稻谷加工断裂面裂纹显微图像识别研究

吴 杰,任奕林,王恒志 (华中农业大学工学院,湖北 武汉 430070)

摘 要:针对稻谷加工破损问题,提出了基于图像处理稻谷断裂面裂纹识别方法。通过剪切试验后获取稻谷断 裂面显微图像,提取其裂纹特征参数并进行了T检验及BP神经网络识别研究。结果表明,两种稻谷特征参数K值差 异性显著,干燥和未干燥稻谷裂纹的准确识别率分别为96.4%和83.3%,用图像识别的方法可判断稻谷加工时的水 分条件,对稻谷的贮藏及加工条件的控制具有一定的指导意义。

关键词:稻谷加工;断裂面;图像处理;神经网络;干燥 中图分类号·TP391 文献标识码:A

文章编号:1004-874X(2014)05-02013-04

Research on microscopic images identification of crack on processed grain fracture surface

WU Jie, REN Yi-lin, WANG Heng-zhi

(College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: To study problems of rice breakage during processing, methods of inspecting rice fracture crack based on image processing were proposed. Rice fracture surface and their microscopic images surface were separately obtained after shear test and microscope scanning. The characteristic parameters of crack were extracted and carried out T-test and BP neural network discrimination. The result shows : the value of parameter K of both kind rice is significantly different. The non-drying and drying rice crack identification ratios were 96.4% and 83.3%. The image recognition method can determine the moisture conditions during rice processing and has a guiding for rice storage and processing conditions control.

Key words: rice processing; fracture surface; image processing; neural network; drying

稻谷在我国粮食生产和消费中处于主导地位。在 除杂、脱粒、运输等流通过程中受到外界机械作用力, 稻谷会发生不同程度破裂或破碎,对后期稻谷加工品 质和使用品质均会产生影响。因此,研究稻谷破裂方式 及由此产生的断裂面裂纹信息,对其贮藏加工品质有 重要的指导意义。目前,国内外关于稻谷破损研究较 多。丁林峰等^[1]、李毅念等^[2]研究稻谷的压缩特性,测得 稻谷的力-位移曲线和最大破坏力,得出其弹性模量和 泊松比等常规力学性能参数;王正等^[3]研究稻谷吸湿对 稻谷裂纹产生的原因,分析了吸湿性裂纹生成随吸湿 时间的变化;李栋等^[4]利用分形理论对稻谷应力裂纹的 产生进行了分析研究,提出干燥时采用低温和大风量, 降低稻谷的初始含水率和提高终了含水率,采用慢速 冷却和低温贮藏等方法,降低稻谷产生的裂纹率;部分 学者^[5-8]研究玉米种子内部机械裂纹产生的机理,借助 体视显微技术分析了内部机械裂纹损伤特征、分布状 况与形成规律,探讨了玉米种子内部机械裂纹的成因; 潘磊庆等^[9-10]通过结合图像处理和声学响应对鸡蛋表面 裂纹进行检测识别,提高了对鸡蛋裂纹识别的准确性。 国外学者利用光学仪器与图像处理技术,初步探索了 稻谷裂纹对玉米种子发芽与出苗等的影响^[11-14]。这些研 究均仅单一地分析力学特性或者图像特性,未构建两 者的联系。本研究利用 FTC 质构仪和 JSM-6390LV 扫 描电子显微镜分析稻谷破裂方式及断裂面裂纹信息, 提取在相同破裂方式下干燥和未干燥稻谷断裂面裂纹 的相对长度参数,结合图像处理技术和 BP 神经网络识 别技术,对两种稻谷进行定量识别研究。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试稻谷为收获于华中农业大学植物科学技术学 院试验田的籼稻品种。人工挑选外观饱满、主体色调为 黄色、颜色正常的稻谷 100 粒,从中随机选取 50 粒,按 照国际标准 GB/T5497 使用 HN101 鼓风干燥箱于 105℃干燥,干燥前后含水率分别为 14%和 8.7%,用于 后续试验。

收稿日期:2013-10-10

基金项目:国家转基因专项(2011ZX08001-001)

作者简介:吴杰(1987-),男,在读硕士生,E-mail:laxwuj@ 163.com

通讯作者:任奕林(1970-),女,博士,副教授, E-mail:renyili ng@mail.hzau.edu.cn

1.2 试验方法

1.2.1 力学试验 将选取的稻谷在 FTC 质构仪上完成剪切力学试验,剪切试验平台如图 1A 所示。试验时将样品与刀口垂直放置,使剪切夹具探头的刀口

作用在样品的中间部位,试验测试速度为 5 mm/ min,起始力为 1N,获得其力学特性曲线(图 1B)和相 应断面(图1C)。试验完成后,将样品保存以便于后续 试验。





С

A:FTC 质构仪,B:力-位移曲线,C:剪切图像 图 1 力学试验平台

1.2.2 显微图像试验 将完成力学试验后的稻谷样本 喷金,放入 JSM-6390LV 扫描电子显微镜(图 2A)样品 交换室,在放大倍数 40 倍条件下进行断面拍摄,获取 的原始显微图像如图 2B 所示。



A:JSM-6390LV 电子显微镜,B:断面图像 图 2 显微图像采集平台

1.2.3 图像分割 从原始显微图像中裁剪出 900×850 像素的子图像(图 3A),去除多余背景,减少计算量。在 不影响图像质量情况下采用加权平均值法将子图像转 换为灰度图像(图 3B),计算像素灰度值:

gray = R = G = B = 0.3R + 0.59G + 0.11B

式中,gray为转换后的像素灰度值, $R \ B \ G$ 分别为像素 红色、蓝色和绿色分量值。

由图 3B 得到其对应直方图(图 3C)具有典型的双 峰特征,这是由于灰度化后背景和稻谷断面的差异较 大造成的。根据此特征可采用最佳阈值法进行图像分 割(图 4A)。阈值变换后的二值图像在(*x*,*y*)处的灰度值 *f*(*x*,*y*)可表示为:



A: 裁剪后原始图像, B: 灰度图像, C: 直方图 图 3 图像分割

 $f(x,y) = \begin{cases} 0 & (g(x,y) < T) \\ 1 & (g(x,y) \ge T) \end{cases}$

式中,g(x,y)为(x,y)处的灰度值,0、1 分别为黑色和白 色,T为阈值。

1.2.4 裂纹提取 从图 4A 可以看出,为了提取出断裂面的裂纹需要去除稻谷断面的外轮廓。首先利用 cellfun 函数提取最长边界图像,得到图 4B 所示的图

像。对图 4A 和图 4B 进行减运算,结果如图 4C 所示。 图 4D 是图 4C 取反运算结果。大部分外轮廓已经去 除,但还存在很多噪声、毛刺,运用 bwareaopen 小面积 去除函数处理,得到图 4E 所示的图像。从图 4E 中可以 看出,裂纹线条不连贯,后续特征提取较困难。通过形 态学膨胀和腐蚀运算(图 4F),然后进行细化处理,得 到图 4G 所示的骨架化图像,即裂纹图像。



A:二值化,B:轮廓,C:裂纹,D:取反,E:去噪,F:形态学运算,G:细化 图 4 裂纹提取

1.2.5 特征提取 通过观察样本裂纹的显微图像发现, 干燥过的稻谷裂纹比未干燥的稻谷裂纹更明显且长度 更长,因此可提取其裂纹长度信息作为 BP 神经网络分 类器的输入向量。具体方法:针对细化后的裂纹计算其 白色点的像素和,记为 *L*。利用上述方法得到图 4G 中 裂纹长度 *L*=282 像素。

由于外界环境变化对裂纹长度的绝对值存在一定 影响,因此采用相对长度 K 作为特征值,其计算公式 为:

 $K = \frac{L}{P}$

式中,P为断面周长。K值越大,说明断面裂纹越严重。

2 结果与分析

2.1 两种稻谷断面图像 K 值分布分析

分别提取 100 粒稻谷样本的相对长度特征参数,导入 EXCEL 软件中分析,结果见图 5。图 5 显示 了干燥和未干燥稻谷的相对长度曲线,纵坐标代表 相对长度值,用百分比表示;横坐标代表样品个数。 从图 5 可以看出,干燥曲线和未干燥曲线区分比较 清楚,干燥曲线的比值比未干燥曲线比值大,反映出 干燥后的稻谷裂纹破裂较严重。同时,对两种类型稻 谷 K 值进行差异性检验,其结果见表 1。从表 1 可以 看出,干燥和未干燥两类稻谷经过 F 检验,方差之间 存在显著性差异;使用双样本异方差假设,结果显示 平均值间差异显著,即表示干燥前后稻谷存在显著 性差异。



表 1 两类稻谷 K 值差异性检验

样品	F检验	双样本	t 检验 5	双样本异	平均值间
	方差分析		方差假设		差异显著性
干燥稻谷	P(F<=f)	单尾	t Stat $P(T \le t)$	双尾 t 双尾临界	
未干燥稻谷	0.00558	8	7.17 5.24E-10	1.993494	有

2.2 两种稻谷断面图像的区别分析

选取干燥和未干燥稻谷断裂面裂纹显微图像,经 过上述一系列图像处理,对比分析如图6所示。由图6 可知,干燥过后的稻谷裂纹裂痕明显,且长度较长,在 其截面上分布范围广;而未干燥的稻谷断面裂痕并不 明显,且分布广泛、裂痕短小,区别较明显。

2.3 两种稻谷的 BP 神经网络识别分析

随机选取 900×850 像素子图像 60 幅作为训练样本,进行图像处理和特征参数提取,建立 BP 神经网络识别模型;其余 40 幅作为测试样本,用以验证模型的可靠性。利用 MATLAB 软件对 BP 神经网络分类器的类型、结构、训练函数等参数进行训练,并通过平均识别率确定最佳分类参数,其中平均识别率 D 定义为:



 $D(\%) = d/d_{\star} \times 100$

式中,*d*为正确识别出干燥和未干燥稻谷裂纹数,*d*,为 样本总数。

针对裂纹图像的特征数据,利用 BP 神经网络进行 分类试验,结合平均识别率确定神经网络参数。网络由 1个输入层、1个隐含层和1个输出层组成,其中隐含 层传递函数为 tan-sigmoid 双曲正切函数,输出层为 purelin 函数,网络训练函数为 trainlm。输入层的节点数 由特征参数个数决定,文中为1;隐含层节点数根据多 次试验确定最佳参数为9;输出层有2个节点,表示为 0和1,分别对应干燥和未干燥稻谷类型。期望误差为 0.01。随机选取的 40 幅测试样本图像中,人工挑选发现 有 28 幅干燥图像和 12 幅未干燥图像, 在网络结构 1-9-2 下,统计 BP 神经网络的分类试验正确率和误判 率,结果见表2。从表2可以看出,干燥稻谷裂纹的正确 识别率为 96.4%, 误判率为 3.6%; 未干燥稻谷裂纹的正 确识别率为 83.3%,误判率为 16.7%;测试样本平均识 别率 为 92.5%。未干燥稻谷的误判率较大,可能是因 为随机选取未干燥的图像样本较少的缘故,在后期试 验中一方面加大样本试验数进行训练、建立精准的分 类模型;另一方面考虑引进其他参数,比如分形维数, 综合进行识别,提高正确识别率。

表 2 裂纹的识别结果

类 别	干燥稻谷	未干燥稻谷	正确率(%)	误判率(%)
干燥稻谷	27	1	96.4	3.6
未干燥稻谷	¥ 2	10	83.3	16.7

3 结语

本研究提出了一种结合力学特性、显微图像处理 及 BP 神经网络进行稻谷裂纹检测的方法,试验结果表 明,该方法对干燥和未干燥稻谷裂纹的整体平均识别 率为 92.5%。从裂纹显微图像的研究看出干燥过的稻 谷比未干燥稻谷的裂纹更明显更长,说明稻谷裂纹显 微图像信息在一定程度上可以反映稻谷加工时的水分 情况,对后期稻谷的储存及加工条件的控制具有一定 指导意义。

参考文献:

- [1] 丁林峰,李耀明,徐立章.稻谷压缩试验的接触力学分析[J].农 机化研究,2007,12(12):112-115.
- [2] 李毅念,王俊.稻谷按厚度分级加工后的特性与应用分析[J].农 业机械学报,2007,38(8):181-186.
- [3] 王正, 陈江,梁礼燕,等.稻谷吸湿裂纹生成与扩展的机理分析 [J].粮食储藏,2011,40(1):30-35.
- [4] 杨国峰,陈江.稻谷吸湿性应力裂纹分形模型的动力学分析[J].中国粮油学报,2011,26(9):6–13.
- [5] 李栋.稻谷干燥应力裂纹生成扩展及抑制的试验研究和机理 分析[D].北京:中国农业大学,2001.
- [6] 李晓峰,接鑫,高连兴,等.玉米种子内部机械裂纹检测与机理研究[J].农业机械学报,2010,41(12):143-147.
- [7] 张新伟,赵学观,高连兴,等.玉米种子内部机械裂纹扩展模拟 及动力学分析[A].中国农业工程学会 2011 年学术年会论文 集[C].重庆,2011.
- [8] 李保国,肖建军,张岩.玉米干燥过程中的应力裂纹研究进展[J].上海理工大学学报,2001,23(2):107-110.
- [9] 潘磊庆,屠康,李宏文,等.基于计算机视觉和神经网络检测鸡 蛋裂纹的研究[J].农业工程学报,2007,35(5):154–158.
- [10] 潘磊庆,屠康,邹秀容,等.基于计算机视觉和声学响应信息融合的鸡蛋裂纹检测[J].农业工程学报,2010,26(11):332-337.
- [11] Shimizu N, Haque M A, Kimura T. Measurement and fissuring of rice kernels during quasi-moisture sorption by image analysis[J]. Journal of Cereal Science, 2008,48(7):98– 103.
- [12] Courtois F, Faessel M, Bonazzi C. Assessing breakage and cracks of parboiled rice kernels by image analysis techniques[J]. Food Control, 2010,21(4):567–572.
- [13] Dang J M C, Copeland L. Studies of the fracture surface of rice grains using environmental scanning electron microscopy [J].Journal of the Science of Food and Agriculture, 2004,804(5):707–713.
- [14] Barreto H P, Magdaleno R, Guerrero F M. Automatic grain size determination in microstructures using image processing [J]. Measurement, 2013,46(1):249-258.

(责任编辑 邹移光)