

胡维炜, 张 武, 刘连忠, 等. 利用图像处理技术计算大豆叶片相对病斑面积[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(4): 774-779.  
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2016.04.010

## 利用图像处理技术计算大豆叶片相对病斑面积

胡维炜<sup>1</sup>, 张 武<sup>1,2</sup>, 刘连忠<sup>1,2</sup>, 蔡芮莹<sup>1</sup>, 朱小倩<sup>1</sup>

(1. 安徽农业大学信息与计算机学院, 安徽 合肥 230036; 2. 农业部农业物联网技术集成与应用重点实验室, 安徽 合肥 230036)

**摘要:** 为了量化评估大豆作物的病害程度, 提出一种基于图像处理测量大豆叶片相对病斑面积的方法。通过 HSV、 $L * a * b$  特征空间聚类法逐步分离目标叶片和病斑区域, 并采用区域填充法减少叶面水珠、菌丝和菌丝等干扰, 最后根据目标叶片和病斑区域像素数计算相对病斑面积。利用该方法分别对培养皿和背光板叶片图像进行试验, 结果表明, 该方法处理一幅  $800 \times 800$  大小的彩色图像只需约 20 s, 叶片病斑区域与健康区域分割准确率达 97% 以上, 相对病斑面积计算准确率达 99% 以上; 与传统阈值分割方法相比, 该方法能有效分割目标叶片与病斑区域, 快速准确地计算相对病斑面积。

**关键词:** 相对病斑面积; 病斑区域; 图像分割; K-means 聚类

**中图分类号:** TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)04-0774-06

## Measurement of relative lesion area on soybean leaf using image processing technology

HU Wei-wei<sup>1</sup>, ZHANG Wu<sup>1,2</sup>, LIU Lian-zhong<sup>1,2</sup>, CAI Rui-ying<sup>1</sup>, ZHU Xiao-qian<sup>1</sup>

(1. College of Information and Computer Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 2. Key Laboratory of Technology Integration and Application in Agricultural Internet of Things, Ministry of Agriculture, Hefei 230036, China)

**Abstract:** To quickly and accurately estimate the disease level of soybean leaf, a measurement based on image processing technology was proposed for relative lesion area (RLA) on soybean leaf. Firstly, HSV and  $L * a * b$  color models were employed to deal with the leaf images of the dishes and backlights, and K-means clustering algorithm was adopted to split the images. Then, area filling was applied to decrease the interference of water drops and hyphae. Finally, RLA was measured according to the pixels of diseased spots and leaves. The experiments on multiple soybean leaves showed that the time for processing a  $800 \times 800$  pixel color image only took 20 seconds, and the segmentation precision and accuracy of RLA calculation reached 97% and 99% respectively. The method is effective and accurate in calculating RLA when compared with OTSU thresholding method and photoshop method.

**Key words:** relative lesion area; diseased spot; image segmentation; K-means clustering

收稿日期: 2015-12-28

基金项目: 农业部引进国际先进科学技术“948”项目(2015-Z44); 农业部农业物联网技术集成与应用重点实验室开放基金项目(2016KL05); 安徽农业大学引进与稳定人才科研资助项目(wd2015-05)

作者简介: 胡维炜(1993-), 女, 安徽马鞍山人, 硕士研究生, 研究方向为图像处理、计算机应用技术。

通讯作者: 张 武, (E-mail) zhangwu@edu.cn.com

大豆是中国重要经济作物, 大豆病害防治直接影响大豆生产丰欠。准确评价大豆病害严重程度对病害预防、抗源鉴定、抗病性研究都具有十分重要的意义<sup>[1-2]</sup>。对于病害叶片, 单位面积病斑面积, 即相对病斑面积(RLA)是量化评估病害程度的客观指

标,反映了病原菌对植物叶片的侵染能力。此外,RLA 具有客观性、可重复测量性、精确性等优点,成为抗病性遗传研究的理想指标<sup>[3]</sup>。

传统测量叶片 RLA 的方法有称质量法、网格法、软件抠图法(如 Photoshop)等,这些方法操作繁琐,若将叶片进行剪裁称质量或将病叶置于玻璃网格板下,会破坏培养皿中病原菌侵染环境,不适合持续测量病原菌侵染能力;其次,利用这些方法不易处理大量叶片,效率较低,且由于观察者各自认识差异和视觉疲劳,对病斑面积获取产生很大影响,造成计算结果不精确<sup>[4]</sup>。运用图像技术计算 RLA,适应性好,受叶片大小、形状、厚薄、干湿度等影响较小,且能够在不破坏病菌生长环境的条件下实现对离体叶片或者活体叶片 RLA 无损测量;此外,可在计算机系统进行多线程和批量处理,效率高,速度快<sup>[9-11]</sup>。

利用图像处理技术计算相对病斑面积的核心在于图像分割,只有准确且合理地提取目标叶片与病斑面积,计算出的像素面积才会准确。本研究以人工侵染的大豆炭疽病典型叶片为对象,采用特征空间聚类法<sup>[12-14]</sup>,分割大豆叶片的病斑区域,再根据目标叶片与病斑区域的像素数计算大豆叶片相对病斑面积。用该方法对培养皿和背光板上的叶片图像进行试验,并与 Photoshop 逐像素手动抠图法比较,分析用该方法计算叶片 RLA 的准确性和实用性。

## 1 图像采集及预处理

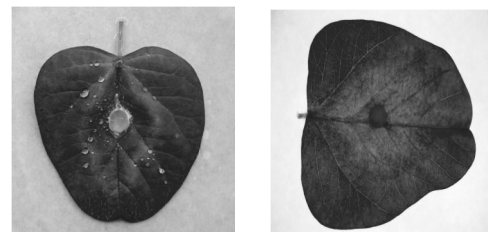
### 1.1 图像采集

大豆感病彩色图像于 2014 年 11-12 月拍摄自安徽农业大学真菌学及植物病害研究实验室,获取大豆病害叶片图像 20 幅。拍摄图像时,相机垂直于病害叶片,叶片尽量紧贴培养皿或背光板(减少叶边缘翘起产生的阴影),图像包括完整叶片区域,保证光照充足,避免光照不足使叶片区域颜色偏黑,丢失色彩信息,必要时进行适当补光。相机设置为手动调节焦距和光圈,自动白平衡,关闭闪光灯避免出现亮斑。

### 1.2 图像预处理

拍摄图像的叶片分为 2 组,一组为放置在培养皿中的大豆叶片,叶片上附有带炭疽病菌的白色圆形菌碟、水珠、菌丝;另一组为摘除菌碟后放置在背光板上的大豆感病叶片。前者用于在不破坏病原菌侵染环境的复杂背景条件下测量叶片的 RLA,是试

验组;后者用于背景简单和光照可控的理想条件下测量叶片的 RLA,作为对照组(图 1)。为方便处理,图像大小统一变换为  $800 \times 800$ ,以 JPG 格式导入计算机,对原始病害图像进行预处理(中值滤波去除尖锐的噪声,变换为  $800 \times 800$  像素)。培养皿中大豆叶片上的菌碟、菌丝和部分水珠的面积包含在病斑面积的计算中,而叶面积包括目标叶片轮廓内所有的像素面积。



培养皿中的大豆叶

背光板上的大豆叶片

图 1 大豆原始叶片图像

Fig.1 Original images of soybean leaves

## 2 叶片相对病斑面积(RLA)计算

大豆叶片相对病斑面积计算关键在于准确且合理地提取目标叶片与病斑部分,并依据两者像素数计算相对面积<sup>[8]</sup>。首先,在 HSV 颜色空间模式下,利用背景与叶片亮度、饱和度差异,采用 K-means 算法进行二分类聚类,分割出大豆叶片区域。其次,利用病斑区域与叶片  $a$ 、 $b$  二维数据空间差异,在  $L * a * b$  色彩空间下进行颜色聚类,分割出病斑区域。最后,根据病斑与叶片像素数,计算叶片的相对病斑面积。算法流程如图 2 所示。

### 2.1 K-means 空间聚类算法

K-means 算法是数据分析中一种实时非监督聚类方法,1967 年由学者 MacQueen 提出<sup>[15]</sup>,应用于图像分析就是将空间上相似的像素归类,同一簇内具有较高的相似度,而簇间的相似度较低。针对获取的病害叶片图像(背景与叶片、病斑区域与健康叶片之间在不同色彩空间颜色差异性大,像素点分布呈现团聚状),空间聚类算法对图像像素分类非常适用,可以达到很好的聚类效果。

首先在样本空间中随机选择  $k$  个初始聚类中心,计算图像中其他像素点与初始聚类中心的相似度距离,并将它们赋给相似度距离最高的簇,然后重新计算每个簇的聚类中心,重复上述过程,直到聚类

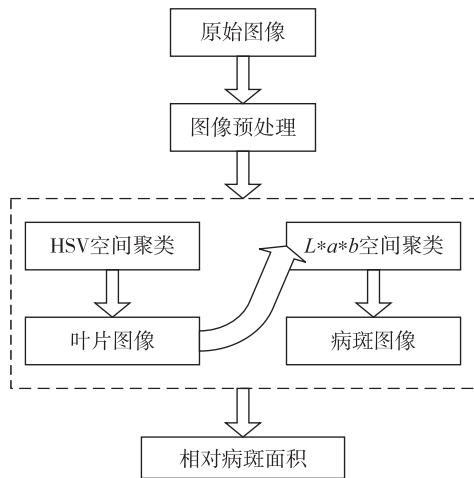


图2 算法流程图

Fig.2 Flow chart of algorithm

准则函数收敛且误差平方和函数值最小。算法具体步骤是:

(1) 给定像素大小为  $n$  的样本空间数据集, 经多次试探确定聚类数  $k$ , 从图像数据对象中随机选取  $k$  个像素点作为初始聚类中心,  $j=1, 2, 3, \dots, k, r=1, 2, 3, \dots, R, R$  为迭代次数。

(2) 计算图像中每个像素点与初始聚类中心的相似度距离  $D[A_i(x, y), C_j(x_r, y_r)]$ , 相似度距离选择欧氏距离,  $A_i(x, y)$  为图像中的任意像素点,  $i=1, 2, 3, \dots, n$ 。

$$D[A_i(x, y), C_j(x_r, y_r)] = \sqrt{(x - x_r)^2 + (y - y_r)^2} \quad (1)$$

算法为通过反复迭代寻找  $k$  个最佳的聚类中心, 将全体样本点分配到离它最近的聚类中心, 使聚类误差平方和最小。

$$\sum_{i=1}^n \left| D(A_{i+1}(x, y), C_j(x_r, y_r)) - D(A_i(x, y), C_j(x_r, y_r)) \right|^2 < \varepsilon \quad (2)$$

(3) 重新计算聚类中心、聚类准则函数,  $g(x)$  代表  $A_i(x, y)$  像素点的灰度值,  $Q_j^r$  代表第  $r$  次迭代后赋给类  $j$  的像素,  $C_j(x_{r+1}, y_{r+1})$  表示第  $j$  类均值, 计算公式为:

$$C_j(x_{r+1}, y_{r+1}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n_j} A_i(x, y)^{(j)} \quad (3)$$

$$E(r+1) = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in Q_j^r} |g(x) - C_j(x_{r+1}, y_{r+1})|^2 \quad (4)$$

(4) 根据下式判断聚类效果:

$$|E(r+1) - E(r)| < \varepsilon \quad (5)$$

重复步骤(2)和(3), 直到能取到最小  $\varepsilon$ , 即达到最好的聚类效果为止, 最终图像数据所有的像素点被划分为  $k$  类。K-means 算法能直观快速地实现图像分割, 适应性较强。但基于聚类方法的图像分割需要提供初始的聚类参数, 聚类数  $k$  的选择对最终分割结果影响较大,  $k$  值选择过大容易造成分割过细, 过小则不能分割出相应区域, 实际问题中通常不知道数据的分布情况, 往往需要试探多个  $k$ , 才能确定出合适的  $k$  值。本研究中, 分割目标叶片时, 设置聚类数  $k$  为 2, 代表目标叶片区域和背景区域的初始聚类中心, 根据与聚类中心的相似度, 将图像中所有像素点分配给与其最为相似的类, 实现背景与叶片的分类。分割大豆炭疽病病斑时, 经多次试验验证, 聚类数为 3 时, 能有效分割健康叶片与病斑区域。

## 2.2 在 HSV 色彩空间下分割目标叶片

HSV (Hue, Saturation, Value) 是基于颜色直观特性创建的一种颜色空间, 它由色度 ( $H$ )、饱和度 ( $S$ )、亮度 ( $V$ ) 3 个分量组成, 具有线性伸缩性, 可感知的色差与颜色分量相应样值上的欧几里德距离成比例<sup>[16]</sup>, 适用于简单背景下的聚类分割。本研究中大豆叶片利用普通相机拍摄, 图片属于 RGB 颜色空间模式, 需要转换为 HSV 图像。

经转换的图像在 HSV 颜色空间模式下, 利用背景与叶片  $S$ 、 $V$  二维数据空间的颜色差异, 以平方欧式距离作为像素间的相似度距离, 以误差平方和作为聚类准则函数, 对颜色进行二分类聚类, 分割目标叶片。聚类时, 受光照、叶面上水珠以及菌碟的影响, 叶面的部分区域会误归类为背景区域, 影响叶面积的计算精度, 因此采用区域填充法以有效减少水珠、菌碟、光照等对叶面积计算的影响。分割出的大豆叶片图像如图 3 所示。统计图 3 中目标叶片的像素数, 得到目标叶片的像素面积  $S$ 。

## 2.3 叶片病斑区域分割

$L^*a^*b^*$  色彩空间是 CIE (国际照明协会) 于 1976 年提出的一种与设备无关的颜色系统, 其对颜色的定位精确、均匀, 较 RGB 等色彩模式更符合于人眼对自然界颜色的感知。其中,  $L^*$  分量指亮度层分量,  $a^*$  指红绿轴上颜色分量,  $b^*$  指黄蓝轴上的颜色分量, 3 个分量所描述的颜色范围广泛, 且相互独立性高, 更加适用于做图像分割及分析<sup>[17-18]</sup>。在

该颜色模式下,所有颜色信息都包含在  $a * b *$  二维空间中,图像分割可以根据不同颜色块差异进行聚类<sup>[19-20]</sup>。将分割出的大豆叶片彩色图像转换到  $L * a * b *$  色彩空间,并分析叶片图像的  $a$ 、 $b$  分量灰度分布状况(图4、图5)。

由图4和图5可见,图像  $a$ 、 $b$  分量颜色存在明显差异,病斑的灰度分布区域不同,直方图呈现互补的趋势,表明可以利用  $a$ 、 $b$  分量对颜色进行分类,从正常叶片中分割出病斑区域。由于受光照、叶面上水珠以及菌碟的影响,计算时导致部分病斑像素面积缺失。采用填充病斑区域的方法减少水珠、菌碟、菌丝等对病斑面积计算的影响,最终分割出的病斑

图像如图6所示。统计图6中的病斑像素数,即大豆叶片病斑区域像素面积( $L$ )。

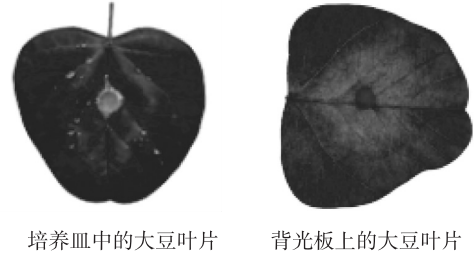


图3 去除背景后的大豆叶片图像

Fig.3 Soybean leaf image after removing the interferences

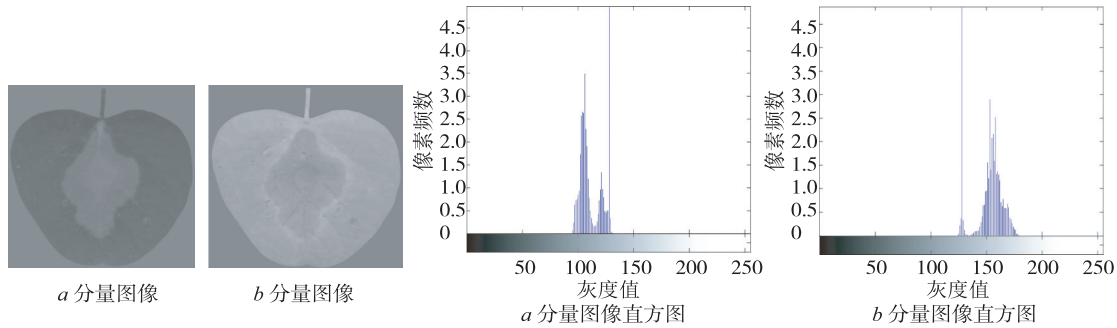


图4 培养皿中的叶片  $a$ 、 $b$  分量图像及其直方图

Fig.4 Histograms of  $a$  and  $b$  components of leaf in the dish

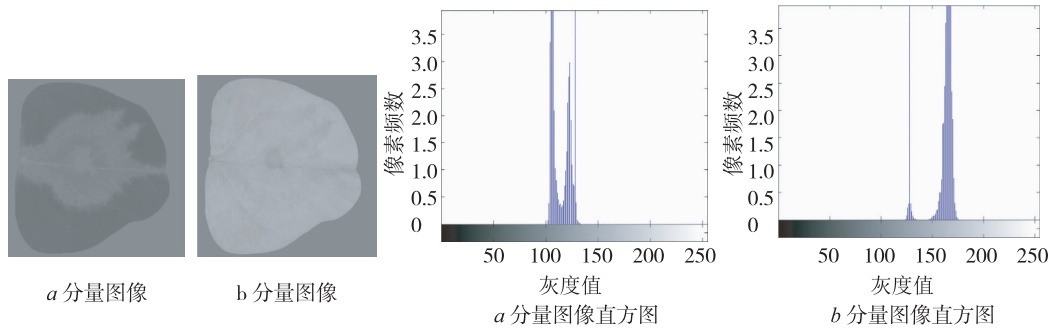


图5 背光板上的叶片  $a$ 、 $b$  分量图像及其直方图

Fig.5 Histograms of  $a$  and  $b$  components of leaf on the backlight

## 2.4 算法评价方法

为了验证分割算法的鲁棒性及有效性,用错分率( $ME$ )<sup>[21]</sup>衡量分割精度,错分率的定义为:

$$ME = \left( 1 - \frac{|L_0 \cap L_T| + ||S_0 - L_0| \cap |S_0 - L_T||}{S_0} \right) \times 100\% \quad (6)$$

式中,  $L_0$ 、 $S_0$  是利用 Photoshop 手动逐个像素测量出的病斑区域像素面积与目标叶片像素面积,并以此为标准值;  $L_T$ 、 $S_T$  是利用本研究方法计算出的病斑面积与叶片面积,  $|L_0 \cap L_T|$  为正确分割的病斑区域像素面积,  $||S_0 - L_0| \cap |S_0 - L_T||$  为健康叶片的像素面积,错分率反映了算法的精确度,既考虑了病斑区域的正确分割情况,又考虑了目标叶片被正确分割





图 6 分割出的病斑图像

Fig.6 Images of segmented lesions

的情况,  $ME$  越小, 表明分割效果越好、精度越高<sup>[21]</sup>。

采用绝对误差 ( $AE$ ) 检验相对面积计算的准确性, 绝对误差:

$$\begin{cases} R_0 = (L_0/S_0) \times 100\% \\ R_T = (L_T/S_T) \times 100\% \\ AE = |R_0 - R_T| \times 100\% \end{cases} \quad (7)$$

式中,  $R_T$  是本研究方法计算的相对病斑面积,  $R_0$  为根据测量值计算的相对病斑面积。以  $R_0$  为真值,

计算绝对误差。

### 3 结果与分析

在 Matlab 环境下对 20 幅测试图像进行算法模拟, 结果见表 1。表 1 中, P1~P8 为放置在培养皿中的大豆叶片, 叶面上附有菌碟、菌丝、水珠等干扰因素, B1~B12 为摘除菌碟后放置在背光板上的大豆叶片。为了验证本研究算法的有效性, 从算法的分割效果、错分率和执行效率 3 个角度进行分析。

#### 3.1 分割效果

采用传统阈值分割方法 (OTSU) 进行对比试验, 并恢复彩色信息。结果 (图 7) 显示, 病斑区域不能完全分割, 粘连了水珠、菌碟和健康叶片, 表明基于图像灰度的阈值方法难以有效分离病斑和健康叶片, 误分率高, 分割效果不理想。本研究利用  $a$ 、 $b$  分量的差异性, 采用 K-means 算法能有效对叶片图像进行分割, 病斑分割精度高。

表 1 大豆病害图像聚类分割结果

Table 1 Clustering segmentation of soybean diseases images

序号	实际病斑面积 ( $L_0$ ) (像素)	分割病斑面积 ( $L_T$ ) (像素)	实际叶片面积 ( $S_0$ ) (像素)	分割叶片面积 ( $S_T$ ) (像素)	实际相对面积 $R_0$ (%)	分割相对面积 $R_T$ (%)	错分率 $ME$ (%)	绝对误差 $AE$ (%)
P1	69 169	69 772	321 112	321 428	21.54	21.70	0.19	0.16
P2	162 141	161 294	363 386	362 892	44.62	44.53	0.23	0.09
P3	59 989	59 165	319 306	315 217	18.79	18.77	0.26	0.02
P4	44 482	39 903	362 903	352 073	12.26	11.33	1.26	0.93
P5	248 964	237 911	375 342	354 219	66.33	67.16	2.94	0.83
P6	65 092	64 989	379 109	369 154	17.17	17.60	0.03	0.43
P7	33 699	33 037	324 918	323 024	10.37	10.23	0.20	0.14
P8	63 471	60 519	289 568	293 385	21.92	20.63	21.92	1.29
B1	200 781	201 619	504 978	505 265	39.76	39.90	0.17	0.14
B2	195 333	194 937	488 894	489 386	39.83	39.95	0.08	0.12
B3	149 779	151 004	452 217	451 700	33.43	33.12	0.27	0.31
B4	81 428	81 866	443 604	444 106	18.35	18.43	0.10	0.08
B5	181 053	180 793	454 757	455 252	39.81	39.71	0.06	0.10
B6	185 942	186 524	469 421	469 798	39.61	39.70	0.12	0.09
B7	53 998	54 367	328 518	330 083	16.43	16.54	0.11	0.11
B8	21 577	20 407	359 709	356 609	5.99	5.72	0.33	0.27
B9	197 084	196 589	397 084	388 830	49.63	50.56	0.12	0.93
B10	213 150	210 811	288 617	286 958	73.85	73.46	0.81	0.39
B11	132 867	130 611	374 935	373 133	35.43	35.00	0.60	0.43
B12	47 804	47 428	293 524	292 711	16.29	16.20	0.13	0.09

注: P1~P8 为放置在培养皿中的大豆叶片, B1~B12 为摘除菌碟后放置在背光板上的大豆叶片。

#### 3.2 错分率

表 1 中, 错分率反映了分割叶片病斑区域与健康区域的准确程度; 绝对误差反映了相对病斑面积计算的准确程度。表 1 中第 P8 组, 由于拍摄图像时

大豆叶片叶边缘翘起产生较大面积阴影, 算法将阴影面积误归类为叶片面积, 导致计算出的叶片面积过大, 错分率高、计算误差大。剔除 P8 组, 统计表中数据, 错分率均不高于 3%, 绝对误差均低于 1%。

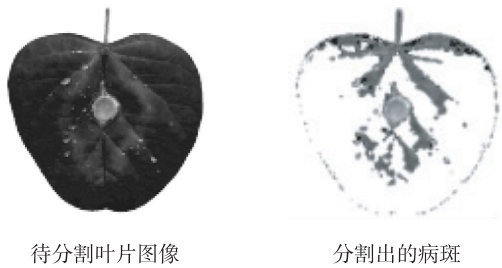


图7 OTSU法分割出的病斑图像

Fig.7 Images of segmented lesions by OTSU

表明叶片病斑区域与健康区域分割准确度达 97% 以上,相对病斑面积计算准确度达 99% 以上。其中 B1~B12 组平均错分率和平均绝对误差分别为 0.24% 和 0.26%, P1~P7 平均错分率和平均绝对误差分别为 0.73% 和 0.37%。结果表明,试验组的分割精度接近于对照,该方法能很好地克服菌碟、菌丝和叶面水珠等干扰,利用该算法可以在培养皿多种特定环境下有效分割大豆叶部病斑并计算叶片相对病斑面积,研究病原菌持续侵染能力。

### 3.3 执行效率

在 Matlab R2010b 软件环境下进行测试,一幅 800×800 彩色图像处理耗时约为 20 s,与传统人工方法相比,大大节约了时间。

## 4 讨论

本研究利用 HSV 和  $L^*a^*b^*$  颜色模型色度和亮度可分离的特点,提取图像的  $S$ 、 $V$  分量和  $a$ 、 $b$  分量,运用区域填充法,很好地克服了菌碟、菌丝和叶面水珠等干扰,能够有效地分割目标叶片和病斑区域。通过计算相对病斑面积,快速准确地评估大豆病害的严重程度。该方法解决了研究人员测量培养皿中大豆叶片受病害侵染程度的问题,可以重复测量叶片图像以获得病害的扩展速度,费时少且精度高,同时也为其他作物病害程度的定量化评估提供了借鉴。此外,病斑区域的有效分割为大豆病害的特征提取、病害识别、病害诊断提供了基础。采集图像时受光照角度影响,叶片边缘的褶皱会产生阴影,对目标叶片分割准确性造成一定的影响,使后续  $RLA$  计算产生误差。在进一步的研究中将对不同作物叶片、不同拍摄角度、不同叶部病害的图像进行测试,克服阴影对  $RLA$  计算精度的影响,改进算法,提高算法的鲁棒性。

### 参考文献:

- [1] 郑燕,吴为人.利用稻米垩白度分析软件测量叶片相对病斑面积[J].中国农业科学,2008,41(10):3405-3409.
- [2] 周丽娜.基于叶绿素荧光光谱分析的稻米瘟病害识别与预警[D].长春:吉林大学,2014.
- [3] 陈丁山.稻米外观品质性状快速检测系统的研究与应用[D].长沙:湖南农业大学,2011.
- [4] 韩殿元,黄心渊,付慧.基于彩色通道相似性图像分割方法的植物叶面积计算[J].农业工程学报,2012,28(6):179-183.
- [5] 张善文,张云龙,尚怡君.1种基于Otsu算法的植物病害叶片图像分割方法[J].江苏农业科学,2014,42(4):337-339.
- [6] 何应德.基于图像分析的树木叶片像素面积计算[D].北京:北京林业大学,2011.
- [7] 栗娜,李萍,张善文.基于改进遗传算法的作物叶片病斑分割算法[J].江苏农业科学,2014,42(7):140-142.
- [8] 郭文川,周超超,韩文霆.基于Android手机的植物叶片面积快速无损测量系统[J].农业机械学报,2014,45(1):275-280.
- [9] 刘丽娟,刘仲鹏.北方旱育稀植水稻病害图像识别预处理研究[J].江苏农业科学,2014,42(1):92-94.
- [10] 夏营威,徐大勇,堵劲松,等.基于机器视觉的烟叶面积在线测量[J].农业机械学报,2012,43(10):167-173.
- [11] 龚爱平,吴武豪,裴正军,等.基于Android系统手机的叶面积测量方法[J].农业机械学报,2013,44(9):203-208.
- [12] JI Z, XIA Y, CHEN Q, et al. Fuzzy c-means clustering with weighted image patch for image segmentation[J]. Applied Soft Computing, 2012, 12(6):1659-1667.
- [13] JIN R, KOU C, LIU R, et al. A color image segmentation method based on improved k-means clustering algorithm[C]//Zhong Z. Proceedings of the International Conference on Information Engineering and Applications. London:Springer-Verlag,2013:499-505.
- [14] 朱征宇,王丽敏.基于聚类和局部区域的彩色图像分割方法[J].计算机工程与设计,2015,36(1):201-205.
- [15] SELIM S Z, ISMAIL M A. K-means-type algorithm[J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, 1994, 6(1):81-87.
- [16] 齐文斌,毛秉毅.主色调颜色特征的图像检索与分类[J].计算机工程与应用,2011,47(24):191-192.
- [17] 陈昌涛,仇国庆,杨平,等.空间色彩分割在快速车牌定位中的应用[J].计算机应用研究,2010,27(8):3191-3193.
- [18] 陈丽雪,陈昭炯.基于Lab空间的图像检索算法[J].计算机工程,2008,34(13):224-226.
- [19] 张强,王正林.精通MATLAB图像处理[M].北京:电子工业出版社,2009:272-279.
- [20] 李冠林,马占鸿,黄冲,等.基于K\_means硬聚类算法的葡萄病害彩色图像分割方法[J].农业工程学报,2010,26(S2):32-37.
- [21] SEZGIN M, SANKUR B. Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation[J]. Journal of Electronic Imaging, 2004, 13(1):146-165.

(责任编辑:张震林)