

# 利用高光谱图像技术检测 鸡胴体内部粪便污染物

赵进辉 涂冬成 欧阳静怡 刘木华\* 沈杰

(江西农业大学 工学院 江西 南昌 330045)

**摘要:**以鸡胴体为研究对象,探讨基于高光谱图像技术的鸡胴体内部粪便污染物检测方法。首先采集 400 ~ 1 000 nm 的鸡胴体高光谱图像;然后应用主成分分析(PCA)获得主成分图像,由第 1 主成分图像得到 3 个特征波长 518.59、562.64、700.67 nm,并以 700.67 nm 特征波长下的图像作为鸡胴体内部粪便污染物检测特征图像;最后构建掩膜以消除特征图像背景噪声并将其置为白色,并运用阈值分割和数学形态学完成粪便污染物的提取。试验结果表明,对 100 个鸡胴体样本进行检测,检测总正确率为 93%。应用高光谱图像技术结合主成分分析等数据处理方法能较好地完成对鸡胴体内部粪便污染物检测,为鸡胴体内部粪便污染物在线快速检测提供重要的理论依据。

**关键词:**高光谱图像;粪便污染物;鸡胴体;检测

中图分类号:S851.34+7.2 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2011)03-0573-05

## Detection of Internal Fecal Contaminants of Chicken Carcasses Using Hyperspectral Imaging Technology

ZHAO Jin-hui, TU Dong-cheng, OUYANG Jing-yi, LIU Mu-hua\*, SHEN Jie

(College of Engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

**Abstract:** Using chicken carcasses as the research subject, the detection method for internal fecal contaminants of chicken carcasses based on hyperspectral imaging technology was investigated. Firstly, hyperspectral images of chicken carcasses from 400 nm to 1 000 nm were acquired. Secondly, the principal component images were obtained by the principal component analysis (PCA), three characteristic wavelengths (518.59, 562.64 and 700.67 nm) were found according to the first principal component (PC1) image, and 700.67 nm wavelength images were selected as the detection images of the internal fecal contaminants of chicken carcasses. Lastly, the masks were constructed to eliminate the background noise of characteristic images, and the fecal contaminants were extracted by the threshold segmentation and morphological imaging processing. The experimental results showed that the total accurate rate of the detection was 93% using 100 samples of chicken carcasses. The principal component analysis and hyperspectral imaging technology can meet the requirement for detecting internal fecal contaminants of chicken carcasses, which provides a theoretical basis for the on-line rapid detection of internal fecal contaminants of chicken carcasses.

**Key words:** hyperspectral imaging; fecal contaminants; chicken carcasses; detection

收稿日期:2011-01-23 修回日期:2011-03-10

基金项目:国家高新技术研究与发展技术(863计划)资助项目(2008AA10Z209)和江西农业大学青年科学基金资助项目(2954)

作者简介:赵进辉(1978—)男,讲师,博士,主要从事图像处理与农畜产品无损检测研究,E-mail: zjhxiaocao@sina.com; \* 通讯作者:刘木华,教授,博士,E-mail: suikelmh@sina.com。

中国是世界鸡肉生产、消费和贸易大国。在鸡屠宰和处理过程中如没有按照正确的操作程序,常会使粪便等污染物被带入到鸡食品中,而这些污染物常常是能够引起人类疾病的细菌、病毒的藏身之处。人们在食用过带有这些污染物的鸡肉后可能会感染病菌,进而引发疾病。因此,为了避免病菌被带入到鸡食品中,现在国际上已经将污染物检测作为鸡肉安全品质检测项目之一。目前已有学者对粪便污染物残留的快速、无损检测技术方面作了一些研究和探索,特别是对苹果、草莓、香瓜等水果表面污染物残留的无损检测研究。Windham 等<sup>[1]</sup>用线性逐步回归法研究了区分禽肉粪便污染物特征波长,结果表明,比例图像(574 nm/588 nm)有更好的分辨效果。Lefcourt 等<sup>[2]</sup>采用激光诱导荧光纳秒图像检测苹果表面的污染残留物, Lefcourt 等<sup>[3-5]</sup>在进一步的研究中,采用多光谱激光诱导荧光技术来检测苹果表面及苹果花萼的污染物残留。Mehl<sup>[6]</sup>等将高光谱技术应用于检测苹果表面的缺陷和污染。Kim 等<sup>[7]</sup>通过高光谱图像分析,将苹果受重度污染部分与轻度污染部分提取出来。Vargas 等<sup>[8]</sup>应用多光谱荧光图像技术将香瓜与草莓上受污染部分与无污染部分区分开来。Kim<sup>[9]</sup>等使用高光谱荧光图像技术对鸡的皮肤瘤进行检测。Lu 等<sup>[10]</sup>进行了高光谱图像区分正常与非正常禽肉的初步研究。Cho 等<sup>[11]</sup>进行了激光诱导荧光图像的禽胴体表面污染物检测研究。在禽胴体粪便污染物残留检测中,不同的检测对象与品种等因素都会对检测结果造成影响。目前对粪便污染物残留的快速无损检测主要集中在苹果、草莓等水果上,而目前国内关于禽胴体粪便污染物残留的研究报道还未见报道。本研究利用高光谱图像技术结合光谱分析和图像处理的技术优势,以江西三黄鸡为研究对象,探索利用高光谱图像技术结合主成分分析等数据处理方法来快速、无损的检测鸡胴体内部可见粪便污染物,对鸡胴体内部粪便污染物在线快速检测有着重要意义。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

本研究以江西三黄鸡为研究对象,购于南昌当地菜市场。为了收集粪便污染物,先掏出鸡内脏以获取盲肠、直肠和十二指肠粪便,分别放入一个玻璃皿中,并用玻璃棒把每一种粪便搅拌均匀。但盲肠粪便比直肠和十二指肠粪便在颜色和粘性方面更加一致,因此本研究将盲肠粪便选作鸡胴体内部粪便污染物材料。为了方便高光谱图像采集,把每个鸡胴体分为左右两部分。采集每副高光谱图像之前,把盲肠粪便涂在鸡胴体内部,具体分布在骨头、表皮和肉表面等地方。最后,总共获取了 100 个有内部粪便污染物的鸡胴体样本。

### 1.2 高光谱图像检测系统

本研究的高光谱图像数据采用基于成像光谱仪的高光谱图像系统采集得到,其示意图见图 1。该系统由 1 台 CMOS 照相机(Photonfocus 瑞士),1 套线扫描成像光谱仪(ImSpector V10E),4 个 40 W 的卤素灯和一套输送装置等部件组成。本研究的光谱采集范围为 400 ~ 1 000 nm,光谱分辨率为 3 nm。

### 1.3 图像采集与标定

使用 Spectral Cube (Spectral Imaging Ltd., Finland) 软件平台采集鸡胴体内部粪便污染物的高光谱图像,为了保证采集的图像清晰,预先设定好相机的曝光时间 50 ms 与移动平台的移动速度 4 mm/s,以获得 1 024 × 450 × 576 的高光谱图像;后续的高光谱图像处理采用 ENVI V4.3 (Research System, Inc., USA) 和 Microsoft Visual C++ 6.0 来实现。

为了消除由摄像头中的暗电流、鸡胴体内部形状不规则以及各波段下光强分布不均匀等因素产生的图像噪音,必须对图像进行标定。在相同的系统条件下对鸡胴体样品进行采集,先用标准白色校正板

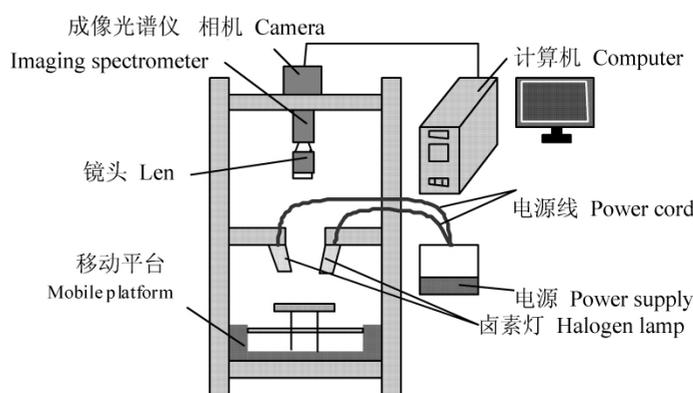


图 1 高光谱图像采集系统示意

Fig. 1 Schematic diagram of hyperspectral imaging system

(STR-99-100, Labsphere Inc., USA) 扫描得到全白的图像 W; 然后盖上镜头盖进行图像采集, 得到全黑的图像 B; 最后完成图像标定, 使采集得到的绝对图像 I 变成相对图像 R<sup>[12-15]</sup>, 标定公式为

$$R = \frac{I - B}{W - B} \tag{1}$$

## 2 结果与分析

### 2.1 特征波长选取

由于鸡胴体内部粪便污染物高光谱图像包含的数据量非常之大, 过大的数据量不但影响后续数据的分析和处理速度, 而且造成在鸡胴体内部粪便污染物高光谱图像中有大量的冗余信息残留。因此, 如何对高光谱图像进行降维以寻找最能表征鸡胴体内部粪便污染物的特征波长图像是一项非常重要的前期工作。

主成分分析(PCA)可沿着协方差最大的方向实现对鸡胴体内部粪便污染物高光谱图像降维, 用 ENVI 软件对鸡胴体内部粪便污染物高光谱图像进行 PCA 试验, 根据方差贡献率的大小提取前面 4 个主成分图像(图 2), 从中能找到最能表征原始信息的主成分图像。每个主成分图像都是由原始数据中的各个波长下的图像经过线性组合而成的, 通过比较线性组合中的权重系数, 局部最大权重系数所对应波长下的图像为特征图像<sup>[9]</sup>。

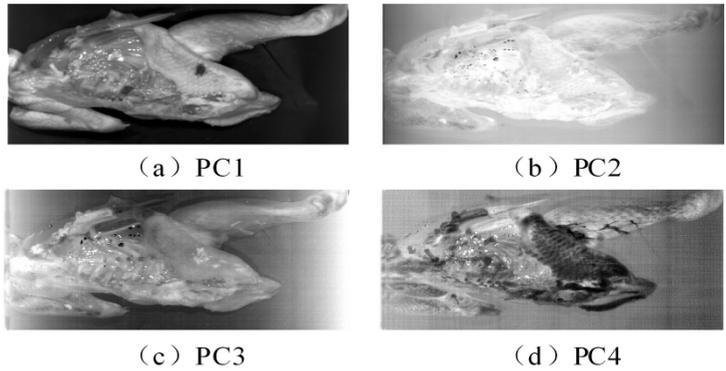


图 2 主成分分析得到的前 4 个主成分图像

Fig. 2 Score images of top four component using principle component analysis

从图 2 可以看出, 比较这 4 个主成分图像发现第 1 主成分图像(PC1)最能表征鸡胴体内部粪便污染物高光谱图像的原始信息, 因此, 确定 PC1 为寻找鸡胴体内部粪便污染物特征波长图像。PC1 是由 576 个波段下的图像经过线性组合而成的, 公式如下:

$$PC1 = \sum_{i=1}^{576} a_i \lambda_i = a_1 \lambda_1 + a_2 \lambda_2 + \dots + a_{576} \lambda_{576} \tag{2}$$

(2) 式中  $\lambda_i$  为波长  $i$  相对应的灰度图像,  $a_i$  为与波长  $i$  相对应的权重系数。

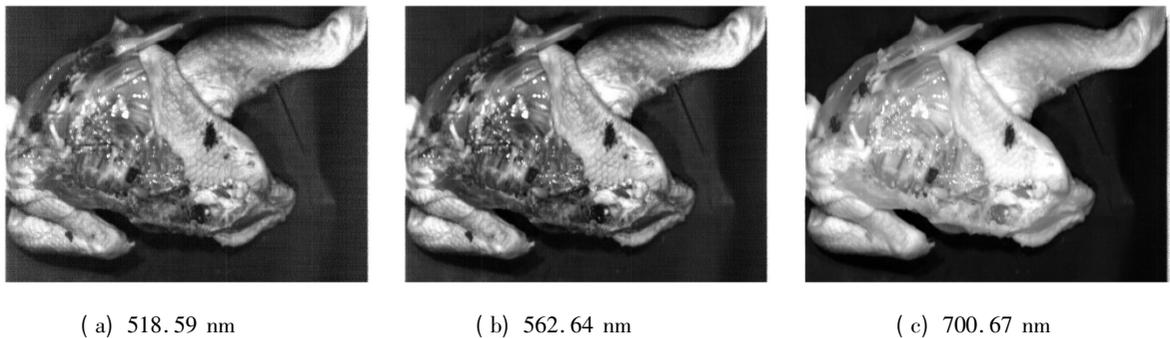


图 3 特征波长图像

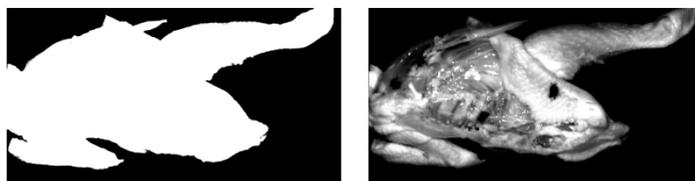
Fig. 3 Characteristic wavelength images

在公式(2)中, 权重系数  $a_i$  越大, 相对应波长下的图像对 PC1 图像的贡献也就越大。通过比较这 576 个权重系数, 搜索得到了 3 个局部最大权重系数, 它们分别为  $a_{119}$ 、 $a_{162}$  和  $a_{295}$ , 相对应的特征波长分别为 518.59、562.64、700.67 nm。这 3 个特征波长下的图像即为 PCA 得到的特征图像, 如图 3 所示。从图 3 可以看出, 粪便污染物与鸡胴体区分度在 700.67 nm 条件下比在 518.59 nm、562.64 nm 条件下

更大,因此,选择 700.67 nm 特征波长下的图像作为鸡胴体内部粪便污染物检测特征图像。

### 2.2 图像处理

为了提高鸡胴体内部粪便污染物检测效果,须建立掩膜以消除图像背景噪声。以 700.67 nm 的特征波长图像(图 3(c))为目标图像进行掩膜,掩膜效果如图 4(a)所示,它是由 0 和 1 组成的二值图像。把掩膜作用于 700.67 nm 的特征波长图像上,使掩膜上 1 值区域相对应的 700.67 nm 的特征波长图像的区域保留,掩膜上 0 值区域相对应的 700.67 nm 的特征波长图像的区域清零,从而除去大部分背景噪声,其效果图如图 4(b)所示。由图 4(b)看出,鸡胴体以外的区域颜色与粪便污染物相似,不利于后续分析处理,为此,利用 VC++ 把掩膜作用后的图像与掩膜图像里像素值为 0 的对应部分的像素值置为白色(255 nm),其它区域的像素值不变,效果图如图 4(c)所示。然后选择适合的阈值对图 4(c)进行阈值分割,并将分割后的图像进行先膨胀后腐蚀的形态学处理以得到鸡胴体内部粪便污染物,其效果图如图 4(d)所示。



(a) 掩膜 Mask (b) 掩膜作用后的图像 Image after masking



(c) 掩膜作用后的图像背景处理 Background processing for masked image (d) 图像分割结果 Results of image segmentation

图 4 鸡胴体内部粪便污染物特征提取的图像处理

Fig. 4 Image processing for extracting internal fecal contaminants of chicken carcasses

### 2.3 结果与分析

为了验证高光谱图像技术检测鸡胴体内部粪便污染物的有效性,根据上述步骤,检测了 100 个有粪便污染物鸡胴体样本,且每个鸡胴体样本上有 4 处粪便污染物,共有 400 个粪便污染物,检测结果如表 1 所示。从表 1 可以看出,在 400 个粪便污染物中有 398 个被正确检测出,2 个粪便污染物没有被检测出,造成漏检;有 5 个非粪便污染物被认为是粪便污染物被检测出,属于误检;在 100 个鸡胴体样本中,有 93 个被正确检测出,2 个漏检,5 个误检,检测总正确率为 93%。对检测结果进行进一步分析,产生漏检的原因主要在于某些面积较小的粪便污染物在图像处理过程中很容易被腐蚀掉,从而造成漏检;产生误检的原因主要在于经掩膜作用后的图像在鸡胴体边缘与背景的交界处还有一定的噪音,以及在鸡内部还有一定淤血块残留,经过图像处理,未能消除这些噪音和淤血块,从而引起误检。

表 1 鸡胴体内部粪便污染物检测结果

Tab. 1 Results of detecting internal fecal contaminants of chicken carcasses

实际污染物数/个 Numbers of actual contaminants	污染物检出数/个 Detected numbers of contaminants	污染物误检数/个 False numbers of contaminants	鸡胴体样本数/个 Numbers of chicken carcass	正确的检出数/个 Detected numbers	检测总正确率/% Total correct rate
400	398	5	100	93	93

## 3 结 论

本文以鸡胴体内部粪便污染物为研究对象,将高光谱图像技术应用到鸡胴体内部粪便污染物检测中。根据 PCA 得到 3 个特征波长 518.59, 562.64, 700.67 nm, 并以 700.67 nm 特征波长下的图像作为鸡胴体内部粪便污染物检测图像。为了满足在线无损检测速度要求,在后续研究中,可以选取与波长 700.67 nm 相应的滤波片,设计一个基于滤波片的高光谱图像技术的鸡胴体内部粪便污染物在线检测系统。

通过试验结果表明,采用高光谱图像技术结合本文研究方法能较好的完成对鸡胴体内部粪便污染物检测,可为鸡胴体内部粪便污染物在线快速检测提供了重要的理论基础。本研究选择以江西三黄鸡为研究对象,而不同的鸡品种对鸡胴体内部粪便污染物的高光谱图像可能会产生一定的影响,因此,不同的鸡品种对高光谱图像产生影响的大小,后续研究会作进一步探索。

#### 参考文献:

- [1] Windham W R, Smith D P, Park B, et al. Algorithm development with visible near - infrared spectra for detection of poultry feces and ingesta [J]. Transactions of ASAE, 2003, 46(6): 1733-1738.
- [2] Lefcourt A M, Kim M S, Chen Yud - Ren. Detection of fecal contamination on apples with nanosecond - scale time - resolved imaging of laser - induced fluorescence [J]. Applied Optics, 2005, 44(7): 1160-1171.
- [3] Lefcourt A M, Kim M S, Chen Yud - Ren. Automated detection of fecal contamination of apples by multispectral laser - induced fluorescence imaging [J]. Applied Optics, 2003, 42(19): 3935-3943.
- [4] Lefcourt A M, Kim M S, Chen Yud - Ren. Detection of fecal contamination in apple calyx by multispectral laser - induced fluorescence [J]. American Society of Agricultural Engineers, 2005, 48(4): 1587-1593.
- [5] Lefcourt A M, Kim M S, Chen Yud - Ren. A transportable fluorescence imaging system for detecting fecal contaminants [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2005, 48(1): 63-67.
- [6] Mehl P M, Chen Yud - Ren, Kim M S, et al. Development of hyperspectral imaging technique for the detection of apple surface defects and contaminations [J]. Journal of Food Engineering, 2004, 61(1): 61-81.
- [7] Kim M S, Lefcourt A M, Chao K, et al. Multispectral detection of fecal contamination on apples based on hyperspectral imagery [J]. Transactions of ASAE, 2002, 45(6): 2027-2037.
- [8] Vargas A M, Kim M S, Tao Yang, et al. Safety inspection of cantaloupes and strawberries using multispectral fluorescence imaging techniques [C]. ASAE Annual International Meeting, 2004: 4005-4017.
- [9] Kim I, Kim M S, Chen Y R, et al. Detection of skin tumors on chicken carcasses using hyperspectral fluorescence imaging [J]. American Society of Agricultural Engineers, 2004, 47(5): 1785-1792.
- [10] Lu R, Chen Y R. Hyperspectral imaging for safety inspection of food and agricultural products [C]. Proceedings of SPIE, 1999: 121-133.
- [11] Cho B, Kim M S, Chao K, et al. Detection of fecal residue on poultry carcasses by laser - induced fluorescence imaging [J]. Food Science, 2009, 74(3): 154 - 159.
- [12] 赵杰文, 刘剑华, 陈全胜, 等. 利用高光谱图像技术检测水果轻微损伤 [J]. 农业机械学报, 2008, 39(1): 106-109.
- [13] 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, 103.
- [14] 陈全胜, 赵杰文, 蔡健荣, 等. 利用高光谱图像技术评判茶叶的质量等级 [J]. 光学学报, 2008, 28(4): 669-674.
- [15] 蔡健荣, 王建黑, 黄星奕, 等. 高光谱图像技术检测柑橘果锈 [J]. 光电工程, 2009, 36(6): 26-30.