

# Digital Measurement Method of Rice Grain Based on Image Filtering Technology

Shan Hua, Zhifu Xu

Key Laboratory of Creative Agriculture, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhejiang Creative Agricultural Engineering Technology Research Center, Institute of Digital Agriculture, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou Zhejiang  
Email: qbx.s.dhl@163.com

Received: Oct. 25<sup>th</sup>, 2018; accepted: Nov. 8<sup>th</sup>, 2018; published: Nov. 15<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

In this paper, the  $Z^0$  gradient operator based on bounded mean oscillation (BMO) and the anisotropic nonlinear partial differential equation model were used to construct a BMO filter for image processing, which was used to denoise, detect edges and extract shape features of the digital images of rice grain. The rice grain shape parameters were statistically analyzed to compare the processing effects of the image filters and evaluate the accuracy and stability of BMO filter. The results showed that the BMO filter was superior to the median filter in retaining the boundary and detail features of the digital image. The grain length, grain width and length-width ratio obtained from images processed by the BMO filter were not significantly different from the manual measurements and there showed a strong positive correlation between the average grain area and thousand grain weight. The rice grain shape parameters obtained from images processed by the BMO filter were stable among different rice varieties. Due to the limitation of the two-dimensionality of rice grain digital images and the related equipments, it is impossible to reflect the grain shape characteristics, such as grain thickness, length-thickness ratio and so on. In future research work, the combination of image filtering technology and cross-sectional scanning technology can be considered to describe the shape characteristics of rice grain in three-dimensional space and provide accurate data for rice breeding.

## Keywords

Bounded Mean Oscillation, Partial Differential Equation Model, Image Filter, Rice Grain Shape Parameters

---

# 基于图像滤波技术的水稻谷粒 数字化测量方法

华 珊, 徐志福

浙江省农业科学院数字农业研究所, 浙江省创意农业工程技术研究中心, 农业农村部创意农业重点实验室, 浙江 杭州

Email: qbx.s.dhl@163.com

收稿日期: 2018年10月25日; 录用日期: 2018年11月8日; 发布日期: 2018年11月15日

## 摘要

本研究利用基于有界平均振荡模型(boundary mean oscillation, BMO)的 $Z^0$ 梯度算子, 结合各向异性非线性偏微分方程模型, 构造用于图像处理的BMO滤波器, 对水稻谷粒的数字图像进行去噪增强、边缘检测和特征提取, 并对粒形参数进行统计分析。在此基础上, 比较了BMO滤波与中值滤波的处理效果, 并分析了BMO滤波技术的准确性与稳定性。结果表明, BMO滤波在保留图像的边界与细节特征方面显著优于中值滤波, 其处理图像获取的谷粒粒长、粒宽和长宽比与人工测量值无显著差异( $p < 0.05$ ), 平均粒面积与千粒重正相关性强( $R^2 = 0.942, p < 0.001$ ), 且粒形参数提取结果在不同水稻品种间有较好的稳定性。

## 关键词

有界平均振荡模型, 偏微分方程, 图像滤波技术, 水稻粒形参数

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

我国是世界上最大的水稻消费国, 同时也是最大的水稻生产国, 全球有超过一半的人口是以稻米为食[1]。随着水稻生长环境的胁迫日益严峻及粮食需求的急剧增长, 培育出高产量、高营养, 具备抗胁迫能力的水稻优良品种一直是水稻育种研究的重点。随着功能基因组技术和基因与表型解析技术的发展, 目前科研工作者已经可以利用基因组数据和表型组数据建立相关性模型, 从而达到解析复杂表型的目的[2]。水稻的表型参数和生理生态参数有很多, 其中, 水稻粒形参数能直接反映水稻的产量, 如总粒数、实粒数、粒长、粒宽、千粒重及其衍生参数[3]。研究表明水稻谷粒的粒形如长、宽、面积是遗传性状, 是进行品种区分的重要指标, 一般粳稻的谷粒较短、呈椭圆形, 长宽比较小, 而籼稻的谷粒为细长型, 长宽比较大[4], 水稻谷粒形态参数作为水稻育种的重要标准, 研究其测量方法对水稻育种具有重要意义。

然而如何快速、准确、可靠地获取水稻表型参数已经成为困扰科研工作者的重大问题, 现有的水稻谷粒形态检测多由人工完成, 传统测量方法为直尺或游标卡尺测量, 为减少统计数据误差, 需要重复测量以提高实验的准确性, 存在着劳动强度大和人工主观误差的缺点[5] [6] [7]。但随着现代计算机技术、机器视觉技术、信息与自动化技术的飞速发展, 国内外研究人员相继研发了一系列高精度、高效率的水稻谷粒自动化测量方法与设备[8] [9] [10] [11], 其粒形参数提取的核心是图像处理技术, 而图像的去噪增强是图像前处理的关键, 其能减少图像获取过程中因各种因素产生的噪声对后期图像分析带来的影响。图像去噪增强方法大致分为两类: 1) 基于统计技术的传统图像滤波技术, 如中值滤波[12] [13]等, 该类滤波技术在去噪同时由于不考虑图像的形状特征, 容易对图像边缘造成过度平滑[14]; 2) 基于偏微分方

程的去噪方法, 该类滤波技术由图像梯度决定其扩散速度, 属于各向异性扩散模型, 在去噪同时又能够保留细微的图像边缘特征[13] [14] [15] [16]。

本研究提出利用基于 BMO (bounded mean oscillation, 有界平均振荡模型)的 ZQ 梯度算子[17] [18], 结合各向异性非线性偏微分方程模型, 构造用于图像处理的 BMO 滤波器, 对水稻谷粒的数字图像进行去噪增强、边缘检测和特征提取, 并对相关的谷粒形态参数进行统计分析。在此基础上, 比较了 BMO 滤波与以中值滤波为代表的传统滤波技术的处理效果, 并分析了 BMO 滤波技术的准确性与稳定性, 以期水稻谷粒数字化测量提供精准有效的图像处理手段, 为准确获取粒形参数做出重要贡献。

## 2. 材料与方法

本实验选取籼稻和粳稻各两种, 分别为内 5 优 8015、Y 两优 689、春优 927 和春优 84, 每个品种选 10 个重复, 每个重复均为 100 粒水稻成熟谷粒。获取谷粒数字图像时, 将水稻谷粒随机散落在黑色背景板上, 并置于专业摄像机中, 采用 Canon EOS 5D Mark III 垂直于背景板进行拍摄, 拍摄所得的数字图像像素为 5760×3840, 分辨率为每像素 0.05mm。

同时对谷粒进行人工测量, 用游标卡尺测量谷粒的粒长和粒宽, 其中粒长为谷粒颖壳上距离最远的两个点长度, 而粒宽则为与粒长垂直方向上最大距离。每个重复用电子天平测量谷粒总重量, 乘以 10 作为该样品的千粒重。每个水稻品种每个重复进行三次人工测量, 测量结果的平均值作为该样品粒长、粒宽和千粒重的真值。

本研究采用单因素方差分析和回归分析方法对图像提取的水稻谷粒形态参数进行分析, 并计算 BMO 滤波与人工测量结果的相对误差、变异系数, 在此基础上分析 BMO 滤波技术的准确性与稳定性。

## 3. 图像处理分析原理

### 3.1. 水稻籽粒形态参数检测系统 V1.0 的总体功能与特色

水稻籽粒形态参数检测系统 V1.0(软件著作权登记号: 2018SR344298)主要用于水稻谷粒数字图像的前期处理、谷粒形态特征参数的提取和相关数据的统计。系统中除了 BMO 滤波, 还包括中值滤波等多种常规图像滤波技术, 可对谷粒数字图像进行去噪增强、边缘检测等功能, 并可对处理完成后的数字图像进行二值化, 最终完成粒形参数的提取, 包括粒长、粒宽、粒面积以及长宽比。该系统运行流程如图 1 所示。

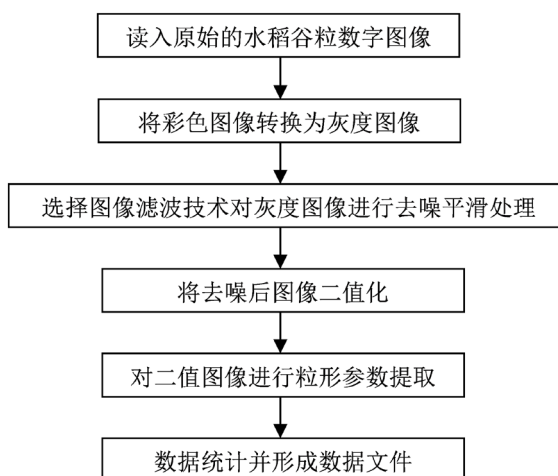


Figure 1. Flow chart of image processing  
图 1. 图像处理流程图

### 3.2. BMO 滤波

BMO(bounded mean oscillation)即有界平均振荡模型的英文缩写, 它通过一种新的导数格式的确来探测边界特征, 并运用积分平均的思想来消除噪声的影响, 其能够利用较少的计算量和计算步骤以及简单的算法结构来达到检测细微边缘特征的目的, 使得该计算格式得到广泛发展[14] [19]。

其 2-D 的算法格式为[16] [17] [18]:

$$BMO = \frac{1}{|Q(x,r)|} \int_{Q(x,r)} u(y) - \frac{1}{|Q(x,r)|} \int_{Q(x,r)} u(z) dz \Big| dy \quad (1)$$

在 BMO 格式和梯度的关系上, 将正方形邻域  $Q(x,r)$  换成球  $B(x,r)$ , 则可以证明如下等式[16] [17] [18]:

$$\lim_{r \rightarrow 0} \frac{1}{rZ_n} \frac{1}{|B(x,r)|} \int_{B(x,r)} u(y) - \frac{1}{|B(x,r)|} \int_{B(x,r)} u(z) dz \Big| dy = |\nabla u(x)| \quad (2)$$

上式适用于 2-D 正方形区域  $Q(x,r)$  的 BMO 形式即为  $Z^Q$  梯度算子[16] [17] [18]:

$$Z^Q(u,x,r) = \frac{2}{r|Q(x,r)|} \int_{Q(x,r)} u(y) - \frac{1}{|Q(x,r)|} \int_{Q(x,r)} u(z) dz \Big| dy \quad (3)$$

本研究拟采用 3\*3 离散格式对  $ZQ$  梯度算子进行离散。BMO 格式的  $ZQ$  梯度算子亦可在更大的窗口中进行离散, 但是其计算格式更为复杂, 而且过大的窗口会造成更大范围的平均值计算, 这样也会降低边界特征的强度, 故本研究采用 3\*3 离散格式对图像进行处理, 而不采用更大尺度范围的  $ZQ$  梯度算子。

### 3.3. 水稻谷粒粒形参数计算

本研究从数字图像中提取测量的粒形参数主要有粒长、粒宽、粒面积和长宽比。粒长、粒宽计算步骤如下所述, 针对每一颗谷粒图像, 提取该谷粒二值图像的轮廓, 然后搜索谷粒轮廓得到轮廓上距离最远的两个点 P1、P2, 该谷粒粒长即为 P1P2 两点之间的距离; 直线 P1P2 将谷粒轮廓划分为上下两个部分, 接着搜索上下轮廓分别距离直线 P1P2 的最大距离 d1、d2, 该谷粒粒宽即为 d1、d2 之和; 最后计算图像上所有谷粒的长、宽最后求平均值即为该样品的平均粒长和平均粒宽, 长宽比则为粒长与粒宽之比, 谷粒平均粒面积则为谷粒区域像素面积的平均值[2]。

## 4. 结果与分析

### 4.1. 不同图像滤波技术对粒长粒宽的影响

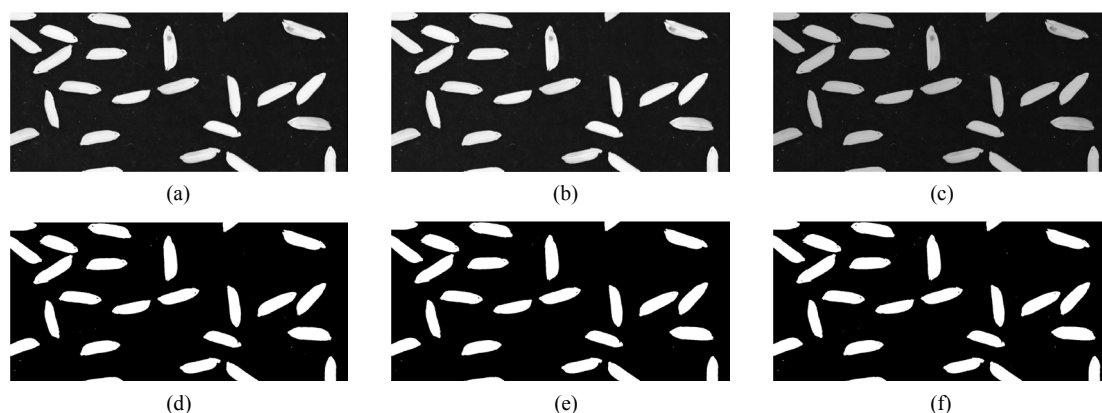
水稻的谷粒形态与产量和品质密切相关, 主要包括粒长、粒宽和长宽比等方面[20] [21], 粒长不仅决定稻米的外观和碾磨品质, 而且对水稻的千粒重也有影响[22] [23], 因此图像滤波技术能否最大程度的保留谷粒数字图像的边缘特征, 更好地反映谷粒形态特征是值得关注的问题。图 2 以内 5 优 8015 为例展示了谷粒数字图像经过不同图像滤波技术处理后的灰度图像与二值化图像, 并与原图直接二值化后的效果进行了对比, 我们将谷粒数字图像直接采用自适应阈值[24]二值化, 即未经过任何图像增强滤波处理, 作为对照进行对比分析。

结果表明(表 1), 针对多种形态差异明显的谷粒, 中值滤波和原图二值处理后获得的粒长粒宽均与人工测量结果有显著性差异, 而 BMO 滤波则没有显著性差异, 人工测量与各滤波技术所得粒长粒宽大小为人工测量 > BMO 滤波 > 原图二值 > 中值滤波, 以籼稻 Y 两优 689 和粳稻春优 84 为例, BMO 滤波

处理后所得粒长粒宽要显著大于原图二值和中值滤波, 这两个品种的粒长较其他处理方式分别增加了 0.33%、0.55%和 0.28%、0.42%, 粒宽较其他处理方式分别增加了 1.26%、1.26%和 1.22%、1.22%, 而中值滤波和原图二值所得结果则无显著性差异。在长宽比方面, 各滤波技术与人工测量之间则并无显著性差异。

将 BMO 滤波处理后所得测量结果与人工测量结果相比(表 2), 不同水稻品种间其粒长相对误差分别为 1.29%、0.88%、1.39%和 0.76%, 变异系数分别为 0.94%、0.90%、1.25%和 0.60%, 其粒宽相对误差分别为 2.90%、1.44%、0.71%和 0.86%, 变异系数分别为 1.74%、1.04%、0.59%和 0.66%, 可见 BMO 滤波对粒形参数提取结果有较好的稳定性。

从上述结果来看, BMO 滤波对不同水稻品种和同一品种多个重复的谷粒数字图像处理效果有较好的准确性和稳定性, 中值滤波作为传统的图像滤波技术, 其算法对去噪效果具有不稳定性, 在滤波过程中丢失了大量的谷粒边缘特征信息, 滤波效果不佳, 而 BMO 滤波兼顾去噪增强与保留细节两方面, 尤其是在保留图像中边缘特征信息效果显著优于传统图像滤波技术, 但其所得结果与人工测量仍存在一定差距, 其原因如下: 一方面数字图像获取过程中, 图像分辨率在一定程度上会导致谷粒信息的损失, 一方面人工测量时, 对粒长粒宽的判断存在主观上的判断, 因此也会一定程度上影响测量结果。



**Figure 2.** Digital images of Nei 5 You 8015 processed by different image filters ((a)-(c) are gray images processed by no filter, median filter and BMO filter, (d)-(f) are binary image processed by no filter, median filter and BMO filter)

**图 2.** 内 5 优 8015 谷粒图像采用不同滤波技术后的效果局部图(其中(a)~(c)依次为无滤波处理、中值滤波、BMO 滤波后的灰度图像, (d)~(f)依次为无滤波处理、中值滤波、BMO 滤波后的二值图像)

#### 4.2. 不同图像滤波技术对粒面积的影响

水稻千粒重是体现种子大小与饱满程度的一项指标, 是检验种子质量和作物考种的内容, 也是田间预测产量时的重要依据, 有相关研究指出水稻千粒重与粒面积具有正相关性[2]。因此本研究利用不同图像滤波技术对谷粒数字图像进行处理后, 统计获得谷粒平均粒面积, 并与千粒重进行相关分析, 结果表明, 水稻千粒重与粒面积具有正相关性(图 3), 即粒面积越大, 千粒重越大, 其中原图二值和中值滤波的相关系数分别为 0.936 和 0.935, BMO 滤波的相关系数为 0.942, 高于其他图像处理方式。

从 3.1 可知, BMO 滤波对谷粒数字图像具有较好的处理效果, 从处理后图像提取的水稻粒形参数与人工测量值无显著差异, 但由于二维图像只能平面反映谷粒的形状、大小, 并不能体现其厚度变化, 因此该方法仍具有一定的局限性。从图 3 结果可知, 水稻千粒重与水稻粒面积具有较高的正相关性, 其中 BMO 滤波获得的结果正相关性最高, 使得利用粒面积预测千粒重成为可能, 在一定程度上弥补了二维图像的局限性。

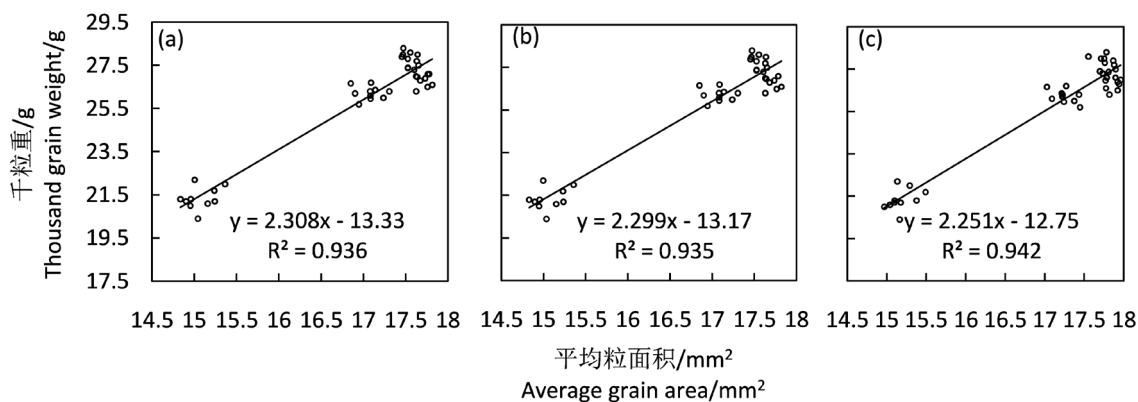
**Table 1.** Rice grain shape parameters obtained from image analysis and manual measurement  
**表 1.** 根据不同图像滤波技术处理后的图像分析与人工测量得到的水稻粒形参数

水稻品种 Rice varieties	粒形参数 Grain shape parameters	人工测量/mm Manual measurement/mm	滤波类型 Image filter		
			原图二值/mm Blank control/mm	中值滤波/mm Median filter/mm	BMO 滤波/mm BMO filter/mm
内 5 优 8015 (籼)	粒长	9.93 ± 0.48a	9.77 ± 0.50b	9.76 ± 0.50b	9.80 ± 0.50a
	粒宽	2.53 ± 0.16a	2.43 ± 0.21b	2.43 ± 0.21b	2.51 ± 0.20a
	长宽比	3.93 ± 0.29a	4.03 ± 0.30a	4.04 ± 0.30a	3.92 ± 0.29a
Y 两优 689 (籼)	粒长	9.14 ± 0.62a	9.08 ± 0.54b	9.06 ± 0.54b	9.11 ± 0.54a
	粒宽	2.44 ± 0.12a	2.39 ± 0.22b	2.39 ± 0.21b	2.42 ± 0.22a
	长宽比	3.76 ± 0.28a	3.81 ± 0.31a	3.80 ± 0.31a	3.78 ± 0.31a
春优 927 (粳)	粒长	7.57 ± 0.37a	7.47 ± 0.46b	7.46 ± 0.46b	7.51 ± 0.46a
	粒宽	3.25 ± 0.18a	3.17 ± 0.23b	3.17 ± 0.23b	3.21 ± 0.23a
	长宽比	2.33 ± 0.12a	2.36 ± 0.21a	2.36 ± 0.21a	2.35 ± 0.21a
春优 84 (粳)	粒长	7.29 ± 0.24a	7.19 ± 0.24b	7.18 ± 0.24b	7.21 ± 0.30a
	粒宽	3.37 ± 0.16a	3.29 ± 0.17b	3.29 ± 0.17b	3.33 ± 0.19a
	长宽比	2.19 ± 0.12a	2.18 ± 0.13a	2.18 ± 0.13a	2.17 ± 0.13a

Note: Different letters represent soil porosity obtained from three image filters differ significantly in the same soil layer and tillage methods ( $p < 0.05$ ).  
 注: 不同字母表示同一水稻品种同一谷粒形态参数不同图像处理方式间的差异显著, 相同字母表示差异不显著( $p < 0.05$ ).

**Table 2.** Relative error and variation coefficient of grain shape parameters (BMO filter)  
**表 2.** 粒形参数的相对误差和变异系数(BMO 滤波)

水稻品种 Rice varieties	粒形参数 Grain shape parameters	相对误差/% Relative error/%	变异系数/% Variation coefficient/%
内 5 优 8015 (籼)	粒长	1.29	0.94
	粒宽	2.90	1.74
Y 两优 689 (籼)	粒长	0.88	0.90
	粒宽	1.44	1.04
春优 927 (粳)	粒长	1.39	1.25
	粒宽	0.71	0.59
春优 84 (粳)	粒长	0.76	0.60
	粒宽	0.86	0.66



**Figure 3.** Relativity analysis between thousand grain weight and average grain area ((a) No filter; (b) Median filter; (c) BMO filter,  $p < 0.001$ )

**图 3.** 千粒重与平均粒面积的相关分析((a)、原图二值; (b)、中值滤波; (c)、BMO 滤波,  $p < 0.001$ )

## 5. 结论

本文基于图像处理、数值分析和计算机技术, 利用 BMO 滤波对谷粒数字图像进行了去噪增强的滤波处理, 并将提取的粒形参数结果与传统滤波技术进行了比较。主要研究结果如下: BMO 滤波与传统滤波技术相比, 在保留图像的边界与细节特征方面显著优于传统滤波技术, 其处理图像获取的谷粒粒长、粒宽和长宽比与人工测量值无显著差异, 数值结果与人工测量值最为接近, 且在不同水稻品种间具有较好的稳定性; 此外不同图像滤波技术获得的谷粒平均粒面积与水稻千粒重均表现为正相关性, 其中 BMO 滤波的相关系数要高于其他图像处理方法。

由于谷粒数字图像的二维性以及相关设备的限制, 无法立体完整的反映谷粒的粒形特征, 如粒厚、长厚比等, 因此图像方法提取粒形参数有一定的局限性, 在今后的研究过程中, 可以考虑将图像滤波技术与断层扫描技术结合, 以期能够完整的描述谷粒在三维空间上的形状特征, 为水稻育种提供精确的量化指标。

## 基金项目

浙江省科技计划项目(2017C02018): 垂直农业系列关键技术研究及产品开发——垂直农业栽培体系关键技术与示范。

## 参考文献

- [1] Wu, X. (2009) Prospects of Developing Hybrid Rice with Super High Yield. *Agronomy Journal*, **101**, 688-695. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0128f>
- [2] 黄成龙. 多品种水稻数字化考种关键技术研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2014.
- [3] Richards, R. (2000) Selectable Traits to Increase crop Photosynthesis and Yield of Grain Crops. *Journal of Experimental Botany*, **51**, 447-458. [https://doi.org/10.1093/jexbot/51.suppl\\_1.447](https://doi.org/10.1093/jexbot/51.suppl_1.447)
- [4] Yadav, T.P. and Singh, V.P. (1989) Milling Characteristics of Aromatic Rices. *International Rice Research Newsletter*, **14**, 7-8.
- [5] Huang, X., Zhao, Y., Wei, X., et al. (2012) Genome-Wide Association Study of Flowering Time and Grain Yield Traits in a Worldwide Collection of Rice Germplasm. *Nature genetics*, **44**, 32-39. <https://doi.org/10.1038/ng.1018>
- [6] Heffier, E.L., Sorrells, M.E. and Jannink, J.L. (2009) Genomic Selection for Crop Improvement. *Crop Science*, **49**, 1-12. <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.08.0512>
- [7] Morris, M.L. and Bellon, M.R. (2004) Participatory Plant Breeding Research: Opportunities and Challenges for the International Crop Improvement System. *Euphytica*, **136**, 21-35. <https://doi.org/10.1023/B:EUPH.0000019509.37769.b1>
- [8] DuBois, J. (2000) Seed or Particle-Counting Device. In Google Patents.
- [9] Batcheller, B.D., Bramel, P.R., Mertins, K.H.O., et al. (2000) Method of Counting Seeds Dispensed through Seed Tubes of an Air Seeding System. In Google Patents.
- [10] Duan, L.F., Yang, W.N., Huang, C.L. and Liu, Q. (2011) A Novel Machine-Vision-Based Facility for the Automatic Evaluation of Yield-Related Traits in Rice. *Plant Method*, **7**, 44. <https://doi.org/10.1186/1746-4811-7-44>
- [11] Bhagwat, S., Sainis, J., Shouche, S., et al. (2003) Grain Morphometric Characterisation of Genetically Related Wheat Selections Using Image Analysis. *Cereal Research Communications*, **31**, 205-212.
- [12] Turkey, J.W. (1970) Exploratory Data Analysis (Limited Preliminary Edition). Addison-Wesley, Reading.
- [13] Perona, P. and Malik, J. (1990) Scale Space and Edge Detection Using Anisotropic Diffusion. *IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **12**, 629-639.
- [14] 华珊, 陈研, 梁露焘, 等. 利用基于偏微分方程的图像滤波技术研究土壤孔隙结构[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 78-85.
- [15] Buades, A., Coll, B. and Morel, J.M. (2006) Neighborhood Filters and PDE's. *Numerische Mathematik*, **105**, 1-34. <https://doi.org/10.1007/s00211-006-0029-y>
- [16] Witelski, T.P., Schaeffer, D.G. and Shearer, M. (2001) A Discrete Model for an Ill-Posed Nonlinear Parabolic PDE. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, **160**, 189-221. [https://doi.org/10.1016/S0167-2789\(01\)00350-5](https://doi.org/10.1016/S0167-2789(01)00350-5)

- [17] Chen, Y., Yan, Y. and Zhang, K. (2010) On the Local Fractional Derivative. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, **362**, 17-33. <https://doi.org/10.1016/j.jmaa.2009.08.014>
- [18] Chen, Y., Wang, Z. and Zhang, K. (2013) Approximations for Modulus of Gradients and Their Applications to Neighborhood Filters. *Frontiers of Mathematics in China*, **8**, 761-782. <https://doi.org/10.1007/s11464-013-0297-7>
- [19] Wang, Z., Kojima, Y., Lu, S., et al. (2015) Time Domain Reflectometry Waveform Analysis with Second-Order Bounded Mean Oscillation. *Soil Science Society of America Journal*, **78**, 1146-1152. <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.11.0497>
- [20] 徐建龙, 薛庆中, 罗利军, 黎志康. 水稻粒重及其相关性状的遗传解析[J]. 中国水稻科学, 2002, 16(1): 6-10.
- [21] 高志强, 占小登, 梁永书, 程式华, 曹立勇. 水稻粒形性状的遗传及相关基因定位与克隆研究进展[J]. 遗传, 2011, 33(4): 314-321.
- [22] 罗玉坤, 朱智伟, 陈能, 段彬伍, 章林平. 中国主要稻米的粒型及其品质特性[J]. 中国水稻科学, 2004, 18(2): 135-139.
- [23] 黄海祥, 钱前. 水稻粒形遗传与长粒型优质粳稻育种进展[J]. 中国水稻科学, 2017, 31(6): 665-672.
- [24] Otsu, N. (1979) A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, **9**, 62-66. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1979.4310076>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5507, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [hjas@hanspub.org](mailto:hjas@hanspub.org)