

# 农产品声学特性及其在品质无损检测中的应用

应义斌 蔡东平 何卫国 金娟琴  
(浙江农业大学) (江苏丹阳无线电厂) (德清农机化学校) (浙江农业大学)

**提 要** 综述了国外对农产品声学特性研究的进展, 阐明了农产品声学特性的测定原理, 介绍了农产品声学特性在农产品品质无损检测中的典型应用实例, 为发展我国农产品品质无损检测技术提供一定的参考。

**关键词** 农产品 声学特性 超声 品质 无损检测

## Acoustic Properties of Fresh Agricultural Products and Its Application in Non-destructive Quality Evaluation

Ying Yi-bin Cai Dong-ping  
(Zhejiang Agricultural University, Hangzhou) (Danyan Radio Plant)  
He Wei-guo Jin Juan-qin  
(Deqing Agricultural Mechanization School) (Zhejiang Agricultural University)

**Abstract** The recent progress of studies on the acoustic properties of fresh agricultural products was reviewed. The measuring principle and method of acoustic properties of agricultural products was expounded, and the typical applications of which in non-destructive quality evaluation of agricultural products were introduced as well.

**Key words** Agricultural product Acoustic property Ultrasound Quality Non-destructive evaluation

利用农产品的声学特性对其品质进行无损检测和分级是近30年来发展形成的新技术。Finney (1967)<sup>[1]</sup>首先研究发现香蕉的成熟度与杨氏模量有很好的相关性, 并通过研究杨氏模量和其共振频率的关系测出了香蕉硬度随成熟度的变化关系; Abbott 等 (1968)<sup>[2]</sup>建立了苹果的共振频率与弹性特性之间的关系; Garrett 和 Furry (1972)<sup>[3]</sup>利用研究声波的传播速度测出了苹果的杨氏模量、密度和泊松比等机械特性; Clark (1975)<sup>[4]</sup>发现声波通过西瓜的衰减时间和西瓜的硬度密切相关, 并且衰减时间随着西瓜成熟度的提高而延长; 在 Clark 的研究基础上, Robinson (1976)<sup>[5]</sup>根据声波的衰减特性研制成功了西瓜成熟度测定仪; Yamamoto 等 (1980, 1981)<sup>[6]</sup>利用声激励测出了部分水果的固有频率, 他们的研究还表明水果的声学特性与杨氏模量、极限强度和硬度是显著相关的; Salveit 等 (1985)<sup>[7]</sup>和 Armstrong

收稿日期: 1997-04-17

应义斌, 副教授, CSAE 高级会员, 杭州市华家池 浙江农业大学工程技术学院, 310029

等(1990)<sup>[8]</sup>的研究表明, 苹果、西红柿和西瓜的共振频率均随着贮藏时间的延长而减小, 并与硬度显著相关, 据此他们分别建立了测定西红柿的成熟度及苹果硬度的方法; Porteous 等(1981)<sup>[9]</sup>开始将医学和工业上用的超声探测仪用于农产品检测, 发现超声波很难穿透水果和蔬菜组织; Sarkar 和 Wolfe (1983)<sup>[10]</sup>发现超声波的频率是影响超声波在水果和蔬菜组织中的穿透能力的重要因素, 指出进行新鲜水果和蔬菜检测时应采用频率为100~ 500 kHz 的低频超声波, 并提出了用超声波检测柑桔属水果果皮光滑度、西红柿表面裂纹等的方法; A rad 等(1985)<sup>[11]</sup>研究发现用超声波检测甜瓜品质与用光电法、比重法、X射线法相比具有很大的优越性; Watts 和 Russell (1985)<sup>[12]</sup>用超声测出了土豆的内部缺陷; 陈介余等(1990)<sup>[13]</sup>研制成功了利用西瓜的声响应特性对西瓜的内部裂纹和成熟度等进行无损检测的装置。国外的以上这些研究均表明了利用农产品的声学特性对农产品品质(尤其是内部品质)进行无损检测的巨大潜力。

我国在这方面的起步较晚。鉴于此, 本文介绍了农产品声学特性的检测原理及其在农产品品质无损检测中的应用, 以促进该技术在我国农产品生产和加工中的应用。

## 1 农产品的声学特性及检测原理

农产品的声学特性是指农产品在声波作用下的反射特性、散射特性、透射特性和吸收特性、衰减系数和传播速度及其本身的声阻抗与固有频率等, 它们反映了声波与农产品相互作用的基本规律。

农产品声学特性的检测装置通常由声波发生器、声波传感器、电荷放大器、动态信号分析仪、微型计算机、绘图仪或打印机等组成。检测时, 由声波发生器发出的声波连续射向被测物料, 从物料透过、反射或散射的声波信号, 由声波传感器接收, 经放大后送到动态信号分析仪和计算机以进行分析, 即可求出农产品的有关声学特性, 并在绘图仪或打印机上输出结果。

农产品的声学特性随农产品内部组织的变化而变化, 不同农产品的声学特性不同, 同一种类而品质不同的农产品其声学特性往往也存在差异, 故根据农产品的声学特性即可判断其品质如何, 并据此进行分级。

## 2 声学特性检测的典型实例

### 2.1 利用测定共振频率确定苹果硬度

图1所示为一苹果硬度的检测系统<sup>[14]</sup>, 测试时, 用榔头轻叩苹果, 由苹果另一侧的声波传感器采集声脉冲响应信号, 经放大后送到HP5423A 动态信号分析仪, 经快速傅里叶变换可求得其共振频率 $f$ , 根据苹果硬度与 $f^2 m^{2/3}$  ( $m$ 为苹果的质量)成正比, 即可求出硬度。

### 2.2 利用测定声波传播速度确定甜瓜的成熟度

J. Sugiyama 等(1985)<sup>[15]</sup>研究发现, 随着甜瓜的成熟, 声波在甜瓜中的传播速度和共振频率均将降低, 而且两者的变化趋势完全一致。利用传播速度来确定甜瓜成熟度, 既不需测定质量, 也不需进行快速傅里叶变换。因此, 与共振频率相比, 声波传播速度是易测定的指标(图2)。试验表明, 适宜食用的成熟甜瓜的声波传播速度为37~ 50 m/s。

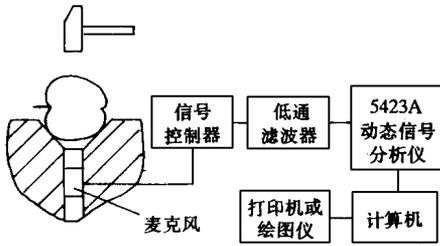


图1 苹果硬度检测系统

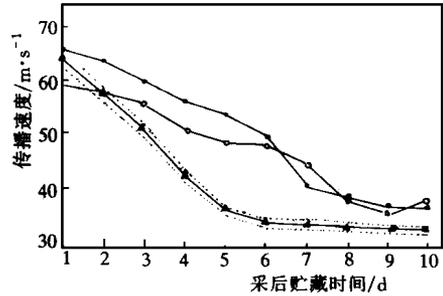


图2 甜瓜采后贮藏时间与声波传播速度的关系

### 2 3 利用测定声压确定谷物的含水率

谷物含水率是影响谷物品质的因素, 现在用来测量谷物含水率的方法有蒸馏法、化学法、电测法、烘箱法、干燥剂法、气相层析法和核磁共振法等, 但没有一种方法可以做到连续、精确而又低成本地对谷物含水率进行在线无损检测。G. Bruzewitz 等 (1986~1989)<sup>[16]</sup>研究发现, 声波中心频率在4~20 kHz 范围内时, 谷物在一定时间域内的等效平均声压与谷物含水率具有明显的线性关系 (相关系数大于0.95)。根据这一原理研制成功了一种低成本、可连续测试的声压式谷物含水率测定仪, 该测定仪的测量误差为0.25%, 非线性度为1.1%, 热漂移为1.1%, 动态响应时间小于7 ms。

### 2 4 利用超声波检测受钻蛀虫侵扰的樱桃树

大多数树龄超过6年的樱桃树会受到钻蛀虫的侵扰, 并导致大幅度减产。早期检测虫害有助于人们及时采取措施有效地控制虫害。钻蛀虫侵扰发生在树的内部, 一般的方法很难检测。M. Zhang 等 (1993)<sup>[17]</sup>研究表明, 樱桃树受到钻蛀虫侵扰后, 树干和树皮之间就会形成一个填满空气、渣滓、幼虫或其他低密度物质的环状坏损层, 该坏损层对超声波有很高的阻抗, 这样超声波在受钻蛀虫侵扰的樱桃树中就有不同的动态传播特性, 只需测定超声波

从不同界面的反射能量, 就能判断出樱桃树内部有没有遭受钻蛀虫的侵扰。如图3所示, 对未受侵扰的樱桃树, 入射超声波有二次反射, 一部分入射波能从树皮和环境介质的界面上反射 ( $R(1)$ ), 树皮和树干的界面上也反射少量的入射波能 ( $R(2)$ ), 剩余的将进入树干。

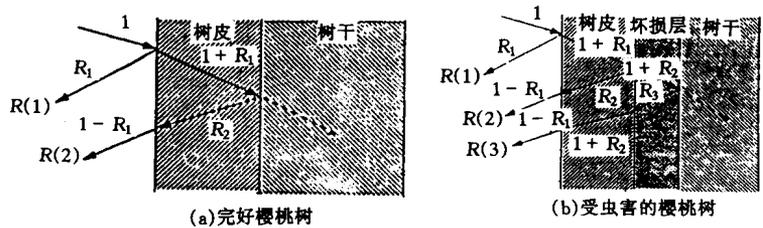


图3 樱桃树的声脉冲响应特性示意图

而对受侵扰的樱桃树, 入射的超声波将有三次反射, 由于坏损层有很高的声阻抗, 绝大多数波能将分别由环境介质与树皮的界面 ( $R'(1)$ )、树皮与坏损层的界面 ( $R'(2)$ ) 及坏损层与树干的界面 ( $R'(3)$ ) 上反射, 而透射进入树干的波能很少, 而且,  $R'(2)$  远大于  $R(2)$ 。经试验表明, 用超声波检测樱桃树内的钻蛀虫侵扰是非常有效的。

### 2 5 利用测定超声传播速度确定食用油的质量

食用油在烹调或加工过程中发生的化学变化将导致食用油变质, 故使用一定次数后必

须丢弃。那么, 如何确定安全而又经济的丢弃时机呢?

粘度是衡量食用油质量的常用指标, 随着使用次数的增加, 分子降解和聚合物的形成将导致油的粘度增大, 品质降低。R. E. Lacey (1994)<sup>[18]</sup>的研究表明, 超声波的传播速度将随着油的粘度增大而增加, 并存在如下关系:  $\mu = m \eta^{1/3} + b$ , 式中,  $\mu$  为超声传播速度;  $\eta$  为食用油的粘度;  $m$  和  $b$  为回归系数。因此, 可以利用超声波在油中的传播速度确定油的粘度, 继而判断油的质量, 决定是否应丢弃。

## 2.6 利用超声波检测马铃薯空心

在外表正常的马铃薯块茎的中心部形成不规则的空洞是生理紊乱的一种表现, 这是马铃薯主要质量缺陷之一, 会对生产者和加工者带来严重的经济损失。Y. Cheng 等 (1994)<sup>[19]</sup>研制成功了马铃薯内部品质的超声无损检测系统(图4)。该系统中, 超声探头经耦合剂直接与马铃薯表面接触, 测试时高能脉冲发生器产生的脉冲

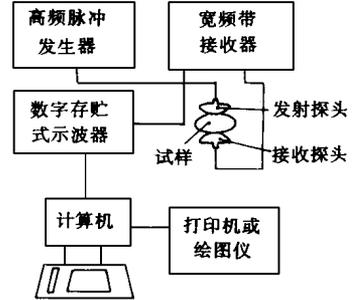


图4 马铃薯空心的超声无损检测系统

电信号由发射探头转换为宽频带超声波, 并射入马铃薯中, 遇到不连续组织时, 一部分波能被反射, 另一部分继续传播, 穿过马铃薯的超声波则被另一侧的接收探头接收, 放大后在示波器上显示, 经计算机分析可求出超声波穿过马铃薯所需的时间和透射信号的强弱。由于马铃薯中的空心会导致超声波的多次反射, 所以通过空心马铃薯的信号比通过实心马铃薯的信号弱, 波动时间长, 并有更多的波峰和波谷, 而且透射信号的幅值、功率谱密度及谱动量 ( $M_0$ , 即为功率谱密度曲线下的面积) 也要小得多。根据这些差异, 我们就可以将空心与实心马铃薯区分开来。

## 3 结 语

利用农产品声学特性对其进行无损检测和分级是现代声学、电子学、计算机、生物学等技术在农产品生产和加工中的综合应用。它具有适应性强、检测灵敏度高、对人体无害、使用灵活、设备轻巧、成本低廉、可在野外及水下等各种环境中工作和易实现自动化等优点, 是一项正在飞速发展的新技术, 在不少发达国家该技术经过近30年来的研究和发展, 已逐步进入实际应用阶段。

在我国, 声波检测技术在工业和医学上的应用已比较广泛, 而对该技术在农产品生产和加工中的应用还未引起足够的重视, 我们应充分利用发达国家已取得的经验, 对农产品的声学特性与其品质之间的关系进行深入的研究, 以便应用该技术对农产品进行无损检测和分级, 增强我国农产品处理和加工的能力, 提高我国农产品在国际市场上的竞争力。

## 主要参考文献

- 1 Finney E E. Dynamic elastic properties of some fruits during growth and development. *Journal of Agric Engineering Res*, 1967, 14 (4): 249~ 255
- 2 Abbott J A, G S Bachman, N F Childers, et al. Sonic techniques for measuring texture of fruits and vegetables. *Food Technol*, 1968, 22 (5): 101~ 112

- 3 Garrett R E and R B Furry. Velocity of sonic pulses in apples Transactions of the A S A E, 1972, 15 (4): 770~ 774
- 4 Clark R L. An investigation of the acoustical properties of watermelon as related to maturity. A S A E Paper No. 75- 6004 St Joseph, M I A S A E
- 5 Robinson B E. An evaluation of acoustical decay time as a measure of watermelon maturity. 1976, M S thesis, University of Georgia, Athens, 1976
- 6 Yamamoto H M Iwamoto and S Haginuma. Non-destructive acoustic impulse response method for measuring internal quality of apples and watermelons J Jap Soc Hort Sci, 1981, 50 (2): 247~ 261
- 7 Salveit M E, Upadhyaya S K, Happ J F. Maturity determination of tomatoes using acoustic methods A S A E, Paper 1985, No 85- 3536
- 8 Armstrong P, H R Zapp, G K Brown. Impulsive excitation of acoustic vibrations in apples for firmness determination Trans of the A S A E, 1990, 33 (4): 1353~ 1359
- 9 Porteous R L, A Y Muir and R L Wastie. The identification of diseases and defects in potato tubers from measurements of optical spectral reflectance J Agric Engineering Res, 1981, 26: 151~ 160
- 10 Sarkar N and R R Wolfe. Potential of ultrasonic measurements in food quality evaluation Trans of the A S A E, 1983, 26 (2): 624~ 629
- 11 Arad S, E Benzioni S Lem an and S Mendinger. Failure in melons Final report No BGUN- ARI - 15- 85, Inst for Applied Research, Ben-Gurion University of the Negev, Beer Sheva, Israel
- 12 Watts K C and L T Russell. A review of techniques for detecting hollow heart in potatoes Canadian Agric Engng, 1985, 27 (2): 85~ 90
- 13 陈介余, 宫里满, 石黑悦雨. 利用声波响应特性检测农产品内部质量的研究 (第1报). [日]农业机械学会志, 1993, 55 (3): 65~ 72
- 14 Heiqing Chen. Analysis on the acoustic impulse resonance of apples for non-destructive estimation of fruit quality. A thesis for the Doctor degree, 1993, Catholic University of Leuven, Belgium
- 15 J Sugiyama, K Otake, S Hagashi, et al. Firmness measurement of muskmelons by acoustic impulse transmission Trans of the A S A E, 1994, 37 (4): 1235~ 1241
- 16 G Brusewitz, P B Venable. Sound level measurements of flowing grain Trans of the A S A E, 1987, 30 (3): 863~ 864
- 17 M Zhang, H R Zapp, B Ho, et al. Ultrasonic detection of borer damage in cherry trees Trans of the A S A E, 1994, 37 (5): 1655~ 1661
- 18 R E Lacey, F A Payne. Ultrasonic velocity in used corn oil as measure of oil quality. Trans of the A S A E, 1994, 37 (5): 1583~ 1589
- 19 Y Cheng, C G Haugh. Detecting hollow heart in potatoes using ultrasound Trans of the A S A E, 1994, 37 (1): 217~ 222