

doi:10.3969/j.issn.1007-7146.2015.01.005

基于高光谱成像和主成分分析的水稻茎叶分割

冯 慧¹, 熊立仲², 陈国兴³, 杨万能^{2*}, 刘 谦¹

1. 华中科技大学生命科学与技术学院生物医学光子学教育部重点实验室, 湖北 武汉 430074;
2. 华中农业大学作物遗传与改良国家重点实验室, 湖北 武汉 430070;
3. 华中农业大学农业部长江中游作物生理生态与耕作重点实验室, 湖北 武汉 430070)

摘 要:在单株水稻表型测量研究中,为了实现绿叶面积和茎叶相关表型参数的准确计算提供技术保障,茎叶的分割是非常重要的步骤。传统的人工测量方法费时费力,且主观性较强,而基于普通相机拍摄的彩色图像进行分割效果很差。本研究介绍了一种使用可见光-近红外高光谱成像系统自动区分单株盆栽水稻茎叶的方法。首先将各波长下的图像从原始二进制数据中提取出来,接着使用主成分分析所有波长下的图像,并提取出主要的主成分图像,再基于数字图像处理技术将茎叶区分开。实验结果表明,本系统以及文中所用方法对分蘖盛期的水稻茎叶有很好的分割效果,这为后续水稻茎叶表型性状高通量、数字化、无损准确提取提供了重要的技术保障,并进一步促进植物表型组学的发展。

关键词:高光谱成像; 图像分割; 主成分分析

中图分类号: O657.3; TPS71

文献标识码: A

文章编号: 1007-7146(2015)01-0031-07

The Segmentation of Leaf and Stem of Individual Rice Plant with Hyperspectral Imaging System and Principal Component Analysis

FENG Hui¹, XIONG Lizhong², CHEN Guoxing³, YANG Wanneng^{2*}, LIU Qian¹

1. Britton Chance Center for Biomedical Photonics, Wuhan National Laboratory for Optoelectronics-Huazhong University of Science and Technology, 1037 Luoyu Rd., Wuhan 430074, Hubei, China;
2. National Key Laboratory of Crop Genetic Improvement and National Center of Plant Gene Research, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei, China;
3. MOA Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System in the Middle Reaches of the Yangtze River, College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei, China)

Abstract: In the study of phenomics, the segmentation of leaf and stem of individual rice plant is very important, which can be used to provide basis for the calculation of phenotypic parameters, such as green leaf area and biomass.

收稿日期:2014-08-14; 修回日期:2014-12-29

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划,2013AA102403);国家自然科学基金资助项目(30921091, 31200274);新世纪优秀人才支持计划(NCET-10-0386)

作者简介:冯慧(1987-),女,汉族,湖北浠水人,博士研究生,主要从事水稻表型组学研究。(手机)15071283065; (电子邮箱)fenghuihf2006@126.com

* 通讯作者:杨万能(1984-),男,汉族,湖北南漳人,副教授,主要从事植物表型组学研究。(手机)15871800820; (电子邮箱)ywn@mail.hzau.edu.cn

Traditional methods are subjective, time-consuming, and labor-intensive. The segmentation with color image, acquired by CCD camera, has shown a poor result. This study introduced an automatic segmentation method of leaf and stem with a hyperspectral imaging system. First, the images of individual rice plant under different wavelength were extracted from original binary stream. Then the principal component analysis (PCA) was used to analyze all the images and extract main principal component images. At last, these main images were used to segment the leaf and stem with digital image processing. The result has shown that this hyperspectral imaging system and method that was used in this study has good segmentation outcome for the leaf and stem of individual rice plant on the tillering stage. This work provides a breakthrough for high-throughput, non-destructive, and accurate extracting the leaf and stem of rice, and promotes the development of the plant phenomics.

Key words: hyperspectral imaging; image process; principal component analysis

0 引言

植物表型组学是在基因组水平下系统研究植物在不同生长环境条件下所有表型的新兴学科^[1]。该学科将多种技术如光子学、计算机等工程技术应用于植物学研究,全面获得植物信息^[2]。在单株水稻表型测量研究中,需要经常用到茎叶各自部分的图像信息,以评价植物各部分器官生长发育状况。水稻不同器官的生长状况不仅与生物量、绿叶面积、光合作用效率等生理参数密切相关^[3],而且在产量预测中有重要意义^[4]。另外,根据水稻茎叶的表型进行遗传分析,可将表型与基因定位联系在一起^[5,6],从而找到控制不同表型生长的特定功能基因,这对分子育种研究的意义也非常重大^[2]。

区分茎叶常用方法是人为使用画图软件(比如Photoshop)将茎叶区分开,以便进行后续的图像分析和数据处理。这种方法非常耗时,工作量较大,而且容易受测量人员主观性影响,因此误差较大,分割结果不准确。可见传统的茎叶分割方法无法满足高通量水稻表型测量和性状分析的需要。此外,单纯的基于普通相机所拍摄的彩色图像和数字图像处理技术很难将水稻的茎叶区分开,因为在单一彩色图像中,茎叶的颜色、纹理等信息是很相近的,且随着植物的生长变化是非常大的,茎叶之间的关系也一直处在变化之中。另一方面,普通 CCD 相机所拍摄的数字图像虽然有很高的空间分辨率,但是只有有限的光谱分辨率^[7]。而高光谱成像,它不仅可以有较高的空间的分辨率,同时还能得到高分辨率的光谱信息^[8],已经广泛应用于农业数字化研究^[9-12]。我们小组已经研发了一套可见光-近红外高光谱成像系统^[13],为实现单株盆栽水稻茎叶的分割,利用该系统进行数据处理和图像分析,结合主成分分析技术,可准确的将茎叶区分开来,而且有望应用在水稻高

通量表型测量平台上^[14]。

1 材料与方法

1.1 实验材料

文中实验对象为单株盆栽水稻。水稻品种来源于水稻核心种质资源,种植在华中农业大学盆栽场。随机选择3个品种,每个品种种植一盆,每盆测量4个角度,测量时期为2012年5月3日,水稻均处于分蘖盛期。

1.2 数据获取系统

系统的硬件部分主要包括可见光-近红外高光谱相机、卤素灯光源、平移台和计算机。系统的光谱范围为400-1 000 nm,光谱分辨率为3.2 nm。测量开始之前,需使用暗电流和白板对系统进行校正,使结果尽量不受暗电流和光照不均匀引起的误差的影响。校正完毕之后,待测盆栽水稻植株被传送到平移台上,盆栽水稻随平移台运动的同时高光谱相机拍光谱数据。数据传至计算机后,由计算机对数据进行存储并控制整个光谱系统运作。待整株水稻拍摄完毕之后,计算机对数据进行重整,提取出水稻各波长下的图像。计算机所存储的是原始的二进制数据,波长信息和空间信息交错混叠,无法直接用于图像处理,因此需要使用数据重整来提取图像。系统组成结构及数据重整过程详细介绍见文献^[13]。系统运行总流程图如图1所示。

1.3 基于 ENVI 的主成分分析

单株水稻的高光谱数据经过重组后,可以得到188个波长下的图像。如果将这些图像全都用于图像分析,工作量非常大,而且有很多是不必要的信息。因此,在进行图像分割之前,我们需要对数据进行降维处理。由于本研究中使用的光谱系统分辨率为3.2 nm,所以相邻两个波长下的数据相关性是非常高的。综合以上信息,基于 ENVI 软件,本研究里

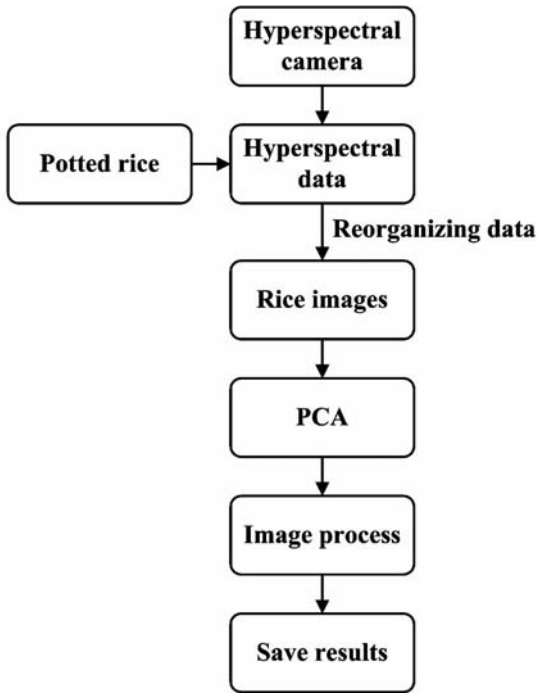


图 1 系统运行总流程图

Fig. 1 The overall procedure of the hyperspectral imaging system

使用主成分分析(PCA)进行数据降维分析。它的基本原理是将原来具有一定相关性的变量通过线性变换重新组合成一组新的互相无关的几个综合变量^[15]。

1.4 基于 Labview 的图像分割

通过 PCA 分析之后,图像由 188 张缩减到 10 张。基于 LabVIEW 进行软件程序设计,我们将提取出来的图像用于图像分析。首先将整株水稻提取出来,接着将整株水稻的掩膜应用到其他主成分图像上,最后使用图像处理技术实现茎叶的分割。

2 结果与讨论

将植物的茎叶信息手动区分开,然后进行统计分析,结果如图 2 所示。从图 2c 的平均值信息可以看出,在某些波段,茎叶的反射率信息差别比较大,于是选择 550 nm 处的反射峰进行单独分析,结果如图 2d 所示,两部分数据分布最集中的区域是有差别,但是重叠部分比较大,图 2a 和 b 也可以验证这一点,这也是为什么只用普通相机的彩色图像无法将茎叶区分开的原因。同时,图 3 展示了普通可见光相机的红、绿和蓝三个分量,我们也可以看出三个分量的茎叶之间差别较小。

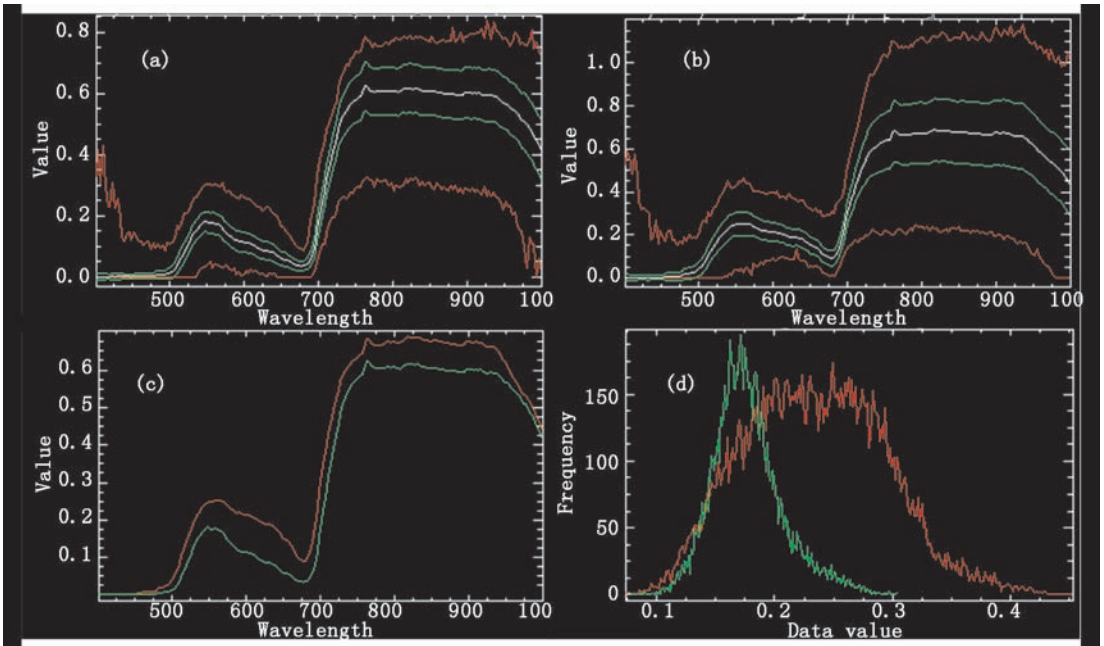


图 2 茎叶的光谱信息,(a)图是叶片部分的光谱信息,白色代表平均值,绿色是标准差,红色是最大值最小值,(b)图是茎秆部分的光谱信息,颜色意义同(a),(c)图是茎叶的平均值信息,红色代表茎秆,绿色代表叶片,(d)图是 550 nm 下茎叶的反射率分布,颜色意义同(c)

Fig. 2 The spectral information of the leaf and stem

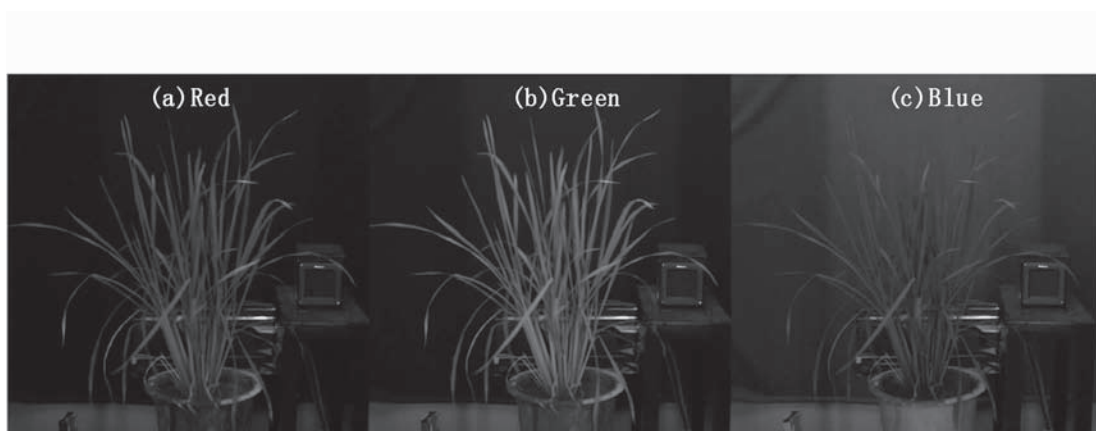


图3 普通可见光相机的红、绿和蓝三个分量

Fig.3 The RGB values of normal visible light image

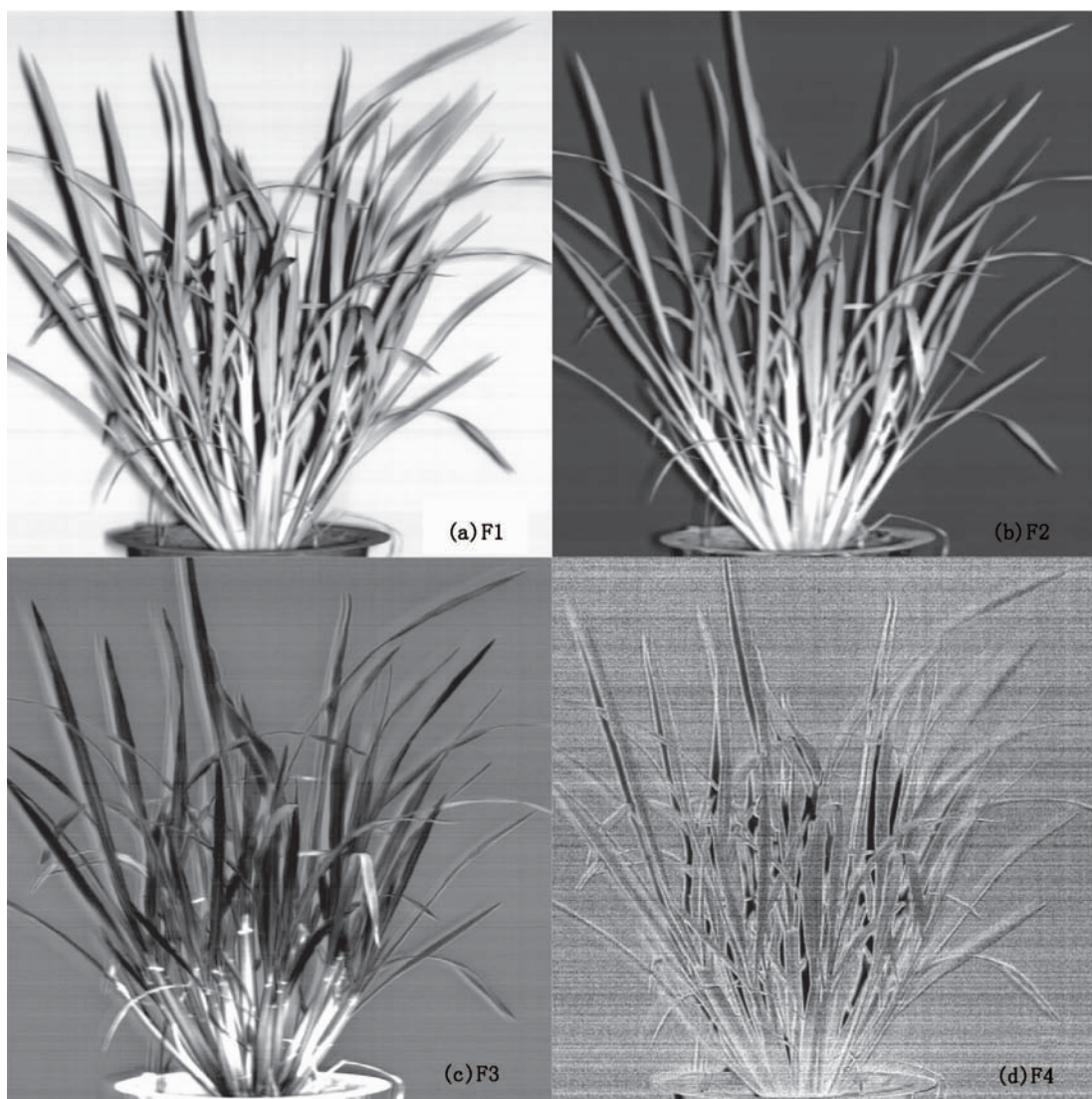


图4 单株水稻全波段图像主成分分析的前四个主成分

Fig.4 The first four PCs of the whole PCA results with the individual rice plant

表 1 单株水稻主成分分析特征值和累计贡献率
Tab. 1 The eigenvalue and accumulative contribution rate of the PCA with the individual rice plant

PC	Eigenvalue	Accumulative contribution rate
1	3.6988	90.24%
2	0.3049	97.67%
3	0.0145	98.03%
4	0.0058	98.17%
5	0.0044	98.28%
6	0.0040	98.37%
7	0.0037	98.46%
8	0.0035	98.55%
9	0.0031	98.63%
10	0.0026	98.69%

经过主成分分析之后,从累计贡献率可以看出

(表 1),前 10 个主成分的累计贡献率超过 98%,因此,我们只取前 10 个主成分。结合主成分分析的结果以及本文的主要目的,我们只将前 4 个主成分拿出来进行主成分分析。通过图 4 中的主成分图像与图 3 的 RGB 分量图像对比可以看出,主成分分析之后茎叶之间的差异变大。从图 4 可以看出,第一主成分 F1 和第四主成分 F4 对水稻的整体和外轮廓比较敏感,适用于将水稻从背景中分割出来,第二主成分 F2 对茎叶之间的差别比较敏感,而第三主成分 F3 则对水稻黄色部分比较敏感。因此,结合本文的主要目的,我们使用第一主成分 F1 对水稻进行分割,使用第二主成分 F2 分割茎叶,为方便显示以及对茎叶的差别有更明显的区分,分割结果采用光谱合成伪彩图(三个分量分别为高光谱图像中的 $R = 630 \text{ nm}$, $G = 521 \text{ nm}$, $B = 464 \text{ nm}$)显示(图 5 和图 6)。

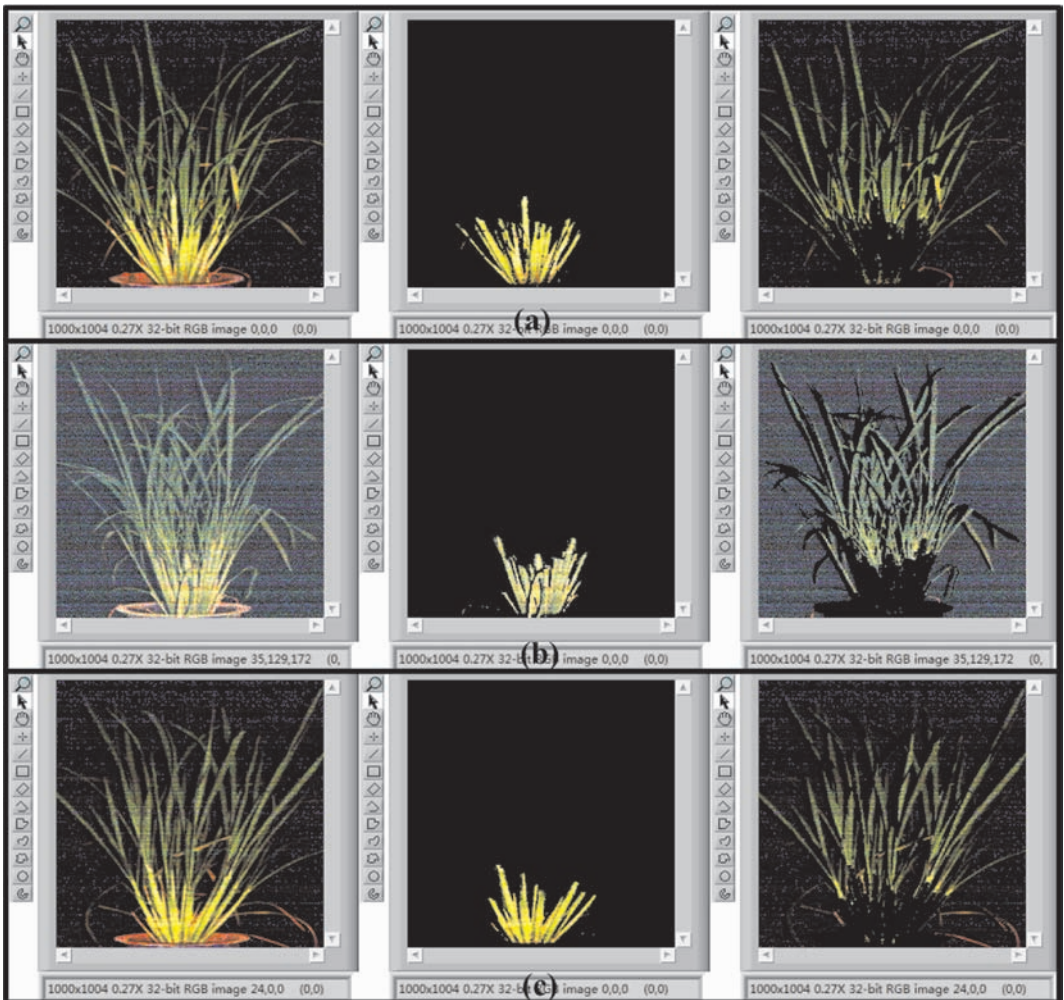


图 5 3 盆茎叶分割效果图,每系列图的左边第一幅为单株水稻合成伪彩图,中间第二幅为分割茎秆图,右边第三幅为除去茎秆图

Fig. 5 The segmentation results of the leaf and stem

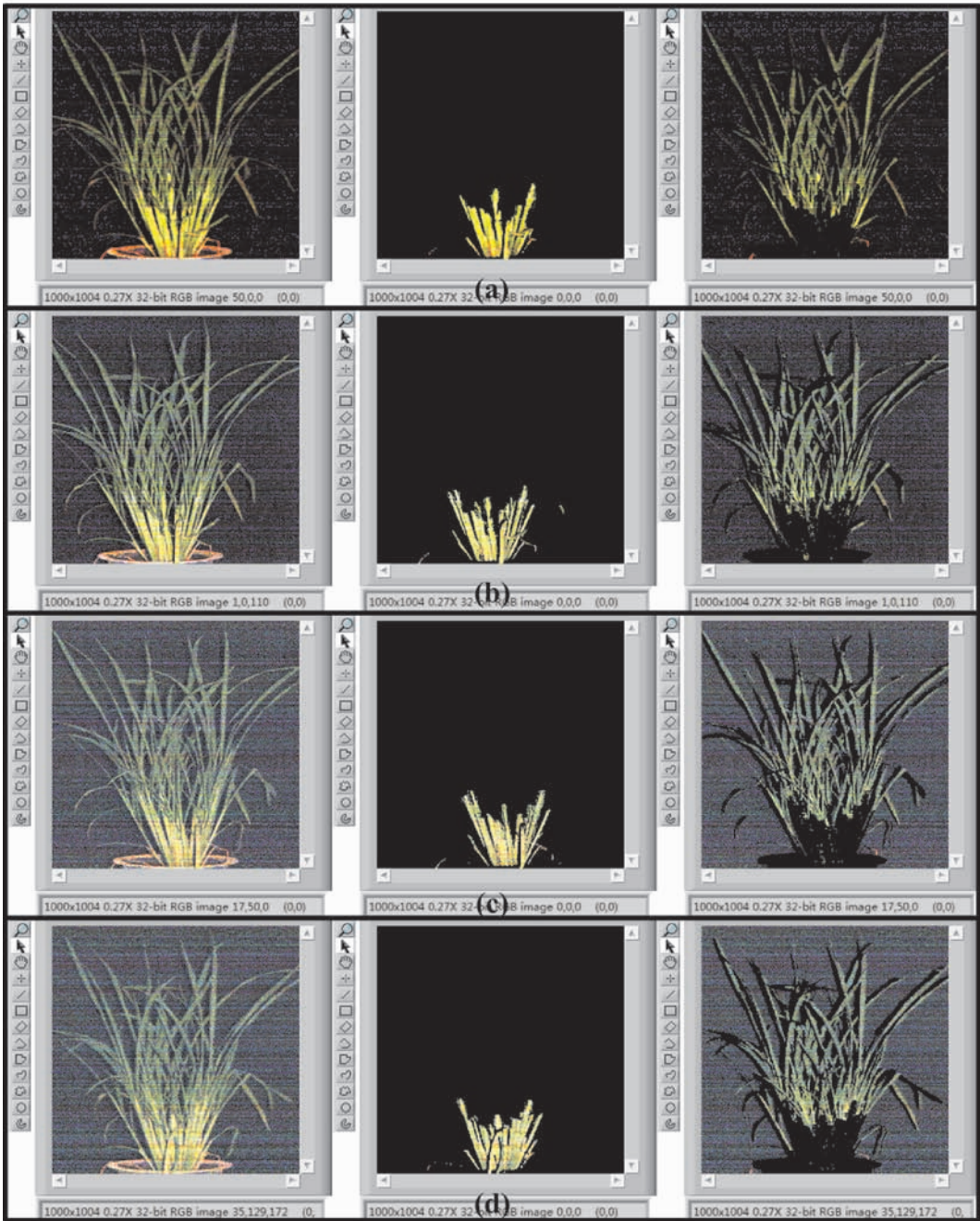


图6 同一盆四个角度的茎叶分割效果,每系列图的左边第一幅为单株水稻合成伪彩图,中间第二幅为分割茎秆图,右边第三幅为除去茎秆图

Fig. 6 The segmentation results of the leaf and stem for the same rice plant under four shooting angle

从最终的分割效果来看,三盆的总体分割效果比较好。从同一盆的四个角度的分割效果来看,本研究的方法的分割效果比较稳定,不依赖于不同的摆放角度。基于高光谱成像和主成分分析的图像处理,能将茎叶区分开,而且不会错分黄色茎叶,能满足目前表型组学对分割茎叶的需求。

3 结论

本文通过可见光-近红外高光谱成像系统,利用主成分分析和数字图像处理技术,实现了单株水稻分蘖时期的茎叶分割。相对于传统的茎叶分割方法,本研究所介绍的方法对分割结果有较大的改进。

本研究实现了基于高光谱的茎叶分割,为后续水稻茎叶表型性状高通量、数字化、无损准确提取提供了重要的技术保障,进一步促进植物表型组学的发展。


参考文献

- [1] 玉光惠,方宣钧.表型组学的概念及植物表型组学的发展[J].分子植物育种,2009,7(4):639-645.
YU Guanghui, FANG Xuanjun. Concept of phenomics and its development in plant science[J]. Molecular Plant Breeding, 2009, 7(4): 639-645.
- [2] YANG W N, DUAN L F, CHEN G X, *et al.* Plant phenomics and high-throughput phenotyping: accelerating rice functional genomics using multidisciplinary technologies [J]. Curr Opin Plant Biol, 2013, 16(2):180-187.
- [3] JIANG N, YANG W, DUAN L, *et al.* A nondestructive method for estimating the total green leaf area of individual rice plants using multi-angle color images[J]. Journal of Innovative Optical Health Sciences, 2015(2):1550002-1-12.
- [4] 陈温福,张龙步,徐正进.水稻穗重与叶片茎秆性状的关系[J].沈阳农业大学学报,1987,2:1-6.
CHEN Wenfu, ZHANG Longbu, XU Zhengjin. The Relationships between the characters of leaf and stem and the panicle weight in rice varieties[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 1987, 2:1-6.
- [5] 刘玉琴.一个水稻卷叶突变体的遗传分析及基因定位[D].天津:天津师范大学,2012.
LIU Yuqin. Genetic analysis and gene mapping of one rolled leaf mutant[D]. Tianjin: Tianjin Normal University, 2012.
- [6] 祁永斌,杨卫兵,叶胜海,等.水稻双剑叶突变体的表型、遗传分析及BR应答[J].核农学报,2012,6:847-852.
QI Yongbin, YANG Weibing, YE Shenghai, *et al.* Phenotypic, genetic analysis and BR response of a rice double flag leaf mutant [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2012, 6: 847-852.
- [7] XIAOBO Z, JIYONG S, LIMIN H, *et al.* In vivo noninvasive detection of chlorophyll distribution in cucumber (*Cucumis sativus*) leaves by indices based on hyperspectral imaging [J]. Analytica Chimica Acta, 2011, 706(1):105-112.
- [8] LI J, RAO X, YING Y. Detection of common defects on oranges using hyperspectral reflectance imaging [J]. Comput Electron Agr, 2011, 78(1):38-48.
- [9] LIU Z Y, SHI J J, ZHANG L W, *et al.* Discrimination of rice panicles by hyperspectral reflectance data based on principal component analysis and support vector classification [J]. Journal of Zhejiang University Science B, 2010, 11(1):71-78.
- [10] OKAMOTO H, LEE W S. Green citrus detection using hyperspectral imaging [J]. Comput Electron Agr, 2009, 66(2):201-208.
- [11] ZHANG X, HE Y. Rapid estimation of seed yield using hyperspectral images of oilseed rape leaves [J]. Industrial Crops and Products, 2013, 42:16-420.
- [12] XUE L, YANG L. Deriving leaf chlorophyll content of green-leafy vegetables from hyperspectral reflectance [J]. Isprs J Photogramm, 2009, 64(1):97-106.
- [13] FENG H, JIANG N, HUANG C L, *et al.* A hyperspectral imaging system for an accurate prediction of the above-ground biomass of individual rice plants [J]. Rev Sci Instrum, 2013, 84(9):095107.
- [14] YANG W, XU X, DUAN L, *et al.* High-throughput measurement of rice tillers using a conveyor equipped with x-ray computed tomography [J]. Rev Sci Instrum, 2011, 82(2):025102.
- [15] ABDI H, WILLIAMS L J. Principal component analysis [J]. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, 2010, 2(4):433-459.

基于高光谱成像和主成分分析的水稻茎叶分割

作者: [冯慧](#), [熊立仲](#), [陈国兴](#), [杨万能](#), [刘谦](#), [FENG Hui](#), [XIONG Lizhong](#), [CHEN Guoxing](#),
[YANG Wanneng](#), [LIU Qian](#)

作者单位: [冯慧, 刘谦, FENG Hui, LIU Qian \(华中科技大学生命科学与技术学院生物医学光子学教育部重点实验室, 湖北 武汉, 430074\)](#), [熊立仲, 杨万能, XIONG Lizhong, YANG Wanneng \(华中农业大学作物遗传与改良国家重点实验室, 湖北 武汉, 430070\)](#), [陈国兴, CHEN Guoxing \(华中农业大学农业部长江中游作物生理生态与耕作重点实验室, 湖北 武汉, 430070\)](#)

刊名: [激光生物学报](#) 

英文刊名: [Acta Laser Biology Sinica](#)

年, 卷(期): 2015(1)

引用本文格式: [冯慧](#). [熊立仲](#). [陈国兴](#). [杨万能](#). [刘谦](#). [FENG Hui](#). [XIONG Lizhong](#). [CHEN Guoxing](#). [YANG Wanneng](#). [LIU](#)

[Qian](#) [基于高光谱成像和主成分分析的水稻茎叶分割](#) [期刊论文] - [激光生物学报](#) 2015(1)