排灌机械工程学报
Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering
2018 年 8 月 Aug. 2018 | 第 36 卷 第 8 期 Vol. 36 No. 8
doi:10.3969/j.issn.1674-8530.18.1032

小桐子种子图像的背景分割与参数检测

王焕昌，杨启良*，杨莹
（昆明理工大学现代农业工程学院，云南 昆明 650500）


王焕昌

摘要：为解决凭借人工经验方式对小桐子种子品质进行筛选效率较低、主观性强、错误率高且实时性差等问题，采用数字图像处理技术对小桐子种子图像进行分析，针对其特征对图像进行了 R,G,B 彩色分量的算术运算融合，采用形态学开运算进行消噪处理，并根据 OTSU 方法进行自适应的阈值选取将图像处理成二值图像，利用 LOG 算子实现了图像的边缘提取，且通过计算得到了小桐子种子的部分形态特征参数值. 结果表明，与人工分割的方法相对比，90 幅具有不同摆放方式的小桐子种子图像的平均分割误差不超过 0.63%，最大分割误差为 1.07%，均方误差 σ 不超过 0.006 4，能较为准确地实现小桐子种子图像的背景分割和参数检测.

关键词：小桐子种子；背景分割；参数检测；摆放方式；形态特征
中图分类号：TP274.5　**文献标志码**：A　**文章编号**：1674-8530(2018)08-0713-06

王焕昌，杨启良，杨莹. 小桐子种子图像的背景分割与参数检测[J]. 排灌机械工程学报,2018,36(8):713-718.

WANG Huanchang, YANG Qiliang, YANG Ying. Background segmentation and parameter detection of *Jatropha* seeds images[J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering(JDIME), 2018,36(8):713-718. (in Chinese)

Background segmentation and parameter detection of *Jatropha* seeds images

WANG Huanchang, *YANG Qiliang**, *YANG Ying*
(College of Modern Agricultural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650500, China)

Abstract: In order to solve the problems of low efficiency, strong subjectivity, high error rates and poor real time that when selecting the quality of *Jatropha* seeds by experience, the images of *Jatropha* seeds were analyzed by digital image processing technology. Aiming at the characteristics of *Jatropha* seeds images, the R,G,B color components by arithmetic were firstly fused, then the arithmetic results were processed for noise cancellation by morphological opening operation, the adaptive threshold selection method was used for these images which were converted into binary images according to the method of OTSU and the edge extraction of images was realized by way of LOG operator. The portion of *Jatropha* seeds morphology parameters with the procedure of image processing finally was also calculated and got. Compared with the artificial segmentation method, the experimental results show that although the background segmentation of *Jatropha* seeds images produces certain errors because the *Jatropha* seeds which are irradiated by light generate unequal shaded area in various display modes, overall average error of segmentation is less than 0.63%, the maximum error is 1.07% and the mean square error σ is not over 0.006 4 in 90 images of *Jatropha* seeds. Above all, this algorithm can achieve the accurate and reliable background segmentation and parameter detection of *Jatropha* seeds images.

收稿日期：2018-03-19；**修回日期**：2018-05-11；**网络出版时间**：2018-06-13
网络出版地址：http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20180613.1518.020.html
基金项目：国家自然科学基金资助项目(51379004,51009073,51109012)
第一作者简介：王焕昌(1993—)，男，河南商丘人，硕士研究生(2581865832@qq.com)，主要从事农业智能化检测与控制技术研究.
通信作者简介：杨启良(1978—)，男，云南昆明人，教授(yangqilianglovena@163.com)，主要从事农业节水理论与新技术研究.

Key words: *Jatropha* seeds; background segmentation; parameter detection; display mode; morphological characteristic

小桐子(*Jatropha curcas* L.)又称麻疯树、黑皂树、臭油桐等,属于大戟科麻疯树属落叶灌木或小乔木,主要分布于热带、亚热带及干热河谷地区. 小桐子不仅栽培成本低、能耐干旱贫瘠、保护生态环境,而且因其果实含油量高、油脂组成优良,也被视为具有较大开发潜力的生物柴油原料之一[1]. 小桐子种子的含油率较高,可达34%~38%,种仁含油率可达55%~62%,若采用常规方法榨油,其种子的出油率为25%左右,如果用化学法提取,出油率可达30%以上[2]. 近年来,中国国航、新西兰航空公司接连以小桐子航空生物燃油为燃料试飞成功,然而,由于小桐子种子的质量、体积等参数会对其含油率的多少产生一定影响,因此在小桐子生物燃油产业不断发展的同时,面向其种子品质的筛选分级已经成为需要解决的问题之一[3]. 目前,针对小桐子种子品质的筛选仍然主要依赖于人工的经验判断,但此方法识别效率较低、主观性强、错误率高且实时性差,若应用数字图像处理技术对小桐子种子的品质进行判断,不仅能够快速准确地完成识别和筛选,而且还能为小桐子种子品质与出油率之间的关系研究提供科学的理论依据[4].

目标与背景的分割以及参数检测是图像处理与识别的关键步骤之一,是指将一幅图像分解为若干互不交叠的、有意义的、具有相同性质的区域,且背景分割质量的好坏直接影响后续图像处理的效果,其作用是至关重要的[5]. 目前,许多国内外学者针对不同种类物质的背景分割都做出了大量的研究. BLASCO 等[7]在对柑橘皮病斑的研究中,经过了种子的选取,区域生长迭代法和分裂合并3个步骤,将柑橘皮的病斑区域很好地分割出来,准确率在95%左右. 由于小桐子果实的物理尺寸相对较小,完全采用上述方式虽然可以分离小桐子果实,但在大量的小桐子背景分离过程中,很容易受到其物理尺寸相对较小且不规则摆放对其分离背景的影响,所以上述研究方法并不能完全适用于小桐子种子图像的背景分割和参数检测.

文中以小桐子种子为研究对象,针对其物理尺寸相对较小,且在大量的小桐子果实分离过程中其果实的摆放不规则的问题,选取了3种具有代表性的摆放方式,然后根据其图像特点进行了 R,G,B 彩色分量的算术运算融合,采用形态学开运算进行消噪处理,并根据 OTSU 方法[8]进行自适应的阈值选取将图像处理成二值图像,采用 LOG 算子实现了图像的边缘提取,使小桐子种子能够从背景中被较为清晰地分割出来并得到光滑且具有较低伪边缘响应的分割边界,最后通过计算得到了小桐子种子的部分形态特征参数值.

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验选取的小桐子种子来源于云南省元谋干热河谷区种植的小桐子树,经采摘、去壳和晒干等处理后,该小桐子种子的外观特征主要表现为整体颜色近于黑色但表面具有白色的小斑点. 采用佳能 EOS 550D(约1 790万像素)彩色单反数码相机在实验室自然光条件下进行拍摄,拍摄时尽量使相机与小桐子种子呈现一定角度且保持不变,以保证光照充足,镜头与小桐子种子的距离大约为60 cm,所拍摄的图像大小为5 184×3 456像素并将图像转变为 BMP 文件格式以方便后续的分析和处理,如图1所示. 文中所涉及的算法均是在 Matlab R2010a 环境下实现的,该软件的运行环境是一台配置为 Intel(R) Core(TM) i5 3.20 GHz CPU,4 GB 内存,500 GB 硬盘的计算机.



图1 小桐子种子自然图像

Fig. 1 *Jatropha* seeds natural image

1.2 试验方案及步骤

试验采集的图像是在设定相机的镜头光圈及曝光时间等参数保持不变的情况下进行拍摄的,实验室内的光照强度大约为330 lx,根据小桐子种子的胚轴方向可将其摆放方式分为3种:① 胚轴垂直于水平面,胚根向上或向下;② 胚轴平行于水平面,胚根向左或向右;③ 胚轴与水平面呈随机夹角,胚根方向随机. 试验依据其不同的摆放方式共采集图

像 90 幅.

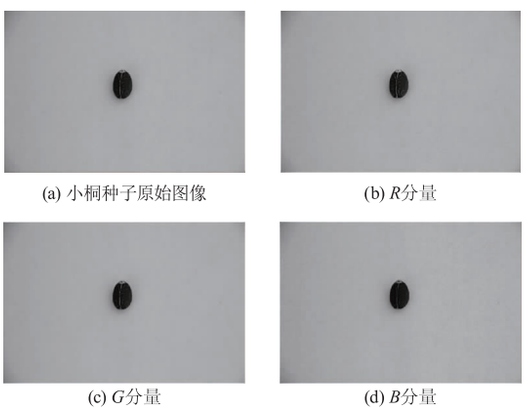
文中小桐子种子图像的 3 种摆放方式如图 2 所示,主要通过 4 步实现小桐子种子图像的背景分割和参数检测. 首先对图像的 R,G,B 彩色分量进行算术运算融合,然后对结果采用形态学开运算进行消噪处理,处理后的图像根据最大类间方差法(OTSU 法)进行自适应阈值选取并将图像处理成二值图像,最后采用 LOG 算子提取出小桐子种子图像的边缘,同时计算出二值图像的面积、离心率和延伸率等特征值.



图 2　小桐子种子图像的 3 种摆放方式图
Fig. 2　Three display modes picture of *Jatropha* seed image

1.3　R,G,B 模型与算数运算

RGB 图像就是 1 个彩色像素的 $M\times N\times 3$ 数组,其中每 1 个彩色像素点都是在特定空间位置的彩色图像相对应的红、绿、蓝 3 个分量. 文中通过对小桐子种子图像的 $R(x,y)$ 红色分量图(图 3b)、$G(x,y)$ 绿色分量图(图 3c)、$B(x,y)$ 蓝色分量图(图 3d)3 个分量进行算术运算融合得到了 1 幅新的图像 $I(x,y)$.



(a) 小桐种子原始图像　(b) R分量　(c) G分量　(d) B分量

图 3　R,G,B 3 个分量图像
Fig. 3　Images of R,G,B components

这种方法计算速度快又准确,在降低了原图像的噪声信号的同时还提高了图像的信噪比,且剔除了图像中的大部分背景与干扰因素. 其中式(1)为算术运算的具体过程.

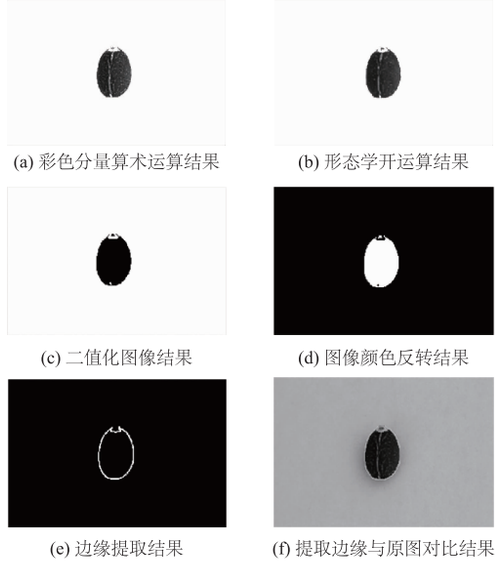
$$I(x,y)=0.2R(x,y)-0.11G(x,y)+2.8B(x,y). \tag{1}$$

1.4　形态学开运算

形态学开运算完全剔除了不能包含结构元素的对象区域,平滑了对象的轮廓且能去掉细小的突出部分. 若将一幅图像记为 A,将 IPT 函数 strel 创建的方形结构元素记为 B,则形态学开运算的过程是 A 被 B 腐蚀后再用 B 来膨胀的结果,该过程也可通过式(2)来表示

$$I=A\cdot B=\cup\{B_z\mid B_z\subseteq A\}, \tag{2}$$

式中:$\cup\{\cdot\}$ 为大括号中所有集合的并集,I 为 B 在 A 内完全匹配后平移的并集. 由于经晒干后的小桐子种子的表面会产生颗粒状的白色斑点,这加大了直接把小桐子种子从背景中分割出来的难度,同时使常规的背景分割方法失效. 而在最终的目标提取之前,采用形态学开运算不但有效地去除了小桐子种子表面的颗粒状斑点所带来的噪声,更简化了背景分割的步骤且提高了后续参数检测的精度,结果如图 4b 所示.



(a) 彩色分量算术运算结果　(b) 形态学开运算结果　(c) 二值化图像结果　(d) 图像颜色反转结果　(e) 边缘提取结果　(f) 提取边缘与原图对比结果

图 4　小桐子种子图像背景分割及目标提取结果
Fig. 4　*Jatropha* seeds images background segmentation and object extraction

1.5　图像二值化处理

利用 OTSU 方法对目标图像进行二值变换,通过类间方差最大法自动获取目标的最佳阈值,然后用这个阈值将灰度图像实现二值化的过程,该方法具有处理效率高且较为常用等特点,其结果如图 4c 所示.

1.6 边缘提取算子

图像的边缘检测是图像分割方法中区分目标与目标以及目标与背景的最重要一步. 由于2个具有不同灰度值的相邻区域之间总会存在边界,即边界是灰度值不连续的结果,一般可通过一阶和二阶导数检测到这种不连续从而实现图像的边缘检测. 因为一些基于梯度算法的算子和拉普拉斯算子对噪声十分敏感,采用它们检测有时会出现零星的伪边缘,此外,由于小桐子种子图像边缘噪声较大且较为平滑,因此采用LOG算子进行边缘检测. LOG算子区别于其他算子的主要特点是将图像首先与高斯滤波器进行卷积,式(3)为LOG算子对图像$f(x,y)$进行边缘检测的具体过程,输出$h(x,y)$由卷积运算得到.

$$h(x,y)=\left(\frac{x^2+y^2-2\sigma^2}{\sigma^4}\mathrm{e}^{\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}\right)*f(x,y). \quad (3)$$

这种方法既平滑了图像又降低了噪声,孤立的噪声点和较小的结构组织将被滤除,高斯平滑运算导致图像中边缘和其他尖锐不连续部分变得模糊,其中模糊程度取决于式(3)中的σ值,σ值越大噪声滤波效果越好,但同时可能会丢失重要的边缘信息,如果取小σ值又有可能平滑不完全而留有太多噪声. 卷积之后,通过拉普拉斯算子将边缘点转换成零交叉点最终实现边缘检测. 图4e为小桐子种子图像进行边缘提取后的结果,提取出的边缘轮廓与原图上小桐子种子的边界基本重合,且较为完整光滑,效果如图4f所示.

2 试验结果与分析

2.1 特征值形成

为了实现小桐子种子的筛选分类,需要对小桐子种子的几何特征和形状特征,如面积、延伸率、离心率以及最小外接矩形面积等因素进行鉴别,通过将这些因素与小桐子种子的真实情况进行比较,简化并提高了小桐子种子各项参数的人工测量精度,同时量化小桐子种子图像背景分割和边缘提取的偏差,从而判断分割的优劣.

小桐子种子的形状呈现不规则的椭圆形,其外观主要表现为整体颜色近于黑色但表面具有白色的小斑点,根据这些具体特点,文中主要针对小桐子种子图像的面积、延伸率、离心率以及最小外接矩形面积等因素进行了分析. 其中各特征值的定义如下:① 面积,主要指在整个图像中目标所占的像素点总数,再通过与单位像素所对应的面积进行运算,将像素点个数转化为真实的面积以方便鉴别;② 最小外接矩形面积,通过Matlab软件中的Regionprops函数获得,可与面积特征联合从而更好地判断出图像背景分割的误差;③ 延伸率,最小外接矩形宽和长的比值,对于圆形的目标来说,延伸率为1,若延伸率越小,则目标越细长;④ 离心率,椭圆2焦点间的距离和长轴长度的比值,一般用于度量椭圆的扁平程度,圆形的离心率等于0,椭圆的离心率在0和1之间,且越大则越扁平,可以较为准确地判断小桐子种子的扁平程度.

2.2 小桐子种子图像背景分割与参数检测的误差

根据小桐子种子的胚轴方向,选取相同的小桐子种子分别通过3种不同的摆放方式进行拍照,即① 垂直方向:胚轴垂直于水平面,胚根向上或向下;② 水平方向:胚轴平行于水平面,胚根向左或向右;③ 随机方向:胚轴与水平面呈随机夹角,胚根方向随机. 针对这3种不同摆放方式的小桐子种子图片的面积、延伸率、离心率以及最小外接矩形面积进行分析,在外界环境和拍照角度基本保持不变的情况下,选取5个不同的小桐子种子分别从垂直方向、水平方向和随机方向各拍6张图片,求取5个小桐子在不同摆放方式下形态特征因素的平均值,如图5所示. 图中S为单位面积,R_1为比率.

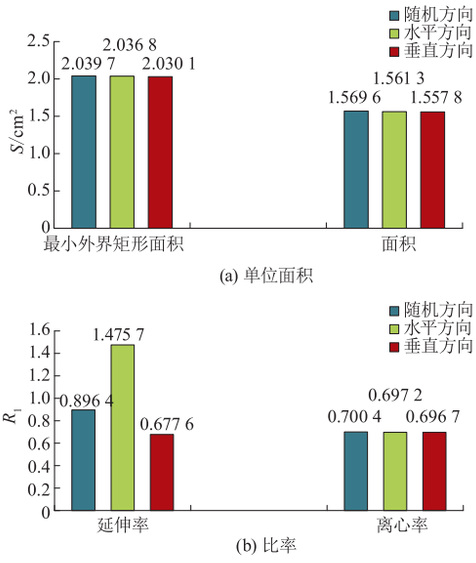


图5 小桐子种子图像形态特征因素均值

Fig. 5 Morphological characteristic factors mean of *Jatropha* seeds images

由图5可以看出,相同的小桐子种子在不同的摆放方式下,其各个形态特征因素的均值产生了较小的变化,这是由于不同的摆放方式下,光线照射

小桐子种子所产生的阴影面积不同,从而导致对小桐子种子图像的背景分割产生了一定的误差. 在图 5b 中,延伸率实际上是最小外接矩形宽和长的比值,不同的摆放方式虽然对最小外接矩形的面积影响较小,但却导致最小外接矩形的宽和长产生了较大的变化,且延伸率越小,则说明目标越细长,所以 3 种不同摆放方式下延伸率的变化幅度较为明显.

为了能够更加明确地判断小桐子种子图像背景分割及参数检测的效果,文中将背景分割的误差定义为

$$R_2 = \left| \frac{(S_1 S_0 - W_1)}{W_1} \right| \times 100\%, \qquad (4)$$

式中:S_0 为单位像素的面积,cm^2;S_1 为小桐子种子所占的像素点总数;W_1 为通过人工分割计算得到的小桐子种子的实际面积,cm^2;单位像素的面积 S_0 是在外界环境因素与拍摄小桐子种子原始图像时基本相同的条件下,由标准面积与其对应的像素点总数的比值计算得来,R_2 为最终背景分割结果的相对误差,如表 1 所示. 表中,n 为图像个数,ε_{min} 为最小误差,ε_{max} 为最大误差,$\bar{\varepsilon}$ 为平均误差.

表 1　不同摆放方式下背景分割误差统计

Tab. 1　Background segmentation error statistics in different display modes

摆放方式	n	ε_{min}	ε_{max}	$\bar{\varepsilon}$	σ
垂直方向	30	0.18%	0.85%	0.42%	0.005 5
水平方向	30	0.26%	0.77%	0.45%	0.005 8
随机方向	30	0.37%	1.07%	0.63%	0.006 4

由表 1 可得,当小桐子种子的胚轴方向垂直于水平面和平行于水平面时,背景分割的平均误差不超过 0.45%,且最大误差为 0.85%,最大均方误差 σ 为 0.005 8;当小桐子种子的胚轴方向随机摆放时,虽然背景分割的误差较大于另外 2 种摆放方式,但最大分割误差不超过 1.07%,均方误差 σ 不超过 0.006 4,能够满足分割要求. 导致胚轴方向随机摆放时误差增大的原因是小桐子种子的边缘和阴影部分产生粘连,且由于摆放方式不固定,因此粘连部分的面积大小也随之不断变化. 此外,部分小桐子种子的边缘存在白色斑点,导致分割边界模糊难以区别,这也是使背景分割产生误差的主要影响因素之一.

3　讨　论

1) 针对目标轮廓的检测是数字图像处理技术中的主要研究内容之一,如何精确地提取目标轮廓已成为被广泛关注的问题. 任守纲等[9]提出的基于梯度和分水岭的分割算法能够很好地从自然背景中提取出蝴蝶兰图像. 刁智华等[10]利用超绿特征提取出复杂背景下彩色图像中的类病斑. 由此可见,根据需要识别的目标的种类、大小和外观等特征差异,采取相应的方法去分析图像会得到较为精确的结果;文中根据小桐子种子外表颜色较深、呈不规则椭圆形以及表面有白色小斑点等特征,采用与其相适应的算法,能够较为准确地对小桐子种子图像进行背景分割和参数检测;但当外界环境因素发生较大变化,如光照强度或角度发生改变时,则会导致背景分割及参数检测的精度降低,因此该算法的普遍性和实用性还有待进一步的改善.

2) 小桐子种子的个体差异不是十分明显,在识别和分类的过程中,除了需要根据其形态特征因素进行区分以外,还可以结合纹理特征进行识别,并融合超声波、红外、光谱、小波等技术,进行各信息特征量之间的互补,这能够充分提高背景分割和参数检测的稳定性和实用性[27].

4　结　论

文中基于小桐子种子外表颜色近于黑色,表面具有白色的小斑点以及呈不规则椭圆形等形态特征,首先对图像的 R,G,B 彩色分量进行算术运算融合,然后对结果采用形态学开运算进行消噪处理,处理后的图像根据 OTSU 法进行自适应的阈值选取并将图像处理成二值图像,最后采用 LOG 算子对小桐子种子图像进行边缘提取,并得到了光滑且具有较低伪边缘响应的分割边界,同时计算出了二值图像的面积、离心率、延伸率和最小外接矩形面积等特征值. 通过对 90 幅具有不同摆放方式的小桐子种子图像进行试验,并与人工分割的方法进行对比,证明该算法能够较为准确地将小桐子种子从背景中分割出来,虽然各个形态特征因素的均值产生了较小的变化,但总体平均分割误差不超过 0.63%,最大分割误差为 1.07%,均方误差 σ 不超过 0.006 4,达到了图像处理技术中背景分割和参数检测的基本需求,为后期大量的小桐子果实的快速筛选和识别奠定了基础,后期的研究可以从小桐子果实规则摆放到非规则摆放条件下进行下一步的研究,从而使得研究结果能够应用在实际的生产过程中.

参考文献(References)

[1]　杨启良,孙英杰,齐亚峰,等. 不同水量交替灌溉对小

桐子生长调控与水分利用的影响[J]. 农业工程学报,2012,28(18):121 - 126.
YANG Qiliang, SUN Yingjie, QI Yafeng, et al. Effects of alternated different irrigation amount modes on growth regulation and water use of *Jatropha curcas* L. [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(18): 121 - 126. (in Chinese)

[2] SINGH R N, VYAS D K, SRIVASTAVA N S L, et al. SPRERI experience on holistic approach to utilize all parts of *Jatropha curcas* fruit for energy[J]. Renewable energy, 2008, 33: 1868 - 1873.

[3] DHANYA M S, GUPTA N, JOSHI H C, et al. Biogas potentiality of agro-wastes *Jatropha* fruit coat[J]. International journal of environmental science and engineering, 2009, 1(3): 136 - 140.

[4] ACHTEN W M J, MAES W H, AERTS R, et al. *Jatropha*: from global hype to local opportunity[J]. Journal of arid environments, 2010, 74(1): 164 - 165.

[5] VINCENT L, SOILE P. Watershed in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations[J]. IEEE transaction of pattern analysis and machine intelligence, 1991, 13(6): 583 - 598.

[6] 王福杰,饶秀勤,应义斌. 苹果图像的背景分割与目标提取[J]. 农业机械学报,2013,44(1): 196 - 210.
WANG Fujie, RAO Xiuqin, YING Yibin. Background segmentation and object extraction of apples images[J]. Transactions of the CSAM, 2013, 44(1): 196 - 210. (in Chinese)

[7] BLASCO J, ALEIXOS N. Computer vision detection of peel defects in citrus by means of a region oriented segmentation algorithm [J]. Journal of food engineering, 2007, 81(3): 535 - 543.

[8] OTSU N. Threshold selection method from gray-level histograms[J]. IEEE transactions on systems man and cybernetics, 1979, 9(1): 62 - 66.

[9] 任守纲,马超,谢忠红,等. 基于分水岭和梯度的蝴蝶兰图像分割方法[J]. 农业工程学报,2012,28(9): 125 - 129.
REN Shougang, MA Chao, XIE Zhonghong, et al. Image segmentation algorithm for Phalaenopsis amabilis based on watershed algorithm and gradient[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(9): 125 - 129. (in Chinese)

[10] 刁智华,王 欢,宋寅卯,等. 复杂背景下棉花病叶害螨图像分割方法[J]. 农业工程学报,2013,29(5): 147 - 152.
DIAO Zhihua, WANG Huan, SONG Yinmao, et al. Segmentation method for cotton mite disease image under complex background [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(5): 147 - 152. (in Chinese)

(责任编辑 盛杰)