

基于计算机视觉技术的番茄叶部病害识别

柴阿丽¹, 李宝聚^{1,*}, 石延霞¹, 岑喆鑫¹, 黄海洋², 刘 君²

(¹中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081; ²北京师范大学数学学院, 北京 100875)

摘 要: 以计算机视觉技术为手段, 结合图像处理和模式识别技术, 研究了番茄早疫病、晚疫病、叶霉病和棒孢叶斑病等 4 种叶部病害的自动识别方法。建立了一套适用于室内操作的图像采集处理系统, 可进行病害样本图像的采集、预处理和病斑区域的分割。提取了每个病斑区域的 9 个颜色参数、5 个纹理参数和 4 个形状参数, 同时采用逐步判别与贝叶斯判别相结合和主成分分析与费歇尔判别相结合的两种方法实现特征参数的提取和判别模型的构建。逐步判别从提取的 18 个特征参数中选择了 12 个参数用于构建贝叶斯判别模型, 结果对训练样本和测试样本的识别准确率分别达到 100% 和 94.71%。主成分分析则将 18 个特征参数综合成 2 个新变量, 构建的费歇尔判别函数对样本的总体识别准确率为 98.32%。两种方法均获得了较好的分类效果, 说明利用计算机视觉技术可以实现对番茄叶部病害的快速、准确识别, 为实现番茄病害的田间实时在线检测提供了可能。

关键词: 计算机视觉; 番茄病害; 特征提取; 逐步判别; 主成分分析; 判别模型

中图分类号: S 641.2

文献标识码: A

文章编号: 0513-353X (2010) 09-1423-08

Recognition of Tomato Foliage Disease Based on Computer Vision Technology

CHAI A-li¹, LI Bao-ju^{1,*}, SHI Yan-xia¹, CEN Zhe-xin¹, HUANG Hai-yang², and LIU Jun²

(¹ *Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*; ² *Department of Mathematics, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*)

Abstract: Computer vision combined with digital image processing and pattern recognition techniques were evaluated for the detection of diseased tomato leaves infected with leaf mold (*Fulvia fulva*), early blight (*Alternaria solani*), late blight (*Phytophthora infestans*), and leaf spot (*Corynespora cassiicola*). An image acquisition system was established to acquire leaf images. The image pre-processing techniques were applied to segment the lesion regions from the diseased leaves. And then nine color characteristics, five texture characteristics and four shape characteristics of the lesion regions were extracted. To classify the four kinds of tomato foliage diseases, stepwise discriminant analysis combined with Bayes discriminant analysis and principal component analysis combined with Fisher discriminant analysis were executed to develop the discriminant models. By the stepwise discriminant analysis, we selected 12 characteristics from the original 18 variables to develop the Bayes discriminant function, and results showed that the classification accuracies for the training and testing sets achieved 100% and

收稿日期: 2010-03-23; 修回日期: 2010-07-19

基金项目: 国家“863”项目(2006AA10Z210); 国家自然科学基金项目(60678052); 国家自然科学基金重点项目(10531040); 农业部园艺作物遗传改良重点开放实验室项目; 国家基础科学人才培养基金项目(J0630103)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: libj@mail.caas.net.cn)

94.71% respectively. By principal component analysis, the 18 variables were reduced to two principal components (PCs). The classification model based on the two PCs achieved classification accuracy of 98.32%. These results indicated that it is feasible to identify and classify tomato diseases using computer vision technology. This preliminary study, which was done in a closed room with restrictions to avoid interference of the field environment, showed that there is a potential to establish an online field application in tomato diseases detection based on computer vision and image processing techniques.

Key words : computer vision ; tomato disease ; feature extraction ; stepwise discriminant ; principal component analysis ; discriminant model

植物感病以后,其新陈代谢会发生一定的改变,引起植物细胞内部色素含量、水分和细胞间隙等发生变化,进而引起植物外部形态改变,产生病斑(王惠哲等,2006),反映在图像上则会形成颜色、纹理、形状等特征差异,为利用计算机视觉和图像处理技术诊断植物病害提供了依据。20世纪80年代,开始出现将数字图像处理技术应用到植物病害诊断上的报道(Blanchette et al., 1982; Lindow & Webb, 1983)。前期研究多以信息工作者为主体,植物病害信息采集也不够成熟(Ahmad et al., 1999);有的从色度学出发,以颜色特征作为判别依据,确定常态部分和病态部分的阈值,区别病害种类(Choi et al., 1995; 岑喆鑫等,2007);或单以病斑的形状(Sasaki et al., 1999; 田有文等,2004)、纹理(姜淑华等,2007)作为判别因子,由于提取的都是单变量特征参数,最后进行模式识别的准确率不高,达不到推广应用的要求。随着研究的深入,人们认识到植物病害症状的复杂性,开始综合了植物病害的形状、纹理、颜色信息,建立了能够完成植物病害种类判别的多层次模式识别模型,进行多变量特征参数的提取(程鹏飞,2005;赵玉霞等,2007)。作者在借鉴前人经验的基础上,研究了适合于植物病害自动诊断的多变量特征定量提取方法和模式识别算法,期为植物病害的智能化、自动化监测提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样本和图像采集

选择田间危害比较严重且容易误诊的番茄早疫病 [*Alternaria solani* (Ellis et Martin) Jones et Grout.], 番茄晚疫病 [*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary.], 番茄叶霉病 [*Fulvia fulva* (Cooke) Cif.] 和番茄棒孢叶斑病 [*Corynespora cassiicola* (berk & curt) wei.] (图1)进行识别。

以番茄‘中杂9号’品种为材料,种植于中国农业科学院蔬菜花卉研究所试验温室中,于2009年5月13日植株长出13~15个叶片时进行接种。菌株来源于中国农业科学院蔬菜花卉研究所综合防治课题组。将菌株从4℃冰箱取出培养一周,将孢子刷下,配置孢子浓度为 4×10^6 个 \cdot mL⁻¹的孢子悬浮液,采用喷雾法接种于健康番茄叶片上,保湿24 h后,正常管理,直至出现典型症状。

选择病害发生中期的病斑(即病害的典型症状已经形成,但发病叶片还比较完整,尚未出现整叶枯死或坏死现象),每种病害分别采集60个叶片,用Ziploc袋密封保湿,带回实验室采集病斑症状图像。

为了消除图像采集过程中光线强度、取景状况等外界试验条件对图像产生的影响,设计了一套光照采集系统,由光照箱、数码相机、计算机等硬件系统和图像采集软件系统组成。光照箱由一个内壁黑色、顶部两端分别装有2个10 W 荧光灯(色温6 500 K)的积分球构成,底部盛装样本,黑色背景。灯箱顶部中央取直径65 mm的圆孔,作为数码相机的取景位置,用Canon A640数码相机,

采用近拍模式、自动白平衡、 1280×960 分辨率, 进行拍摄。数码相机不使用闪光灯, 并固定各种设置, 以保证每个图像具有相同的采集条件。获得的数码照片以 JPEG 格式传入计算机。

1.2 图像预处理

在进行病害图像特征提取之前, 需将病斑从叶片图像中分离出来, 本试验中采用基于图像灰度直方图分析的阈值分割算法来实现病斑的分割(张强和王正林, 2009)。图像分析处理采用 MATLAB 7.0.1 软件(The Math Works 公司)。

1.3 病斑特征提取

1.3.1 颜色特征的提取

将 HIS 模型和 RGB 模型配合使用提取病斑的颜色特征。RGB 系统中, R、G、B 分别表示红、绿、蓝三基色的亮度值。对 R、G、B 进行归一化得到色度坐标 r 、 g 、 b , 可以消除不同环境条件下光强等差异所造成的误差(柴阿丽等, 2009)。HIS 系统中, H、S、I 分别表示色调、饱和度和亮度。RGB 到 HIS 的转化公式参考岑喆鑫等(2007)的文献。提取病斑区域的 R 均值 C_R 、G 均值 C_G 、B 均值 C_B 、 r 均值 C_r 、 g 均值 C_g 、 b 均值 C_b 、H 均值 C_H 、I 均值 C_I 和 S 均值 C_S 等 9 个参数作为病斑的颜色特征参数。

1.3.2 形状特征的提取

病斑图像经过边缘提取和图像分割后, 得到目标病斑图像的边缘和区域, 以此来获得病斑的形状特征。作者选择了病斑区域的圆形成度 S_{CIR} 、偏心率 S_{ECC} 、形状复杂性 S_{COM} 和形状参数 S_{FAC} 等特征值作为病斑的颜色特征参数, 计算公式如下:

$$S_{CIR} = R_{incircle}/R_{excircle}; S_{ECC} = Length_{long}/Length_{short}; S_{COM} = (Perimeter)^2/Area; S_{FAC} = 4\pi \times Area / (Perimeter)^2。$$

式中 $R_{incircle}$ 为病斑内切圆半径, $R_{excircle}$ 为病斑外切圆半径, $Length_{long}$ 为病斑长轴长度, $Length_{short}$ 为病斑短轴长度, $Perimeter$ 为病斑周长, $Area$ 为病斑区域面积。公式表示的形状特征的物理意义参见王克如(2005)和王晓峰等(2006)。

1.3.3 纹理特征的提取

叶片发病后病变组织的纹理在粗细、排列上与健康组织有很大差别。这里采用灰度共生矩阵法提取了病斑区域的对比度 T_{CON} 、相关性 T_{COR} 、能量 T_{ENE} 、惯性矩 T_{INV} 和熵 T_{ENT} 等参数来表示病斑纹理特征, 计算公式如下:

$$T_{CON} = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} (i-j)^2 p(i,j); T_{COR} = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} \frac{ijp(i,j) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y}; T_{ENE} = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} [p(i,j)]^2; T_{INV} = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} \frac{p(i,j)}{1+(i-j)^2}; T_{ENT} = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} p(i,j) \log_2[p(i,j)]。$$

式中 μ_x 、 μ_y 是均值, σ_x 、 σ_y 是方差, $p(i,j)$ 指归一化后的灰度共生矩阵, i 、 j 分别表示像素的灰度值, G 为图像灰度级。公式表示的纹理特征的物理意义参见王克如(2005)。

1.4 病斑特征选择与模型建立

数据统计分析采用 SAS 9.0 软件。经过特征值提取, 每个病斑样本都获得包括颜色、纹理、形状特征的 18 个参数组成的特征向量。通过降维方法压缩数据量以加快运算速度, 本文中采用了逐步判别和主成分分析两种方法实现数据的降维, 然后分别结合贝叶斯(Bayes)判别分析和费歇尔(Fisher)判别分析, 利用降维后的特征参数构建判别函数(高惠旋, 2001)。

从番茄 4 种叶部病害中, 每种病害分别取 30 个病斑的统计数据(共 120 个样本), 作为训练集, 用于病害识别模型的构建; 每种病害其余的 30 个病斑的统计数据(共 120 个样本), 作为测试

集,用于检验模型的有效性。

2 结果与分析

2.1 图像预处理

对番茄的 4 种病害 (图 1), 从采集的原始图像中剪辑出病斑区域的彩色图像 (图 2, A), 进行增强处理, 然后将彩色图像转换成 R、G、B 三个通道的灰度图像 (图 2, B、C、D), 由于 G 通道灰度图像病斑边缘及细节部分信息保存比较完整, 利于后期的分析, 因此, 对 G 通道图像进行了轮廓提取 (图 2, E) 腐蚀和膨胀等一系列处理, 将病斑从背景中分离出来, 得到一幅完整的病斑轮廓二值图像 (图 2, F), 将此图像作为模板进行合成运算得到从叶片背景中分割出来的病斑的彩色图像 (图 2, G)。

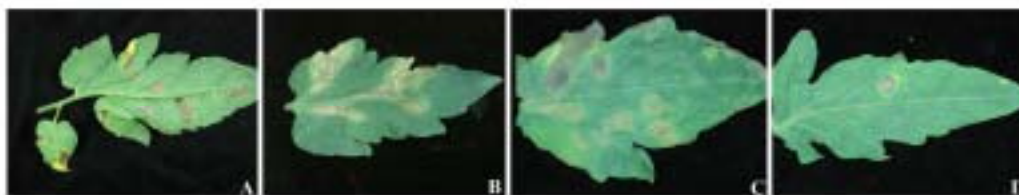


图 1 番茄早疫病 (A)、番茄晚疫病 (B)、番茄叶霉病 (C) 和番茄棒孢叶斑病 (D) 症状彩色图像

Fig. 1 Images of tomato early blight (A), tomato late blight (B), tomato leaf mold (C) and tomato leaf spot (D)

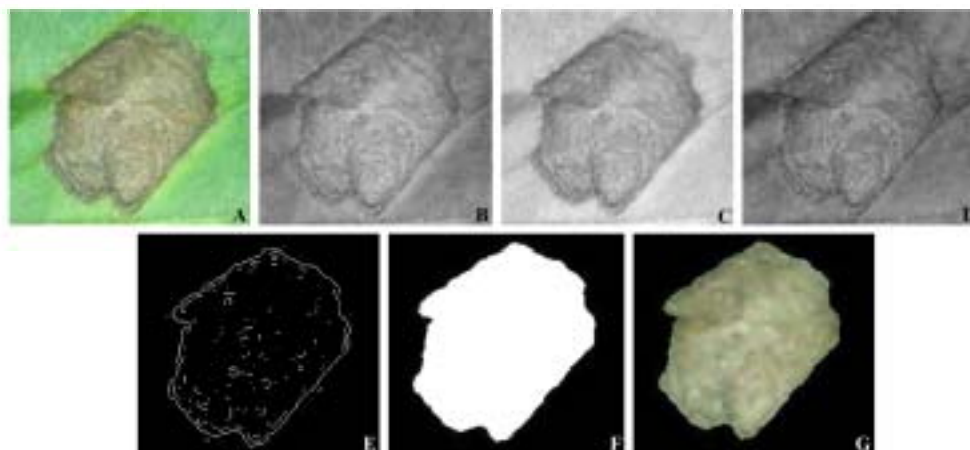


图 2 图像预处理过程

A. 剪辑病斑区域; B. R 通道灰度图像; C. G 通道灰度图像; D. B 通道灰度图像;
E. 病斑轮廓提取; F. 病斑二值图像; G. 病斑分割结果。

Fig. 2 Image pre-processing

A. Color image of lesion region; B. Gray image in R channel; C. Gray image in G channel;
D. Gray image in B channel; E. Extraction of lesion profile; F. Binary image of
disease spot; G. Segmentation of disease spot.

2.2 逐步判别与贝叶斯判别结果

对训练集中 120 个样本的 18 个特征参数进行逐步判别分析, 根据 Wilks' Lambda 统计量, 选定了适合番茄 4 种病害识别的 8 个颜色参数 R 均值 C_R 、G 均值 C_G 、B 均值 C_B 、H 均值 C_H 、S 均值 C_S 、I 均值 C_I 、g 均值 C_g 和 b 均值 C_b , 1 个形状参数圆形度 S_{CIR} , 3 个纹理参数对比度 T_{CON} 、相关度 T_{COR} 和熵 T_{ENT} 等共 12 个有效特征参数。其中, 颜色参数占的比重最大, 说明在病害识别方面病斑的颜色贡献最大。利用上述选择的 12 个特征参数, 对番茄早疫病、番茄晚疫病、番茄叶霉病、番茄棒孢叶斑病进行 Bayse 判别分析, 表 1 为建立的贝叶斯判别函数方程。

表 1 番茄 4 种病害的贝叶斯判别函数
Table 1 Bayes discriminant function of the four classes

名称 Name	判别函数方程 Discriminant function
番茄早疫病 Tomato early blight	$Y1 = -15738 + 88.45 \times C_R + 14.94 \times C_G - 11.77 \times C_B + 2.60 \times C_H + 26.53 \times C_S - 78.75 \times C_I + 159.52 \times C_g + 180.08 \times C_b - 3.50 \times S_{CIR} + 812.73 \times T_{CON} - 6.62 \times T_{COR} + 32.05 \times T_{ENT}$
番茄晚疫病 Tomato late blight	$Y2 = -15736 + 89.19 \times C_R + 14.18 \times C_G - 12.27 \times C_B + 2.58 \times C_H + 26.44 \times C_S - 78.73 \times C_I + 159.62 \times C_g + 181.25 \times C_b - 2.69 \times S_{CIR} + 942.57 \times T_{CON} - 6.58 \times T_{COR} + 31.27 \times T_{ENT}$
番茄叶霉病 Tomato leaf mold	$Y3 = -16146 + 90.32 \times C_R + 16.74 \times C_G - 10.25 \times C_B + 4.74 \times C_H + 28.86 \times C_S - 83.21 \times C_I + 158.04 \times C_g + 182.68 \times C_b - 2.51 \times S_{CIR} + 813.38 \times T_{CON} - 5.90 \times T_{COR} + 27.62 \times T_{ENT}$
番茄叶斑病 Tomato leaf spot	$Y4 = -15493 + 87.72 \times C_R + 10.37 \times C_G - 9.85 \times C_B + 0.65 \times C_H + 26.86 \times C_S - 75.34 \times C_I + 158.66 \times C_g + 177.74 \times C_b - 3.13 \times S_{CIR} + 1928.00 \times T_{CON} - 7.17 \times T_{COR} + 46.58 \times T_{ENT}$

根据建立的 Bayes 线性判别函数对参加建模的 4 种病害各 30 个病斑样本进行回判, 结果如表 2 所示, 4 类样本的判别正确率均为 100%。由于判别模型是根据训练样本信息得到, 故可能夸大判别效果。为了验证模型的有效性, 以未参加建模的 4 种病斑的 120 个图像样本作为测试集对模型进一步检验, 结果对番茄早疫病、晚疫病和叶霉病的识别正确率均达到 100%, 而番茄棒孢叶斑病的识别正确率仅为 76.67%。番茄棒孢叶斑病样本中有 6 个叶片被错判为番茄早疫病, 1 个叶片被错判为番茄叶霉病。分析错判的原因可能是由于番茄棒孢叶斑病大病斑与番茄早疫病病斑的颜色和形状较其他两种病害更为相似, 另一方面建模的样本量少也是造成判别函数识别错误的原因之一。但总体来说, 建立的 Bayes 线性判别模型对测试集叶片病害样本的识别率可达到 94.17%, 说明逐步判别与贝叶斯判别相结合可用于番茄 4 种病害鉴别的特征参数的选择和识别模型的构建。

表 2 贝叶斯判别模型对番茄 4 种病害的识别结果
Table 2 Bayes discrimination results of training and testing samples

名称 Name	样本数 Sample		正确识别数 Correct number		正确识别率/% Correct rate	
	训练集 Training set	测试集 Testing set	训练集 Training set	测试集 Testing set	训练集 Training set	测试集 Testing set
番茄早疫病 Tomato early blight	30	30	30	30	100.00	100.00
番茄晚疫病 Tomato late blight	30	30	30	30	100.00	100.00
番茄叶霉病 Tomato leaf mold	30	30	30	30	100.00	100.00
番茄叶斑病 Tomato leaf spot	30	30	30	23	100.00	76.67
合计 Total	120	120	120	120	100.00	94.17

2.3 主成分分析与费歇尔判别结果

对所有240个样本的18个特征参数进行主成分分析，第一主分量（PC1）和第二主分量（PC2）的贡献率分别为63.83%和26.84%，前两个主分量的累积贡献率达到90.68%，显示了相当好的分类拟合度，因此只需用前两个主分量就能很好地对4种番茄病害进行分类（图3）。

利用PC1、PC2构建判别函数方程（表3），对番茄早疫病、番茄晚疫病、番茄叶霉病和番茄棒孢叶斑病病害图像样本进行分类，番茄叶霉病的判别准确率达到100%，而番茄早疫病、晚疫病和棒孢叶斑病的判别准确率分别为95.00%、98.33%和98.33%。其中，番茄早疫病有3个样本被错判为晚疫病，而晚疫病和棒孢叶斑病分别有1个叶片样本被错判为早疫病。虽然与逐步判别模型仅有棒孢叶斑病1种病害发生错判相比，主成分分析与费歇尔判别相结合建立的模型有3种病害均有错判现象发生，但后者的总体判别准确率又较前者稍高，达到98.32%。说明试验构建的费歇尔判别模型对番茄4种病害的分类效果也比较好的。

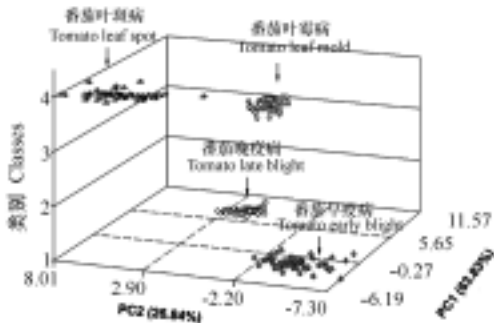


图 3 番茄 4 种病害主成分分析散点图
Fig. 3 Scatter plot of four classes with two PC scores

表 3 番茄 4 种病害识别的费歇尔判别函数及其识别结果
Table 3 Fisher discriminant functions and their discrimination results

名称 Name	判别函数方程 Discriminant function	样本数 Sample	正确识别数 Correct number	正确识别率/% Correct rate
番茄早疫病 Tomato early blight	$Y1 = -9.95 - 1.64 PC1 - 4.15 PC2$	60	57	95.00
番茄晚疫病 Tomato late blight	$Y2 = -6.87 - 3.21 PC1 - 1.85 PC2$	60	59	98.33
番茄叶霉病 Tomato leaf mold	$Y3 = -41.24 + 9.03 PC1 - 4.18 PC2$	60	60	100.00
番茄叶斑病 Tomato leaf spot	$Y4 = -21.56 - 4.18 PC1 + 5.06 PC2$	60	59	98.33
合计 Total	—	240	235	98.32

3 讨论

本研究利用计算机视觉和图像处理技术诊断番茄叶部病害的方法。构建了一个计算机视觉图像采集系统用于室内病害样本图像的采集，利用数字图像处理技术实现病斑的分割。提取了每个病斑样本的颜色、纹理、形状信息等 18 个特征参数，然后，同时采用逐步判别与贝叶斯判别相结合和主

成分分析与费歇尔判别相结合两种方法实现特征参数的提取和判别函数的构建。逐步判别方法选择了 8 个颜色参数 R 均值 C_R 、G 均值 C_G 、B 均值 C_B 、H 均值 C_H 、S 均值 C_S 、I 均值 C_I 、g 均值 C_g 和 b 均值 C_b ，1 个形状参数圆弧度 S_{CIR} ，3 个纹理参数对比度 T_{CON} 、相关度 T_{COR} 和熵 T_{ENT} 等共 12 个参数用于构建病害识别模型，对训练样本和测试样本的识别正确率分别为 100% 和 94.71%。主成分分析将原始 18 个特征参数压缩为 2 个主分量，构建的判别模型对所有样本的识别准确率达到 98.32%。这一结果与前人在玉米病害识别方面的结果有一定的相似性（王娜 等，2009），都提取了病斑的颜色、纹理、形状信息，但是在最后选择的参数上又存在差异，王娜等（2009）提取了病斑的 H 值、颜色矩、病斑面积、形状因子等 4 个特征向量，说明利用计算机视觉技术综合病斑的颜色、纹理、形状信息进行植物病害的识别是可行的，但这一结论是否能推广应用还需要在特征的提取算法以及有效特征参数的选择方面进一步研究。

分析 4 种病害的判别结果，可以看出番茄叶霉病的识别准确率最高，均达到 100%，这与番茄叶霉病较其他 3 种病害，其症状以肉眼判断的差别较大有关系；对番茄棒孢叶斑病的识别准确率最低，可能与番茄棒孢叶斑病病斑较小，不易进行病斑分割和特征提取等原因有关。

综合来看，研究建立的两个病害识别模型都获得了较好的分类效果，说明利用计算机视觉技术可以实现对番茄病害的识别，为开发具有实用价值的植物病害自动诊断和监测系统提供了一定的理论基础和实用技术，对促进电子信息技术在植物保护领域的应用具有一定的实践意义。然而，由于影响植物病斑形成的因素很多，各种病害在不同的发病时期又会呈现出不同的症状，如何利用计算机视觉技术建立全面有效的病害识别方法还需要进一步研究。

References

- Ahmad I S, Reid J F, Paulsen M R, Sinclair J B. 1999. Color classifier for symptomatic soybean seeds using image processing. *Plant Disease*, 83 (4): 320–327.
- Blanchette R A. 1982. New technique to measure tree defect using an image analyze. *Plant Disease*, 66 (5): 394–397.
- Cen Zhe-xin, Li Bao-ju, Shi Yan-xia, Huang Hai-yang, Liu Jun, Liao Ning-fang, Feng Jie. 2007. Discrimination of cucumber anthracnose and cucumber brown speck base on color image statistical characteristics. *Acta Horticulturae Sinica*, 34 (6): 1425–1430. (in Chinese)
- 岑喆鑫, 李宝聚, 石延霞, 黄海洋, 刘 君, 廖宁放, 冯 洁. 2007. 基于彩色图像颜色统计特征的黄瓜炭疽病和褐斑病的识别研究. *园艺学报*, 34 (6): 1425–1430.
- Chai A-li, Li Bao-ju, Wang Qian, Shi Yan-xia, Huang Hai-yang. 2009. Detecting chlorophyll content of tomato leaves with technology of computer vision. *Acta Horticulturae Sinica*, 36 (1): 45–52. (in Chinese)
- 柴阿丽, 李宝聚, 王 倩, 石延霞, 黄海洋. 2009. 基于计算机视觉技术的番茄叶片叶绿素含量的检测. *园艺学报*, 36 (1): 45–52.
- Cheng Peng-fei. 2005. Recognition and extract of characteristic values for plants diseases [Ph. D. Dissertation]. Taiyuan: Shanxi Agricultural University. (in Chinese)
- 程鹏飞. 2005. 植物病害的图像处理及特征值提取方法的研究 [博士论文]. 太谷: 山西农业大学.
- Choi K, Lee G, Han Y J, Bunn J M. 1995. Tomato maturity evaluation using color image analysis. *Transaction of the ASAE*, 38 (1): 171–176.
- Gao Hui-xuan. 2001. Practical statistical method and SAS system. Beijing: Beijing University Press. (in Chinese)
- 高惠旋. 2001. 实用统计方法与 SAS 系统. 北京: 北京大学出版社.
- Jiang Shu-hua, Tian You-wen, Sun Hai-bo. 2007. Research of automatic menstruation and classification for degree disserved of crop disease. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 5: 61–63. (in Chinese)
- 姜淑华, 田有文, 孙海波. 2007. 农作物病害危害程度自动测定与分级的研究. *农机化研究*, 5: 61–63.
- Lindow S E, Webb R R. 1983. Quantification of foliar plant disease symptoms by microcomputer-digitized video image analysis. *Phytopathology*, 73 (4): 520–524.

- Sasaki Y, Okamoto T, Imou K, Tor T. 1999. Automatic diagnosis of plant disease. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 61 (2): 119–126.
- Tian You-wen, Zhang Chang-shui, Li Cheng-hua. 2004. Application of support vector machine to shape recognition of plant disease spot. Transactions of the CSAE, 20 (3): 134–136. (in Chinese)
- 田有文, 张长水, 李成华. 2004. 支持向量机在植物病斑形状识别中的应用研究. 农业工程学报, 20 (3): 134–136.
- Wang Hui-zhe, Li Shu-ju, Huo Zhen-rong, Pang Jin-an. 2006. Physiological changes of cucumber after being infected by *Sphaerotheca fuliginea*. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 21 (1): 105. (in Chinese)
- 王惠哲, 李淑菊, 霍振荣, 庞金安. 2006. 黄瓜感染白粉病菌后的生理变化. 华北农学报, 21 (1): 105.
- Wang Ke-ru. 2005. Diagnosis of crop disease, insect pest and weed based on image recognition [Ph. D. Dissertation]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. (in Chinese)
- 王克如. 2005. 基于图像识别的作物病虫害诊断研究 [博士论文]. 北京: 中国农业科学院.
- Wang Na, Wang Ke-ru, Xie Rui-zhi, Lai Jun-chen, Ming Bo, Li Shao-kun. 2009. Maize leaf disease identification based on fisher discrimination analysis. Scientia Agricultura Sinica, 42 (11): 3836–3842. (in Chinese)
- 王娜, 王克如, 谢瑞芝, 赖军臣, 明博, 李少昆. 2009. 基于Fisher判别分析的玉米叶部病害图像识别. 中国农业科学, 42 (11): 3836–3842.
- Wang Xiao-feng, Huang De-shuang, Du Ji-xiang, Zhang Guo-jun. 2006. Feature extraction and recognition for leaf images. Computer Engineering and Application, 42 (11): 190–193. (in Chinese)
- 王晓峰, 黄德双, 杜吉祥, 张国军. 2006. 叶片图像特征提取与识别技术的研究. 计算机工程与应用, 42 (11): 190–193.
- Zhang Qiang, Wang Zheng-lin. 2009. Proficient in MATLAB image processing. Beijing: Publishing House of Electronics Industry: 192–225, 272–298. (in Chinese)
- 张强, 王正林. 2009. 精通MATLAB图像处理. 北京: 电子工业出版社: 192–225, 272–298.
- Zhao Yu-xia, Wang Ke-ru, Bai Zhong-ying, Li Shao-kun, Xie Rui-zhi, Gao Shi-ju. 2007. Research of maize leaf disease identifying system based image recognition. Scientia Agricultura Sinica, 40 (4): 698–703. (in Chinese)
- 赵玉霞, 王克如, 白中英, 李少昆, 谢瑞芝, 高世菊. 2007. 基于图像识别的玉米叶部病害诊断研究. 中国农业科学, 40 (4): 698–703.

欢迎订阅《园艺学报》

《园艺学报》是中国园艺学会和中国农业科学院蔬菜花卉研究所主办的学术期刊,创刊于1962年,刊载有关果树、蔬菜、观赏植物、茶及药用植物等方面的学术论文、研究报告、专题文献综述、问题与讨论、新技术新品种以及园艺研究动态与信息,适合园艺科研人员、大专院校师生及农业技术推广部门专业技术人员阅读参考。

《园艺学报》是中文核心期刊,被中国科学引文数据库 Chinese Science Citation Database 等多家重要数据库收录。《园艺学报》2005年荣获第三届国家期刊奖,2008年获中国科技信息研究所“中国精品科技期刊”称号及武汉大学中国科学评价研究中心“中国权威学术期刊”称号,2009年获中国期刊协会和中国出版科学研究所“新中国60年有影响力的期刊”称号。2008年《园艺学报》总被引频次4591次,影响因子1.075。

《园艺学报》为月刊,每月25日出版。2011年每期定价40.00元,全年480.00元。国内外公开发行,全国各地邮局办理订阅,国内邮发代号82–471,国外发行由中国国际图书贸易总公司承办,代号M448。漏订者可直接寄款至本编辑部订购。

编辑部地址:北京市海淀区中关村南大街12号 中国农业科学院蔬菜花卉研究所《园艺学报》编辑部;

邮政编码:100081;电话:(010)82109523。

E-mail: yuanyixuebao@126.com。网址: <http://www.ahs.ac.cn>。