

# 基于高光谱技术检测苹果外观缺陷

赵娟, 彭彦昆\*, 赵松玮, 宋育霖

(中国农业大学工学院, 北京 10083)

**摘要:** **目的** 利用高光谱技术检测苹果外观缺陷, 分析主成分分析法和波段比率算法研究高光谱图像的可行性。**方法** 在 400~1100 nm 波长范围内获取苹果表面的高光谱图像信息, 用主成分分析法处理高光谱下采集的苹果图像, 选取第三主成分图像进行分析, 作为最后的判别依据。波段比率算法中选取了 717 nm 和 530 nm 两个有效波段, 将两个波段的图像进行比值运算。717 nm 波段的图像进行阈值运算、中值滤波及形态学分析得到二值化掩膜图像, 再与二值化后的比率图像进行布尔运算, 提取缺陷的有效信息。**结果** 基于主成分分析法, 检测苹果表面缺陷的分级准确率为 81.25%, 波段比率算法对苹果表面缺陷的分级准确率为 93.75%。**结论** 利用高光谱成像技术下波段比率算法相对于主成分分析法更适用于实时、在线、快速检测。

**关键词:** 苹果; 高光谱; 外观缺陷; 波段比率算法; 主成分分析法

## Detection of defects in apples based on hyperspectral imaging technology

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

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

**ABSTRACT: Objective** To detect the defects in apples by hyperspectral technology, and analyze the application of principal component analysis and band ratio algorithm for detection of bruises in apple surface. **Methods** The hyperspectral image in the range of 400~1100 nm was acquired from the surface of apple sample. Third principal component image was selected for analysis in the research. Ratio of two effective bands of 717 nm and 530 nm were calculated for band ratio algorithm and the two band images were performed to ratio transformation. Next threshold segmentation, median filtering and morphological analysis were carried out at 717 nm band image to build binary mask image. Finally, the mask image was applied to the binarization of ratio image to extract the effective information of defects. **Results** The grading accuracy rate was 81.25% based on principal component analysis. Similarly, detection accuracy of 93.75% was observed based on the band ratio algorithm. **Conclusion** The band ratio algorithm is more suitable for application of hyperspectral imaging technology for real-time, on-line, and rapid detection.

**KEY WORDS:** apple; hyperspectral; surface defect; band ratio algorithm; principal component analysis

## 1 引言

我国是一个农业生产大国, 对水果的消费量很大, 但是目前市场对水果的检测技术相比国外的检测技术还比较落后。传统的人工分级方法劳动强度大,

缺乏客观性和准确性等缺点, 而国内现有的技术还不够完善, 并不能解决实际生产中出现的一系列问题。

高光谱、近红外技术在农产品无损检测中的迅速应用, 尤其是融合了光谱信息和图像信息的高光谱技术, 可以更好地反映农产品本身的信息, 特别是对

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201003008)、北京农业智能装备技术研究中心开放课题(KFZN2011W03-003)

\*通讯作者: 彭彦昆, 博士, 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关键技术与装备。Email: ypeng@cau.edu.cn.

于农产品综合品质的检测具有极大的优势。如洪添胜等<sup>[1]</sup>、Peng等<sup>[2]</sup>分别利用高光谱图像技术检测雪花梨及猪肉、牛肉的品质。赵杰文等<sup>[3]</sup>和陈全胜等<sup>[4]</sup>分别利用高光谱技术来检测苹果轻摔伤及确定茶叶的等级。Peng等<sup>[5,6]</sup>利用光谱中的图像信息检测农产品的内部品质,并将其实际应用到高光谱技术检测猪肉、牛肉的各种参数指标上,具有重要的实际意义和参考价值。

高光谱成像技术应用到农产品检测上,光谱技术能检测水果的物理结构和化学成分等,图像技术又能全面反映农产品的外在特征、表面缺陷及污染情况,所以通过提取农产品高光谱图像中各检测参数所对应的特征波长,能对农产品的综合品质进行全面、快速的检测<sup>[7]</sup>。因此在检测水果的品质时,可以从光谱信息或是图像信息的角度分析其有效的特征信息。主成分分析(principal component analysis, PCA)在高光谱图像数据的处理中应用非常广泛。主成分分析法包含的信息量全,但是由于信息量大,处理速度比较慢,波段比率算法可以使光照不均匀影响最小化,增强波段之间的差异性,提供一些单波段中无法得到的有效信息<sup>[8-10]</sup>。

本文基于高光谱图像技术,分析高光谱检测苹果外观缺陷的可行性,并对两种高光谱图像信息的分析方法进行了研究,确定适合于实时、在线检测分析的方法。

## 2 材料与方法

### 2.1 实验材料

从北京当地超市中购买新鲜的烟台红富士苹果24个,其中表面带有自然缺陷(裂伤、病虫、磨伤、霉伤等)的16个,完好无损的8个。购回的苹果置于室温下12h后开始实验。

### 2.2 实验仪器

研究中使用文献<sup>[2]</sup>的高光谱成像系统。该系统包括一个高性能的CCD相机(美国Sensicam QE公司)及一个成像光谱仪(ImSpector V 10E, 芬兰)。光源为2个100 W 卤钨灯(飞利浦),一套高精度电控平移输送装置(AH-STA02, 北京安和光电公司)和计算机等部件组成。成像光谱仪的波长范围为400~1100 nm,共520个波段,光谱的分辨率为2.8 nm。系统中采集图像所使用光谱仪自带的软件(Camera control Kit V2.19,

德国Cooke公司)。

### 2.3 图像采集

在采集高光谱图像之前,需要确定系统的曝光时间和采集速度,确保图像清晰,避免图像失真。因此CCD相机的曝光时间确定为50 ms,苹果的扫描宽度设为100 mm,苹果最高点到物镜的距离为134 mm。输送装置的速度设为25 mm/min。在采集所有试样图像之前,为校正相机暗电流和室内照明对图像的影响,分别采用盖住镜头和采集标准白板图像的方法获取黑、白图像,对图像进行校正处理<sup>[11]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 高光谱图像的处理

#### 3.1.1 主成分分析法

主成分分析法用来处理高光谱图像主要是为了把样品中包含的大量信息用较少的变量来表示,主要是对高光谱图像进行降维。主成分分析法就是设法将原来相互冗余的数据组成为互相无关的数据,同时根据实际需要从中选取较少的数据来代替原来的数据。

图1中是选取样品的四个主成分图像。由于光源信号的影响在470 nm之前和945 nm之后的图像比较模糊,发暗。所以选取470~945 nm的342个波段对样品进行主成分分析,消除了一些干扰因素的影响,同时可以增加处理的速度,减少冗余的信息。根据主成分图像主要选取第三主成分图像进行分析处理,提取出表面缺陷的有效区域。图像主要使用了ENVI软件来进行分析处理,得到的结果如图1中所示。

#### 3.1.2 波段比率算法

波段比率算法不但可以有效地降低苹果表面不平整带来光线反射不均匀的影响,还可以增强波段之间的波谱差异,提供一些单波段无法得到的独特信息。波段比率图像就是用一个波段除以另一个波段生成的相对波段强度的图像<sup>[12]</sup>。

图2中主要介绍了波段比率算法检测苹果外观缺陷的整个流程。本研究中对选取的红富士苹果,分析高光谱采集到波段下的图像信息,对是否能反映苹果表面缺陷信息的清晰与完整性进行筛选。从这342个波段中,选取了717 nm和530 nm两个有效波段来做波段比率运算。其次选取了合适的阈值应用到717 nm波段的图像产生了一个掩膜图像,然后

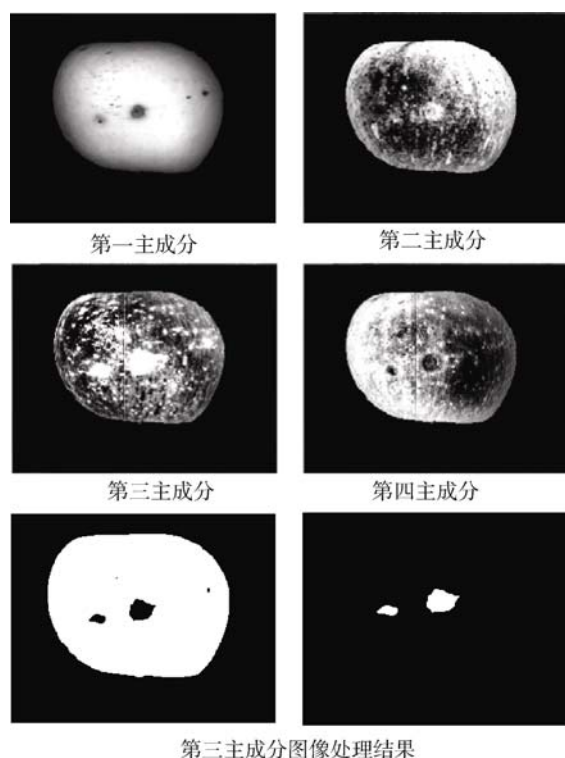


图 1 样品主成分分析图

Fig. 1 The principal component analysis of samples

对掩膜图像进行中值滤波及形态学分析得到了二值化的掩膜图像。同时对图像比率运算所得到的比率图像进行阈值运算及中值滤波得到相应的二值化比率图像。最后对二值化的掩膜图像和比率图像进行布尔加运算, 提取有缺陷的有效区域做进一步分析。

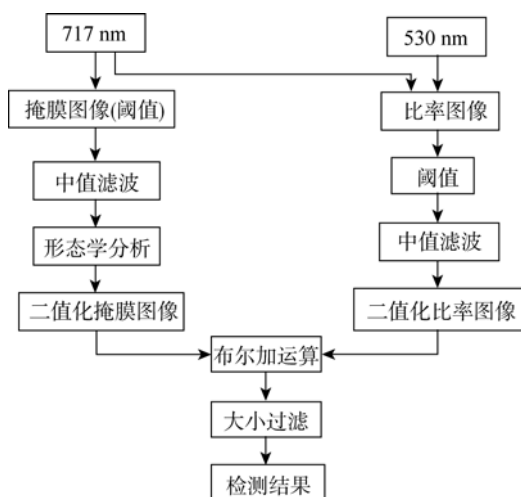


图 2 图像处理和分级算法

Fig. 2 Image processing and classification algorithms

图 3 根据图 2 中的算法对表面存在缺陷的苹果进行分析验证, 选取了苹果花萼附近存在缺陷的样

品。图 3 中 (a)和(b)是 530 nm 和 717 nm 下的苹果原始高光谱图像, (c)是 717/530 nm 的波段比率图像以及 717 nm 的掩膜图像, 同时包含了最后的图像处理结果。

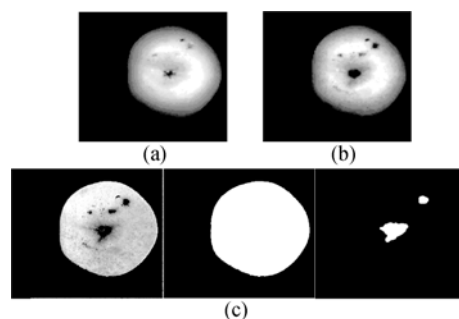


图 3 波段比率算法的图像处理

Fig. 3 Band ratio algorithm of image processing  
(a) 530 nm 下的苹果高光谱图像 (b) 717 nm 下的苹果高光谱图像  
(c)高光谱图像的波段比率图像图像处理

### 3.2 果梗、花萼及缺陷的分析处理

对高光谱图像进行处理中由于某些外在缺陷与苹果本身的果梗、花萼极为相似, 所以很容易在识别的过程中混淆。为了简化图像处理的算法, 波段比率算法运用简单的掩膜方法消除果梗、花萼对缺陷的影响。

为了消除比率图像中的背景干扰, 717 nm 波段下做了掩膜运算。在实验的过程中发现缺陷部分通常比健康的组织部分暗, 但它们的对比度、形状和大小变化很大, 所以可以设置适当的阈值将比率图像转化为二值化图像。图 4 中主要应用了波段比率算法对同一苹果的果梗、花萼及缺陷部分进行了分析, 研究表明波段比率算法对于花萼、果梗的提取也是非常有效的方法。

### 3.3 检测结果

实验结果如表 1 所示, 运用主成分分析法和波段比率算法同时对相同的实验样本进行数据分析, 主成分分析法对表面完好苹果的分类准确率为 87.5%, 对表面有校正缺陷苹果分类准确率为 81.25%。而波段比率算法对完好苹果的分类检测率为 87.5%, 对缺陷苹果的分类检测率为 93.75%。研究中产生错误的原因主要是因为苹果表面的某些缺陷与苹果的果梗、花萼极为相似, 容易产生误判。结果表明, 波段比率算法和主成分分析法都是有效分析苹果外观缺陷的方法, 但是波段比率算法相对主成分分析法准确率更高, 更适用于运用高光谱技术在线检测水果的外观品质, 并对其进行快速、无损的在线分级。

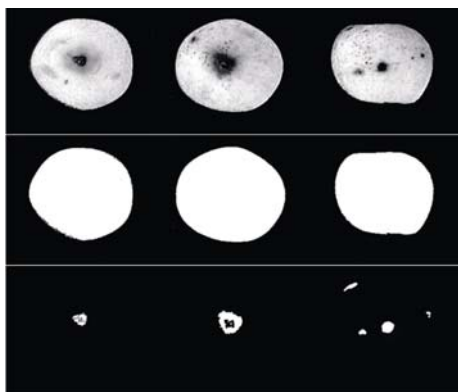


图4 样品的果梗、花萼及缺陷 717/530nm 波段比率图像分析

Fig. 4 717/530 nm band ratio image analysis of the stem, calyx and defects

表1 苹果的检测分类结果

Table 1 Classification and detecting results of apples

方法	级别	样品数	正确数	准确率
主成分分析法	完好	8	7	87.5%
	缺陷	16	13	81.25%
波段比率算法	完好	8	7	87.5%
	缺陷	16	15	93.75%

## 4 结论

本文基于高光谱技术的基础上对苹果的外观品质进行了研究,主要是对于苹果在自然生长过程中产生的外在缺陷进行分析,提高苹果在分级过程中的速度、准确率和高效性。从本实验的研究中可以得到如下结论:

针对目前处理高光谱图像检测水果外观品质的两种有效的图像处理方法进行了分析比较研究,主成分分析法虽然包含的信息量大,但同时具有处理速度慢,信息冗余等缺点,所以相对于波段比率图像而言准确率不高,速度较慢,不适合在线分级检测。

波段比率图像分析中,本文选取了两个有效波段 530 nm 和 717 nm,并对其波段比图像进行图像处理分析,有效准确的区别了苹果的完好区域和缺陷区域。同时波段比率图像还可以有效的降低光照不均匀的影响,增强波段之间的差异,从中获得更多的高光谱特征信息,有效的提取苹果的缺陷信息。文中选取的两个有效波段可以选取相应的滤光片应用到实际生产过程中对苹果进行实时、无损在线检测。

本研究使用的主成分分析算法对缺陷的分类准确率为 81.25%,而波段比率算法对缺陷苹果的分类

准确率为 93.75%。然而对于不同种类苹果所选择的特征波长之间可能存在差异性,所以在分析的过程中需要根据实际的情况做出调整。研究表明高光谱技术可以在线检测水果外观品质。

## 参考文献

- [1] 洪添胜, 乔军, 王宁, 等. 基于高光谱图像技术的雪花梨品质无损检测[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 151-155.
- [2] Peng YK, Wu JH. Hyperspectral scattering profiles for prediction of beef tenderness [C]. ASABE Annual International Meeting 2008.
- [3] 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摔伤[J]. 农业机械学报, 2008, 39(1): 106-109.
- [4] 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.
- [5] Peng YK, Lu RF. Improving apple fruit firmness prediction by effective correction of multispectral scattering images [J]. Posthar Biol Technol, 2006, 41(3): 266-274.
- [6] Peng YK, Lu RF. Analysis of spatially resolved hyperspectral scattering images for assessing apple fruit firmness and soluble solids content [J]. Posthar Biol Technol, 2008, 48(1): 52-62.
- [7] 田有文, 王晓娟. 基于高光谱技术的农产品品质无损检测[J]. 农机化研究, 2009 (10): 220-222.
- [8] van Ruitenbeek FJA, Debba P, van der Meer FD, *et al.* Mapping white micas and their absorption wavelengths using hyperspectral band ratios [J]. Remote Sens Environ, 2006, 102(3-4): 211-222.
- [9] Amato U, Antoniadis A, Cuomo V, *et al.* Statistical cloud detection from SEVIRI multispectral images [J]. Remote Sens Environ, 2008, 112: 750-766.
- [10] Qin JW, Burks TF, Zhao XH, *et al.* Development of a two-band spectral imaging system for real-time citrus canker detection [J]. J Food Eng, 2012, (108): 87-93.
- [11] 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): 140-144.
- [12] 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.

(责任编辑: 赵静)

## 作者简介



赵娟, 硕士生, 研究方向: 农畜产品品质安全无损检测技术与装备研究。  
E-mail: cau.zhaojuan@gmail.com



彭彦昆, 博士, 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