

# 西瓜品质无损检测技术研究进展

刘志壮<sup>1</sup>, 陈蓉<sup>2</sup>, 张文昭<sup>2</sup>, 刘爱林<sup>2</sup>, 陈爱武<sup>2</sup>

(1. 湖南科技学院学报编辑部, 湖南 永州 425100; 2. 湖南科技学院电子工程系, 湖南 永州 425100)

**摘要:** 西瓜品质无损检测方法主要有声学特性法、振动频谱法、介电常数法、可见/红外光谱技术法和核磁共振法等, 然而应用于市场的检测装置还未面世。根据现有的检测方法, 提出应用声音特性, 采用LABVIEW采集与处理技术拟研制台式西瓜无损检测系统, 应用DSP处理技术拟研制便携式西瓜无损检测装置。

**关键词:** 西瓜; 品质; 无损检测

**中图分类号:** TP29; TP274+.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2010)03-0073-04

## Research Progress of Watermelon Nondestructive Examinations

Liu Zhizhuang<sup>1</sup>, Chen Rong<sup>2</sup>, Zhang Wenzhao<sup>2</sup>, Liu Ailin<sup>2</sup>, Chen Aiwu<sup>2</sup>

(1. Editorial Office of Journal, Hunan University of Science and Engineering, Yongzhou Hunan 425100, China;

2. Department of Electronic Engineering, Hunan University of Science and Engineering, Yongzhou Hunan 425100, China)

**Abstract:** There are many detection technologies for watermelon quality nondestructive examination, which includes acoustic property, vibration frequency spectrum, electric inductivity, visible and near-infrared spectroscopy, nuclear magnetic resonance, et al, but there is not a detection device used in market. According to the present detection methods, proposes that by sound detecting methods, uses LABVIEW collecting technology to develop desk-top watermelon nondestructive detection devices and DSP processing technology to develop the portable type.

**Keywords:** watermelon; quality; nondestructive inspection

西瓜是深受人们欢迎的水果之一, 世界上有90多个国家广泛种植, 我国西瓜年总产量在 $3.5 \times 10^7$  t以上, 居世界首位, 但出口量在世界贸易中的份额甚小, 基本属于自产自销<sup>[1]</sup>。西瓜在外贸出口方面尚存在巨大的潜力, 影响西瓜出口贸易的一个重要因素是我国对出口西瓜没有科学的检测手段。我国现阶段的西瓜质量检测 and 分级通常只能由人工从外观进行判断, 需要大量的劳动力, 同时这种主观评定受到个人视力、鉴别力、情绪、疲劳程度、经验、光线强弱和颜色等因素的影响, 检测效率低, 且无法保证准确性; 部分采用抽样检测, 也往往是破坏性检测, 而且工作效率

低<sup>[2]</sup>。要提高西瓜的质量和 market 价值, 除了改良西瓜品种、提高栽培技术等方法外, 还有一个非常重要的方面就是确定西瓜最合适的采收期和采用科学的检测与分级技术。所以, 西瓜内部品质无损检测技术受到有关专家和瓜农的关注。

## 1 西瓜品质无损检测的研究现状

西瓜品质无损检测主要利用西瓜的声学特性、振动特性、介电特性、光谱特性和磁共振特性等来进行, 因而无损检测的方法主要有以下几种。

收稿日期: 2009-11-23

基金项目: 湖南省大学生研究性学习与创新性实验计划基金资助项目(湘教通[2009]320-320)

通信作者: 刘志壮(1969-), 男, 湖南蓝山人, 湖南科技学院教授, 博士, 主要研究方向为计算机检测与控制技术,

E-mail: liuzz168@126.com

### 1.1 声学特性法

利用水果的声学特性进行无损检测早在 20 世纪 70 年代初就有较为深入的研究, 一些专家还研制了测试系统。

Kangjin Lee 等<sup>[3]</sup>研究了用于检测西瓜内部缺陷的分级系统, 其系统包括 1 个恒力打击打锤、多点声音信号获取系统、去噪电路、信号处理和评定程序, 采用偏最小二乘回归分析西瓜叩音获得西瓜内部质量预测模块, 应用该模块检测西瓜内部质量准确度达 90.1%, 彻底坏的西瓜能完全识别。

M. L. Stone 等<sup>[4]</sup>采用声音脉冲阻抗技术, 开发了一种便携式检测系统用于无损检测西瓜成熟度。该系统用于田间测量西瓜的 3 个变量: 甜度、肉质坚实度、中空情况。脉冲响应的频域参数与西瓜糖含量、肉质颜色、坚实度进行比较以确定瓜果质量。研究结果表明, 声音与成熟度参数之间的相互关系太小, 对成熟度分类的价值甚小, 声音参数与中空程度的关系也很小, 声音脉冲阻抗技术不能较好地预测糖含量、肉质颜色、质量和坚实度。

1992~1994 年, 何东健等<sup>[5-6]</sup>利用西瓜打击音波特性研究其成熟度, 采用小钢球打击西瓜, 用音波传感器拾取西瓜产生的音波, 通过放大后用磁带记录仪记录, 再送计算机处理, 由绘图仪输出波形。研究发现: 1) 打击音波波形随西瓜成熟度增加, 其振动时间变长, 振动衰减变慢, 对称度增加。2) 未熟瓜打击音波为非对称波形, 波形对称度为 0.2~0.35; 适熟瓜打击音波呈规则的指数衰减波形, 指数衰减率为 0.15~0.35, 对称度为 0.9~0.99; 过熟瓜或空洞瓜则呈不规则的波形, 指数衰减率为 0.4~0.6, 对称度为 0.88~0.95, 由此可知, 适熟瓜对称性最好, 指数衰减率最小。在一定试验条件下, 未熟瓜、适熟瓜、过熟瓜的音波频率范围分别为 164~230 Hz, 132~164 Hz, 107~130 Hz。

饶秀勤等<sup>[2,7]</sup>研究声波在西瓜中的传播速度与其含糖量的关系, 研制了测试系统。检测时, PC 机控制声波发生器产生一个声波信号, 该信号经过水果后被传感器接收并转换成电信号, 由数据采集卡转换成数字信号, 存贮于计算机备用。然后再经过破坏性试验来确定该水果的品质, 通过数据处理和统计分析, 建立二者的关系模型。对 14 只麒麟西瓜进行测试, 数据采用 MATLAB 软件分析, 结果显示, 西瓜内部空心与否对声波传播速度有重要影响。该系统的测试结果还受西瓜生长状态的影响, 当西瓜的蒂部不靠近地面时, 西瓜声波传播速度与测试点的含糖量在三阶 polyfit 函数统计回归分析时的相关系数  $R^2$  为 0.946 8。

### 1.2 振动频谱法

不同的物质有不同的振动频谱和固有频率, 胡生

喜等<sup>[8]</sup>采用振动频谱法对西瓜成熟度进行研究, 结果发现利用激振技术测定西瓜成熟度是可行的。用激振仪在不同频率时测试西瓜振动响应, 先用瞬态激振方法对 2 个品种的西瓜进行测试, 结果发现, 所有西瓜在 7.4 Hz 和 29.5 Hz 频率处均有较大的响应, 只有不够成熟的西瓜在 100 Hz 附近有较大的响应, 差别并不明显。改用强迫激振方法对阜北农场产的红优二号西瓜进行强迫激振实验, 发现成熟瓜和未熟瓜在 200 Hz 以上的频率段上出现明显的差异, 所有成熟瓜对 200 Hz 以上的激振均不敏感, 响应甚微, 而未熟瓜对 200~300 Hz 范围的激振均有较明显的响应。

### 1.3 介电常数法

各种物质或同一物质在不同的生长期有不同的介电常数, S. O. Nelson 等<sup>[9]</sup>用一个末端开口的同轴电缆探头, 采用 10 MHz~1.8 GHz 的频率检测甜瓜和西瓜的介电常数的方法获取水果外表和可食用内部组织有关参数。以可溶固体含量和糖度含量作为甜瓜的质量指标, 研究这 2 种物质含量与电容率相关性, 其结果表明, 介电常数和功耗因素与可溶固体含量的相关性小, 但由介电常数和功耗因素的复合平面图可获得一个可溶固体含量与介电常数之间良好的相关性。然而, 用这种相关性来预测水果的品质准确度不太高。苹果的检测介电性质在 10 周内相当恒定, 即使在这期间其内部组织坚实度明显下降。

### 1.4 可见 / 红外光谱技术法

田海清等<sup>[1,10]</sup>利用可见 / 红外光谱技术对西瓜进行无损检测研究, 选用漫透射作为西瓜光谱检测方式, 并构建西瓜内部品质无损检测的光源和光谱采集系统。研究瓜皮、光照强度和光谱采集部位对光谱和建模结果的影响。用可见 / 红外光谱技术对西瓜坚实度和密度指标进行检测, 采用偏最小二乘法 and 主成分回归法建立坚实度与漫透射光谱的无损检测数学模型, 对比分析不同光谱预处理方法对模型预测性能的影响, 根据模型相关系数 ( $r$ ) 及预测平方根标准偏差 ( $S_{RMSEP}$ ) 进行不同模型的预测性能对比。光谱经二阶微分处理并使用 Savitsky-Golay 法滤波后, 采用偏最小二乘法可得到最好的坚实度建模结果 ( $r=0.974$ ,  $S_{RMSEP}=0.589$ )。试验研究表明: 二阶微分光谱采用偏最小二乘法对密度的建模, 校正相关系数  $r$  为 0.910; 二阶光谱正则化后, 采用偏最小二乘法对坚实度的建模, 校正相关系数  $r$  为 0.916。

Tao Xuemei 等<sup>[11]</sup>利用近红外分光计研究西瓜含糖量与吸收谱的关系, 所用光谱为可见光与近红外光 (325~1 075 nm)。利用该光谱无损检测西瓜对近红外光的反射率, 利用手持式糖度计获取西瓜的含糖量, 建立近红外反射率与西瓜含糖量的关系模型, 但利用该

模型预测西瓜糖度精确度不是很高。

T. Maruo 等<sup>[12]</sup>应用激光探测西瓜的成熟度和可溶固体含量并开发无损检测系统。其方法是采用波长为 800~1 000 nm 近红外光的激光照射到瓜顶部, 检测透射光的比率。实验测定了 500 多个甜瓜和 90 多个西瓜, 以检测水果成熟度和可溶固体含量。先进行无损检测, 后立即将待测瓜垂直切开, 测量其坚实度、可溶固体含量和其它品质参数。这两种瓜的糖含量和可溶固体含量相关性很高, 水果的成熟度用糖含量和可溶固体含量综合评价。

### 1.5 核磁共振法

核磁共振是一种探测浓缩氢质子的技术, 水果在成熟过程中, 水和糖的氢质子的迁移率会随着其含量的逐渐变化而变化。因此, 通过对其浓度和迁移率检测, 便可知不同水果的品质参数<sup>[13]</sup>。K. Saito 等<sup>[14]</sup>应用磁共振成像技术无损检测西瓜质量, 并用该技术检测西瓜内部有无空心。为了提高测量速度, 使用一维投影轮廓代替二维平面图像。实验使用 30 个标定样本和 28 个对比样本完成西瓜空心检测, 每个样本的测量时间为 0.9 s。

## 2 研究展望

以上方法为西瓜无损检测提供了理论依据和实验指导, 但是, 目前市场上还未看到实际用于西瓜无损检测的装置。针对以上情况, 笔者做了一些初步研究, 试图设计出符合市场要求的产品以投入使用。

### 2.1 LABVIEW 采集技术

虚拟仪器技术广泛应用于电子、电气、机械、生物等工程领域的测试和自动化中。传统的声波无损检测系统由于不同程度地存在着测量范围窄、测量自动化程度低、数据处理功能不强等缺点, 很难满足实际测试的需求。利用计算机、虚拟仪器、声卡等技术搭建一套西瓜无损测试系统能很好地满足测试要求, 其系统框图如图 1 所示。手枪式装置为便携式声音产生与采集模块, 其作用一是恒力击打西瓜产生待测声波, 二是通过其内的驻极体话筒采集声波, 并进行放大后送到 NI 数据采集卡。运用 LABVIEW 函数库里面的 DAQ 助手配置通道和任务, 并对执行的任务设定相应的采样模式和采样率等参数。声音信号采集到计算机后在 LABVIEW 环境下进行去噪、FFT、功率谱等各种处理<sup>[15]</sup>。LABVIEW 高级分析库可以提供丰富的时域、频域转换函数, 可进行实时、高保真地处理声音信号, 声音特性发生变化时, 其处理结果也发生相应的变化, 这样可揭示声音信号的时域特性、频域特性等。同时 LABVIEW 提供丰富的图形、图表显示窗口和各种工具按钮, 可以方便地搭建直观、交互式良好的人机界面。

经处理后的声波信号可以在 LABVIEW 前面板上直观地显示, 根据打击音波波形、振动时间、振动衰减、对称度等参数可判断出西瓜的成熟度、坏西瓜或空心西瓜。

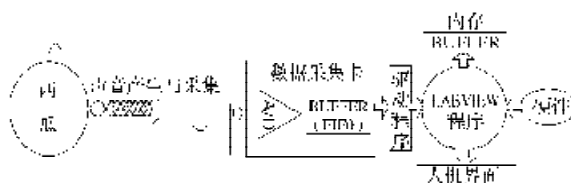


图1 基于 LABVIEW 的西瓜成熟度测量系统方框图

Fig. 1 Block diagram of measurement system for watermelon maturity based on LABVIEW

### 2.2 DSP 处理技术

现有的声学特性法、振动频谱法、可见/红外光谱技术法等西瓜品质无损检测后期处理技术都离不开频谱分析、信号滤波等数字信号处理手段, 如用模拟元件来实现, 电路复杂, 而且由于元器件不稳定, 电路很难重建, 并且功耗体积大, PC 机进行数字信号处理较为方便, 但仅可用于实验阶段, 不适合开发便携式检测仪。数字信号处理器 (DSP) 是利用专门或通用的数字信号处理芯片, 以数字计算的方法对信号进行处理, 具有处理速度快、灵活、精确、抗干扰能力强、体积小、性价比高及可靠性高等优点, 满足对信号快速、精确、实时处理及控制的要求, 较易于开发实用便携式的检测仪。应用 DSP 处理技术, 结合振动频谱法进行西瓜品质无损检测, 其实现系统见图 2。

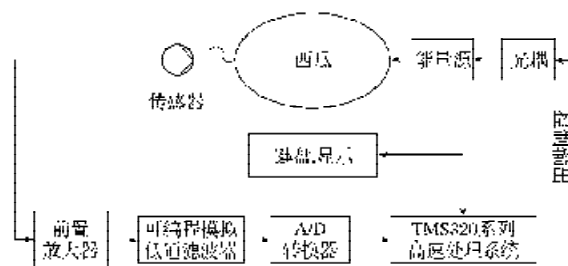


图2 西瓜品质无损检测 DSP 实现系统框图

Fig. 2 Schematic diagram of nondestructive evaluation system of watermelon based on DSP

## 3 结论

西瓜品质无损检测对提高西瓜质量及西瓜的市场价值、增加瓜农的收入、提高我国西瓜在国际市场的竞争力和出口创汇能力有较大意义。本文叙述了声学特性法、振动频谱法、介电常数法、可见/红外光谱技术法和核磁共振法等现有西瓜无损检测方法, 并在现有检测方法的基础上, 应用检测声音方法和采用以下 2 种新的技术拟完成台式和便携式检测系统。

1) 采用 LABVIEW 采集与处理技术, 拟研制出台

式西瓜无损检测系统。

2) 采用 DSP 技术进行采集与处理, 拟研制出便携式西瓜无损检测系统。

#### 参考文献:

- [1] 田海清. 西瓜品质可见/近红外光谱无损检测技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.  
Tian Haiqing. Nondestructive Evaluation of Watermelon Internal Quality by Visible and Near-Infrared Spectroscopy [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
- [2] 吕飞玲. 基于声学特性的西瓜品质无损检测方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.  
Lv Feiling. Nondestructive Evaluation of Watermelon Based on Its Acoustic Property[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2003.
- [3] Lee Kangjin, Choi Wankyu, Kim Giyoung, et al. Internal Quality Estimation of Watermelon by Multiple Acoustic Signal Sensing[J]. Key Engineering Materials, 2006(321): 1209-1220.
- [4] Stone M L, Armstrong P R, Zhang X, et al. Watermelon Maturity Determination in the Field Using Acoustic Impedance Techniques[J]. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1996, 39(6): 2325-2330.
- [5] 何东健. 水果品质无损测定新技术及设备[J]. 粮油加工与食品机械, 1992(6): 37-40.  
He Dongjian. New Technology and Devices for Nondestructive Detection of Fruit Quality[J]. Machinery for Cereals, Oil and Food Processing, 1992(6): 37-40.
- [6] 何东健, 李增武, 王洪群. 西瓜打击音波特性的研究[J]. 西北农业大学学报, 1994, 22(3): 105-107.  
He Dongjian, Li Zengwu, Wang Hongqun. On the Characteristics of Sound Wave Forms of Watermelons[J]. Journal of Northwest Agricultural University, 1994, 22(3): 105-107.
- [7] 饶秀勤, 应义斌, 吕飞玲, 等. 水果声学特性测试系统的研制[J]. 农业机械学报, 2004, 32(2): 69-71.  
Rao Xiuqin, YingYibin, Lv Feiling, et al. Development of a Fruit Quality Inspecting System Based on Acoustic Properties [J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Machinery, 2004, 32(2): 69-71.
- [8] 胡生喜. 利用振动响应频谱测定西瓜成熟度的可行性探讨[J]. 八一农学院学报, 1991, 14(2): 73-75.  
Hu Shengxi. A Feasibility Study on Determination of Watermelon Maturity by Means of Responding Rumble Spectrum[J]. Journal of August 1st Agricultural College, 1991, 14(2): 73-75.
- [9] Nelson S O, Guo Wenchuan, Trabelsi S. Study of Fruit Permittivity Measurements for Quality Detection[C]//IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. New Jersey: IEEE, 2008: 1009-1019.
- [10] 田海清, 应义斌, 陆辉山, 等. 可见/近红外光谱漫透射技术检测西瓜坚实度的研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(6): 1113-1118.  
Tian Haiqing, YingYibin, Lu Huishan, et al. Study on Predicting Firmness of Watermelon by Vis/NIR Diffuse Transmittance Technique[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2007, 27(6): 1113-1118.
- [11] Tao Xuemei, Bao Yidan. Measurement of Sugar Content of Watermelon Using Near-Infrared Reflectance Spectroscopy in Comparison with Dielectric Property[C]//Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE). Bellingham: Spie-int SOC Optical Engineering, 2006, 6047: 473-478.
- [12] Maruo T, Ito T, Shimamura S, et al. Nondestructive Evaluation of Ripeness and Soluble Solids Content in Melon and Watermelon Fruits Using Laser[C]//Acta Horticulturae. Leuven: International Society Horticultural Science, 2002, (588): 373-376.
- [13] 张立彬. 果蔬产品品质无损检测技术的研究进展[J]. 农业工程学报, 2005, 4(21): 176-180.  
Zhang Libin. Review of Nondestructive Quality Evaluation Technology for Fruit and Vegetable Products[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 4(21): 176-180.
- [14] Saito K, Miki T, Hayashi S, et al. Application of Magnetic Resonance Imaging to Nondestructive Void Detection in Watermelon[J]. Cryogenics, 1996, 36(12): 1027-1031.
- [15] 汤家华. Labview在USB实时数据采集处理系统中的应用[J]. 电子器件, 2006, 2(29): 557-560.  
Tang Jiahua. Applications of Labview in USB Real-Time Data Collecting and Processing System[J]. Chinese Journal of Electron Devices, 2006, 2(29): 557-560.

(责任编辑: 徐海燕)