

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.08.022

基于核磁共振成像的水果轻微损伤识别*

周水琴^{1,2} 商德胜³ 应义斌¹ 廖宜涛¹

(1. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310029; 2. 杭州职业技术学院友嘉机电学院, 杭州 310018;

3. 浙江大学医学院附属第一医院, 杭州 310003)

【摘要】 以鸭梨为对象,采用核磁共振成像设备扫描获得轻微损伤鸭梨冠状面图像,使用 Matlab 软件完成图像预处理,采用自动阈值分割目标区域,并提取鸭梨层切面边界,最后采用角点检测方法检测鸭梨是否有轻微损伤。实验结果表明,核磁共振成像技术对水果轻微损伤的检测精度达 92.1%,对正常和畸形水果的检测精度达 100%。

关键词: 鸭梨 核磁共振成像 无损检测 角点检测

中图分类号: TP391.41; TP274⁺.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)08-0107-04

Detecting Subtle Bruises on Fruits with Nuclear Magnetic Resonance Imaging

Zhou Shuiqin^{1,2} Shang Desheng³ Ying Yibin¹ Liao Yitao¹

(1. College of Biosystem Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

2. Fair Friend Institute of Electromechanics, Hangzhou Vocational and Technical College, Hangzhou 310018, China

3. The First Affiliated Hospital of College of Medicine, Zhejiang University, Hangzhou 310003, China)

Abstract

The nuclear magnetic resonance (NMR) imaging was proposed to detect the subtle bruises on fruits. Chinese pears were selected as the experimental object. The nuclear magnetic resonance images of pears were acquired by horizontal scanning mode. Image processing, which included auto thresh segmentation, morphologic operation and boundary extraction was finished by Matlab software. At last the corner detection was used to determine whether the pear had subtle bruises. Experimental results showed that detecting subtle bruises on fruits with NMR technique was feasible. The accuracy of detection for subtle bruises and other pears was 92.1% and 100%, respectively.

Key words Chinese pear, Nuclear magnetic resonance imaging, Noninvasive inspection, Corner detection

引言

表面缺陷和损伤识别是水果机器视觉检测与分级中的一个重要指标。水果轻微损伤和正常区域在外观上相似度较高,用肉眼与传统机器视觉很难区分,但是损伤区域的内部组织由于受到挤压或碰撞会发生一定的生化变化,导致整个水果腐烂并影响

周边其他水果,造成水果在贮运过程尤其是贮藏后期的损失相当严重。传统的机器视觉对此类轻微损伤检测效果差,识别率相对较低^[1],有学者利用近红外和高光谱技术来检测水果轻微损伤,取得了一定的研究成果,损伤识别率相对较高,但该方法必须事先将水果损伤面对准摄像头,否则不能检测到轻微损伤^[2-3]。水果组织中有机物和水分含量较

收稿日期: 2009-10-21 修回日期: 2009-12-07

* 国家自然科学基金资助项目(30825027)和 2010 年院级项目

作者简介: 周水琴,博士生,杭州职业技术学院讲师,主要从事农产品无损检测技术研究,E-mail: yingbai18@163.com

通讯作者: 应义斌,教授,博士生导师,主要从事农产品无损检测技术研究,E-mail: ybying@zju.edu.cn

高,¹H 是这些物质中不可或缺的组成成分,核磁共振成像(NMRI)技术可以区分水分含量不同的区域,因此,可以使用核磁共振成像技术检测水果表面的轻微损伤。近年来,国外有一些学者将该技术应用于果蔬等内部品质、缺陷、果核检测^[4-7],国内有少数学者将该技术应用于面粉及其制品中水分迁移过程的研究^[8],也有学者利用核磁共振仪检测油料作物的含油率^[9]。本文利用核磁共振成像技术采集鸭梨冠状面切片图像,提取水果边界,并用基于角点检测的方法获取冠状面边界突变特征,以此判断水果表面是否有轻微损伤,提高轻微损伤识别率。

1 核磁共振成像原理

NMRI 是一种生物磁自旋成像技术,该技术在医学上的应用已取得了较大成功。其成像原理是:原子核带正电,许多元素的原子核,如¹H、¹⁹F 和³¹P 等进行自旋运动。当将其置于外加磁场中时,核自旋空间取向从无序向有序过渡。自旋系统的磁化矢量由零逐渐增长,当系统达到平衡时,磁化强度达到稳定值。如果此时核自旋系统受到外界作用,如一定频率的射频激发原子核,即可引起共振效应。在射频脉冲停止后,自旋系统已激化的原子核不能维持这种状态,将回复到磁场中原来的排列状态,同时释放出微弱的能量,成为射电信号,把此信号检出,并使之进行空间分辨,就得到运动中原子核分布图像。原子核从激化的状态回复到平衡排列状态的过程叫弛豫过程,它所需的时间叫弛豫时间。弛豫时间有 T1 和 T2 两种,T1 为自旋—晶格或纵向弛豫时间;T2 为自旋—自旋或横向弛豫时间。核磁共振(NMR)信号强度与样品中¹H 核密度有关,损伤组织前期会因细胞破裂而产生较强的 NMR 信号,后期会因水分蒸发较快而产生较弱的信号,利用这种差异,可实现轻微损伤检测。

2 试验材料与方法

2.1 试验材料

试验以较易损伤的鸭梨作为研究对象,挑选市售表面无损伤鸭梨共 18 个样本,其中包括畸形鸭梨 2 只。轻微损伤全部由 Instron 生物材料万能试验机模拟形成,为确定刺入深度,首先利用万能试验机获取鸭梨压缩载荷—位移特性曲线(图 1)。试验加载速度为 10 mm/min,刺入梨的探头直径为 5 mm,预试验发现鸭梨在刺入深度达到 3.5~4.5 mm 范围内出现完全塑性变形,此时水果表皮破裂,汁液外流。本研究要探索的是轻微损伤,即果品坚实、平整,仅有小于 3.2 mm^[10] 浅伤,所形成的变形在卸载

后能够部分恢复。为了防止鸭梨出现过度的损伤,形成轻微损伤所用的探压头直径为 5 mm,压入深度设定为 2 mm,这种试验参数所形成的损伤面积小,用肉眼很难察觉。

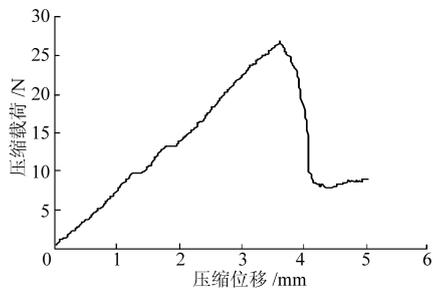


图 1 鸭梨压缩载荷—位移关系曲线

Fig. 1 Relation curve between compress load and displacement of Chinese pears

2.2 试验设备和方法

试验所用设备为 GE 1.5T 型核磁共振扫描仪。损伤后的水果在 6 h 后进行试验,为了提高试验效率,在满足图像信噪比要求的前提下,采用胸腔扫描线圈产生射频磁场,6 个水果一组进行试验。通过调节重复时间(TR)和回波时间(TE)两个参数,该设备可以实现 T1 加权成像、T2 加权成像、弥散加权成像等。在相同的切片厚度和间距下,T2 加权图像所需成像时间最短,弥散加权图像所需成像时间最长。在满足图像处理的前提下,采用 T2 加权成像对鸭梨轻微损伤进行检测。

核磁共振成像最大的特点在于可以得到物体任意层面上的信息,并且可以同时得到矢状面(纵断面)和冠状面(横断面)的切片图像。由于梨的矢状面图像轮廓比冠状面图像轮廓复杂,图像处理相对也会复杂,所需图像处理时间也会长;且矢状面图像所需扫描的成像层数比冠状面多,成像时间也相对较长,因此,采用冠状面 T2 加权成像来检测梨的轻微损伤。试验参数如下:切片厚度为 3 mm,切片间距为 0.2 mm,TR 为 2 500 s,TE 为 91.4 s,图像大小为 512×512。共得到水果切片图像 207 幅,有损伤图像 38 幅,正常图像 151 幅,畸形图像 18 幅。

3 试验结果与分析

3.1 图像预处理

为提取图像特征,利用 Matlab 软件从原始图像中分割出目标区域图像,然后再将 6 个层切面分割并标记,对每个层切面图像进行 Otsu 阈值分割,得到二值化图像(图 2b)。图像二值化后果核处与背景灰度一致且不连续,果肉剖面部分纤维和维管组织的灰度与背景灰度也相同,不易区分。水果损伤处表现为边界内凹或内部黑斑,如果直接使用填充

命令, 损伤特征、果核与维管组织均一起被去除, 填充后的图像和边界图像分别如图 2c 和图 2d 所示, 水果轮廓过渡比较平滑, 无法提取轻微损伤的缺陷特征。为了能够使轻微损伤缺陷在图像轮廓边缘表现出来, 先对二值化图像进行腐蚀操作 (图 2e), 使缺陷放大且与背景连通。然后利用膨胀命令恢复图像, 此时缺陷与背景仍旧连通。使用相同的参数进行填充, 这样不仅可以排除切片图像中果核与纤维等的干扰, 而且损伤特征仍旧可以保留 (图 2g)。最后采用边界命令进一步提取边界 (图 2h)。从图中可以发现该水果切片图像边界有局部突变, 而正常水果的切片轮廓过渡比较平滑。利用这一轮廓曲率突变特征, 可以判断水果是否有轻微损伤。

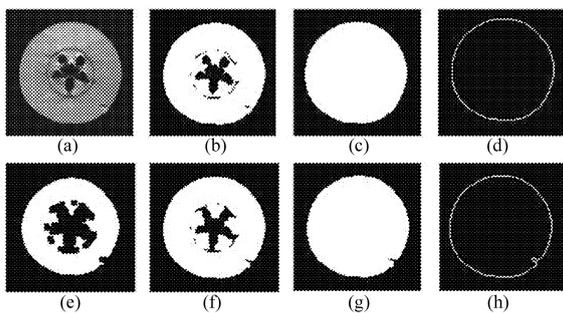


图 2 鸭梨轻微损伤特征提取的图像处理过程

Fig. 2 Image processing of slight bruise feature extraction for Chinese pears

(a) 原始图像 (b) 二值化图像 (c) 填充图像 (d) 边界图像
(e) 腐蚀图像 (f) 膨胀图像 (g) 填充图像 (h) 边界图像

3.2 轻微损伤检测

3.2.1 角点检测

特征提取是图像分析的基础, Mallat 认为, 图像的边缘结构常常是模式识别最重要的特征。角点特征是图像的一种基本特征, 它是目标轮廓线上曲率的局部极大点, 对掌握目标的轮廓特征具有约束的作用。角点检测一直是计算机视觉、图像理解以及模式识别中最为基础和经典的课题之一, 在图像匹配、遥感配准、图像拼接、物体识别和三维重建等诸多领域有着重要应用^[11]。

根据图像预处理结果, 轻微损伤的水果层切面边界曲率会出现局部突变现象, 这与角点的定义相一致, 因此尝试用角点检测的方法对水果核磁共振 T2 冠状面图像进行分类检测。在众多的角点检测方法中, 借鉴了 He X C^[12] 和 Zhang X H^[13] 等的算法, 它基于曲率尺度空间 (curvature scale space, 简称 CSS), 并使用自适应阈值和动态支撑区域 (region of support, 简称 ROS), 将曲率局部最大处定为角点, 而由边界噪声和微小细节造成的圆角和伪角可排除在外, 检测的角点位置准确。

3.2.2 水果轻微损伤判断

利用 Matlab R2008 软件编程, 若切片图像存在角点, 则在程序运行窗口显示角点坐标和搜索时间, 同时保存带角点的切片图像文件到设定的目录, 在检测到角点的位置用小方块标记轮廓角点, 如图 3 所示; 反之, 则给出空集。显然, 1 号和 2 号水果切片图像有轻微损伤, 使用边界检测算子提取图像边界, 在损伤处两图轮廓都有较明显的内凹, 曲率也有较大突变, 找角点相对容易; 3 号水果切片图像损伤不太明显, 但在进行相同的图像处理, 边界轮廓也有一定的内凹, 曲率有一定突变。利用上述角点检测程序, 类似 1 号、2 号和 3 号水果的角点均可以检测到, 并将该方法应用于所有有效水果切片图像。结果表明: 角点检测的方法可以用来检测水果是否存在轻微损伤。此外, 由于梨这种水果形状的特殊性, 利用核磁共振设备扫描时会得到图 3 所示 4 号水果这种切片图像, 该水果没有表面损伤, 但对其提取边界后, 图像轮廓也有较小的内凹。采取相同的参数, 运行上述角点检测程序后发现检测不到该类角点, 因为此方法可以排除由水果畸形这些细节引起的伪角点 (图 3)。

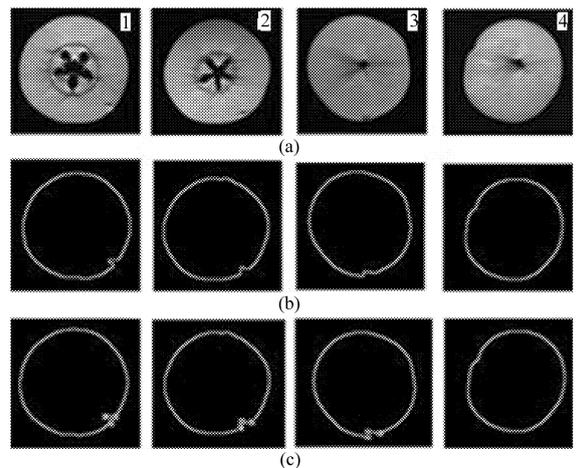


图 3 水果切片图像的角点检测

Fig. 3 Corner detection of fruits slice image

(a) 切片图像 (b) 切片轮廓图像 (c) 轮廓角点

3.3 结果分析

按照上述步骤, 对 207 幅有效鸭梨样本图像进行轻微损伤检测, 表 1 为检测结果。从表 1 可以看出, 38 个带有轻微损伤的鸭梨样本图像有 35 个被检测出存在角点 (判为有轻微损伤), 检测正确率为 92.1%; 151 个正常鸭梨截面图像均没有检测到角点 (判为正常), 检测正确率为 100%; 对于 18 幅畸形截面图像, 也没有检测到角点, 检测正确率也为 100%。试验结果表明正常与畸形水果截面图像可以完全被检测出来, 3 个轻微损伤的截面图像被误

判为正常,这是由于所拍图像恰好位于轻微损伤的边缘,损伤的特征不明显,采用单一自动阈值分割算法提取的边界无法检测到角点。

表1 鸭梨轻微损伤试验检测结果

Tab.1 Results of subtle bruise detection for Chinese pears

图像类别	图像数量	检测结果			准确率/%
		正常	畸形	轻微损伤	
正常	151	151	0	0	100
畸形	18		18	0	100
轻微损伤	38	3		35	92.1

4 结束语

利用核磁共振成像技术对鸭梨表面轻微损伤进行了初步研究。利用 Matlab R2008 软件完成了对鸭梨切片图像的阈值分割、边界提取,并将角点检测方法用于鸭梨轻微损伤的判定,取得了较好的检测效果,轻微损伤检测正确率达到 92.1%。结果表明采用核磁共振成像和角点检测的方法对水果表面轻微损伤的无损检测是可行的。该方法也可用于其他水果轻微损伤检测。

参 考 文 献

- 赵杰文,刘剑华,陈全胜,等. 利用高光谱图像技术检测水果轻微损伤[J]. 农业机械学报,2008,39(1):106~109.
Zhao Jiewen, Liu Jianhua, Chen Quansheng, et al. Detecting subtle bruises on fruits with hyperspectral imaging[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2008,39(1):106~109. (in Chinese)
- Leemans V, Destain M. A real-time grading method of apple base on features extracted from defects[J]. Journal of Food Engineering,2004,61(1):83~89.
- 黄星奕,刘益权,赵杰文. 基于近红外图像技术的水果轻微损伤检测[J]. 微计算机信息,2007,23(34):229~231.
Huang Xingyi, Liu Yiquan, Zhao Jiewen. Detection slight bruised fruit base on near infrared imaging[J]. Control & Automation,2007,23(34):229~231. (in Chinese)
- Burdon J, Clark C. Effect of postharvest water loss on 'Hayward' kiwifruit water status[J]. Postharvest Biology and Technology,2001,22(3):215~225.
- Gonzalez J J, Valle R C, Bobroff S, et al. Detection and monitoring of internal browning development in 'Fuji' apples using MRI[J]. Postharvest Biology and Technology,2001,22(2):179~188.
- Barreiro P, Zheng C, Da-Wen Sun, et al. Non-destructive seed detection in mandarins: comparison of automatic threshold methods in FLASH and COMSPIRA MRIs[J]. Postharvest Biology and Technology,2008,47(2):189~198.
- Zion B, Chen P, McCarthy M J. Detection of bruises in magnetic resonance images of apples[J]. Computers and Electronics in Agriculture,1995,13(4):289~299.
- 陈卫江,林向阳,阮榕生,等. 核磁共振及其成像技术研究面粉吸水率及其形成过程[J]. 食品科学,2006,27(11):124~129.
Chen Weijiang, Lin Xiangyang, Ruan Rongsheng, et al. Study on the absorbability and formation of flour with NMR and MRI techniques[J]. Food Science,2006,27(11):124~129. (in Chinese)
- 宋丹阳,李培武,赵永国,等. 脉冲核磁共振仪在大豆含油量测定中的应用[J]. 中国油料作物学报,2006,28(2):199~202.
Song Danyang, Li Peiwu, Zhao Yongguo, et al. Application of pulsed NMR for intact measurement of oil content in soybean seed[J]. Chinese Journal of Oil Crop Science,2006,28(2):199~202. (in Chinese)
- 孙一源. 农业生物力学及农业生物电磁学[M]. 北京:中国农业出版社,2001.
- 何应辉. 图像的角点检测算法研究及基于角点的运动物体跟踪[D]. 昆明:昆明理工大学,2006.
- He X C, Yung N H C. Curvature scale space corner detector with adaptive threshold and dynamic region of support[C]// Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition,ICPR 2004,2:791~794.
- Zhang X H, Lei M, Yang D, et al. Multi-scale curvature product for robust image corner detection in curvature scale space[J]. Pattern Recognition Letters,2007,28(5):545~554.
- 赵书兰. MATLAB R2008 数字图像处理与分析实例教程[M]. 北京:化学工业出版社,2009.