

基于分段主成分分析与波段比的鸡胴体表面粪便污染物检测

赵进辉 吁芳 吴瑞梅 刘木华* 姚明印

(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,应用高光谱图像技术结合分段主成分分析和波段比等数据处理方法来检测鸡胴体表面粪便污染物。首先采集 400~1000 nm 的鸡胴体表面高光谱图像;然后应用分段主成分分析获得 7 个特征波长 (520.64, 542.12, 561.61, 577.04, 595.6, 703.82 和 852.1 nm),并以 577.04/520.64 nm 波段比图像和 852.1/703.82 nm 波段比图像进行一次波段加运算后的图像作为检测鸡胴体表面粪便污染物的特征图像;最后运用阈值分割和数学形态学完成粪便污染物的提取。实验结果表明,对 60 个鸡胴体样本进行检测,盲肠、直肠和十二指肠粪便污染物检测正确率分别为 100%,100%和 96%,检测总正确率为 93.3%。

关键词 光谱学;分段主成分分析;波段比;粪便污染物;鸡胴体;检测

中图分类号 TS201.6 文献标识码 A doi: 10.3788/LOP48.073001

Detection of Fecal Contaminants on Chicken Carcasses Using Segmented Principal Component Analysis and Band Ratio Algorithm

Zhao Jinhui Yu Fang Wu Ruimei Liu Muhua Yao Mingyin

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

Abstract Using chicken carcasses as the research subject, fecal contaminants on chicken carcasses are detected by using hyperspectral imaging technology and combining segmented principal component analysis and band ratio algorithm. Firstly, hyperspectral images of chicken carcasses from 400 to 1000 nm are collected. Secondly, seven characteristic wavelengths (520.64, 542.12, 561.61, 577.04, 703.82, 595.6 and 852.1 nm) are obtained by segmented principal component analysis, and the images obtained using 577.04/520.64 nm band ratio image added by 852.1/703.82 nm band ratio image are selected as the characteristic images of the detection of fecal contaminants on chicken carcasses. Lastly, the fecal contaminants on chicken carcasses are extracted using the threshold segmentation and mathematical morphology. The experimental results show that the accuracy rates of the detection for the fecal contaminants of ceca, colon and duodenum are 100%, 100% and 96% respectively, and the total accuracy rate of the detection is 93.3% using 60 samples of chicken carcasses.

Key words spectroscopy; segmented principal component analysis; band ratio algorithm; fecal contaminants; chicken carcasses; detection

OCIS codes 300.6550; 100.3008; 300.6170

1 引言

中国是世界鸡肉生产、消费和贸易大国。如果在鸡屠宰和处理过程中没有按照正确的程序操作,一些能引起人类疾病的细菌、病毒随粪便污染物就会被带入到鸡肉食品中,由此产生食品安全事件。研究鸡胴体粪便污染物残留的快速、无损检测方法具有重要的经济价值和社会价值。Kim 等^[1]使用高光谱荧光图像技术对鸡的皮肤瘤进行检测;Lu 等^[2]进行了高光谱图像区分正常与非正常禽肉的初步研究;Park 等^[3,4]研究了

收稿日期: 2011-03-28; 收到修改稿日期: 2011-05-05; 网络出版日期: 2011-06-02

基金项目: 国家 863 计划(2008AA10Z209)和江西农业大学青年科学基金(2954)资助课题。

作者简介: 赵进辉(1978—),男,博士,讲师,主要从事图像处理与农畜产品光电检测等方面的研究。

E-mail: zjhxiaocao@sina.com

* 通信联系人。E-mail: suikelmh@sina.com

排泄物及摄取食物对禽肉的污染问题。虽然国外已在这方面做了一些研究并取得了阶段性成果,但还有一些问题需要探讨,如利用高光谱图像检测技术时不同条件下的样本对结果的影响等。分段主成分分析能克服主成分分析(PCA)^[5,6]忽视数据的局部相关特性的不足,高光谱图像技术^[7,8]综合了光谱分析和图像处理的技术优点。本文应用高光谱图像技术结合分段主成分分析和波段比等数据处理方法来研究鸡胴体表面粪便污染物的检测。

2 材料与方法

2.1 实验材料

本研究以三黄鸡为研究对象。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,分别放入玻璃皿中,并用玻璃棒把每种粪便搅拌均匀。采集高光谱图像之前,把每种粪便涂在鸡胴体表面,涂好之后,开始采集表面涂有粪便污染物的鸡胴体高光谱图像。最后,获取了50个有表面粪便污染物的鸡胴体样本。另外,还获取了10个无粪便污染物的鸡胴体样本。

2.2 高光谱图像检测系统

本研究的高光谱图像数据采用如图1所示基于成像光谱仪的高光谱图像系统采集得到。高光谱图像系统由CMOS照相机(Photonfocus),线扫描成像光谱仪(ImSpector V10E),4个40W的卤素灯和一套输送装置等部件组成。光谱采集范围为400~1000nm,光谱分辨率为3nm。

2.3 图像采集与标定

使用Spectral Cube(Spectral Imaging Ltd.)软件平台采集鸡胴体表面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50ms与移动平台的移动速度4mm/s,以获得1024 pixel×450 pixel×576 pixel的高光谱图像;后续的高光谱图像处理采用ENVI V4.3(Research System Inc.)和Microsoft Visual C++ 6.0来实现。

为了消除由摄像头中的暗电流、鸡胴体表面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(STR-99-100,Labsphere Inc.)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 ^[9~12],标定公式为

$$R = (I - B) / (W - B). \quad (1)$$

3 实验结果与分析

3.1 特征波长选取

主成分分析在整个数据空间沿着协方差最大的方向实现对鸡胴体表面粪便污染物高光谱图像的降维,忽视了数据的局部相关特性,对局部而言并不是最佳的^[13]。为了充分反映鸡胴体表面粪便污染物高光谱图像数据的局部特征,本研究应用分段主成分分析实现高光谱图像的降维,即将整个高光谱图像空间分解为多个高度相关的子空间,然后分别对每个子空间进行主成分变换,并选择适当的主成分作为特征。为了使每个分段子空间的数据相关性较强,用ENVI软件对鸡胴体表面粪便污染物高光谱图像进行相关性统计,其相关矩阵图如图2(a)所示。从图2(a)不难看出,在对角线上,相关系数矩阵出现了较明显的分块现象。本研究根据这种较明显的分块现象把图2(a)中的波段分为4段,如图2(b)所示。

表1给出了具体的分段信息,原始波段被分成4段。从表1可以看出,第1分段平均相关系数较低,只

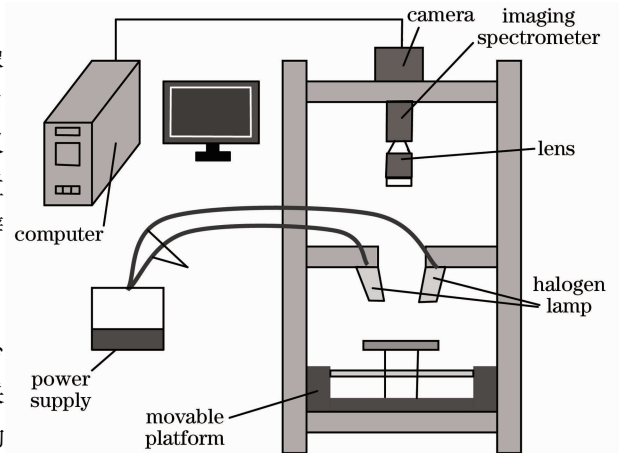


图1 高光谱图像采集系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of hyperspectral imaging system

有 0.1165,通过研究发现,这些波段包含了较多的噪声,有用信息很少,因此,在后续分段主成分分析中可以去掉第 1 分段中的这些波长;第 4 分段的平均相关系数为 0.6746,分段内各个波长之间的相关性也不是很强,因此,在后续分段主成分分析中也去掉第 4 分段中的这些波长;而第 2 分段和第 3 分段的平均相关系数都在 0.87 以上,分段内各个波长之间的相关性较强,有利于进行主成分分析,因此,选择在第 2 分段(469.76~583.23 nm)和第三分段(584.26~906.86 nm)中分别进行主成分分析。

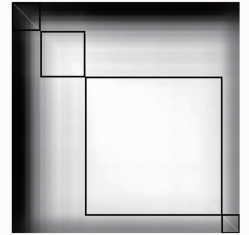
表 1 分段信息

Table 1 Segment information

Segment	[Initial wavelength, suspension wavelength] / nm	Average correlation coefficient
First segment	[400,468.74]	0.1165
Second segment	[469.76,583.23]	0.8707
Third segment	[584.26,906.86]	0.9855
Fourth segment	[907.94,1000]	0.6746



(a) correlation matrix diagram



(b) segmental diagram

图 2 相关矩阵与分段图

Fig. 2 Correlation matrix and segmental diagram

用 ENVI 软件对鸡胴体表面粪便污染物高光谱图像分别在第 2 分段和第 3 分段内进行主成分分析实验,得到的相关主成分图像如图 3 所示。图 3(a)是鸡胴体表面粪便污染物彩色图像样本,最左 1 列是盲肠粪便污染物,中间 1 列是直肠粪便污染物,最右 1 列是十二指肠粪便污染物。从图 3 可以看出,第 2 分段的主成分 PC1 和第 3 分段的主成分 PC2 在各分段内最能同时表征本研究中的 3 种鸡胴体表面粪便污染物高光谱图像的原始信息;在第 3 分段的主成分 PC1 中,直肠与十二指肠粪便污染物同鸡胴体区分度不是很明显,但能较好地表征盲肠粪便污染物高光谱图像的原始信息,且第 3 分段的 PC1 中含有的背景噪声较小。因此,确定第 2 分段的主成分 PC1 和第 3 分段的主成分 PC1、PC2 为寻找鸡胴体内部粪便污染物特征波长图像。在高光谱特征曲线权重系数图中,最大权重系数处、波峰和波谷都能代表显著特征波长,由此得到的特征波长如表 2 所示。由表 2 可知,由第 2 分段的主成分 PC1 得到 520.64, 542.12, 561.61 和 577.04 nm 这 4 个特征波长,由第 3 分段的主成分 PC1 得到 703.82 nm 这 1 个特征波长,由第 3 分段的主成分 PC2 得到 595.6 和 852.1nm 这 2 个特征波长。

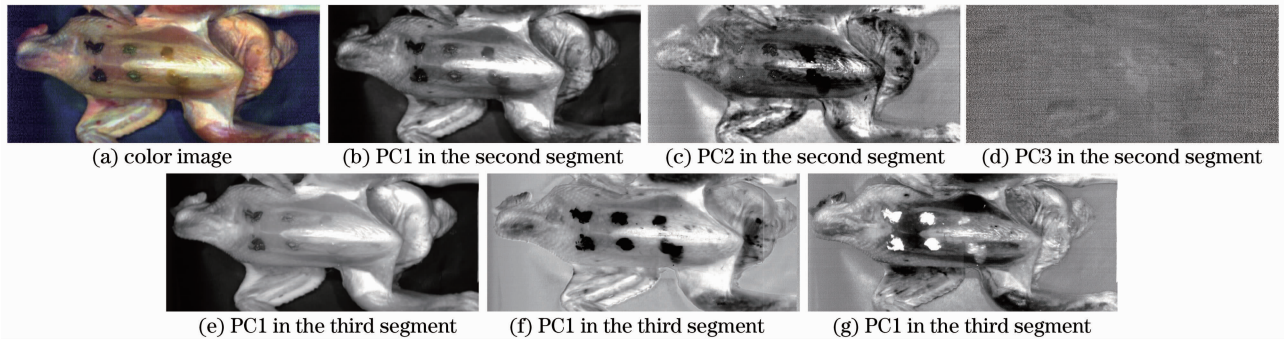


图 3 分段主成分分析得到的相关主成分图像

Fig. 3 Related score images using segmented principal component analysis analysis

表 2 特征波长选择情况

Table 2 Choice of characteristic wavelengths

Segment	Second segment	Third segment	
PCA	PC1	PC1	PC2
Characteristic wavelength / nm	520.64, 542.12, 561.61, 577.04	703.82	595.6, 852.1

3.2 波段比处理

波段比算法^[10]是两个波段间的比值变换。对表 2 中列出的特征波长两两组合,然后用 ENVI 软件对这些波长组合进行波段比运算。由于篇幅的限制,图 4 只给出了波段比效果较好的几种情况。由图 4 可以看出,在 577.04/520.64 nm 波段比图像中的十二指肠粪便污染物和 852.1/703.82 nm 波段比图像中的盲肠

和直肠粪便污染物与背景的对比如较大,而这3种粪便污染物在其他波段比图像中的对比度相对而言较小。为了能更有效地检测出鸡胴体表面粪便污染物,用ENVI软件对577.04/520.64 nm波段比图像和852.1/703.82 nm波段比图像进行一次波段加运算,其效果图如图4(f)所示。从图4(f)可以看出,3种粪便污染物与背景的对比如得到了明显的增强,有利于后续图像处理。

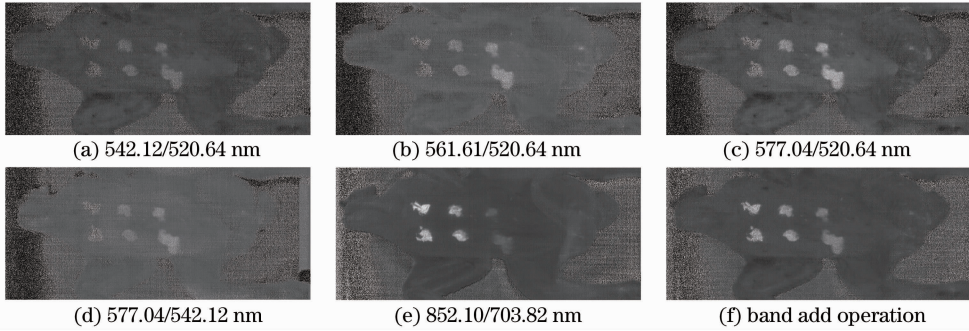


图4 波段比图像

Fig. 4 Band ratio images

3.3 图像处理

为了提高鸡胴体表面粪便污染物的检测效果,须建立掩模以消除图像背景噪声。相关性很强的两个波段的比值一般集中在1左右,而背景噪声的比值就有明显的差异^[10],因此,本研究尝试用703.82/700.67 nm波段比图像[见图5(a)]来构建掩模,掩模效果如图5(b)所示,它是由0和1组成的二值图像。利用VC++把掩模作用于如图4(f)所示的波段加运算图像上,使掩模上1值区域对应的波段加运算图像上的区域保留,掩模上0值区域对应的波段加运算图像上的区域清零,从而除去大部分背景噪声,其效果图如图5(c)所示。最后选择恰当的阈值对图5(c)进行阈值分割,并将分割后的图像进行腐蚀膨胀数学形态学处理以得到鸡胴体表面粪便污染物,其效果图如图5(d)所示。

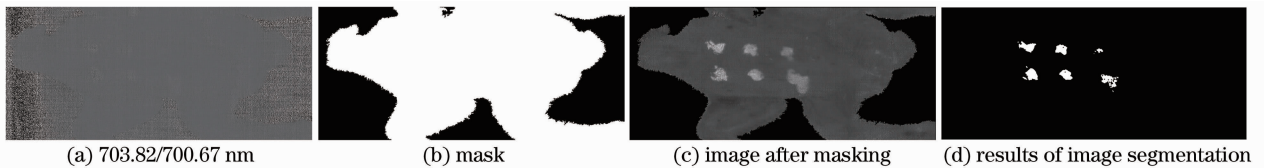


图5 鸡胴体表面粪便污染物特征提取

Fig. 5 Extraction of fecal contaminants on chicken carcasses

3.4 检测结果与分析

为了验证应用分段主成分分析与波段比检测鸡胴体表面粪便污染物的有效性,按照上述步骤,总共检测了10个无粪便污染物鸡胴体样本和50个有粪便污染物鸡胴体样本,且每个有粪便污染物鸡胴体样本上分别有2处盲肠、直肠和十二指肠粪便污染物,共有300个粪便污染物,检测结果见表3。由表3可以看出,在60个鸡胴体样本中,有56个被正确检测出,检测总正确率为93.3%;100个直肠粪便污染物和100个盲肠粪便污染物全部被检测出,两者的检测正确率为100%;在100个十二指肠粪便污染物中有96个被检测出,4个被漏检,检测正确率为96%。

表3 鸡胴体表面粪便污染物检测结果

Table 3 Results of detecting fecal contaminants on chicken carcasses

Fecal contaminants	Total numbers	Detected numbers	Correct rate /%
Colon	100	100	100.0
Duodenum	100	96	96.0
Ceca	100	100	100.0
Chicken carcasses	60	56	93.3

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十二指肠粪粪便污染物在图像处理过程中很容易被腐蚀掉,或者是掩模作用后的图像中十二指肠粪粪便污染物与背景之间的对比度不够大,从而造成漏检。

4 结 论

以鸡胴体表面粪便污染物为研究对象,利用分段主成分分析与波段比来检测鸡胴体表面粪便污染物。实验结果表明,应用高光谱图像技术结合分段主成分分析和波段比等数据处理方法能较好地完成对鸡胴体表面粪便污染物的检测,检测总正确率为 93.3%,这为鸡胴体表面粪便污染物在线快速检测提供了参考。

参 考 文 献

- 1 I. Kim, M. S. Kim, Y. R. Chen *et al.*, Detecton of skin tumors on chicken carcasses using hyperspectral fluorescence imaging[J]. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 2004, **47**(5): 1785~1792
- 2 Renfu Lu, Yud-Ren Chen. Hyperspectral imaging forsafety imspction of food and agricultural products[C]. *SPIE*, 1999, **3544**: 121~133
- 3 B. Park, K. C. Lawrence, W. R. Windham *et al.*. Hyperspectral imaging for detecting fecal and ingesta contamination on poultry carcass[J]. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 2002, **45**(6): 2017~2026
- 4 B. Park, K. C. Lawrence, W. R. Windham *et al.*. Hyperspectral imaging for food processing automation[C]. *SPIE*, 2002, **4816**: 308~316
- 5 Li Gang, Zhao Jing, Li Jiaxin *et al.*. Visible-infrared reflectance spectroscopy applied in rapid screen of disease[J]. *Acta Optica Sinica*, 2011, **31**(3): 0317001
李 刚,赵 静,李家星等. 可见-近红外反射光谱用于疾病快速筛查[J]. *光学学报*, 2011, **31**(3): 0317001
- 6 Zhang Haihong, Zhang Shujuan, Wang Fenghua *et al.*. Study on fast discrimination of seabuckthorn juice varietie using visible-NIR spectroscopy[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(2): 574~578
张海红,张淑娟,王凤花等. 应用可见-近红外光谱快速识别沙棘汁品牌[J]. *光学学报*, 2010, **30**(2): 574~578
- 7 Han Ling, Dong Lianfeng, Zhang Min *et al.*. Destriping hyperspectral image based on an improved moment matching method [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(12): 3333~3338
韩 玲,董连凤,张 敏等. 基于改进的矩匹配方法高光谱影像条带噪声滤波技术[J]. *光学学报*, 2009, **29**(12): 3333~3338
- 8 He Guanglin, Peng Linke. FPGA implement of SVD for dimensionality reductionin hyperspectral images[J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(11): 2983~2988
何光林,彭林科. 基于 FPGA 的高光谱图像奇异值分解降维技术[J]. *中国激光*, 2009, **36**(11): 2983~2988
- 9 Zhao Jiewen, Liu Jianhua, Chen Quansheng *et al.*. Detecting subtle bruises on fruits with hyperspectral imaging [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2008, **39**(1): 106~109
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
- 10 Cai Jianrong, Wang Jianhei, Chen Quansheng *et al.*. Detection of rust in citrus by hyperspectral imaging technology and band ratio algorithm[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2009, **25**(1): 127~131
蔡健荣,王建黑,陈全胜等. 波段比算法结合高光谱图像技术检测柑橘果锈[J]. *农业工程学报*, 2009, **25**(1): 127~131
- 11 Chen Quansheng, Zhao Jiewen, Cai Jianrong *et al.*. Estimation of tea quality level using hyperspectral imaging technology [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(4): 669~674
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
- 12 Chen Quansheng, ZhangYanhua, Wan Xinmin *et al.*. Study on detection of pork tenderness using hyperspectral imaging technique[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(9): 2602~2607
陈全胜,张燕华,万新民等. 基于高光谱成像技术的猪肉嫩度检测研究[J]. *光学学报*, 2010, **30**(9): 2602~2607
- 13 Hong Wei, Wang Suyu, Zhuo Li. Advances of imaging spectrum classification[J]. *Measurement and Control Technology*, 2009, **28**(5): 11~15
洪 伟,王素玉,卓 力. 成像光谱图像分类技术研究进展[J]. *测控技术*, 2009, **28**(5): 11~15