

稻穗结构图像特征与籽粒数相关关系分析*

赵三琴 李毅念 丁为民 吕俊逸 王心怡

(南京农业大学江苏省现代设施农业技术与装备工程实验室, 南京 210031)

摘要: 针对人工测量低效,重复性差且无法同时获取多个参数的问题,提出稻穗结构图像特征测量方法。首先人工测量稻穗一次枝梗长度和每穗籽粒数,发现二者具有显著相关性;采用图像处理方法提取稻穗图像面积、一次枝梗长度特征,并分别分析二者与籽粒数的相关关系。试验结果表明,面积、一次枝梗长度特征与籽粒数的相关系数在0.90以上,预测籽粒数的最大误差平均值为7.90%,说明稻穗形态特征的图像提取方法可行有效,面积、一次枝梗长度均能用来表达或替代稻穗籽粒数特征。

关键词: 水稻 稻穗结构 图像分析 一次枝梗 面积

中图分类号: TP391.4; S511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)12-0323-06

引言

稻穗是水稻的结实器官,与产量和品质直接相关,其形态特征是育种^[1-2]、测产^[3]、稻穗形态结构模拟^[4-5]研究中重要的量化指标,主要包括每穗籽粒数、一次枝梗数目及长度、二次枝梗数目及长度、结实率、稻穗骨架等。现阶段这些特征的获取主要依靠人工测量,耗时耗力,效率低且重复性差,无法满足规模化、高通量的测量要求^[6]。随着光学技术和计算机技术的快速发展,德国 LemnaTec 公司^[7-9]研制的全自动高通量植物 3D 成像系统,能够全自动地完成表型分析,已成功应用于玉米和拟南芥的成像和分析,但该产品价格昂贵(80 万欧元),而且内置的检测模型不能完全适应我国农作物实际情况。文献[10]采用单穗脱粒机构,结合图像处理方法对水稻产量相关性状进行测量,并能将空秕粒与实粒分开,但该方法破坏了稻穗形态结构,无法同时实现其他形态参数的测量。关于麦穗^[11-12]、玉米果穗^[13-15]形态测量的图像分析方法已有报道,但关于稻穗形态结构快速测量的方法还未查到相关文献。因此,为提高稻穗结构特征的获取效率,本文以4个品种的稻穗为研究对象,采用图像分析方法探讨稻穗结构特征自动提取方法,并分析稻穗特征与籽粒数的相关关系,以实现同时快速测量多个形态特征的目的。

1 试验材料与方法

1.1 稻穗样本

供试稻穗为4个不同的品种,样品1、2为粳稻,样品3、4为籼稻,前3种样品采自于南京农业大学江浦实验农场,样品4采自于金湖县,自采集之日起至试验前均平铺摆放于实验室地上晾干储藏。试验时,将每个样本用标签纸标记,并用直尺人工测量每个稻穗样本的一次枝梗长度、主轴长度,测量方法如图1所示。从图1可以看出,一次枝梗长度测量有2个标准,在长度测量的同时,人工计数并记录每个稻穗样本的籽粒数。所测试4个品种的样本量分别为104、200、200、200稻穗。样品1中有8个样本籽粒脱落严重被去除,有效样本为96个。4种稻穗样本籽粒数分布情况如图2所示,根据标准1、2测得的样品1、2稻穗样本的一次枝梗总长度、根据标准2测得的样本3、4稻穗样本的一次支梗总长度、以及根据标准2测得的全体样品的一次支梗总长度,分别与籽粒数之间的相关关系见图3;样品1、2稻穗样本的主轴长度与籽粒数之间的相关关系见图4。

由图2可以看出,4种样品稻穗样本的籽粒数呈正态分布,说明所采集样本具有统计学意义。对比图3、图4,一次枝梗总长度与籽粒数的决定系数比主轴长度与籽粒数的决定系数大得多,说明一次

收稿日期:2014-01-15 修回日期:2014-02-10

* 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20130097110042)、中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(KYZ201161)和南京农业大学工学院引进人才科研启动基金资助项目(RCQD11-01)

作者简介:赵三琴,讲师,博士,主要从事图像处理与模式识别研究,E-mail:zhaosanqin@njau.edu.cn

通讯作者:丁为民,教授,博士生导师,主要从事计算机模拟与控制研究,E-mail:wmding@njau.edu.cn

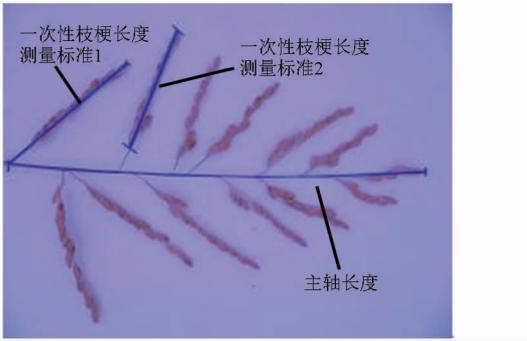


图1 稻穗一次枝梗长度人工测量方法和标准

Fig.1 Manual measurement and standard for panicle primary branch length

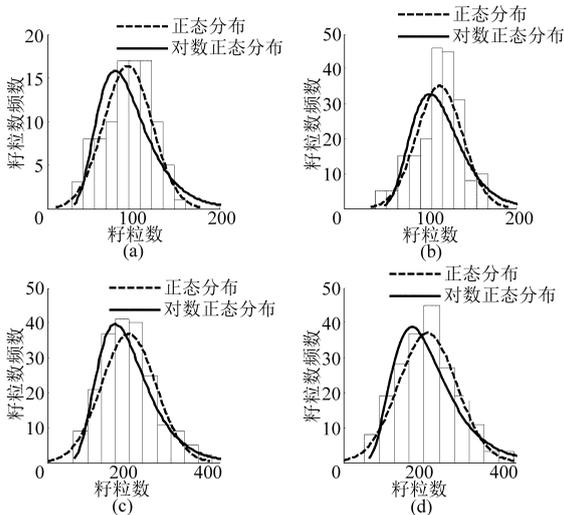


图2 4种稻穗样品籽粒数分布直方图

Fig.2 Histogram distribution of spikelet number from four type samples

(a) 样品1 (b) 样品2 (c) 样品3 (d) 样品4

枝梗总长度与籽粒数之间具有显著相关性。比较图3a与3b,3c与3d,采用标准2测得的一次枝梗总长度与籽粒数的决定系数较标准1测得的一次枝梗总长度与籽粒数的决定系数稍大,说明标准2测得的一次枝梗总长度与籽粒数之间具有更显著的相关性。这是因为从具有籽粒数的点开始测量一次枝梗的长度,客观上与籽粒数更加对应。比较图3b、3d、3e、3f、3g,可以看出,4个水稻品种,其一次支梗总长度与籽粒数的线性回归方程的斜率基本是一致的,差异主要集中在截距上,说明一次支梗长度与籽粒数的相关关系与水稻品种无关。这些人工测量的结果,对于稻穗图像采集而言,需要将稻穗的一次枝梗分开,尽可能不要粘连和重叠,为后续支梗长度特征的提取做好准备。

1.2 稻穗图像采集及其特征提取方法

根据1.1节的测试和分析,在采集稻穗图像时,需要将其一次枝梗尽可能的掰开并捋直。所有稻穗图像采集采用扫描仪(上海中晶科技有限公司,MRS-

3200PU2型),扫描分辨率设置为72 dpi,图像大小为1008像素×612像素。

为了实现籽粒数特征的快速测量,对稻穗图像的一次枝梗总长度、面积特征的提取算法进行初步探索,通过建立二者与籽粒数的相关模型,达到籽粒数的快速估算。

采用图像分析方法提取稻穗一次枝梗总长度(标准2)的图像处理过程包含灰度化、二值化、开运算、孔洞填充、非目标物体的去除、灰度图像图5b减去其与目标图像图5f的乘积,以获得特征提取的效果图5g,如图5所示,程序采用Matlab软件(v.7.14, R2012a, The MathWorks, Inc., Natick, Mass.)编写和调试,处理过程所用函数依次为rgb2gray、im2bw、imopen、imfill、bwareopen。其中,二值化阈值采用函数graythresh计算、开运算结构参数采用strel函数,设置为半径为1的圆盘结构。最后采用regionprops函数的面积Area、主轴长度MajorAxisLength功能计算目标图像图5f的面积、每根一次枝梗的主轴,即一次支梗长度,将所有的一次支梗长度求和即可得到稻穗的一次支梗总长度。对704幅图像进行处理,其中664幅图像没有一次枝梗丢失,提取完整,算法提取准确性达94%,说明该算法通用性很好。

2 试验结果与讨论分析

提取4种样品每个样本的面积、一次枝梗长度,分别建立每种样品、全体样品的面积、一次枝梗总长度与籽粒数的关系模型如图6所示,面积、一次枝梗总长度与籽粒数的相关系数均在0.90以上,具有显著的相关性,模型参数在不同品种间的差异集中体现在回归方程的截距,与人工测量结果一致,说明采用图像分析方法提取稻穗形态特征是可行的,面积、一次支梗总长度能够有效表示或者替代籽粒数特征。

用建立的方程预测稻穗籽粒数,来检验模型的准确性。误差计算方法为:(预测籽粒数-实际籽粒数)/实际籽粒数×100%。表1给出籽粒数预测模型误差的区间概率统计情况,模型预测误差分别在10%、15%、20%区间内每个品种样本数量占其总量的概率。从表中可以看出,面积模型准确性略高,人工测试模型比一次枝梗总长度模型的准确性略高,这是因为人工测试稻穗枝梗更直,图像采集的稻穗枝梗会有弯曲,但弯曲并不影响面积特征。总体测量误差最大为7.90%,与文献[6]籽粒数的测量误差5%基本相当,但本文方法不用进行脱粒操作,测量过程相对简单,而且能够同时获取稻穗的其他形态结构参数,如一次枝梗长度、主轴长度。

现阶段该方法主要针对已采摘的稻穗的室内形态的测试,与采用单穗脱粒^[10]、单一性状^[12]的获取

方法相比,本文方法提取的特征多,更具有实用性和推广价值。若用于田间测试,仍需进行深入研究。

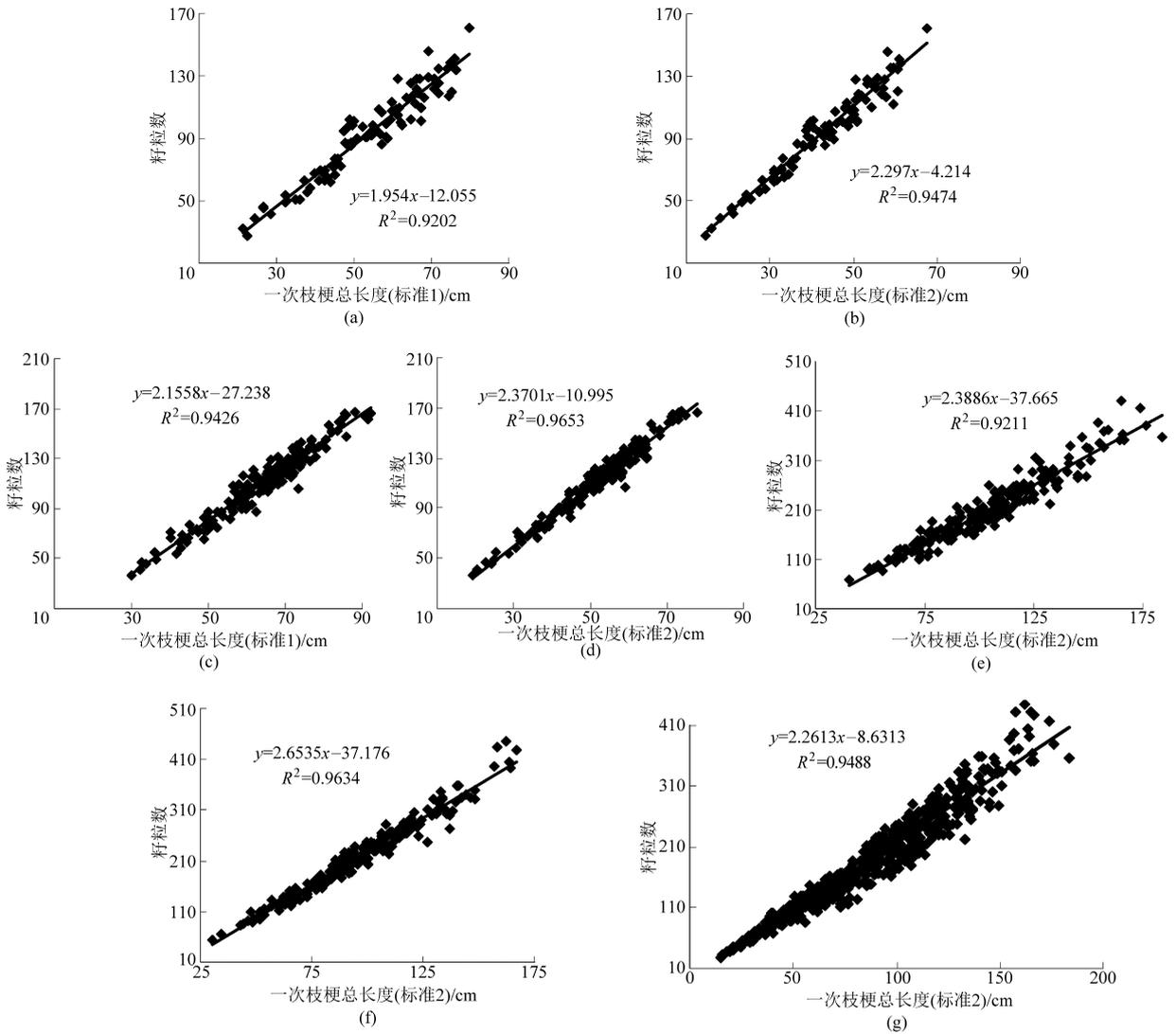


图 3 不同标准测得 4 种样品及全体样品的一次支梗总长度与籽粒数的相关关系

Fig.3 Relationship between primary branch length and spikelet number by using different standards

(a) 样品 1 (b) 样品 1 (c) 样品 2 (d) 样品 2 (e) 样品 3 (f) 样品 4 (g) 全体样品

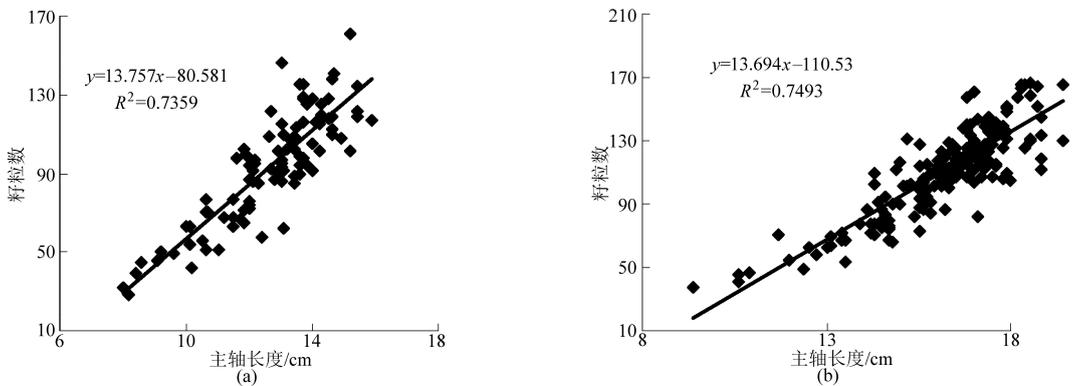


图 4 稻穗主轴长度与籽粒数的相关关系

Fig.4 Relationship between panicle axis and spikelet number

(a) 样品 1 (b) 样品 2

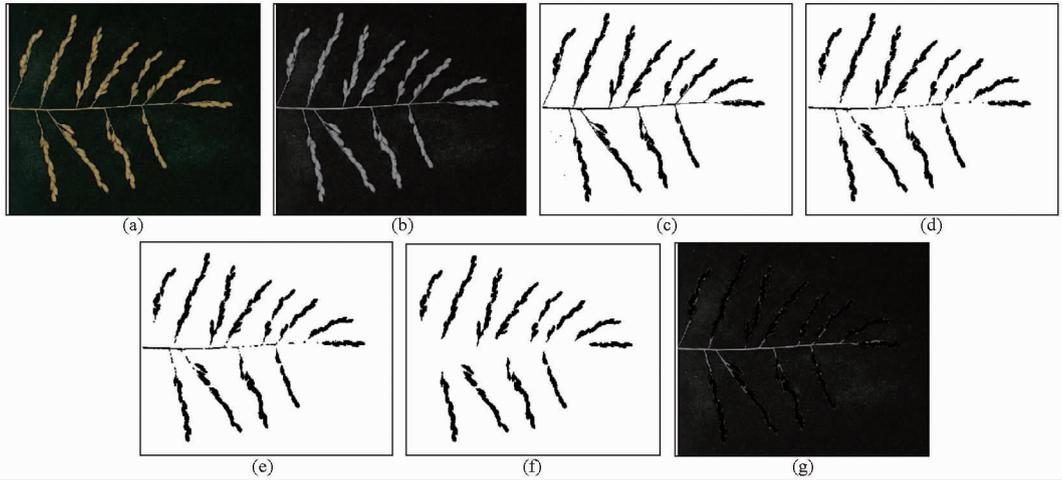
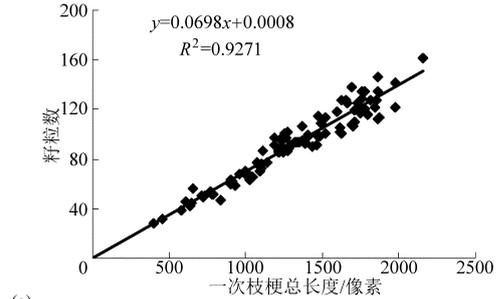
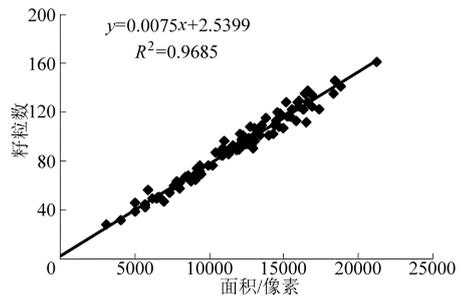


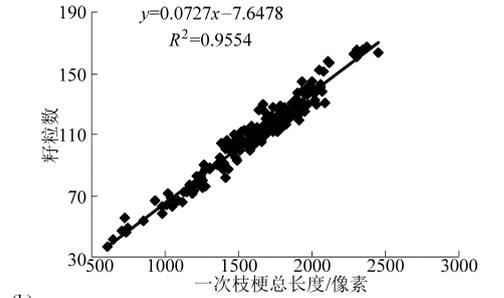
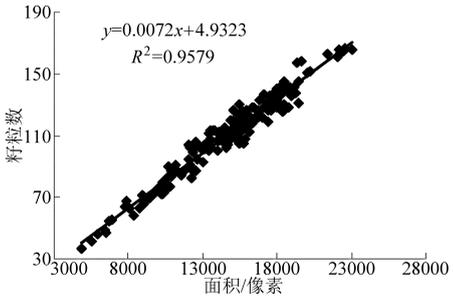
图5 稻穗图像特征提取过程

Fig. 5 Characteristics extraction from rice panicle image

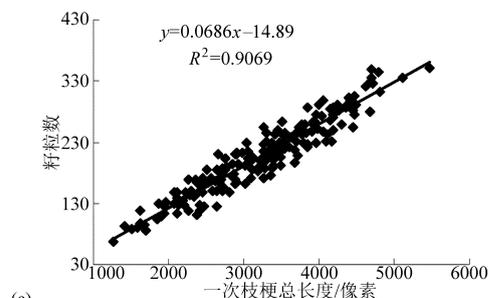
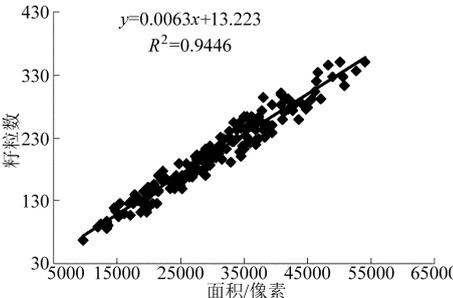
(a) 原始图像 (b) 灰度图像 (c) 二值图像 (d) 开运算 (e) 孔洞填充 (f) 非目标物体去除 (g) 提取效果



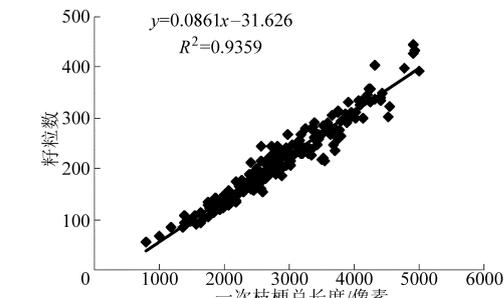
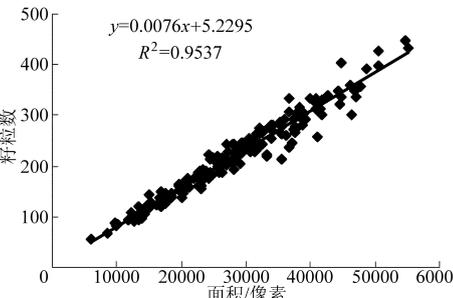
(a)



(b)



(c)



(d)

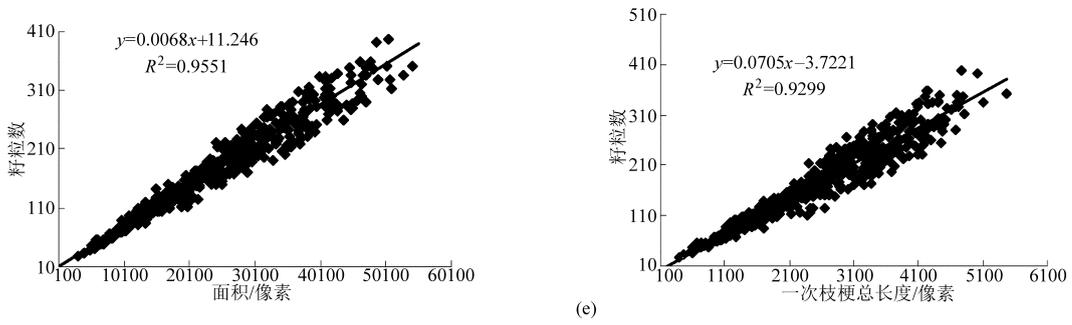


图 6 稻穗面积、一次枝梗总长度与籽粒数的关系模型

Fig. 6 Relationship model between primary branch length (area) and spikelet number

(a) 样品 1 (b) 样品 2 (c) 样品 3 (d) 样品 4 (e) 全体样品

表 1 籽粒数预测模型误差统计

Tab. 1 Model error from spikelet number prediction

品种	模型预测误差区间/%	面积/%	一次枝梗总长度/%	人工测试/%
样品 1	10.00	94.85	76.29	86.46
	15.00	97.94	95.88	98.96
	20.00	100	98.97	100
	平均误差	4.28	6.03	5.11
样品 2	10.00	94.05	92.43	97.50
	15.00	100	98.92	99.00
	20.00	100	100	99.50
	平均误差	4.01	4.14	3.53
样品 3	10.00	83.60	70.90	69.50
	15.00	95.77	87.30	90.50
	20.00	99.47	94.71	96.50
	平均误差	5.97	7.77	7.52
样品 4	10.00	86.43	77.39	89.00
	15.00	94.97	89.95	97.50
	20.00	98.49	96.48	99.00
	平均误差	5.53	6.95	5.09
全体样本	10.00	76.96	70.18	74.43
	15.00	93.07	86.30	89.08
	20.00	97.74	93.98	95.55
	平均误差	6.51	7.90	7.40

3 结论

(1) 采用图像分析方法能够同时测量稻穗的多个形态特征,包括稻穗面积、一次枝梗长度、籽粒数,尤其面积特征,人工测量相对困难,而图像分析方法具有极大的优势,对 704 幅图像进行处理,提取完整性达到 94%。

(2) 稻穗面积、一次枝梗总长度与籽粒数的相

关系系数在 0.90 以上,具有显著相关性,模型最大均值误差为 7.90%,模型参数在不同水稻品种间的差异集中体现在回归方程的截距,与水稻品种无关,说明稻穗形态特征的图像提取方法可行有效,面积、一次枝梗总长度特征均能有效表达或替代籽粒数特征,相对于人工数粒的方式,采用图像分析方法获取面积、一次枝梗总长度得到稻穗籽粒数更加简便和快速。

参 考 文 献

- 罗海伟, 杨重法, 田小海. 大穗型水稻品种穗部结构特征分析[J]. 热带作物学报, 2013, 34(3): 418-423.
Luo Haiwei, Yang Chongfa, Tian Xiaohai. Analysis of panicle structure characteristics of large panicle rice [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2013, 34(3): 418-423. (in Chinese)
- 徐正进, 林晗, 马殿荣, 等. 北方粳稻穗型改良理论与技术研究及应用[J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(6): 650-659.
Xu Zhengjin, Lin Han, Ma Dianrong, et al. Research and application of the panicle type improved theory and technology in Northern Japonica rice [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2012, 43(6): 650-659. (in Chinese)
- 徐正进, 邵国军, 韩勇. 东北三省水稻产量和品质及其与穗部性状关系的初步研究[J]. 作物学报, 2006, 32(12): 1878-1883.
Xu Zhengjin, Shao Guojun, Han Yong. A preliminary study on yield and quality of rice and their relationship with panicle

- characters in Northeast region of China [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(12): 1878 – 1883. (in Chinese)
- 4 石春林, 朱艳, 汤亮, 等. 水稻穗结构的定量特征与虚拟表达的初步研究[J]. *作物学报*, 2007, 33(4): 652 – 656.
Shi Chunlin, Zhu Yan, Tang Liang, et al. Quantitative analysis and primary simulation on rice panicle structure [J]. *Acta Agronomica Sinica*. 2007, 33(4): 652 – 656. (in Chinese)
- 5 伍艳莲, 汤亮, 刘小军, 等. 基于形态特征参数的稻穗几何建模及可视化研究[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(4): 1190 – 1196.
Wu Yanlian, Tang Liang, Liu Xiaojun, et al. Architectural parameter-based geometric modeling and visualization of rice panicle [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(4): 1190 – 1196. (in Chinese)
- 6 朱大洲, 王成, 王晓东, 等. 信息技术在作物育种中的应用[J]. *中国稻米*, 2011, 17(6): 25 – 28.
- 7 LemnaTec Corporation. Scanalyzer 3D plant phenomics [2014 – 01 – 15]. <http://www.lemnatec.com/product/scanalyzer-3d-plant-phenotyping>.
- 8 Robert T. Plant phenomics: from gene to form and function [J]. *Functional Plant Biology*, 2009, 36(10 – 11): V – VI.
- 9 Hartmann A, Czauderna T, Hoffmann R, et al. High-throughput phenotyping in Barley-the IPK plant phenomics facilities [C] // *Plant & Animal Genomes XIX Conference*, SanDiego, CA, 2011.
- 10 杨万能. 水稻产量相关性状参数自动提取的数字化技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
- 11 毕昆, 姜盼, 李磊, 等. 基于形态学图像处理的麦穗形态特征无损测量[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(12): 212 – 216.
Bi Kun, Jiang Pan, Li Lei, et al. Non-destructive measurement of wheat spike characteristics based on morphological image processing [J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(12): 212 – 216. (in Chinese)
- 12 姜盼, 张彬, 毕昆. 基于图像处理的小麦穗长测量[J]. *中国传媒大学学报*, 2010, 17(4): 69 – 73.
Jiang Pan, Zhang Bin, Bi Kun. Wheat ear-length measurements based on image processing [J]. *Journal of Communication University of China Science and Technology*, 2010, 17(4): 69 – 73. (in Chinese)
- 13 赵春明, 韩仲志, 杨锦忠, 等. 玉米果穗 DUS 性状测试的图像处理应用研究[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(11): 4100 – 4105.
Zhao Chunming, Han Zhongzhi, Yang Jinzhong, et al. Study on application of image process in ear traits for DUS testing in maize [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(11): 4100 – 4105. (in Chinese)
- 14 于亚军, 周海玲, 付宏, 等. 基于颗粒聚合体的玉米果穗建模方法[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(8): 167 – 174.
Yu Yajun, Zhou Hailing, Fu Hong, et al. Modeling method of corn ears based on particles agglomerate [J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(8): 167 – 174. (in Chinese)
- 15 柳冠伊, 杨小红, 白明, 等. 基于线阵扫描图像的玉米果穗性状检测技术[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(11): 276 – 280.
Liu Guanyi, Yang Xiaohong, Bai Ming, et al. Detecting techniques of maize ear characters based on line scan image [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(11): 276 – 280. (in Chinese)

Relative Analysis between Image Characteristics of Panicle Structure and Spikelet Number

Zhao Sanqin Li Yinian Ding Weimin Lü Junyi Wang Xinyi

(*Engineering Laboratory of Modern Facility Agricultural Technology and Equipment in Jiangsu Province, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China*)

Abstract: Characteristics extraction method of rice panicle images was proposed to solve the traditional measurement problems, such as inefficiency, worse repeatability, obtaining multi-parameters difficultly. There was significant correlation between primary branch length and spikelet number obtaining by manual measurement. Consequently, rice panicle was spread out and images were captured. Image characteristics were extracted using some image processing operations, including area, primary branch length, and panicle skeleton. Experimental result showed that the correlation coefficients were up to 0.90 between image characteristics and spikelet number, and the average predicting error of the model was 7.90%. Consequently, characteristics extraction method of rice panicle images was effective and feasible. The area and primary branch length can be perfect expression and substitute for spikelet number.

Key words: Rice Panicle structure Image analysis Primary branch Area