

基于高光谱的砀山酥梨炭疽病害等级分类研究

温淑娴¹ 李绍稳¹ 金 秀¹ 赵 刘¹ 江 寒²

(安徽农业大学信息与计算机学院 合肥 230036)¹ (安徽农业大学植物保护学院 合肥 230036)²

摘 要 为了检测病害的不同程度等级,以接种炭疽病的砀山酥梨为研究对象,利用高光谱成像技术对病害进行建模分类。在 400~1000nm 光谱区域采集砀山酥梨样本接种炭疽病初期到发病、直至腐烂整个过程的时序高光谱图像;采用阈值分割法对图像进行背景分割,并基于有效的光谱区域做主成分分析,选取第二主成分(PC2)提取染病的感兴趣区域,并对感兴趣区域用权重系数法作特征值提取;采用非监督的分类算法对特征值进行聚类分析。通过对 210 个样本集进行观察分析发现,样本分类的有效程度为 98.41%。实验结果表明,采用高光谱成像无损检测技术对砀山酥梨炭疽病不同程度的分类是有效的。

关键词 高光谱成像技术,砀山酥梨炭疽病,光谱分析,图像处理,分类

中图法分类号 S43 文献标识码 A

Research on Anthrax Disease Classification of Dangshan Pear Based on Hyperspectral Imaging Technology

WEN Shu-xian¹ LI Shao-wen¹ JIN Xiu¹ ZHAO Liu¹ JIANG Han²

(Institute of Information and Computer, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)¹

(Institute of Plant Protection, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)²

Abstract To detect the disease of different levels, this article took Dangshan pear which gets vaccinated of anthrax as the research object, using hyperspectral imaging technology for the modeling of disease classification. In 400~1000 nm spectral region, we collected the sequential hyperspectral images of the whole process of Dangshan pear samples from inoculation of anthrax to morbidity and to decompose, used threshold segmentation to conduct background segmentation of images, and did principal composition analysis based on the effective spectral region. We selected the second principal component (PC2) to extract the infected region of interest, and used weight coefficient method for eigenvalue extraction of region-of-interest and used unsupervised classification algorithm for clustering analysis of characteristic value. Through observation and analyzation of 210 sample sets, it comes that the effective sample classification is 98.41%. The experimental results show that it is valid to make use of hyperspectral imaging nondestructive testing technology for the classification of the anthrax disease of Dangshan pear of different levels.

Keywords Hyperspectral imaging technology, Anthrax Dangshan pear, Spectral analysis, Image processing, Classification

1 引言

安徽砀山素有“中国梨都”之称,砀山酥梨年产量占全国梨总产量的八分之一。炭疽病是一种严重威胁砀山酥梨产量的真菌病害,其在学习、运输过程中都会对梨造成严重危害。炭疽病以半知菌亚门子囊菌亚门作为病原物,主要危害近成熟期和贮藏期的果实。对不同程度的病害等级进行分类是一个难点。高光谱成像技术兼有图像处理技术、光谱分析技术的优势,可同时获取研究对象的图像信息和光谱信息,已有很多学者在农产品品质检测方面做了大量相关研究^[1-2]。随着光谱技术和成像技术的发展,高光谱成像技术逐渐被用来读取病症的外部、内部特征信息,从而用作检测果蔬病害的依据^[3-9]。梅慧兰等人基于高光谱成像对柑橘黄龙病进行早期鉴别及病情分级,并对多种预处理方法的建模结果进行探讨^[10];杨倩等人在基于机器视觉从图像采集与预处理、颜色、

纹理等方面对大麦病害分类进行识别研究^[11]。国内外尚未发现利用高光谱成像技术对砀山酥梨炭疽病害程度等级分类的研究。本研究以城乡居民主要消费水果之一的砀山酥梨作为研究对象,利用高光谱图像技术对原始高光谱数据做预处理,选出特征波段进行建模分类,进而实现不同程度病害等级的有效分类。在病害的初期,病害部位和正常组织部位的颜色差异不大,对比度不明显,通过人的肉眼很难进行识别^[12]。病害区域会随着时序的变化进一步生长褐变甚至腐烂,能够对不同程度的病害做出分类,针对不同程度的病害施以不同的诊治措施,给病害的预防、诊治提供了支持。

2 材料与方法

2.1 实验样本的选择、病菌的制备及接种方法

本文以砀山酥梨为研究对象,而炭疽病是一种严重威胁砀山酥梨产量的真菌病害,在生产、运输过程中都会对梨造成

本文受农业部 948 计划项目:作物高效水肥调控物联网关键技术的引进与创新(2015-Z44),农业部 948 计划延续支持重点项目(2016-X34)资助。

温淑娴(1993—),女,硕士生,主要研究方向为作物病虫害早期预测,E-mail:jamy0815@foxmail.com;李绍稳(1962—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为人工智能与农业专家系统、知识网络与农业本体建模,E-mail:shwli@ahau.edu.cn(通信作者)。

严重危害。炭疽病发生的最适相对湿度为 90% 以上,生长的适温为 16~23℃,25℃ 以上的温度不利于病害的扩张。病菌的制备是将固体培养基(马铃薯 200g, Agar(琼脂)15~20g,葡萄糖 15~20g,加水定容至 1L)分装在直径为 9cm 的玻璃培养皿中进行培养。采用做好的孢子(最适温度为 28~32℃)悬浮液作为打点接种^[13]。对砀山接种酥梨炭疽病后,在 22~25℃ 的人工气候箱中培养以促进分生孢子的萌发。

从市场上购买表面没有缺陷且直径范围在 65~85mm 的砀山酥梨^[14]。本文将所选的砀山酥梨分为 10 组,每组 3 个样品,对其进行编号,接种方式如表 1 所列。共采集了 7 天的时序样本集,总共 210 个样本。从 6 组染病砀山酥梨数据中优选 3 组用于算法特征光谱的提取,其他样本组用于算法的评估。每组的打洞不接种对照实验作为病害不断加深变化的依据。高光谱图像采集前,均对所有的样本做去除杂菌消毒处理。

表 1 接种情况

组号	每个砀山酥梨上接种病菌的情况
1,2,3	两个洞,均接种
4,5,6	两个洞,一个接种、一个不接种
7,8	两个洞,均不接种
9,10	无洞

2.2 实验仪器

研究中的高光谱图像采集系统如图 1 所示。整个系统由成像推扫高光谱仪主机(HyperScan VNIR Micro)、照明卤素灯光源(50w)、精密云台、计算机、软件(控制位移台移动功能)等组成。整个高光谱系统的光谱分辨率为 1.79 nm,空间分辨率为 0.1,像素分辨率为 2560×2160。整套系统放置在密闭黑暗空间当中,以减少外部环境噪声的影响。

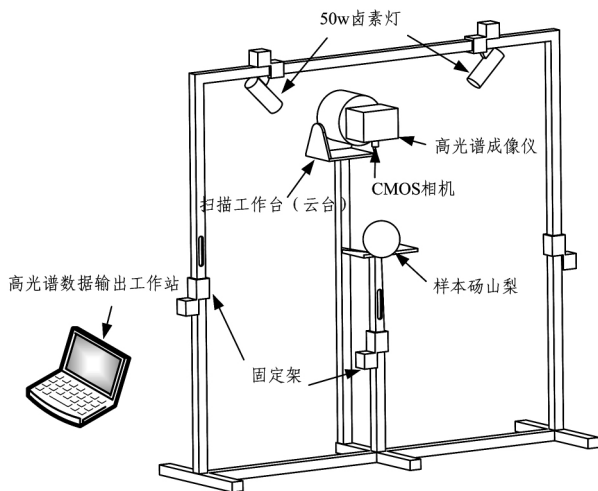


图 1 高光谱图像采集系统示意图

2.3 高光谱图像采集

在高光谱成像技术采集数据时,要确保相机曝光时间、转动的角度范围、物距和光源强度的匹配等参数,以保证采集的图像清晰且不失真。最终确定的采集参数为:相机曝光时间(Exposure time)10 ms,单个像素(Pixel size)的大小 6.5μm,镜头焦距(Focal length)60mm,拍摄速度(Frame rate)63.4417Hz。经多次实验后确定拍摄参数:扫描角度为-12°到 12°,CCD 相机与对象物之间的距离为 17cm,光源强度为 50w。将砀山酥梨放置于云台上(每次一个砀山酥梨且固定

位置和方向)。

当镜头移动时,通过高光谱分光仪获得砀山酥梨的整个光谱区域信息,采用同样的方法时序采集砀山酥梨的高光谱图像。

2.4 数据处理方法

2.4.1 白板校正

由于各波段下光源强度分布不均以及接收器存在暗电流,导致光照强度分布较弱的波段下所获得的图像会有较为严重的噪声,因此在对高光谱图像采集前必须先进行黑白校正:白校正方法是扫描标准聚四氟乙烯白板,得到全白的反射标定图像(反射率为 99%);黑校正方法是盖上镜头盖,获取全黑的标定图像^[15]。最后根据式(1)计算校正后的图像 R 。

$$R = \frac{(R_s - Rd)}{(R_w - Rd)} \times 99\% \quad (1)$$

其中, R_s 为样本的原始光谱图像; R_w 为全白标定图像; R_d 为全黑标定图像。

2.4.2 ROI 选取方法

在图像分析中,欲将砀山酥梨的病害区域作为感兴趣区域(Region Of Interest, ROI)提取出来,需要进行图像分割,实际上就是将背景与目标样本分割开,即二值化处理。本文利用最大类间方差法(Otsu)阈值化分割方法对病害时序程度进行分级,其表达式如式(2)所示,达到对背景进行有效分割的目的。

$$\begin{aligned} p &= \omega_0 * p_0 + \omega_1 * p_1; \\ g &= \omega_0 * (p_0 - p) * (p_0 - p) + \omega_1 * (p_1 - p) * (p_1 - p) \\ &= \omega_0 * \omega_1 * (p_0 - p_1) * (p_0 - p_1) \end{aligned} \quad (2)$$

其中, ω_0 为前景点数占图像的比例, p_0 为平均灰度, ω_1 为背景点数占图像的比例, p_1 为平均灰度。图像的总平均灰度为 p ,前景和背景图像的方差为 g 。当方差 g 最大时,此时前景和背景差异最大,此时的灰度是最佳阈值。利用阈值分割图像得到二值掩膜图像,画出 ROI。

2.4.3 主成分分析

高光谱得到的图像信息量太大,给处理带来很大不便,提取主成分后依然能解释原变量尽可能多的信息,大大地减小了工作量,缩短了工作时间。主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)是一种用来有效降维的算法,已经广泛应用于光谱分析领域^[16]。利用 PCA 降维后的图像表示如式(3)所示。

$$\begin{aligned} PC_1 &= \sum_{i=1}^m \alpha_i^1 \lambda_i \\ PC_2 &= \sum_{i=1}^m \alpha_i^2 \lambda_i \\ &\vdots \end{aligned} \quad (3)$$

$$PC_m = \sum_{i=1}^m \alpha_i^m \lambda_i$$

其中, PC_m 为第 m 个主成分图像; λ_i 为第 i 个波段所对应的图像; α_i 为该主成分在 λ_i 下的权重系数, α_i 的值越大,表明 λ_i 对主成分图像 PC_s 的贡献率就越大。

2.4.4 图像平滑及特征波段提取方法

本文特征波段的提取采用了权重系数法,流程如图 2 所示。为了减少噪声对图像的影响,对权重波形图进行平滑滤波,使用 smooth 函数选出效果最好的平滑曲线,即可选出特段。

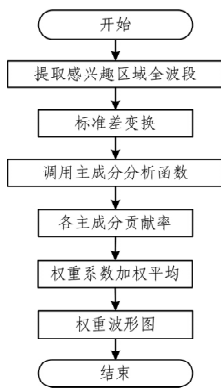


图2 权重系数法流程图

2.4.5 非监督分类

为了对未知程度的砧山酥梨炭疽病程度进行不同级别的划分,把各样本的空间分布按其相似性合并成一个群集,每个群集代表一个级别。目前常见也较为成熟的非监督分类方法有 ISODTA、K-Means 和链状方法等^[17]。本文采用 K-Means 聚类算法^[18],流程图如图 3 所示。

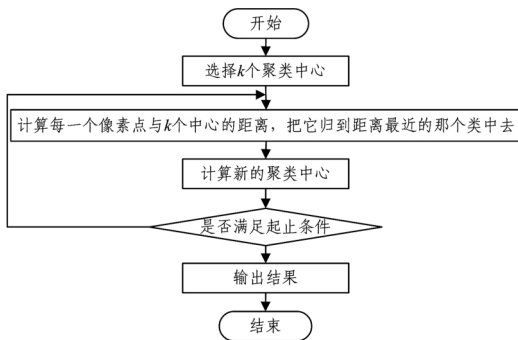


图3 K-Means 聚类算法流程图

该分类方法的优点是计算时间短、速度快、K 均值稳定、层次聚类快、谱聚类效果好。

3 结果与分析

3.1 样本病害的变化

实验研究过程中选取外观色泽较好的砧山酥梨,做好标记,以病害区域最明显的 1 号砧山酥梨为例,从人工气候箱中取出待测样本利用数码 RGB 相机拍摄。拍摄时应保证样本每次摆放的位置和方向是一致的,1 号砧山酥梨样本时序图像如图 4 所示。观察其病害区域的时序变化可知,随着时间的推移,病害区域在逐渐发生变化。

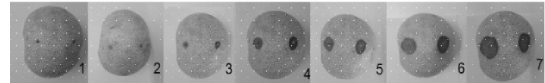


图4 炭疽病 7 天的长势

3.2 基于有效光谱的主成分分析

砧山酥梨图像在不同波长下的每个像素点都存在光谱信息。去掉由于光谱噪声造成失真部分的前 50 个和后 19 个波长,对剩余有效光谱的 260 个波长进行主成分分析。由图 5 可知,PC1 包含了最多的原始数据信息,而这些信息中绝大部分是砧山酥梨表面信息,不利于病害区域的提取。相比之下,第 2 主成分图像 PC2 对于砧山酥梨表面的病害区域最为明显,更适合对病害部位的提取,因此本研究选取第 2 主成分图像 PC2 来提取病害的有效区域^[19]。

根据上述外部特征变化结合光谱图像处理,依次做出图 4 中的 1 号砧山酥梨中的左边病害 7 天时序的特征值曲线,如图 6 所示。由图 6 可观察到病害随天数的增加而有规律地变化,反射率在逐渐降低。

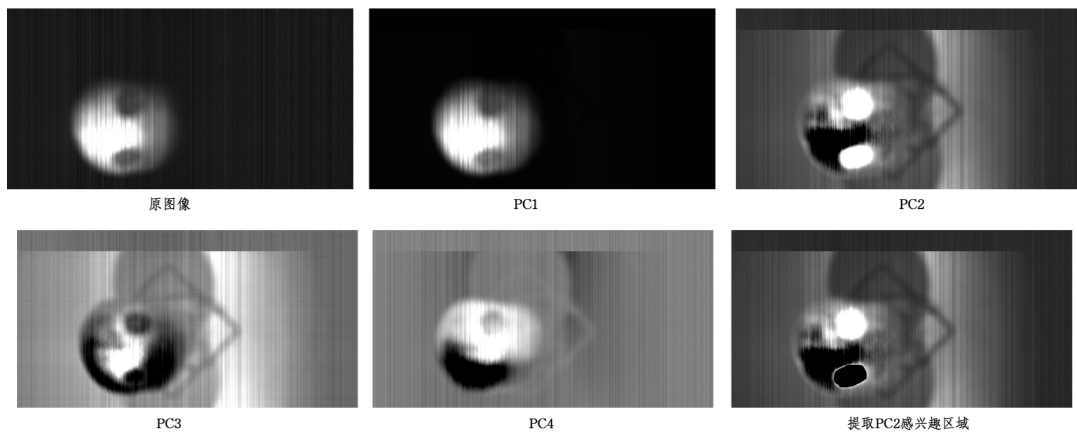


图5 前 4 个主成分图像以及感兴趣区域

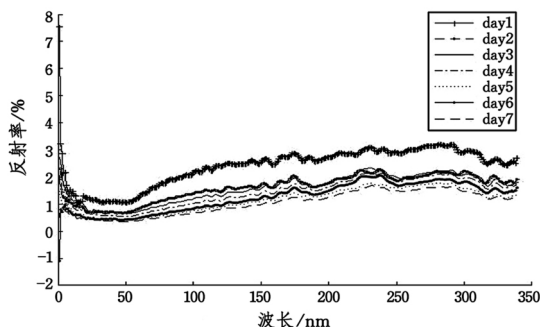


图6 感兴趣区域中病害区域在 7 天的波形图

3.3 异常样本剔除方法

模型的建立会受到多种因素的影响,其中异常样本的存在严重影响了模型的适用性和准确性。将酥梨每天健康部分和发病的部分特征值分别提取出来,对照它们的特征曲线图,确保准确率,剔除异常数据。观察 1 号砧山酥梨健康部分和病害部分 7 天的时序波谱对照变化,如图 7 所示。在图 7 中,点划线、实线分别代表正常、病害区域。由图观察可知,由开始的正常部分的反射率大于病害部分的反射率,达到某个临界时间点后,病害部分逐渐大于正常部分的反射率。其他实验组的对比结果如表 2 所列,“√”表示结果正常,“×”表示结果异常。

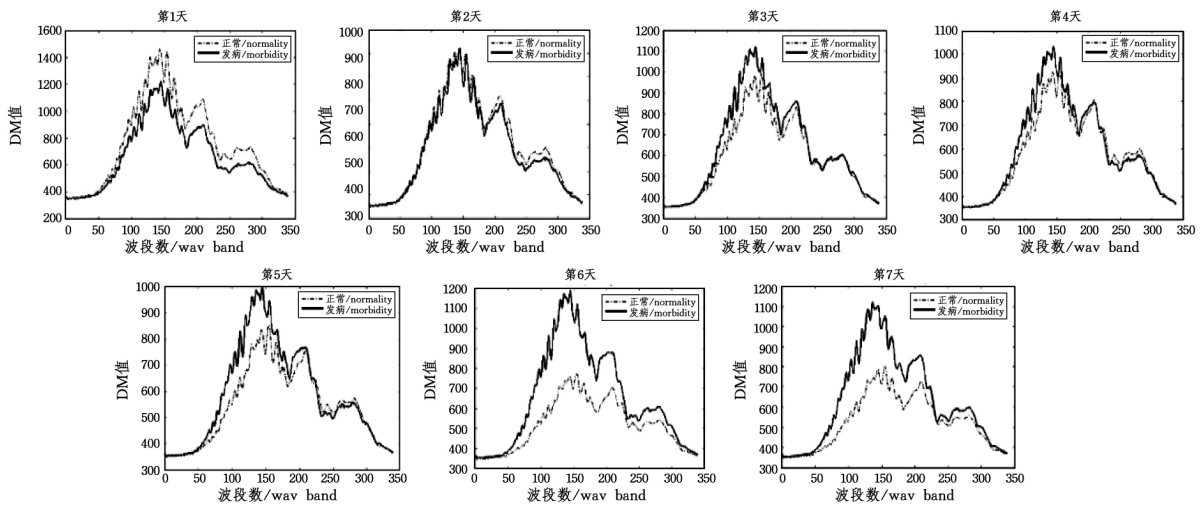


图 7 1号砀山酥梨每天的病害区域与健康区域的波形对照图

表 2 病害与正常区域的对比

酥梨号	天数						
	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天
1 号	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2 号	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3 号	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

3.4 特征波段提取

由于高光谱数据的庞大,欲优选出样本病害区域的高光谱图像特征波段来表达病害的信息。利用权重系数法来提取特征波段,首先筛选出光谱数据进行初步压缩,将优选出的波长按其贡献值的大小进一步筛选,然后剔除不敏感波长,降低模型的复杂度^[20]。从图 8 可以看出,在 572nm,613.2nm,652.6nm,749.2nm,806.5nm,874.6nm 出现波峰和波谷,这些波段存在极值,可以作为砀山酥梨病害区域的特征波长。这些特征波长用于建立模型来分类识别病害的等级。

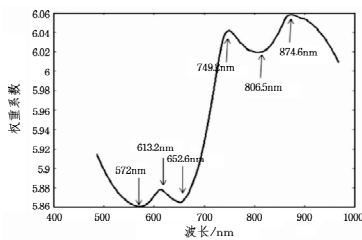


图 8 各波长的权重系数图像

3.5 分类结果

结合鲜梨国家标准,利用 K-Means 聚类算法对 3 组砀山酥梨病害 7 天的光谱数据进行整合分类,根据病害对寄主的侵染过程的 3 个时期侵入期、潜育期、发病期共设定 3 个等级。建模平滑去噪后的有效数值信息用于分类。对酥梨 7 天病害的全部数据进行聚类分析,以获得对酥梨病害不同程度的分类结果,如图 9 所示。

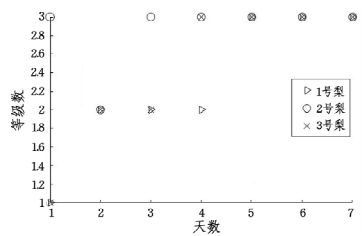


图 9 病害时序分类

由于 K-Means 每次分类的等级结果会发生变化,因此由图 9 可知,将每个砀山酥梨病害分成 3 个级别,依次为 1,2,3。21 个不同程度的病害样本分类如表 3 所列。

表 3 病害的时序分类等级

酥梨号	天数						
	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天
1 号	1	2	2	2	2	2	3
2 号	3	2	3	3	3	3	3
3 号	1	1	2	3	3	3	3

由表 3 分析可知,2 号第一天的数据异常,k-means 的分类结果以 1 号砀山酥梨为例,在第 2 天和第 5 天等级发生变化,说明在这两个时间段病害达到生长变化的临界值,在这两个时段实施诊治能取得最优效果。

4 讨论

通过高光谱成像技术对砀山酥梨病害的不同程度等级进行分类,从而判断出病害在肉眼还观察不到时的发生时间。实验通过时序高光谱图像监测了砀山酥梨病害的生长过程,结合病害光谱的变化得出结论:随着砀山酥梨非染病区域的水分逐渐减少,光谱反射率曲线升高;随着病害程度的进一步加深,病害区域含水率百分比升高,光谱反射率曲线降低。并且根据时序高光谱图像的 K-Means 分类可以发现,酥梨在第 2 天和第 3 天的发病症状明显,推测出在这个时段对病害施加诊治手段最为有利。实验基于非监督的分类方法,不受外观、品质、化学成分的影响,对病害进行分级,不需要任何的先验知识。实验选用 210 个样品作为研究对象,虽然结果比较理想,但是样本数量还比较小,后续应扩大实验样品的数量和样品的广泛性,以期获得更好预测病害的分级结果。

结束语 实验基于高光谱图像技术对砀山酥梨采集到了完整的炭疽病发生过程,病害的发生过程的检测在实验中非常困难,因为常规的病害分析由于要破坏病理组织,所以持续的检测不仅需要大量的样本,而且需要统一的环境。本文使用了高光谱成像技术对砀山酥梨炭疽病进行建模分级,在非监督分类方法下,分类有效程度高达 98.41%。通过实验结果分析表明,利用高光谱成像技术可以对病害发生过程进行检测并分类。本文对砀山酥梨炭疽病染病程度的分类分级,不仅在实际应用中可以有针对地对病害部分进行处理,而且

- Recognition Using Hidden Markov Model in Static Background [J]. International Journal of Computer Science Issues, 2011, 8(1):391-398.
- [2] BADI H. Recent methods in vision-based hand gesture recognition[J]. International Journal of Data Science and Analysis, 2016, 1(2):77-87.
- [3] RAN W, YU Z, LIU M, et al. Real-time visual static hand gesture recognition system and its FPGA-based hardware implementation[C]// International Conference on Signal Processing. IEEE, 2015:434-439.
- [4] LEITE D A T Q, DUARTE J C, OLIVEIRA J C, et al. A System to Interact with CAVE Applications Using Hand Gesture Recognition from Depth Data [C] // Virtual and Augmented Reality. IEEE, 2014:246-253.
- [5] YUN L, ZHANG L, ZHANG S. A Hand Gesture Recognition Method Based on Multi-feature Fusion and Template Matching [J]. Procedia Engineering, 2012, 29(4):1678-1684.
- [6] 张立志, 黄菊, 孙华东, 等. 局部特征和全局特征结合的 HMM 静态手势识别[J]. 计算机科学, 2016, 43(11A):247-251.
- [7] PRIYAL S P, BORA P K. A study on static hand gesture using moments[C] // International Conference on Signal Processing and Communications. IEEE, 2010:1-5.
- [8] 杨文姬, 孔令富. 使用视觉注意和多特征融合的手势检测与识别[J]. 小型微型计算机系统, 2015, 36(3):610-615.
- [9] HE L W, XU Y, CHEN Y, et al. Recent Advance on Mean Shift Tracking: A Survey [J]. International Journal of Image & Graphics, 2013, 13(3).
- [10] QURESHI A, MARVI M, UNAR M A, et al. Performance analysis of skin classifiers in RGB and YC b C r, color space[C]// International Multi Topic Conference. IEEE, 2014:223-228.
- [11] HASAN M M, MISHRA P K. HSV Brightness Factor Matching for Gesture Recognition System [J]. International Journal of Image Processing, 2010, 4(5):456-467.
- [12] CREPALDI D, MORONE E A, RDUINO L S, et al. Morphological Processing of Printed Nouns and Verbs: Cross-class Priming Effects[J]. Journal of Cognitive Psychology, 2014, 26(4):433-460.
- [13] M M, JACKIN I M. Wireless Vision Based Mobile Robot Control Using Hand Gesture Recognition Through Perceptual Color Space[C]// International Conference on Advances in Computer Engineering. IEEE, 2010:95-99.
- [14] BADI H, HUSSEIN S H, KAREEM S A. Feature extraction and ML techniques for static gesture recognition [J]. Neural Computing and Applications, 2014, 25(3):733-741.
- [15] JIA S, WOO C. Face Detection and Extraction Based on Ellipse Clustering Method in YCbCr Space [J]. Journal of Korea Multimedia Society, 2010, 13(6):833-840.
- [16] LIN Y H, CHEN C H. Template matching using the parametric template vector with translation, rotation and scale invariance [J]. Pattern Recognition, 2008, 41(7):2413-2421.
- [17] HOSNY K M. Extract and fast computation of geometric moments for gray level images [J]. Applied Mathematics & Computation, 2007, 189(2):1214-1222.
- [18] BHUYAN M K, KAR M K, NEOG D R. Finger tips detection for two handed gesture recognition [C] // International Conference on Graphic and Image Processing. SPIE, 2011.
- [19] 易靖国, 程江华, 库锡树. 视觉手势识别综述[J]. 计算机科学, 2016, 43(6A):103-107.
- [20] WANG L, ZHANG Y, FENG J. On the Euclidean distance of images[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2005, 27(8):1334-1339.

(上接第 219 页)

为后期的病害的诊断和预测提供了理论基础。

参考文献

- [1] 彭彦颖, 孙旭东, 刘燕德. 果蔬品质高光谱成像无损检测研究进展[J]. 激光与红外, 2010, 40(6):586-592.
- [2] GOWENA A A, O'DONNELL C P, CULLEN P J, et al. Hyperspectral imaging-an emerging process analytical tool for food quality and safety control [J]. Trends in Food Science & Technology, 2007, 18(12):590-598.
- [3] 贾建楠, 吉海彦. 基于病斑形状和神经网络的黄瓜病害识别[J]. 农业工程学报, 2013(SI):115-121.
- [4] 张飞云. 基于提升小波和学习向量化神经网络的小麦病害图像识别[J]. 江苏农业科学, 2013(5):103-106.
- [5] 彭占武, 司秀丽, 王雪, 等. 基于图像处理和模糊聚类方法的黄瓜霜霉病识别研究[J]. 中国农机化学报, 2013(2):103-106.
- [6] RUMPFAT, MAHLEINBAK, STEINERB U, et al. Early detection and classification of plant disease with Support Vector Machines based on hyperspectral reflectance [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010(74):91-99.
- [7] 申广荣, 王人潮. 植被光谱遥感的应用研究综述[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2001, 19(4):315-306.
- [8] HARTMUT K, LICHTENTHALER, FATBARDHA B. Detection of photosynthetic activity and water stress by imaging the red chlorophyll fluorescence[J]. Plant Physiol Bio-chem, 2000, 38:889-895.
- [9] AGGARWAL P K, KALRA N, CHANDER S, et al. InfoCrop: A dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. I. Model description [J]. Agricultural Systems, 2006, 7(1):1-25.
- [10] 梅慧兰, 邓小玲, 洪添胜, 等. 柑橘黄龙病高光谱早期鉴别及病情分级[J]. 农业工程学报, 2014, 30(9):140-147.
- [11] 杨倩. 基于机器视觉的甘肃大麦病害分类识别研究[D]. 甘肃: 甘肃农业大学, 2013.
- [12] ELMASRY G, NING W, VIGNEAULT C, et al. Early detection of apple bruises on different background colors using hyperspectral imaging [J]. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, 2008, 41(2):337-345.
- [13] 岳兰菊. 安徽砀山酥梨炭疽病的发生规律及防治措施[J]. 中国果树, 2011(3):54-56.
- [14] 黄文倩, 陈立平, 李江波, 等. 基于高光谱成像的苹果轻微损伤检测有效波长选取[J]. 农业工程学报, 2013, 29(1):272-277.
- [15] HAFF R P, SARANWONG S, THANAPASE W, et al. Automatic image analysis and spot classification for detection of fruit fly, infestation in hyperspectral images of mangoes[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 86(1):23-28.
- [16] KAMRUZZAMAN M, SUN D W, ELMASRY G, et al. Fast detection and visualization of minced lamb meat adulteration using NIR hyperspectral imaging and multivariate image analysis [J]. Talanta, 2013(103):130-136.
- [17] 李娜, 赵慧洁. 高光谱数据非监督分类的改进独立成分分析方法[J]. 国土资源遥感, 2011(2):70-74.
- [18] 李震, 洪添胜, 曾祥业, 等. 基于 K-means 聚类的柑橘红蜘蛛图像目标识别[J]. 农业工程学报, 2012, 28(23):147-153, 299.
- [19] 田有文, 牟鑫, 程怡. 基于高光谱成像技术的苹果表面轻微损伤检测[J]. 沈阳农业大学学报, 2015, 46(4):508-512.
- [20] 于建平, 李贵喜. 用权重系数法综合评价冬小麦品种[J]. 甘肃农业科技, 2015(4):17-20.