

基于颜色特征 RSTR-GMR 的群体小麦图像分割算法

宋宇斐, 滕桂法, 苑迎春, 刘天真, 潘 飞

(河北农业大学 信息科学与技术学院, 河北 保定 071001)

摘要: 图像分割是图像预处理中的关键步骤, 该步骤是后期特征提取和识别的基础。大田环境下群体小麦图像受光照和背景影响, 使用经典分割算法精度较低, 针对大田环境下群体小麦图像分割问题, 提出了 1 种基于 RGB 颜色空间的带限定条件的 GMR (RSTR-GMR) 阈值分割算法, 实现了小麦与背景的分离。实验结果表明: 分割精确度达到 82.3%, $RMSE$ 为 7.2。将分割图像与 HIS 空间下的 H 分量 K 均值分割算法 (H-K) 进行了比较, 在所有拍摄条件下 RSTR-GMR 算法均优于 H-K。

关键词: 图像处理; 阈值分割; 小麦冠层; RGB 颜色空间; 颜色特征

中图分类号: TP391.4

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



文献标志码: A

Group wheat image segmentation algorithm based on color feature RSTR-GMR

SONG Yufei, TENG Guifa, YUAN Yingchun, LIU Tianzhen, PAN Fei

(School of Information Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China)

Abstract: Image segmentation is a key step in image preprocessing, which is the basis for later feature extraction and recognition. The image of group wheat in the field environment is affected by illumination and background, and the accuracy of using classical segmentation algorithm is low. Aiming at the problem of image segmentation of group wheat in field environment, a threshold algorithm of GMR (RSTR-GMR) based on RGB color space is proposed. The segmentation algorithm achieves the separation of wheat from the background. The experimental results show that the segmentation accuracy reaches 82.3% and the $RMSE$ is 7.2. The segmentation image is compared with the H-component K-means segmentation algorithm (H-K) in HIS space, and the result indicates that the RSTR-GMR algorithm is better than H-K under all shooting condition.

Keywords: image processing; threshold segmentation; wheat canopy; RGB color space; color feature

近年来, 随着机器视觉技术的发展, 利用数字图像处理技术实现农作物生长情况的实时监测并快速获得其生长参数已成为人们研究的热点。小麦是我国主要的经济作物, 通过图像获取小麦的生长参数对实现农业自动化和信息化具有深远意义^[1]。目前, 图像处理在小麦生长过程中的检测应用主要有

品种识别、叶面积估测、冠层覆盖度估测、营养诊断、品质和产量预测等^[2]。其中, 小麦图像分割是将小麦叶片图像从背景图像中分离出来, 为后期颜色、纹理等图像特征的提取提供基础, 也是解决上述应用的关键步骤。

小麦叶片图像分割的研究分为单叶片图像分割^[3]

收稿日期: 2019-04-11

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目 (2016YFD0200403); 河北省高等学校科学技术研究项目 (ZD2015054); 河北省研究生创新资助项目 (CXZZBS2017059); 河北省自然科学基金项目 (G2018204093)。

第一作者: 宋宇斐 (1990-), 女, 河北石家庄人, 博士研究生, 主要从事数字图像处理, 智能信息处理研究。

E-mail: songyufei0311@163.com

通讯作者: 苑迎春 (1970-), 河北清苑人, 博士, 教授, 主要从事数据挖掘、数据库、计算机网络等方面研究。

E-mail: nd_hd_yc@163.com。

和群体图像分割^[4]。对于单叶片分割问题, 由于分割处理流程相对简单, 通常采用人工分割或单阈值分割的方法, 即可快速实现目标的识别与提取^[3,5]。对于群体小麦图像分割问题, 国内外学者做了大量研究, 通常采用阈值分割和聚类分割 2 类方法^[6]。时雷^[7]采集了麦苗低矮的小麦拔节初期图像, 提出了 1 种基于 RGB 空间的马氏距离聚类分割算法, 该方法可取得一定的分割效果。李明等^[8]为提取高精度小麦的叶面积指数, 提出了 1 种基于灰度图像的改进的动态阈值分割方法, 但其对拍摄条件要求苛刻, 需要通过参照物对背景灰度值做差异分析。Li 等^[9]获取小麦群体冠层垂直拍摄的图像并采用 SAVIGreen 将冠层图像与背景进行分割, 但其仅适用于光照均匀无遮挡的图像分割, 对复杂背景下的小麦群体冠层分割处理不理想。在大田采集环境下黄芬等^[10]提出 1 种基于 HIS 空间下 H 分量的 K 均值聚类算法, 可以对不同施氮量、不同光照环境下的小麦冠层图像进行分割, 但其对光照太强的小麦冠层分割准确性有待提高, 且该研究应用 HIS 空间进行分割, 分割后还需将图像转回 RGB 空间进行进一步特征提取。

综上所述, 目前针对群体小麦叶片分割的研究无论采用聚类分割方法还是阈值分割方法, 研究对象均是遮挡较少, 背景简单的小麦图像, 或对图像采集条件加以限制弱化了后期的分割难度。而实际自然光条件下采集的群体小麦图像存在着背景复杂、光照不均、遮挡严重等问题, 本研究综合考虑上述因素, 在阈值分割理论的基础上结合拔节中后期小麦图像特点, 提出了 1 种基于颜色特征的阈值分割算法, 分割效果优于 H 分量的 K 均值算法, 同时避免了过分割现象。

1 图像获取

小麦属于禾本科密植性作物, 不同施肥水平下的生长状态差异明显。考虑到样本的多样性, 以及试验的普适性, 本研究确定如下图像获取方式:

试验田情况: 试验田位于保定市清苑区黄陀村。种植小麦品种为‘济麦 22 号’, 前茬作物为玉米。针对小麦生长的不同时期设置不同施肥水平和不同生长环境, 以模拟出光照均匀、光照不均匀带复杂背景和光照不均匀带阴影的对比试验。拍摄方案: 试验图像拍摄于 2018 年 3—4 月小麦起身期及拔节

期 10:00–14:00, 拍摄条件设置为相机镜头距小麦冠层 1 m, 2 个角度拍摄 (60°, 90°), 共计 84 张图像。相机参数设定: 拍摄设备使用 FDR-AXP35 4K 高清摄录一体机。拍照时, 相机设置为光圈优先、自动对焦, 快门速度使用相机默认, 关闭内置闪光灯, 感光度为相机默认, 自动白平衡。图像大小为 4 288 × 2 408 像素, 在不改变分辨率的情况下, 为方便展示细节, 文中所有图像均是放大 160% 后截取的细节图, 图 1 是设备采集到的 3 种情况图像示例。



(a) 光照均匀图像 (b) 光照不均匀带阴影图像 (c) 光照不均匀带复杂背景图像

图 1 不同光照下的小麦图像

Fig.1 Wheat image under different illumination

2 基于颜色特征的 RSTR-GMR 算法

小麦图像主要包含小麦植株、土壤以及被叶片遮挡形成的阴影 3 部分, 通为了找到合适的阈值进行分割, 需要对图像各部分进行颜色特征分析从而得到相应的阈值。

2.1 群体小麦颜色特征分析

拔节期群体小麦图像主要包含小麦叶片、土壤、杂草、叶片遮挡形成的阴影。本研究随机选取 20 张图片, 每张图片中随机裁剪出 6 块带有上述特征的区域 (小麦冠层、背景、阴影各 2 块) 分析其颜色特征。

2.1.1 背景颜色特征分析 40 块背景区域的像素颜色灰度值分布规律, 如图 2 所示。

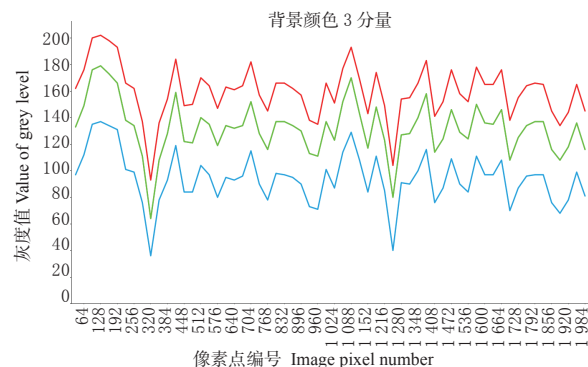


图 2 背景颜色三分量值比较

Fig.2 Comparison of three component values of background color

横轴为像素点, 纵轴为对应点的灰度值。在 RGB 颜色空间中对于土壤、杂草等非绿色植被区域

在可见光范围内曲线较为平缓, 没有明显的反射峰与吸收峰, 红绿蓝 3 分量灰度值趋势也基本相同。绝大多数像素点红色分量灰度值高于绿色分量灰度值高于蓝色分量灰度值, 且所有灰度值介于 30~210 之间, 大部分灰度值落在 80~180 之间。背景颜色 3 分量灰度值关系如 (1) 所示, 背景部分每 1 个像素点的红色通道灰度值均大于绿色通道灰度值大于蓝色通道灰度值。

$$r_{ij} > g_{ij} > b_{ij} \quad (1)$$

其中, r_{ij} 、 g_{ij} 、 b_{ij} 分别为对应像素点的 R、G、B 通道的灰度值, i, j 分别为该像素点在对应图像中的横纵坐标。

2.1.2 小麦颜色特征分析 如图 3 所示, 在 RGB 颜色空间小麦红绿蓝 3 分量灰度值的走势大体一致, 但存在明显的反射峰和吸收峰。且绿光波段的反射率会明显高于红光波段和蓝光波段的反射率, 即同一像素点绿色分量灰度值远远大于红蓝 2 分量的灰度值。而红蓝分量灰度值相差无几, 且红色分量灰度值略高, 红蓝 2 分量灰度值大致落在 20~200 之间, 绿色分量灰度值则在 70~250 之间。小麦冠层颜色 3 分量关系如 (2) 所示小麦图像的像素绿色通道灰度值大于红色通道灰度值且绿色通道灰度值大于蓝色通道灰度值。

$$(g_{ij} > r_{ij}) \cap (g_{ij} > b_{ij}) \quad (2)$$

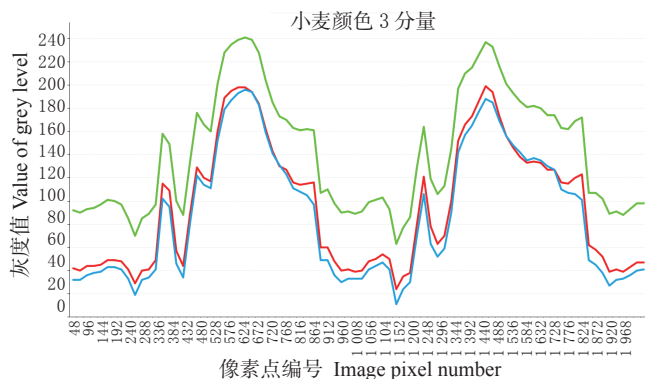


图 3 小麦颜色 3 分量值比较

Fig.3 Comparison of three component values of wheat color

2.1.3 阴影区域颜色特征分析 阴影是由于太阳光不能穿透叶片遮挡而形成的较暗区域, 是本研究处理的重点, 也是目前影响所有分割算法精度的重点区域。阴影区域像素颜色灰度值分布规律, 如图 4 所示。

在 RGB 颜色空间中阴影区域红绿蓝 3 分量灰度值的走势与背景和小麦冠层存在较大差异, 其

中红绿分量的灰度值走势大体一致, 红色分量的灰度值会随着绿色分量值升高而升高, 随其降低而降低; 它们之间存在 1 个相对稳定的距离; 但蓝色分量与红绿分量的趋势大不相同, 灰度值较红绿分量偏低。绿色分量的灰度值大致落在 50~90 之间, 红色分量灰度值与绿色分量保持一致的趋势, 落在 20~65 之间, 而蓝色分量灰度值则保持在 8~50 之间。另外, 由图可知阴影区域各分量灰度值均明显低于背景与小麦冠层, 这正是由于阴影区域本身特性决定的, 故灰度值普遍较小, 最高点仅为 91。阴影区域颜色三分量关系如 (3) 所示。

$$|g_{ij} - r_{ij}| < \delta \quad (3)$$

δ 为一固定参数, 其确定方法详见 2.2 阈值确定。

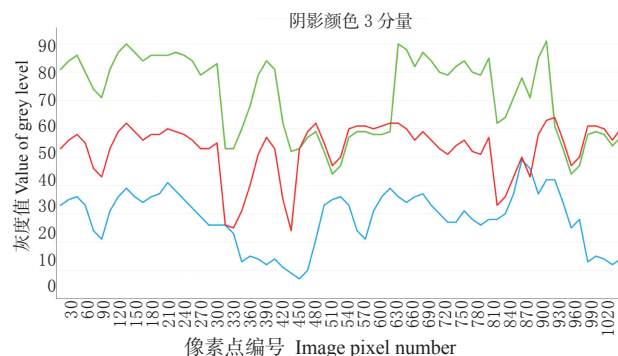


图 4 阴影部分颜色 3 分量值比较

Fig.4 Comparison of three component values of shaded part

2.2 阈值确定

根据 2.1 节分析可知, 对于拔节期大田环境下的群体小麦图像背景 (土壤、干草等) 和小麦均有明显的颜色特征, 如公式 (1)、(2), 较易分割。而对于阴影区域关系如公式 (3) 所示, 阴影区域分割阈值的确定为本算法分割质量的决定性因素。综上, 拔节中后期小麦图像的颜色特征如公式 (4)。

$$(R, G, B) = \begin{cases} (0, 0, 0), & r_{ij} > g_{ij} > b_{ij} \\ (0, 0, 0), & |g_{ij} - r_{ij}| < \delta \\ (r_{ij}, g_{ij}, b_{ij}), & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

物体呈现的颜色由物体本身的反射特性决定而图像的颜色强度却是由其拍摄设备的机身和摄像头共同决定的^[11]。本研究就索尼 FDR-AXP35 4K 高清摄录一体机拍摄的小麦冠层图像进行阈值分析确定。选择光照不均的不同拍摄方案的阴影区域图像 20 张, 每张图像中随机裁剪阴影区域 2 块, 共计 40 块阴影区域图像, 分别提取其 R、G、B 通道灰度值, 绘制了 $G-R$ 的分布如图 5 所示。

由图 5 中看出, 绿色与红色灰度差值总体分布

在 $-15 \sim 30$ 之间。又大致集中在 2 部分, 即 $0 \sim -15$ 范围以及 $20 \sim 30$ 范围内。 $(g_{ij}-r_{ij}) \in (-15,0)$ 部分情况为叶片遮土壤形成的阴影, 此类情况与公式 (1) 吻合, 此处不做讨论。另一部分灰度值之差分布于 $20 \sim 30$ 范围内且差值在 28 处较为集中。

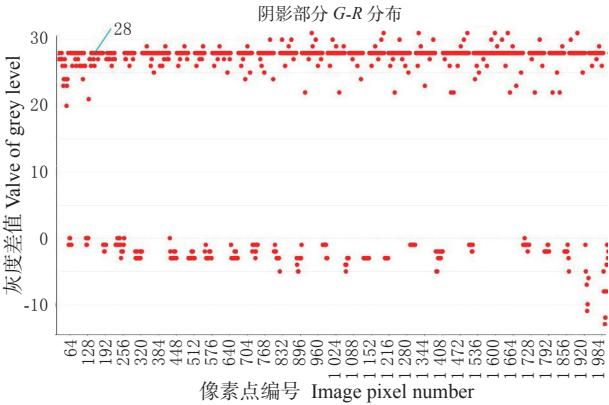


图 5 绿色分量与红色分量灰度差值

Fig.5 Difference between green component and red component

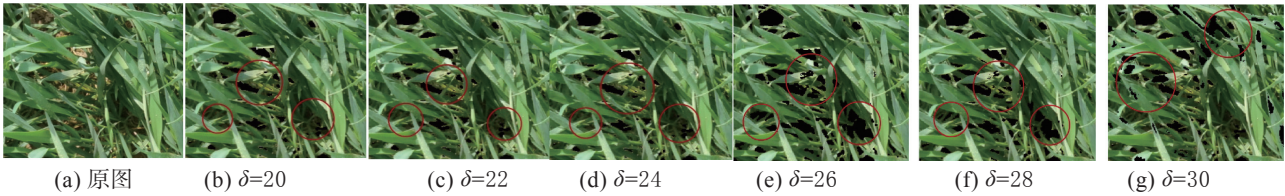


图 6 阈值选取试验

Fig.6 Threshold selection test

2.3 RSTR-GMR 阈值分割算法

在小麦图像特征以及阈值分析的基础上, 本研究提出 RGB 空间基于阈值的 RSTR-GMR 算法, 其步骤如下:

输入: 群体小麦原图
输出: 分割后的小麦图像
1 获得原图像的高度 h 和宽度 w ;
2 for $i = 1 : h$
4 for $j = 1 : w$
5 获取图像像素 r_{ij} 、 g_{ij} 、 b_{ij}
6 if 像素点满足公式 (1) \cap (3)
7 令该像素点 $r_{ij}=0$ 、 $g_{ij}=0$ 、 $b_{ij}=0$
8 else
9 r_{ij} 、 g_{ij} 、 b_{ij} 不变
10 图像合并

3 结果与分析

本研究以不同光照、不同背景的群体小麦数字图像为例, 分别用 HIS 空间 H 分量的 K-Means 分割 (H-K) 和本研究提出的基于 RGB 颜色空间的带限定条件的 GMR 阈值分割算法 (RSTR-GMR) 进行群体小麦冠层的提取, 以对比分析算法的有效性,

选取 10 幅光照不均带阴影的图像, 设置了 $G-R$ 起始值为 20, 终止值为 30, 步长为 2 的阈值递增试验, 观察其变化力求寻找最优的分割阈值, 试验表明当 $20 \leq (g_{ij}-r_{ij}) \leq 26$ 时, 光线较暗处的大面积土壤以及遮挡严重的叶片轮廓边缘处的土壤易被误分割为目标图像, 造成分割不完全, 如图 6(b)-(e) 红色区域所示。当 $(g_{ij}-r_{ij}) > 28$ 时, 冠层叶片出现了严重的过分割现象, 如图 6(g) 红色区域所示。通过观察发现过分割的区域均为反射率低且较为宽大叶片。这是由于宽大叶片长势良好, 叶片颜色较整体偏深, 若再有阴影遮挡颜色呈现会更“深”, 从而易被归为背景类。总体而言, $g_{ij}-r_{ij}=28$ 时总体分割效果最优, 没有出现将反射率低的冠层叶片误分割为背景, 遮挡严重的阴影区域也能够较好的将前景与背景分离。故本研究将分割阈值设定为 $\delta=28$ 。

通用性和不足。

3.1 分割效果分析

3.1.1 光照均匀的图像分割效果 在处理光照均匀的图像时, RSTR-GMR 算法表现出了良好的分割效果, H-K 在分割此类图像时产生了轻微的过分割现象, 如图 7 (b) 红色区域所示。

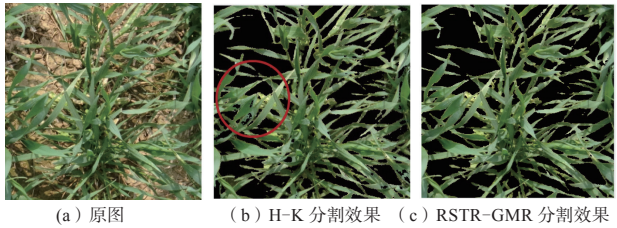


图 7 光照均匀的图像分割

Fig.7 The segmentation of uniformly illuminated image

3.1.2 光照不均匀带阴影区域的图像分割效果 在处理光照不均匀带阴影区域的图像时, 大面积阴影部分 2 种算法均能表现出不错的分割效果, 但处理上小面积阴影时 H-K 的效果不理想。这是由于小面积阴影的存在一般是由于细小或稀疏的叶片遮挡造成的, 其整体光线较强, 细小叶片在遮挡下反射率

较低,会出现与阴影下土壤更相近的明暗度。而 H-K 是基于色调的分割算法,针对此类图像若按色调分量进行分割易将部分叶片或叶片的反射率较低的区域与背景归为 1 类,如图 8 (b) 红色区域所示。而本研究算法在 RGB 空间针对其区域的颜色特征进行分析,将像素的 RGB 灰度值作为阈值分割,不存在明暗度相近的误分割现象,如图 8 (c) 所示。

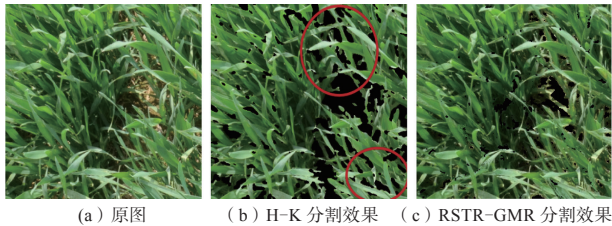


图 8 光照不均匀带阴影图像分割

Fig.8 Illuminated uneven image with shadow image segmentation

3.1.3 光照不均匀复杂背景下图像分割效果 在处理光照不均匀复杂背景图像时,本研究提出的 RSTR-GMR 算法整体优于 H-K 算法,能够较好的分离复杂背景提取目标图像。H-K 算法在处理此类图像时均存在过分割现象,尤其在处理细小叶片和光线明暗变化明显、背景杂乱处的叶片分割不够理想,如图 9 (b) 红色区域所示。本文算法在背景复杂的区域能够较完整的提取到目标叶片,在遮挡严重,光线变化明显的区域分割时能够满足需求,图 9 (c) 所示。

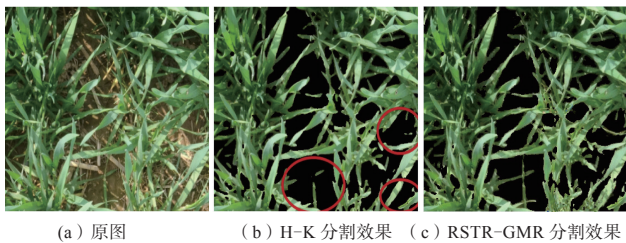


图 9 光照不均匀复杂背景的图像分割

Fig.9 Image segmentation with uneven illumination complex background

3.2 分割质量评价

为了验证本研究算法的有效性,运用 2 种算法随机选取了 20 幅小麦群体图像计算其正确率^[12]和均方根误差 (RMSE)。

$$\begin{cases} C_A = \frac{\sum_{k,j=0}^{k,j=h,w} (A(i)_{k,j} \cap D(i)_{k,j})}{\sum_{k,j=0}^{k,j=h,w} D(i)_{k,j}} \times 100\% \\ C_B = \frac{\sum_{k,j=0}^{k,j=h,w} (A(i)_{k,j} \cap D(i)_{k,j})}{\sum_{k,j=0}^{k,j=h,w} D(i)_{k,j}} \times 100\% \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} RMSE_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^x C_{A(i)}^2}{x}} \\ RMSE_B = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^x C_{B(i)}^2}{x}} \end{cases} \quad (6)$$

式 (5) 中, C_A 、 C_B 分别表示 H-K 和 RSTR-GMR 算法的分割正确率, $A(i)_{k,j}$ 、 $B(i)_{k,j}$ 分别为采用 2 种算法以及人工处理得到的第 i 个像素点, k 、 j 分别为图像像素的行号、列号, h 、 w 为图像的高和宽。同样,公式 (6) 中 $RMSE_A$ 、 $RMSE_B$ 分别为使用 2 种算法与人工分割比较的均方根误差。

表 1 是 20 幅小麦图像的正确分割率比较。从整体图像分割的正确率来看,2 种算法在处理不同拍摄环境的图像时,误分割率大都在 10%~40% 之间,均能达到一定的分割效果,其中正确分割率最低的来自 3 号图像的 H-K 算法,正确率仅为 50.5%,正确率最高的来自 10 号图像的 RSTR-GMR 算法,正确分割率高达 91.5%,且 RSTR-GMR 算法在不同拍摄环境下的总体表现优于 H-K。从平均正确率来看,RSTR-GMR 算法分割正确率为 82.3% 优于 H-K 的 73.3%。从算法对各种拍摄条件的适应性和通用性角度来看,RSTR-GMR 算法的 RMSE 为 7.2,而 H-K 则为 8.9,结果表明 RSTR-GMR 算法优于 H-K 算法。

表 1 20 幅小麦图像正确分割率

图像编号 Image No.	$C_A/\%$	$C_B/\%$	图像编号 Image No.	$C_A/\%$	$C_B/\%$
1	74.1	89.9	11	76.5	83.3
2	61.6	67.9	12	77.8	88.5
3	50.5	61.5	13	80.1	87.4
4	53.1	79.6	14	72.3	81.2
5	74.8	80.2	15	72.6	80.8
6	85.2	91	16	66.8	79.9
7	69.7	75.8	17	83	89.8
8	71.4	78.9	18	76.9	83.1
9	80.3	82.1	19	76.1	83.6
10	82.1	91.5	20	81.6	89.5
AVE	73.3	82.3			
RMSE	8.9	7.2			

4 结论

为了准确无误的对群体小麦冠层图像进行分割和有效信息提取,本研究通过分析背景(土壤、杂

草)部分、阴影部分以及小麦冠层部分图像在 RGB 颜色空间各分量的灰度值,提出1种基于RGB空间的带约束条件的阈值分割算法,通过3部分之间的颜色特征差异设置阈值分别对不同施肥量下光照均匀、光照不均匀带阴影以及光照不均匀带复杂背景的小麦冠层图像进行分割处理。在处理光照均匀的图像时本研究算法避免了H-K算法分割不完全的现象;对于光照不均匀图像分割时本研究算法能够避免H-K算法严重的过分割导致的叶片孔洞现象及信息丢失现象。这是由于正午阳光直射会造成叶片间光线较弱区域增多,而H-K算法是基于相对明暗程度为参考的分割算法,弱光下的叶片较暗,其明暗度与阴影相近,故造成H-K算法分割不理想,而本研究算法是基于RGB彩色空间,充分考虑红绿蓝3分量的灰度值,从物体反射光的性质入手进行阈值设置进而完成分割,受光照影响较小。另外,使用本研究提出的分割算法,图像无需转换到其他色彩空间进行处理,在一定程度上提高了信息处理能力,但本研究算法对光照过强的冠层叶片分割准确度上还有待于进一步提高。

参考文献:

- [1] 张武,黄帅,汪京京,等.复杂背景下小麦叶部病害图像分割方法研究[J].计算机工程与科学,2015,37(7):1349-1354.
- [2] Chen Y B, Chen O T. Image segmentation method using thresholds automatically determined from picture contents[J]. Eurasip Journal on Image & Video Processing, 2009, 2009(1):140492.
- [3] 周利亚,苑迎春,宋宇斐,等.基于图像处理的小麦叶绿素估测模型研究[J].河北农业大学学报,2018,41(2):105-109.
- [4] 李红军,张立周,陈曦鸣,等.应用数字图像进行小麦氮素营养诊断中图像分析方法的研究[J].中国生态农业学报,2011,19(1):155-159.
- [5] Kawashima S, Nakatani M. An Algorithm for Estimating Chlorophyll Content in Leaves Using a Video Camera[J]. Annals of Botany (London), 1998, 81(1):0-54.
- [6] 王雪光,陈淑红.基于K均值聚类的成熟草莓图像分割算法[J].农机化研究,2013,35(6):51-54.
- [7] 时雷,庞晓丹,钱诚,等.基于图像处理技术的小麦群体叶绿素状况估计研究[J].太原理工大学学报,2016,47(2):223-227+232.
- [8] 李明,张长利,房俊龙.基于图像处理技术的小麦叶面积指数的提取[J].农业工程学报,2010,26(1):205-209+386.
- [9] Li Y, Chen D, Walker C N, et al. Estimating the nitrogen status of crops using a digital camera[J]. Field Crops Research, 2010, 118(3):1-227.
- [10] 黄芬,于琪,姚霞,等.小麦冠层图像H分量的K均值聚类分割[J].计算机工程与应用,2014,50(3):129-134.
- [11] 张志斌,罗锡文,臧英,等.基于颜色特征的绿色作物图像分割算法[J].农业工程学报,2011,27(7):183-189.
- [12] Barbedo J G A. A novel algorithm for semi-automatic segmentation of plant leaf disease symptoms using digital image processing[J]. Tropical Plant Pathology, 2016, 41(4):210-224.
- [13] 单成钢,廖树华,龚宇,等.应用数字图像技术估测冬小麦冠层生物量垂直分布特征的研究[J].作物学报,2007(3):419-424.
- [14] 何建斌,梁威,李晓明.基于K均值聚类 and 数学形态学的小麦彩色图像分割[J].浙江农业学报,2011,23(4):829-832.
- [15] 万园洁,卿粼波,何小海,等.基于改进全卷积网络的小麦图像分割[J].计算机系统应用,2018,27(3):221-227.
- [16] Deng X, Ma Y, Dong M. A new adaptive filtering method for removing salt and pepper noise based on multilayered PCNN[J]. Pattern Recognition Letters, 2016, 79:8-17.
- [17] Xiao L, Li C, Wu Z, et al. An enhancement method for X-ray Image via fuzzy noise removal and homomorphic filtering[J]. Neurocomputing, 2016: S0925231216001144.
- [18] 陈佳悦,姚霞,黄芬,等.基于图像处理的冬小麦氮素监测模型[J].农业工程学报,2016,32(4):163-170.
- [19] Madhav B T P, Pardhasaradhi P, Manepalli R K N R, et al. Homomorphic filtering textural analysis technique to reduce multiplicative noise in the 11Oba nano-doped liquid crystalline compounds[J]. Phase Transitions, 2015, 88(7):735-744.

(编辑:张月清)