

# 无损检测技术在水果品质评价中的应用\*

莫润阳<sup>†</sup>

(陕西师范大学应用声学研究所 西安 710062)

**摘要** 介绍了声、光、电、射线等物理学技术在水果品质无损评价 NDE( nondestructive evaluation )中的应用,分析了这些技术在水果生产、分选、采后加工等过程中的应用价值,指出必须加强无损评价技术在果品品质评价方面的应用,以物理学高新技术的发展推动农业经济的持续发展.

**关键词** 水果,品质,无损评价

## Nondestructive quality testing of fruit

MO Run-Yang<sup>†</sup>

( Institute of Applied Acoustics, Shanxi Normal University, Xi'an 710062, China )

**Abstract** The application of physical technologies such as acoustics, optics, electronics and x-rays in the nondestructive assessment of fruit quality is reviewed. Their value in the production, fast sorting and post-harvest processing of fruit is analyzed. It is shown that there is great demand for the further development of these techniques for farm products, especially fruit. New physics technologies will help maintain the continuous growth of our agricultural economy.

**Key words** fruit, quality, nondestructive testing

## 1 引言

自 1993 年开始,我国果品总产量超过印度、巴西和美国,跃居世界首位.我国苹果、梨分别占世界总产量的 22.8% 和 36%,均居世界首位;柑橘占世界总产量的 10%,仅次于巴西和美国,居世界第三.然而,我国水果储藏能力只有 10%,烂果率高达 25%,优质果不到 30%,高档果不足 5%.中国苹果产量虽然居世界第一,但其出口量只占总产量的 1.46%.2000 年,中国出口苹果 30 万吨,占世界苹果出口总量的 3.5%.目前中国的苹果加工率不到 10%,也就是说每年还有约 1600 万吨的苹果需要通过贮藏鲜食消费掉,出现果农卖果难问题,也难以增加农民收入.要解决这些问题,必须发展果品深加工,扩大鲜果出口.阻碍我国鲜果出口一个重要因素是果品分选、检测能力弱,检测速度慢.国内具备先进分选设备的企业很少,有大型生产线的企业也仅

仅是对重量和大小进行分选.目前,国内企业的技术装备 80% 处于 20 世纪七八十年代的世界平均水平,15% 左右处于 90 年代水平,只有 5% 左右达到国际先进水平<sup>[1]</sup>,相应检测的试验环境条件差,检测人员的素质低,果品分选达不到国际市场的要求.我国苹果中,水心病、霉心病等内部病变现象出现的概率较高,在陕北高原、甘肃、山西、青海、山东等果产区有时发病率高达 20%—30%,不仅影响鲜食,更会造成贮藏损失.

## 2 水果品质无损评价主要方法及原理

无损检测(NDT)技术是在不破坏被检对象的前提下,运用各种物理学的方法如声、光、电、图像视觉技术等手段对物料进行检测分析的一种方法和技术.主要是基于被检物料的物理性质如密度、硬度、形态、颜色等,进而判定成熟度、以及内部的含糖量、

\* 2004-04-02 收到初稿,2004-06-03 修回

† 通讯联系人. E-mail: mmrriy@ yahoo. com. cn

糖酸比、水分、内部病变等。在获取样品信息的同时保证了样品的完整性,检测速度较传统的化学方法迅速,且能有效地判断出从外观无法得出的样品内部品质信息。

### 2.1 声学无损检测技术

用超声方法评价果品品质始于近 30 年。用于检测的超声波为低能超声波,在被检物中传播时不会引起其物理或化学特性的变化,主要是根据农产品在声波作用下反射、散射、吸收、衰减特性和声波传播速度及本身声阻抗、固有频率等的变化与农产品内部组织变化如结构、成分、物理状态等物化特性信息间的关系进行。低能超声测量中最常用的 3 个参数为:声速、声衰减系数、声阻抗。

国外学者用超声方法对果品作了许多研究:Salveit 等对西红柿在声波作用下共振频率随储藏时间、果品硬度等的相关性进行了研究<sup>[2]</sup>。Abbott 等对苹果的声学特性进行了研究,发现苹果在受到声波激励后有许多共振点,第二个共振点的频率  $f$  强烈地受到苹果尺寸和硬度的影响,其硬度与刚性系数  $f^2 m$  ( $m$  为苹果质量)高度相关<sup>[3]</sup>。Sugiyama 为了在生长过程中随时监测甜瓜的成熟度,研究了甜瓜的声响应特性,发现随着甜瓜的成熟,共振频率降低,据此还制成便携式甜瓜硬度测定仪<sup>[4]</sup>。Belie 等利用声脉冲响应技术对生长过程中梨的硬度变化进行了检测,发现梨的硬度与其声脉冲特性的相关性达 0.82<sup>[5]</sup>。国内在此方面的研究还远未成熟,何东健对西瓜的打击音波特性值和感官评价基础特性之间的相关性进行了分析<sup>[6]</sup>。王书茂等用冲击振动的方法发现西瓜成熟度、含糖量与西瓜振动基频有良好的相关性<sup>[7]</sup>,这些都表明:声学方法对确定水果组织特性有着潜在的应用。

以色列农业研究所的 Mizrach 及其研究小组,在这方面作了更为全面系统的研究,建立了一套确定水果和蔬菜基本声学参量的测试系统,现已在多个国家获得专利(以色列专利 No. 109406。美国专利 5589209)。主要利用低频、宽带超声穿透果肉,通过超声信号的衰减、频谱等的变化与果品生理参数间的关系确定果品的品质。Mizrach 小组对在各不同生长期采摘、在不同温度下储藏,且储藏不同时间后的颞梨、芒果,其成熟度、硬度、固溶物含量、含糖量等与果品声特性间的关系进行了大量研究<sup>[8-10]</sup>,发现采后水果组织的成熟参数、冷藏条件等与声学参量间有着密切相关,且成熟度最显著的标志——果品硬度与超声信号衰减量间有良好线性关系。

利用农产品声学特性对其内部品质进行无损检测和分级是生物学、声学、农业物产学、电子学、计算机等学科在农产品生产和加工中的综合应用,该技术适应性强,检测灵敏度高,对人体无害,成本低廉,易实现自动化,是果品无损检测技术发展的重要领域。虽然国外学者对此技术已做了较多基础研究,但这些研究基本上是研究农产品声学特性——共振频率、反射折射特性、吸收特性、衰减特性、传播速度、声阻抗等中的某一特性与农产品某一品质指标的关系,而对多种声学特性对农产品某一内部品质指标或多种内部品质指标的综合影响的研究报道很少,阻碍了声学检测精度的提高。

### 2.2 光检测技术

光学检测是应用较为成熟的一项技术,包括可见光检验、紫外线检验、近红外线检验、红外线检验等。果品的光学特性指果品对光的吸收、散射、反射和投射等特性,在果品检测方面主要用于测量内部成分。

近红外光谱分析技术:近红外光(near Infrared, NIR)是指波长在 760—2500nm 范围内的电磁波,介于可见光(简称 VIS)与中红外光(简称 MIR)之间。最早由英国物理学家 Herschel W 于 1800 年发现。但由于受当时技术水平和实验条件的限制,NIR 谱区曾被称作“被遗忘的谱区”。直到 20 世纪 60 年代,由于电子、光学、计算机技术的发展和化学计量学的应用,使从复杂、重叠、变动的近红外光谱(波长范围约 0.75—2.5  $\mu\text{m}$ )背景中提取弱信息成为可能,形成近红外分析方法。美国农业部 Norris 首先将它应用于农业分析。1970 年,美国一家公司首先研制出应用近红外技术的农产品分析仪,主要用于分析农产品中水分、蛋白等含量<sup>[11]</sup>。当近红外光照射到由一种或多种分子组成的物质上时,如果物质分子为红外活性分子,则红外活性分子中的键与近红外光子发生作用,产生近红外光谱吸收。分子在近红外谱区内的吸收产生于分子振动或转动的状态变化或者分子振动或转动状态在不同能级间的跃迁,能量跃迁包括基频跃迁、倍频跃迁和合频跃迁,而近红外光谱记录的是分子中的基频振动的倍频和合频信息。近红外光谱分析应用的分析信息是分子内部原子间振动的倍频与合频,因此信息量极为丰富,几乎可用于所有与含氨基团有关样品的化学性质、物理性质的测量。近红外光谱分析依靠现代算法通过计算机提取信息,完成分析,分析速度极快,且对样品无损、无污染,是一种绿色分析技术。近红外光谱技

术在果品品质检测中的应用研究已形成高潮,如 Lammertyn 等人进行了可见光谱和近红外光谱对红苹果质量特征无损测量的探索研究,并进行了双叉光纤记录的反射光谱与苹果参数之间的关系.日本开发了可见光和近红外线测定梨、苹果成熟度的传感器,又研制了快速判别水果成熟度和色泽的选果装置,并将此技术用于自动化选果线上,把成熟度、色彩传感器与自动化分级、包装线在一起,率先实现了水果高度自动化的无损检测.

**近红外图像技术** 近红外图像技术的工作波段在 760—1200nm 光谱区,当近红外光源发出的近红外线照射到研究对象后,由近红外摄像机接收被研究对象反射回来的近红外辐射,形成研究对象的近红外图像,并对该图像进行光谱转换和亮度增强,最后得到研究对象的可见光图像.近红外图像技术对农产品外部品质的检测主要根据研究对象正常表面、缺陷和背景之间反射能力的差异进行识别<sup>[12]</sup>.能有效地正确识别水果表面的真实缺陷以及花梗、花萼的区分.这一点非常重要,在水果外部品质的机器视觉检测中,水果的尺寸、颜色检测技术已较成熟,但果面缺陷检测特别是花梗、花萼的正确区分一直是水果实时分级的障碍,近红外的应用,有效地解决了该问题.

**可见光检测** 最普通的可见光检测就是通过人眼观察果品的颜色、大小、表面是否有伤、病虫害等,从而对果品进行筛选、分级,效率极低.目前可见光快速检测主要是基于计算机视觉的检测技术,主要利用光学传感器或扫描摄像机摄像,综合测出果品的表面颜色、对特定光的透光率、形状和大小,并与事先贮存在计算机中的数据模型进行对比,推算出成熟度和糖分.目前世界上最先进的是日本 MAKI 公司生产的基于光学原理的分选设备,可以同时在线上测出多个指标(糖度、酸度、大小、质量等)并可判断苹果内部是否有异常(水心病、霉心病、褐变),速度可以达到每秒检测 5 个以上.意大利将自动化色泽分级和自动化大小分级相结合研制成果实色泽重量分级机,首先是在带有可变孔径的传送带上进行大小分级,在传送带的下边装有光源,传送带上漏下的果实经光源照射,反射光又传送给电脑,由电脑根据光的反射情况,将每一级漏下的果实又分为全绿果、半绿半红果、全红果等级别,通过不同的传送带输送出去,该生产线每小时可处理苹果 15—20 吨.

**激光荧光光谱分析技术** 激光出现后,使利用元

素的特征荧光光谱进行化合无中痕量物质分析方法的灵敏度、分辨率大为提高.生物分子的电子吸收带相互重叠,具有宽的吸收带,它对激励光的波长要求并不严,利用高功率密度的(超)短脉冲激光即可在不损伤样品的情况下实现高密度激发,从而产生较强的荧光信号,不仅可对不同亚细胞组织的微量元素进行高精度测定,且可在不损伤活体的情况下检测不同时期的成分变化.原苏联乌克兰科学院植物研究所根据激光能使植物绿叶发出荧光,以及植物的营养状况能通过绿叶的荧光信号灵敏反映出来的现象,采用激光荧光光谱分析方法监测农作物生长情况<sup>[13]</sup>.

### 2.3 水果介电特性

对水果等农业作物的介电特性的研究直到 20 世纪 70 年代才引起人们的关注.水果的生理变化伴随着电介质特征参数变化,而这一变化可通过对宏观介电特性参数的检测感知.实验中,首先计算出同种水果不同等级的介电特性参数,以此作为理论参数,并将其存储到计算机中,然后利用实验装置检测水果的实际介电特性参数,输出到计算机后与理论参数进行比较,从而得到被测水果的品质等级.日本的家藤宏郎于 1988 年研制出了最早真正意义上的介电特性果蔬无损检测系统,但其频率点过于稀疏,无法更精确地反映各参数的频率特性,达不到更高的实验要求.我国在这方面的研究起步很晚,其应用更是处于空白阶段.尽管目前所有的基于介电特性的水果无损检测系统都没有达到实用阶段,但介电特性与水果的新鲜度及腐烂程度间存在密切关系已得到证实<sup>[14]</sup>.

### 2.4 软 X 射线检测技术

X 射线检测技术本来是为检测一些不易拆卸分解的大型构件或机械零件的内部缺陷而开发应用的,近来已被成功地移植到农产品加工领域,Barcelona 等用 X 射线计算机层析扫描仪监控成熟期间桃子的内在品质变化,建立了 CT 量与桃子的物理化学含量之间的关系.韩东海<sup>[15]</sup>用 X 射线对柑橘皱皮果进行了检测:当软射线通过柑橘时,由于正常柑橘与皱皮柑橘密度不同,X 射线透过率不同.将一正常果的波形作为基准波形预先存入计算机内,然后计算新测波形和基准波形的面积差并作为判断值,当判断值超过某设定值时,判定该果为皱皮果,设定值据经验确定.近年,软 X 射线已被成功地运用于瓜果的自动化无损检测分级中.

### 2.5 其他检测方法

日本紫田科学机械电子公司根据折光率与氧换算研制成用于水果品味、品质分选的水果酸甜测定仪。Benady M 等人据果品乙烯量与成熟度间关系研制了一种水果成熟度的非破坏测定装置—嗅探器, 还有利用紫外光谱对果品残余农药进行无损测试的报告。总之, 物理高新技术在果品质量监测、评价中的作用正在引起广泛关注。

### 3 展望

无损检测方法不破坏产品, 而且可使果品、蔬菜的分级工作更科学、更准确、更便捷, 完全适合农产品加工高效率、大规模的要求。所以我们要特别重视高新技术的新成果向农产品生产加工应用领域转移的研究工作, 尤其是要加强工业无损检测技术在农产品加工中的应用研究, 推动农产品加工快速发展, 提高农产品经济效益。无损检测技术在果品生产加工、分级处理中的应用价值主要有四方面:

(1) 有效保证果品内部质量。果品品质不仅包括外观特征, 还包括品味、内部有无病变等。内部品质的优劣仅从外表很难鉴别, 尤其是内部的水心病、霉心病, 病果与正常果外观毫无二致。运用无损检测技术不仅可发现内部病变, 且在线无损检测可以做到逐个检测, 有效地保证每一个产品的质量。(2) 监控果品生长过程, 指导苹果生产与流通。果农对果品的采摘时间主要依靠经验判断, 这样难免出现同一地区甚至同一果园的果品成熟度不同, 而成熟度对储藏和货架寿命都有重要意义。应用便携式无损检测装置, 果农可以在苹果还在树上时就对成熟度进行检测, 根据成熟度糖度硬度等指标来决定施肥、浇水、采摘时间, 为采后处理提供了方便。根据不同用途果实成熟度可分为可采成熟度、食用成熟度、生理成熟度, 果农可以根据不同的需求把握采摘时间。(3) 减少抽样浪费。国内大型分选企业每到一批货都要抽样进行破坏性初步检测, 以决定其储藏和包装时间。常用的指标有糖度、硬度、成熟度、水心病、霉心病等。抽样数量一般为 10 个/批。如以每批一车苹果大约 10 吨, 生产季节按每天 70 车收购算, 一天就要破坏掉近 200 千克苹果, 一年大约是十几吨。如果运用便携式无损检测设备抽样, 不但可以增加抽样数量, 提高检验速度, 更可彻底避免浪费。(4) 促进储藏加工标准化, 增加苹果附加值。实施储藏加工标准化有利于储藏加工过程中果品的统一处理, 保证储藏期间果品的质量, 延长储藏期限, 实现产品的安全质量控制, 从而实现果品从栽培到产品整个过程的

安全质量保证。无损检测数据可为储藏加工标准化提供依据, 还可作为果品流通和出口的一种物理性的质量标准, 果品在采后经贮藏、分选、包装、加工等一系列技术手段, 决定了其产品附加值的高低。

随着中国加入 WTO, 国际市场对果品品质的要求越来越严格, 为了更好的实现与国际接轨, 扩大我国农产品的国际市场份额, 将先进的无损检测技术应用到果品分选中刻不容缓。国家“十五”攻关项目、“863”工程项目都包含有关无损检测的研究项目。农业部的“农产品加工业发展行动计划”中也明确提到“加强农产品加工公共性通用高新技术设备的开发、配套和应用, 如节能干燥设备、杀菌装置、农产品无损检测设备、农产品产后处理(如分级、清洗、整理等)设备”, 这无疑给无损检测的研究与开发提供了一定的物质和政策基础。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 胡小松等. 保鲜与加工. 2003, 3(2):1 [ Hu X S *et al.* Storge & Process. 2003, 3(2):1 (in Chinese) ]
- [ 2 ] Saltveit M E, Upadhyaya S K, Happ J F *et al.* ASAE paper, 1985, (1) 35
- [ 3 ] Abbott J A, Affeldt H A, Liljedahi I A. J. Amer. Sci., 1992, 117(4) 590
- [ 5 ] Belie N De. Journal of Agricultural Engineering Research, 2000, 77(2) :183
- [ 6 ] 何东健. 西北农业大学学报. 1994, 22(3) :105 [ He D J. Journal of Northwest University. 1994, 22(3) :105 (in Chinese) ]
- [ 7 ] 王书茂. 农业工程学报. 1999, 15(3) :241 [ Wang S M. Journal of Agriculture Engineering. 1999, 15(3) :241 (in Chinese) ]
- [ 8 ] Mizrach A, Galili N, Rosenhouse G *et al.* Trans of the ASAE, 1991(34) :2135
- [ 9 ] Mizrach A, Flitsannov U, El-Batsri R, Degani C. Scientia Horticulturae, 1999(80) :173
- [ 10 ] Flitsanov U, Mizrach A, Liberzon A *et al.* Postharvest Biology and Technology, 2000(20) :279
- [ 11 ] 金仲辉等. 物理. 2002, 31 :392 [ Jin Z H *et al.* Wuli(Physics), 2002, 31 :392 (in Chinese) ]
- [ 12 ] 徐惠荣, 应义斌. 浙江大学学报. 2002, 28(4) :460 [ Xu H R, Ying Y B. Journal of Zhejiang University. 2002, 28(4) :460 (in Chinese) ]
- [ 13 ] 吴孔宝. 物理, 1996, 25(1) :48 [ Wu K B. Wuli(Physics), 1996, 25(1) :48 (in Chinese) ]
- [ 14 ] 胥芳等. 浙江工业大学学报. 2001, 29(3) :230 [ Xu F *et al.* Journal of Zhejiang University of Technology. 2001, 29(3) :230 (in Chinese) ]
- [ 15 ] 韩东海. 农业机械学报. 1998, 29(4) :97 [ Han D H. Journal of Agricultural Machinery. 1998, 29(4) :97 (in Chinese) ]