

果蔬产品品质无损检测技术的研究进展

张立彬, 胡海根*, 计时鸣, 胥 芳

(浙江工业大学机电工程学院, 杭州 310014)

摘 要: 该文较为全面地介绍了国内外基于果蔬产品物理特性的无损检测技术的研究现状及方法, 如电学特性检测技术、光学特性检测技术、声波振动特性检测技术、核磁共振(NMR)技术、电子鼻技术、撞击技术以及一些其他技术与方法, 并对未来的发展方向予以了展望, 认为综合应用多种高科技技术进行果蔬产品的无损检测与分选是未来发展的趋势。

关键词: 果蔬产品; 品质检测; 无损检测; 分选; 分级

中图分类号: S377

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)04-0176-05

张立彬, 胡海根, 计时鸣, 等. 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, 21(4): 176—180.

Zhang Libin, Hu Haigen, Ji Shiming, et al. Review of non-destructive quality evaluation technology for fruit and vegetable products[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(4): 176—180. (in Chinese with English abstract)

0 引言

果蔬产品品质检测技术对于水果和蔬菜的生产和消费都十分重要, 多年来一直是农业工程领域的重要研究课题。

近三十年来, 基于尺寸、形状、颜色、气味、硬度、表面纹理等特征, 前人已经开发出一系列的果蔬产品品质无损检测技术, 许多已投入生产应用。

相对外部品质, 对果蔬产品的内部品质, 诸如成熟度、糖含量、脂含量、内部缺陷、组织衰竭等进行无损检测则要困难得多。

随着现代技术的迅猛发展, 为果蔬产品品质的无损检测提供了很多新的方法和手段, 本文将对国内外的研究情况做一个回顾与展望。

1 技术回顾

基于外部和内部的品质参数, 其无损检测也就大致可以分为对其品质进行内部检测和外部检测。众多情况, 产品的成熟程度(如苹果)可以用其颜色间接地代表, 但表示成熟度的根本是果蔬糖度、酸度、果肉软硬程度等内部品质指标。糖酸度的破坏性检测技术早已被人们掌握, 而无损检测则是近年来发展起来的高科技技术。由于果蔬产品品种及其物理特性的多样性, 需要用不同的检测方式方法。

1.1 利用果蔬产品的电学特性

果蔬产品的电学特性一直是很多农业工程专家研究的一个热门课题, 他们对水果和蔬菜等大量农业物料的电的或电介质的特性测定进行过广泛的研究, 且测量

的频率范围大部分集中于高频波段^[1]。Nelson(1980~1983)^[2]在 2.45~22 GHz 频率范围内对水果、蔬菜介电特性进行过试验; 日本学者加藤宏朗(1988)^[3]则在 10~13 MHz 频率范围内对水果进行了研究。这些研究结果表明, 果蔬的一些介电参数与其内部品质有一定的相关性, 且介电参数的测量结果与所选择的测试频率有密切关系。Nelson 和 Lawrence 等还以 1~5 MHz 频段的电容测量法分别针对单个大豆(1994)^[4]、枣椰子(1994)^[5]和美洲山核桃(1995)^[6]进行过测量研究, 结果表明介电常数随果蔬种类的不同而不同, 但是在某段频率范围内, 所测试果蔬的介电常数随频率的增加而均匀稳定地减少, 介质损耗随频率的增加则呈减小趋势, 他们报道的这种技术对自动分选枣椰子等果蔬具有潜在的使用价值。国内此方面研究尚处于起步阶段, 笔者(1996)^[7]进行过苹果、梨的电学特性与新鲜度的关系的研究, 随着水果新鲜度的降低, 在切片组织腐烂或损伤与非腐烂或无损伤的两种情况下, 它们的电学特性呈现相反的变化, 在切片组织已有腐烂或损伤的情况下, 其等效阻抗值显著地比新鲜的正常果肉要小, 而相对介电常数及损耗因数则比正常组织来得大。我们还以苹果和梨为试验对象, 研究了低频段(0.1~100 kHz)水果电学特性参数的频率特性及其与水果品质特征之间的关系, 结果表明, 水果的电学特性参数与水果品质密切相关, 为实现水果在线无损品质检测和自动分级奠定了理论基础^[8]。

目前, 这方面的技术研究还不甚成熟, 尚未真正投入生产应用, 在国内也正处于研究的起步阶段, 但其研究价值大, 发展前景可观。

1.2 利用果蔬产品的光学特性

由于水果或蔬菜的内部成分及外部特性不同, 在不同波长的射线照射下, 会有不同的吸收或反射特性, 且吸收量与果蔬的组成成分、波长及照射路径有关。根据这一特性结合光学检测装置能实现水果和蔬菜品质的无损检测。

在此领域的研究已有三十余年的历史, 主要有规则

收稿日期: 2004-03-12 修订日期: 2005-04-11

作者简介: 张立彬(1955—), 男, 浙江景宁人, 博士, 教授, 博士生导师, 农业工程专家, CASE 高级会员, 主要研究方向: 农业工程, 机电控制。

通讯作者: 胡海根(1977—), 男, 江西丰城人, 研究方向: 机电一体化, 农业工程。浙江工业大学研 22 号信箱, 310014。Email: huhaigen@hotmail.com

反射光法、漫反射光法和透射光法。Dull G. G. 和 Birth G. S. 等^[9](1989)用近红外 884nm 和 913nm 两个波长反射光谱法测定了成熟罗马甜瓜中蔗糖与可溶性固形物的含量,试验结果表明近红外光谱与可溶性固形物含量的相关系数样品薄片为 0.97,与理论结果 0.60 相比相差较大,笔者认为有可能是果皮暗红色,吸收较强所致;李晓明、岩尾俊男等(1993)^[10]为有效检测桃内部的损伤情况,测定了桃在 400~2000 nm 内的分光反射特性,结果表明在可见光波长域内,实测值与理论值两者的反射率差异极小,800 nm 以上的近红外波长域,反射率差值较大。国内在这方面也有较大的进展,陈世铭,张文宪等(1998)^[11]利用 1000~2500 nm 近红外光谱对水蜜桃和洋香瓜等果汁的糖度检测进行了研究,分析了多元线性回归、偏最小二乘法和神经网络 3 种校正模式对不同光谱处理的近红外线光谱检测果汁糖度的影响,应义斌,刘燕德等(2003)^[12]也介绍了水果内部品质光学特性检测原理、检测系统组成以及国内外最新研究进展和应用前景。

总之,目前这种方法是无损检测与分拣技术中最实用的和最成功的技术之一,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、成本低和易实现自动化等优点,目前国外已逐步进入实际应用阶段。

1.3 利用果蔬产品的声波振动特性

早在 20 世纪 60 年代末,70 年代初就有很多学者就对果蔬产品的声波振动特性进行过深入研究,并取得了一定的成果,他们把坚硬系数 $f^2 m^{2/3}$ (f 和 m 分别各自代表第二共鸣频率和果蔬的质量)作为果蔬产品硬度品质的独立指标。

Yamamoto 等人(1981)^[13]基于瓜果的声学响应特性对苹果和西瓜内部品质的无损检测进行过研究。Armstrong (1990)^[14]测量了苹果的第一阶固有频率并利用弹性球模型的纯压缩振动模式预测了苹果的弹性模量。Chen P 等人(1992)^[15]研究了影响苹果声学响应的因素,并指出声调强度与苹果的第一、二阶固有频率有直接的相关性 Stone M L 等人(1996)研究了利用声脉冲阻抗技术确定西瓜成熟度的方法。理论上,对于一个弹性球体的自由振动,球体的弹性系数与其他一些物理特性有关,如 $Ea(1+u)f^2 m^{2/3} \rho^{1/3}$,在这里 Ea 代表弹性系数; u 是泊松比; f 是自由振动的共鸣频率; m 是质量; ρ 是密度。这里 u 和 ρ 是一对相关常量, $f^2 m^{2/3}$ 作为预测水果硬度检测标准。然而,这里容易把传统上的硬度(即力与变形的比值)与通过 Magness-Taylor 方法所测得到的果肉硬度相混淆,果肉硬度是一种表示果肉浓度的量度标准。另一个值得提醒的是:由于每一个水果有多个共鸣频率,因此当比较不同水果的硬度时,使用同一次序的共鸣频率就显得很重要。基于商业应用考虑,Armstrong 和 Brown(1993)^[16]使用声学测量技术设计了一条苹果硬度检测的原型包装线,并开发了一套计算机软件,使之可以从声波信号中获取第一共鸣频率。在实践研究中也显示了:硬度检测的第一共鸣频率,正是我们所希望抑制更高次序的共鸣频率。Chen 等^[17]

(1992)发现更高次序的共鸣能够通过延长脉冲时间(水果与敲锤之间的接触时间)进行抑制。Bart De Kete-laere 和 Josse De Baerdemaeker 两人(2000)^[18]研究出了一种基于频谱分析来估测西红柿硬度的方法,研究表明西红柿椭圆模型的共鸣频率与其硬度相关,他们把一种基于统计的无参数滤波方法应用于频谱以获得共鸣频率的有力估计,并施加以合适的算法,从而可以以最少的测量次数获得单个西红柿的硬度。在国内这方面的研究也有长足的发展,葛屯等人(1998)^[19]基于西瓜结构的振动特性,对西瓜进行理论建模,并通过有限元计算与振动模态实验对比,找出了可以区分成熟与否的多边形振型的特征模态。

1.4 利用核磁共振技术

核磁共振(NMR)是一种探测浓缩氢质子的技术,它对水、脂的混合团料状态下的响应变化比较敏感。研究者发现:水果和蔬菜在成熟过程中,水、油和糖的氢质子的迁移率会随着其含量的逐渐变化而变化。另外,水、油、糖的浓度和迁移率还与其他一些品质因数诸如机械破损、组织衰竭、过熟、腐烂、虫害以及霜冻损害等有关。因此,基于以上的特点,通过其浓度和迁移率的检测,便能检测出不同品质参数的水果和蔬菜。

虽然 NMR 成像技术(MRI)已经成功商业应用于检测人体的肿瘤和其他的人体异常的医学领域,但它潜在的用来检测水果和蔬菜的缺陷和其他品质因素的价值还没有完全被挖掘。Hinshaw 等(1979)^[20]已经证明了 MRI 能够产生果实内部组织的高清晰度图像。Chen 等(1989)^[21]使用 MRI 来检测水果和蔬菜的不同品质因素,他们还发现诸如回射延迟、浓度和扫描切片的厚度等试验参数的变化对试验样本特征图像的增强有显著的影响。Rollwitz 等(1983)^[22]则设计出了适合农业应用的各种类型的便携 NMR 传感器。

NMR 成像技术的应用可以让研究者以更详尽的参数无损伤检测水果或蔬菜,不仅可以方便地找出 NMR 参数与品质参数之间的对应关系,而且可以大大促进高速 NMR 技术的发展。基于 NMR 技术对果蔬产品无损检测的持续研究也可以促进 NMR 传感器在水果和蔬菜生产中的应用。不过,基于这项技术的果蔬产品的无损检测研究目前国内尚未见到过有关报道。

1.5 利用机器视觉技术

机器视觉技术于农业中的应用研究,始于 20 世纪 70 年代末期,主要进行的是植物种类的鉴别、农产品品质检测和分级。随着图像处理技术的迅猛发展和计算机软硬件的日益提高,机器视觉系统在果蔬品质自动检测和分级领域的应用已得到了较大的发展,并促进了新的算法和硬件体系结构的发展,以便于将该技术应用于水果和蔬菜内部品质的自动分选系统。Rehkugler 和 Kroop(1986)^[23]运用黑白图像处理技术进行苹果表面的碰压伤检测,并根据美国苹果标准进行分级。Marchant 等(1988)^[24]设计了一种计算机视觉系统,能把马铃薯分成不同尺寸级别和不同形状级别,这个系统使用了一种多处理器体系结构和一种硬件数据缩减单

元,能够以 40 个/s 的速率分选马铃薯。Heinemann 和 Morrow (1992)^[25]运用多变元区分技术对土豆和苹果的色度直方图进行分析,从而区分发绿土豆和正常土豆,并对不同颜色特征的苹果进行分类。在国内,张书慧等人(1999)^[26]通过建立图像数据采集与分析系统及相关的农产品图像数据库,利用计算机视觉实现对苹果、桃等农产品品质(表面颜色、形状、缺陷)的准确分级。应义斌等(2003)^[27]人研究以表面色泽与固酸比为柑橘成熟度指标,建立了用于柑橘成熟度检测的机器视觉系统,确定了适宜的背景颜色,进行了柑橘的分光反射试验,试验表明 700 nm 是获得高质量的柑橘图像的较佳中心波长。并建立了利用协方差矩阵和样本属于桔黄色和绿色的概率来判断柑橘成熟度的判别分析法,可以使柑橘成熟度的判别准确率达到 91.67%。

利用机器视觉技术实现果蔬产品内部品质无损检测目前是国际上研究的热点课题,从目前的国内外研究进展情况来看,技术已经比较成熟,但检测精度和速度均与实际应用还有一定的距离。

1.6 利用电子鼻技术

对很多水果和蔬菜来说,芳香是一种重要的品质属性。目前,鼻子仍然是测量食品和农产品气味和芳香的最好的检测器,多年来,电子嗅探器或电子鼻的研究并没有获得重大突破。Gardner 和 Bartlett (1994)^[28]介绍了电子鼻的简短发展史,绝大多数电子鼻使用一种组合传感器,每一个传感器对气体中的一种或多种成分有高度的敏感性。这些传感器一般大多采用烧结金属氧化物、导电聚合体、石英共鸣器等材料,输出量则通过使用一种模式识别程序进行分析,诸如主要成分分析、官能分析、或神经网络分析。在他们合作编著(1992)^[29]《Sensors and Sensory system for an electronic nose》一书中,能够找到适用于辨别各种食品(如咖啡豆等)气味的传感器。

用来判断水果成熟度的一种商业芬芳传感器于 1990 年在日本就投入市场,该公司的说明书中显示了一种称为“Sakata 水果检测器”的手提检测器(大约重 700 g),能够以 99% 的准确率检测已腐烂、过熟和未熟的水果。国内的邹小波等^[30]研究者模拟人的嗅觉形成过程研制出了一套用金属氧化物半导体气敏传感器陈列组成的电子鼻系统,同时用 BP 神经网络对样本进行识别分析,测试正确率达 80%。

1.7 利用撞击技术

一个弹性球体撞击一个刚性表面的反作用力与撞击的速率、质量、曲率半径、弹性系数和球体的泊松比等有关。研究者发现水果对刚性表面的撞击基本上能用弹性球体进行模拟,水果的硬度对撞击的反作用力有直接的影响。Nahir 等(1986)^[31]就探讨了当番茄从 70 mm 高度掉在刚性表面时,其反作用力与水果的质量及硬度之间的紧密关系,并基于质量和颜色研制了一种分选番茄的实验机器,通过对水果反作用力的测量与分析,能分选出番茄。Ruiz-Altisent 等(1993)^[32]研制出一套试验系统,利用撞击参数把水果(苹果、梨子和鸭梨)分成

万方数据

不同的硬度级别。Chen 等人(1996)^[33]使用一个低质量的撞击物进行研究,结果产生以下我们期望的特征:它提高了被测加速度信号的强度,提高了计算出的硬度指数量级和硬度指数随水果硬度的变化率(硬度指数对水果硬度的变化是十分敏感的),减小了由于水果在撞击过程中的运动而导致的误差,减小了由于水果被撞击而导致的损伤并且可以使感应效率更高。基于这些发现,他们研制出了一种低质量高速的撞击传感器,用来测量桃子硬度,获得很好的效果(Chen 和 Ruiz-Altisent, 1996)^[34]。

目前,这种方法在国内有关这方面的研究报道比较少,笔者认为由于此方法本身存在导致水果损伤的可能性缺陷,必须要求有较高的传感器系统。

1.8 利用其他方法

除此之外,还常利用密度、硬度、强制变形及射线等技术方法对果蔬进行无损检测与分选。很多水果和蔬菜的密度随着成熟度的提高而提高,但某些类型的损害和缺陷如柑橘类的霜冻损害、水果的病虫害、西红柿的虚肿以及黄瓜和马铃薯的空心等导致其密度的减小,找出密度与其品质之间的相关性,便可以利用密度对其进行无损检测。Zaltzman 等人(1983 和 1985)^[35,36]基于农产品的密度与其品质的相关性,设计了一套引水设备装置,能以 5 t/h 的速度把马铃薯从土块和石头中分选出来,达到 99% 的马铃薯命中率及 100% 的土块和石头排除率。很多水果的硬度与其成熟度也有关,一般水果和蔬菜的硬度随其成熟度的提高而逐渐降低,成熟时,将会急剧降低。过熟的和损坏的水果则变得相对柔软,因此根据硬度不同,可以把水果和蔬菜分成不同的成熟等级,或把过熟的和被损坏的水果加以剔除,这方面的技术已经投入了生产应用。Takao (1994)^[37]研制了强制变形形式的硬度测量装置(因其能估测水果的硬度、未成熟度和纹理结构而被命名 HIT 计算器)。Bellon 等(1994)^[38]发明了一种微型变形器,它能以 92% 的准确率把桃子分成质地不同的三种类型。Armstrong 等(1995)^[39]研制了一种能自动无损检测一些诸如蓝浆果、樱桃等小型水果硬度的器械,它是把整个水果夹在两平行盘之间,利用强制偏差测量法进行测量,并配合自动数据采集和分析等方法,测量速率能够达到 25 个/min。另外,多数水果和蔬菜能够被像 X 射线和 γ 射线这种短波辐射穿透,穿透的程度主要取决于其品质密度与吸收系数,因此,基于这种特性,利用 X 射线和 γ 射线技术能够对与其密度相关联的品质参数进行检测。另外,研究者还发现 X 射线技术能够被用来探测苹果上的瘀伤、马铃薯的空心、分离桃子上的凹点以及桔子里的粒状表面。

2 展 望

对于各种无损检测方法,它们各有自己的优缺点。如对利用红外光照射和红外反射所得的图像进行分析,来检测果蔬产品是否有损伤,但只能对水果表面的损伤进行较好的检测;同样,利用激光扫描技术也只能对水

果表面进行较好的检测。力学检验则容易对水果造成新的损伤;声学特性则是实现硬度自动检测的有效方法;机器视觉技术的应用是实现果蔬产品品质自动识别和分级的最有效的方法。

早期由于本身的技术条件限制,只对水果和蔬菜外部品质如大小、形状、密度等方面进行无损检测,方法也相对简单,检测速度慢,效率低,而且检测的精确度受检测参数与品质参数之间关联程度的影响。目前,应用最广泛最成功的检测方法是光学方法,它综合了光学传感器和数据处理技术,能够方便地使果蔬产品品质得到高精度、高效率的检测与自动分选。

计算机技术、数据处理技术、无损检测技术以及自动化控制技术的发展为现代及未来的分级检测技术提供了广阔的空间,许多高新技术在水果和蔬菜品质检测领域得到应用,使分级检测技术正在由半自动化向全自动化、外部品质检测向内部品质检测、复杂化向简单化和方便化、规格标准的文字化向数字化、机械设备结构的复杂化向简单化、数据的人工管理向计算机管理方向转化、单项项目检测向综合全方位检测转化,从而可以组成一套果蔬产品的分级系统,大大减少果蔬产品在包装、储运及加工时造成的损失。

参考文献

- [1] Pictiaw Chen. Quality evaluation technology for agricultural product [R]. Proc Int Conf on Agric Machinery Engineering, Nov. 12~15, Seoul, Korea. 1996, Vol. I: 171-204.
- [2] Nelson S O. Dielectric properties of some fresh fruits and vegetables at frequencies of 2.45 to 22 GHz [J]. Transactions of the ASAE, 1983, 26(2): 613-616.
- [3] 加藤宏朗. 高周波インヒタンスによる農産物の非破壊硬度判定(第1報、第2報) [J]. 农业机械学会志, 1988, 50(6): 99-107; 1989, 51(5): 55-61.
- [4] Nelson S O, Lawrence K C. RF impedance and DC conductance determination of moisture in individual soybeans [J]. Transactions of the ASAE, 1994, 37(1): 179-182.
- [5] Nelson S O, Lawrence K C. RF impedance sensing of moisture content in individual dates [J]. Transactions of the ASAE, 1994, 37(3): 887-891.
- [6] Nelson S O, Lawrence K C. Nondestructive moisture determination in individual pecans by RF impedance measurements [J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(4): 1147-1151.
- [7] 张立彬, 胥芳, 周国君, 等. 苹果的介电特性与新鲜度的关系研究 [J]. 农业工程学报, 1996, 12(3): 186-190.
- [8] 张立彬, 胥芳, 贾灿纯, 等. 苹果内部品质的电特性无损检测研究 [J]. 农业工程学报, 2000, 16(3): 104-107.
- [9] Dull G, Birth G S, Smittle D A, et al. Near infrared analysis of soluble solids in intact cantaloupe [J]. J Food Science, 1989, 54: 393-395.
- [10] LI Xiaoming, Yanwei Zhunnan. System of image inspection about scathe fruit (第2报) [J]. Transactions of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 1993, 56(1): 37-44. (in Japanese)
- [11] Chen Suming, Chang Wem-Hung, Hsieh Kawn-Wen. The study on prediction models for determination of sugar content in fruit juice [J]. Trans of the Taiwan Society of Agricultural Machinery [台湾] (农业机械学报), 1998, 7(3): 41-60. (in Chinese)
- [12] 应义斌, 刘燕德. 水果内部品质光特性无损检测研究及应用 [J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2003, 29(2): 125-129.
- [13] Yamamoto H, Iwamoto M, Haginuma S. Nondestructive acoustic impulse response method for measuring internal quality of apples and [J]. Watermelons J Japan Soc Hort Sci, 1981, 50(2): 247-261.
- [14] Armstrong P, Zapp H R, Brown G K. Impulsive excitation of acoustic vibrations in apples for firmness determination [J]. Transactions of the ASAE, 1990, 33(4): 1353-1359.
- [15] Chen P, Sun Z, Huarng L. Factors affecting acoustic responses of apples [J]. Transactions of the ASAE, 1992, 35(6): 1915-1920.
- [16] Armstrong P R, Brown G K. Nondestructive firmness measurement of apples [Z]. ASAE Paper No. 93-6023. St. Joseph, MI. 1993.
- [17] Chen H, Baerdemaeker J De, Vervaeke F. Acoustic impulse response of apples for monitoring texture change after harvest [R]. Proc Int Conf Agric Engineering Beijing, China. 1992.
- [18] Bart De Ketelaere, Josse De Baerdemaeker. Advances in Spectral Analysis of Vibrations for Non-destructive Determination of Tomato Firmness [J]. J agric Engng Res, 2001, 78(2): 177-185.
- [19] 葛屯, 徐凌, 夏恒. 利用振动理论对西瓜成熟度进行无损检测的研究 [J]. 农业工程学报, 1998, 14(2): 231-234.
- [20] Hinshaw W S, Bottomley P A, Holland G N. A demonstration of the resolution of NMR imaging in biological systems [J]. Trans of the ASAE, 1979, 35(3): 1268-1269.
- [21] Chen P, McCarthy M J, Kauten R. NMR for internal quality evaluation of fruits and vegetables [J]. Transactions of the ASAE, 1989, 32(5): 1747-1753.
- [22] Rollwitz W L, King J D, Matzkanin G A, et al. Magnetic resonance; a versatile sensor for agriculture applications. Agricultural Electronics - 1983 and Beyond [J]. Trans of the ASAE, 1983, 84(2): 766-772.
- [23] Rehkgugler G E, Throop N. Apple sorting with machine vision [J]. Trans of the ASAE, 1986, 129(5): 1388-1397.
- [24] Marchant J A, Onyango C M, Street M J. High speed sorting of potatoes using computer vision [Z]. ASAE Paper No. 88-3540. 1988.
- [25] Tao Y, Heinemann P H, V arghese Z, et al. Machine vision for color inspect ion of potatoes and apples [J]. Trans of the ASAE, 1992, 38(6): 1555-1561.
- [26] 张书慧, 陈晓光, 张晓梅, 等. 苹果、桃等农副产品品质检测与分级图像处理系统的研究 [J]. 农业工程学报, 1999, 15(1): 34-38.
- [27] 应义斌, 饶秀勤, 马俊福, 等. 柑橘成熟度机器视觉无损检

- 测方法研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 144—147.
- [28] Gardner J W, Bartlett P N. A brief history of electronic noses[Z]. *Sensors and Actuators B*, 1994, 18—19: 211—220.
- [29] Gardner J W, Bartlett P N (Editors). *Sensors and Sensory systems for an electronic nose*[M]. London: Kluwer Academic Publishers, 1994, NATO ASI Series. Series E: Applied Sciences, vol. 212.
- [30] 邹小波, 吴守一, 方如明. 电子鼻判别挥发性气体的试验研究[J]. 江苏理工大学学报(自然科学版), 2001, 22(2): 1—4.
- [31] Nahir D, Schmilovitch Z, Ronen B. Tomato grading by impact force response[Z]. ASAE Paper No. 86—3028, 1986.
- [32] Ruiz-Altisent M, Jarén C, Correa P. Fruit quality sensing: post-harvest ripeness [A]. 4th International Symposium on Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering[C]. Valencia—Zaragoza, Spain. 1993: 211—222.
- [33] Chen P, Ruiz-Altisent M. A low-mass impact sensor for high-speed firmness sensing of fruits[A]. Int Conference on Agricultural Engineering[C]. Madrid, Spain, 1996: 23—26.
- [34] Chen P, Ruiz-Altisent, Barreiro P. Effects of impacting mass on firmness sensing of fruits[J]. *Transactions of the ASAE*, 1996, 39(3): 1019—1023.
- [35] Zaltzman A, Feller R, Mizrach A, et al. Separating potatoes from clods and stones in a fluidized bed medium [J]. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 1983, 26(4): 987—990, 995.
- [36] Zaltzman A, Schmilovitch Z. An evolution of the potato fluidized bed medium separator[Z]. The American Society of Agricultural Engineers. Paper No. 85—6016, St. Joseph, Michigan, 1985.
- [37] Takao H, Ohmori S. Development of device for nondestructive evaluation of fruit firmness [J]. *JARQ (Japan Agricultural Research Quarterly)*, 1994, 28(1): 36—43.
- [38] Bellon V, Vigneau J L, Crochon M. Nondestructive sensing of peach firmness [A]. Proc IV Int. Symposium on Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering [C]. Valencia-Zaragosa, Spain. 1994: 291—297.
- [39] Armstrong P R, Brown G K, Timm E J. Non-destructive firmness measurement of soft fruit for comparative studies and quality control[Z]. ASAS Paper No. 95—6172. St. Joseph, MI, 1995.

Review of non-destructive quality evaluation technology for fruit and vegetable products

Zhang Libin, Hu Haigen*, Ji Shiming, Xu Fang

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstracts: This paper presents an overview of various quality evaluation techniques that are based on one of the following properties: electrical properties, optical reflectance and transmission, sonic vibration, nuclear magnetic resonance (NMR), aromatic volatile emission, firmness, vibration characteristics and others. Some new issues of nondestructive detection are proposed and the comprehensive utilization of several nondestructive techniques is the trend for quality evaluation and sorting of fruits and vegetables in the future.

Key words: fruits and vegetables; quality evaluation; nondestructive detection; sorting; grading