏 吴 威

(南京农业大学工学院, 南京 210031)

**摘要:** 基于机器视觉技术设计了鸡胴体表面污染物在线检测及处理系统。通过“工业相机+滤光片+计算机”的方式在线采集鸡胴体表面波长 500 nm 和 710 nm 的特征图像,采用中值滤波、灰度增强进行图像预处理,然后采用 Otsu 法自动确定阈值并获得二值化图像,再对图像进行腐蚀、膨胀、空洞填充以及异或操作,分割得到鸡胴体表面污染物区域并以此判断鸡胴体表面是否存在污染物,然后对鸡胴体表面的污染物进行喷淋处理。试验结果显示,利用该系统进行鸡胴体表面 3 种污染物(盲肠粪便、血液、胆汁)检测,检测总体平均正确率为 90.5%,表明该系统可实现鸡胴体表面污染物的在线检测和正确识别。

**关键词:** 鸡胴体 表面污染物 机器视觉 在线检测 图像处理

**中图分类号:** S24; X502      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-1298(2015)09-0228-05

Online Detection Technology for Contaminants on Chicken Carcass Surface Based on Machine Vision

Chen Kunjie Yang Kai Kang Rui Zhang Xiaxia Wu Wei

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

**Abstract:** A real-time detection and processing system for contaminants on chicken carcass surface was designed based on machine vision technology. The surface feature images in the wavelengths 500 nm and 710 nm of chicken carcass were acquired by means of industrial camera, filter and computer respectively. These images were firstly processed with the median filtering and gray enhancement. Then the binarized images were obtained by using Otsu automatic thresholding. Then, the corrosion, expansion and void filling operations were conducted on these images, and the contamination areas on chicken carcass surface were segmented. On the basis of this, if contaminations (cecal fecal, blood, bile) on the surface of chicken carcass were distinguished, the spray treatments for these contaminations were carried out. The experimental results showed that the total average correct ratio was 90.5% when this system was used to detect three contaminations on the surface of chicken carcass, implying that this system could be used for online detection of contaminants on chicken carcass surface with high detection accuracy and reliability.

**Key words:** Chicken carcass Contaminants on the surface Machine vision Online detection Image processing

引言

肉鸡的屠宰加工要经过电击晕、放血、脱毛、取内脏、冲洗、预冷、分割等环节。在这些加工环节中,血液、粪便及消化道内容物极易残留在鸡胴体表面,对鸡胴体造成污染,严重影响鸡肉产品的质量及安

全<sup>[1]</sup>。因此,在实际生产中,需要对鸡胴体表面残留物进行检测和处理,以保证产品质量和安全。目前,对鸡胴体表面污染物的检测,主要采用人工和生化检测,人工检测方法易受主观因素影响,误检率高、效率低;生化方法尽管正确率高,但耗时长、过程繁琐,不能实现在线检测,满足不了生产实际需求。

收稿日期: 2015-02-13 修回日期: 2015-04-01

\* 江苏省科技支撑计划(社会发展)资助项目(BE2014708)

作者简介: 陈坤杰,教授,主要从事农产品加工与检测技术研究,E-mail: kunjiechen@njau.edu.cn

20 世纪 90 年代初, Park 等<sup>[2-3]</sup> 提出一种利用多光谱技术检测正常鸡胴体和表面患有皮肤疾病鸡胴体的方法。21 世纪后, 高光谱成像技术逐渐应用在农产品检测研究方面<sup>[4-8]</sup>, 对鸡胴体表面污染物的检测研究获得很大进展<sup>[9-14]</sup>。尽管采用高光谱方法可以获得较高的正确检测率, 但是, 传统高光谱法扫描耗时长, 不能用于在线检测, 无法满足生产实际需求。近年来, 国外开发出一种新型的线扫描高光谱技术和可见近红外检测技术, 并将其用于鸡胴体表面污染物的在线检测<sup>[15-17]</sup>。线扫描高光谱成像技术尽管能满足鸡胴体表面污染物在线检测的要求, 但其成像设备价格昂贵(40~50 万元), 大多数鸡胴体加工企业都难以承受。目前, 国内对鸡胴体表面污物的检测, 主要采用人工目测的方式, 还没有关于鸡胴体表面污染物在线检测系统的研究报道。

本文提出一种基于机器视觉技术的鸡胴体表面污染物在线检测及处理技术, 利用鸡胴体高光谱图像, 确定鸡胴体血液、粪便和胆汁的特征图像波段, 然后采用低成本的“滤光片 + 工业相机 + 计算机”的方式, 在线采集鸡胴体表面污染物的特征图像并进行快速识别, 以实现有对表面有污染物残留鸡胴体的在线检测。

### 1 在线检测及处理系统组成和工作原理

基于机器视觉技术的鸡胴体表面污染物在线检测及处理系统需要搭建在线采集系统、图像处理系统和在线处理系统等。自动采集悬挂于屠宰生产线上的鸡胴体表面特征图像, 并对所采集的鸡胴体表面特征图像进行图像处理, 根据图像处理结果选择是否启动喷淋处理系统。本文所开发的鸡胴体表面污染物在线检测及处理系统主要由鸡胴体表面图像采集系统、位置检测装置、计算机、喷淋处理系统 5 部分构成, 系统总体结构及工作原理如图 1 所示。系统结构示意图如图 2 所示。

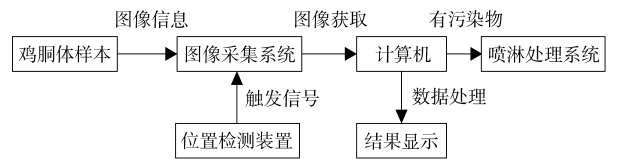


图 1 系统总体原理框图

Fig. 1 Schematic diagram of whole system structure

图像采集装置由 2 台工业相机、2 个滤光片和 2 套 LED 光源组成, 用于采集 500 nm 和 710 nm 波段的鸡胴体表面特征图像。工业相机采用北京微视千兆网相机 MVC1300SAC-GE60, 像素 130 万, 镜头 H0514, 波长分别为(500 ± 10) nm (透过波段: 490~510 nm, 最低透过率大于 95%, 截止深度小于

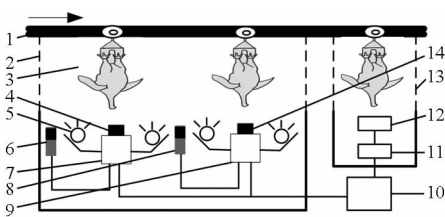


图 2 系统结构示意图

Fig. 2 System structural diagram

1. 屠宰生产线 2. 暗箱 3. 鸡胴体样本 4. 镜头 + 500 nm 滤光片 5. 光源 6、8. 光电传感器 7、9. 工业相机 10. 计算机 11. PLC 12. 喷淋装置 13. 喷淋室 14. 镜头 + 710 nm 滤光片

0.1%) 和(710 ± 10) nm (透过波段: 700~720 nm, 最低透过率大于 94%, 截止深度小于 0.1%), 适合于拍摄运动的物体, 触发模式下采集帧率为 29 帧, 可以满足屠宰加工厂的生产要求; 光源由 4 个 5 W 的 LED 灯条组成; 采用漫反射式红外避障传感器 E18-D50NK 检测鸡胴体位置。由于图像在线采集和处理需要较大的存储空间和处理速度, 系统采用研华科技的 610L 工控机(处理器主频为 3.3 GHz, 内存为 4 GB)用于图像采集、处理和系统控制。工业相机与工控主机之间采用标准的以太网线缆连接, 使用 GigE 千兆网进行数据通信。喷淋处理系统主要由可编程序控制器 PLC、电磁阀、喷头、增压泵、水箱、接口水管等组成。工作时, 当悬挂在输送轨道上的鸡胴体经过光电传感器, 传感器向工业相机发出触发信号, 相机开启, 采集 1 帧经过其正前方的鸡胴体表面特征图像, 发送到工控机, 图像经过处理和判别分析后, 若该鸡胴体表面有污染物残留, 工控机向 PLC 发出指令, 当该鸡胴体正好移动到喷头位置时, PLC 控制电磁阀打开, 对鸡胴体进行喷淋处理。

### 2 鸡胴体表面污染物检测

#### 2.1 特征波段确定

研究表明, 在可见光条件下, 鸡胴体表面污染物与鸡皮肤的区别不是很显著, 但在特定波段下, 鸡胴体表面污染物与皮肤有比较明显区别, 有利于图像识别。为此, 需要进行特征波段的选取。

在屠宰加工过程中, 鸡胴体表面主要受到粪便、血液和胆汁的污染, 因此, 鸡胴体表面污染物的识别, 主要以粪便、血液和胆汁为主。将三黄鸡(购于南京市当地菜市场)宰杀脱毛后, 将盲肠粪便、血液、胆汁随机附着于 30 只鸡胴体表面, 制成 30 个表面有 3 种不同污染物残留的鸡胴体样本。在实验室条件下, 用高光谱相机 (Inspector V10E-IPX-2M30 型, 美国 Spectral Imaging Co., Ltd.; 光源: WKG180-1500S 型卤钨灯, 日本 Moritex 公司) 进行图像采集, 得到 400~800 nm 波段鸡胴体表面的高

光谱图像。利用 ENVI 软件对鸡胴体表面高光谱图像进行分析,将 3 种污染物所在区域划为感兴趣区,分别得到 3 种污染物感兴趣区域 400 ~ 800 nm 波段平均光谱反射率和光谱曲线,在鸡皮肤上选取一方形区域作为鸡皮肤感兴趣区域,得到鸡皮肤感兴趣区域 400 ~ 800 nm 波段平均光谱反射率和光谱曲线,运用 Matlab 软件将鸡皮肤、盲肠粪便、血液、胆汁的平均光谱反射曲线合成在同一个坐标图像上,如图 3 所示。

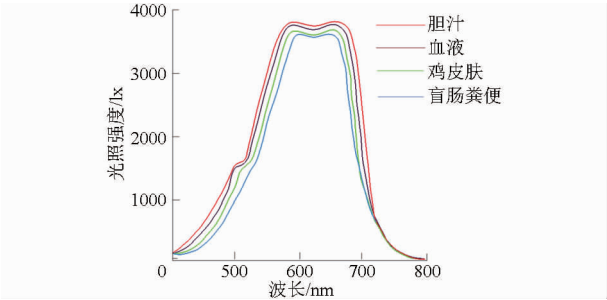


图 3 光谱反射曲线

Fig. 3 Intensity curves of spectral reflectance

设  $F_i$  为盲肠粪便在某一波段的平均光谱反射率; $R_i$  为胆汁在某一波段的平均光谱反射率; $S_i$  为血液在某一波段的平均光谱反射率; $G_i$  为鸡皮肤在某一波段的平均光谱反射率; $M_i$  为某一波段的鸡皮肤与污染物的平均光谱反射率之比;标记  $iF$ 、 $iR$ 、 $iS$  分别代表污染物为盲肠粪便、胆汁、血液, $i$  为对应的波段,取 400 ~ 800 nm。则鸡皮肤与盲肠粪便、胆汁、血液平均光谱比值计算式分别为

$$\begin{cases} M_{iF} = \frac{G_i}{F_i} \\ M_{iR} = \frac{G_i}{R_i} \\ M_{iS} = \frac{G_i}{S_i} \end{cases} \quad (i = 400, 401, \dots, 800 \text{ nm}) \quad (1)$$

然后做出平均光谱比值曲线,如图 4 所示。鸡皮肤与污染物在某一波段的平均光谱比值越大,说明在该波段下鸡皮肤与污染物对比更加明显,更有利于污染物的识别。由图可知,鸡皮肤与盲肠粪便、胆汁、血液光谱比值分别在波长 500、510、710 nm 处有最大值,说明在此波长下鸡皮肤与污染物有更加明显的区别。由于 500 nm 和 510 nm 相差不大,为简化起见,最后确定鸡胴体 500 nm 和 710 nm 波段图像作为鸡盲肠粪便、胆汁、血液的特征图像。

2.2 系统软件设计

C++ 语言是一种面向对象的程序设计语言,其代码执行速度快,能够满足本设计所要求的实时性。因此,以基于 C++ 语言基础的 VS 2005 为软件平台、以 Windows XP 系统为开发环境。该系统主

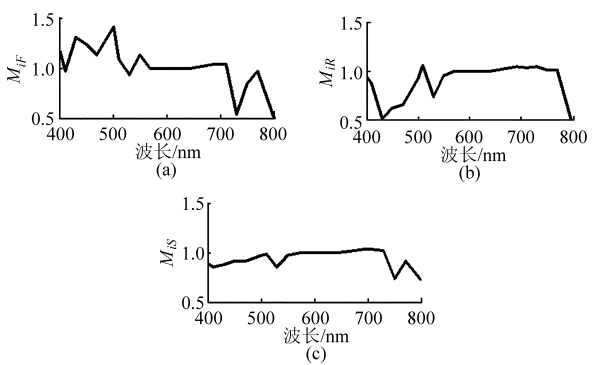


图 4 光谱反射比值曲线

Fig. 4 Ratio curves of spectral reflectance

(a) 盲肠粪便 (b) 胆汁 (c) 血液

要由用户接口模块、在线采集模块、在线检测模块、在线处理模块组成,每个模块又有各自不同的功能和实现方法,软件系统结构框图如图 5 所示。

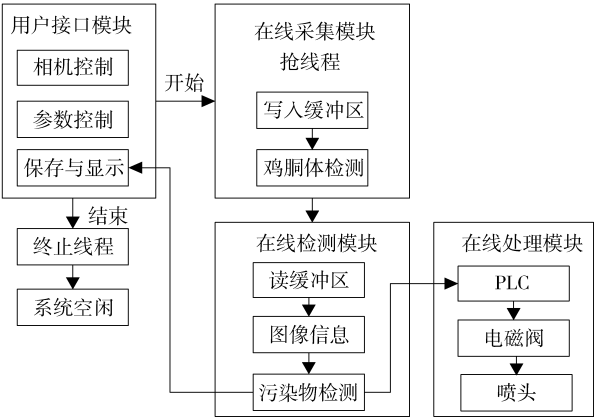


图 5 系统软件结构框图

Fig. 5 Block diagram of software architecture

测试结果显示,调用 clock 函数计算程序从图像采集开始到图像处理结束所用的时间为 300 ms。目前,中国大多数肉鸡屠宰加工厂的生产能力为 3 000 ~ 8 000 只/h,平均线速度在 0.21 ~ 0.56 m/s 之间,沿着屠宰加工流水线的方向,平均每 0.45 ~ 1.2 s 向前方输送一只鸡。因此,本系统完全可以满足屠宰生产线生产效率的要求。

2.3 特征图像的处理与识别

由工业相机采集到的鸡胴体表面特征图像在经过 A/D 转换、线路传送时会产生噪声,造成图像质量的降低。为此,首先采用中值滤波法,对每幅特征图像进行平滑处理,然后再进行灰度增强以改善画质,预处理后的图像分别如图 6a、6b 所示。为识别鸡胴体表面有无污染物残留,采用阈值法进行鸡胴体表面污染物区域分割,处理流程如图 7 所示。图像处理步骤为:

(1)首先,依据鸡胴体表面特征图像的灰度直方图,采用最大类间方差法 (Otsu) 确定合适的阈值,利用单个阈值将鸡胴体特征图像中每个像素点划分

为鸡胴体表面区域(背景区域)和污染点区域(目标区域)两部分,得到二值化图像。

(2)由于鸡胴体轮廓上、鸡翅红尖以及开膛部位等会在二值化图像中留下微小的斑点噪声,为此,采用10×10 方阵结构元素对二值化图像分别进行腐蚀和膨胀处理,结果如图6c 所示。

(3)为了分割出只有污物区域存在的图像,将经过腐蚀膨胀处理的图像进行空洞填充,得到如图6d 所示的鸡胴体空洞填充后图像。

(4)将图6c 与图6d 进行“异或”操作,最后得到只有污染物区域存在的图像,如图6e 所示。

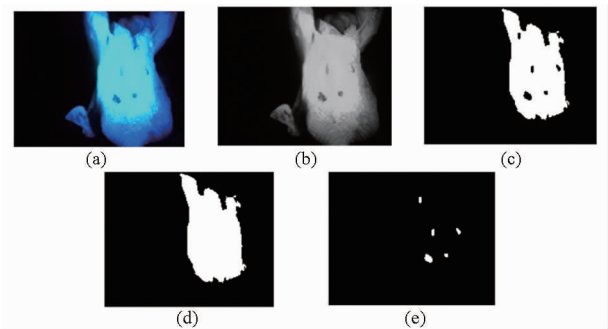


图6 图像处理结果

Fig.6 Image processing results

(a) 平滑图像 (b) 灰度图像 (c) 腐蚀膨胀后图像  
(d) 空洞填充图像 (e) 污染物识别图像

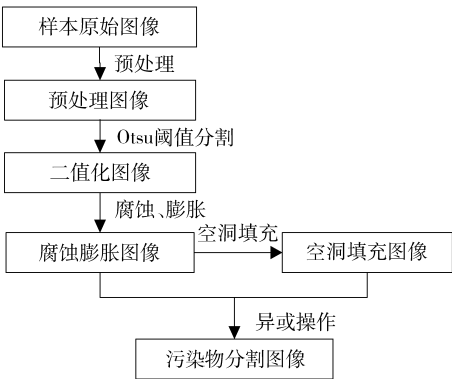


图7 图像处理流程图

Fig.7 Flowchart of image process

3 试验验证

将所研制的鸡胴体表面污染物在线检测及处理系统(图8)安装于盐城悦达农业集团禽业科技有限公司(东台)肉鸡屠宰加工生产线上,加工线生产能力为6 000 只/h。

以三黄鸡为试验对象,首先从屠宰加工取内脏环节选取一些盲肠粪便、血液、胆汁等污染物,分别置于玻璃器皿中搅拌均匀,然后取200 只经过净膛并清洗干净的肉鸡胴体,将准备好的3 种污染物随机涂抹于鸡胴体胸部表面,制成200 只表面有污染



图8 鸡胴体表面污染物在线检测及处理系统实物图  
Fig.8 Photo of online detection and processing system for contaminants on chicken carcass

物的鸡胴体样本。再将200 只鸡胴体分成5 组,每组40 只,分别悬挂于屠宰加工流水线上,运行整个系统。若表面有污染物的鸡胴体运行到喷头位置时,喷淋系统启动喷水,则表明系统正确检测表面有污染物的鸡胴体,并成功对表面有污染物残留的鸡胴体进行了喷淋处理;若表面有污染物的鸡胴体运行到喷头位置时,喷淋系统未能启动,则表明系统检测失败,没有正确检测出表面有污染物的鸡胴体。有污染物的鸡胴体经过定向喷淋处理将污染物清洗掉,处理前和处理后的对比图像如图9 所示,5 组试验结果如表1 所示。

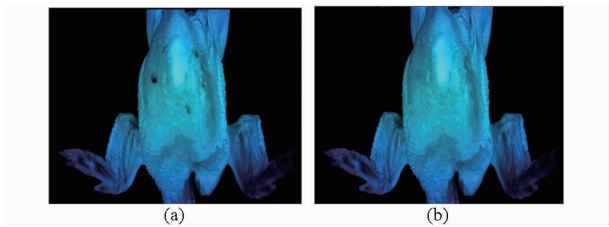


图9 喷淋处理前后对比

Fig.9 Comparison images before and after spray processing  
(a) 处理前 (b) 处理后

表1 鸡胴体表面污染物检测识别试验结果  
Tab.1 Test results of chicken carcass surface contaminant detection and identification

| 组号 | 样本总数/只 | 正确检测数/只 | 漏检数/只 | 正确率/% | 平均正确率/% |
|----|--------|---------|-------|-------|---------|
| 1  | 40     | 36      | 4     | 90.0  |         |
| 2  | 40     | 35      | 5     | 87.5  |         |
| 3  | 40     | 37      | 3     | 92.5  | 90.5    |
| 4  | 40     | 35      | 5     | 87.5  |         |
| 5  | 40     | 38      | 2     | 95.0  |         |

由表1 可知,5 组试验中,最高的检测正确率可达95.0%,最低也有87.5%,5 组平均为90.5%,该结果与 Park 等在实验室中得到的结果(92%)相

当<sup>[18]</sup>。进一步分析发现,造成鸡胴体样本漏检的主要原因是在涂抹鸡胴体样本污染点时,有些污染点位于鸡胴体边缘位置,在取阈值时由于污染物跟边缘处的灰度相近而被去除掉;另外,鸡胴体表面残留的水分稀释了污染物,使污染物区域扩大,降低了污染物的可识别度,也是造成漏检的一个重要因素。

## 4 结束语

用“滤光片+工业相机+计算机”的方式组成

一套机器视觉系统,在线采集波长 500、710 nm 的鸡胴体表面特征图像,进行分割等相关处理后,可以自动判别出表面有盲肠粪便、血液和胆汁残留的鸡胴体。试验结果表明,该系统对表面有污染物残留鸡胴体的总体平均检测正确率为 90.5%,能满足中国大多数肉鸡屠宰加工厂的生产要求。目前,本方法采用工控机作为处理器,今后可以考虑采用嵌入式处理器或 DSP 作为处理器,将更适合工厂实际应用。

## 参 考 文 献

- Berrang M E, Smith D P, Windham W R, et al. Effect of intestinal content contamination on broiler carcass campylobacter counts [J]. *Journal of Food Protection*, 2004, 67(2): 235–238.
- Park B, Chen Y R, Huffman R W. Integration of visible/NIR spectroscopy and multispectral imaging for poultry carcass inspection [J]. *Journal of Food Engineering*, 1996, 30(1): 197–207.
- Park B, Chen Y R, Nguyen M. Multi-spectral image analysis using neural network algorithm for inspection of poultry carcasses [J]. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1998, 69(4): 351–363.
- 郭恩有, 刘木华, 赵杰文, 等. 脐橙糖度的高光谱图像无损检测技术[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(5): 91–93.  
Guo Enyou, Liu Muhua, Zhao Jiewen, et al. Nondestructive detection of sugar content on navel orange with hyperspectral imaging [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2008, 39(5): 91–93. (in Chinese)
- 章海亮, 高俊峰, 何勇. 基于高光谱成像技术的柑橘缺陷无损检测[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(9): 177–181.  
Zhang Hailiang, Gao Junfeng, He Yong. Nondestructive detection of citrus defection using hyper-spectra imaging technology [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(9): 177–181. (in Chinese)
- 潘磊庆, 刘明, 韩东海, 等. 水蜜桃货架期内糖度的近红外光谱检测[J]. *南京农业大学学报*, 2013, 36(4): 116–120.  
Pan Leiqing, Liu Ming, Han Donghai, et al. Detection of the sugar content of juicy peach during shelf life by near infrared spectroscopy technology [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2013, 36(4): 116–120. (in Chinese)
- 廖宜涛, 樊玉霞, 伍学千, 等. 猪肉肌肉脂肪含量的可见/近红外光谱在线检测[J]. *农业机械学报*, 2010, 41(9): 104–107, 137.  
Liao Yitao, Fan Yuxia, Wu Xueqian, et al. On line prediction of intramuscular fat content in pork muscle with visible/near-infrared spectroscopy [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2010, 41(9): 104–107, 137. (in Chinese)
- 孙啸, 逢滨, 刘德营, 等. 基于高光谱图像光谱信息的牛肉大理石花纹分割[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(增刊1): 177–181.
- 张婧, 郑明媛, 张伟, 等. 高光谱成像技术在禽类产品品质无损检测中的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(14): 358–362.
- Nakariyakul S, Casasent D P. Improved forward floating selection algorithm for chicken contaminant detection in hyperspectral imagery [C] // Shen S S, Lewis P E. *Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XIII*, Proc. SPIE 6565, 2007: 1–12.
- 赵进辉, 涂冬成, 欧阳静怡, 等. 利用高光谱图像技术检测鸡胴体内部盲肠粪便污染物[J]. *江西农业大学学报*, 2011, 33(3): 573–577.  
Zhao Jinhui, Tu Dongcheng, Ouyang Jingyi, et al. Detection of internal fecal contaminants of chicken carcasses using hyperspectral imaging technology [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2011, 33(3): 573–577. (in Chinese)
- 赵进辉, 吁芳, 吴瑞梅, 等. 基于分段主成分分析与波段比的鸡胴体表面盲肠粪便污染物检测[J]. *激光与光电子学进展*, 2011, 48(7): 166–170.  
Zhao Jinhui, Yu Fang, Wu Ruimei, et al. Detection of fecal contaminants on chicken carcasses using segmented principal component analysis and band ratio algorithm [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2011, 48(7): 166–170. (in Chinese)
- Chao K, Nou X, Liu Y, et al. Detection of fecal/ingesta contaminants on poultry processing equipment surfaces by visible and near-infrared reflectance spectroscopy [J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 2008, 24(1): 49–55.
- Park B, Lawrence K C, Windham W R, et al. Hyperspectral imaging for detecting fecal and ingesta contaminants on poultry carcasses [J]. *Transactions of the ASAE*, 2002, 45(6): 2017–2026.
- Park B, Yoon S C, Windham W R, et al. Line-scan hyperspectral imaging for real-time in-line poultry fecal detection [J]. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, 2011, 5(1): 25–32.
- Yoon S C, Park B, Lawrence K C, et al. Line-scan hyperspectral imaging system for real-time inspection of poultry carcasses with fecal material and ingesta [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011, 79(2): 159–168.
- Chao K, Kim M S, Chao D E. Control interface and tracking control system for automated poultry inspection [J]. *Journal of Computer Standards & Interfaces*, 2014, 36(2): 271–277.
- Park B, Lawrence K C, Windham W R, et al. Hyperspectral imaging for detecting fecal and ingesta contaminants on poultry carcasses [J]. *Transactions of the ASAE*, 2003, 45(6): 2017–2026.