

# 水果成熟度无损检测技术研究进展

贺艳楠<sup>1</sup>, 魏永胜<sup>2</sup>, 郑颖<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 葡萄酒学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**无损检测技术是近年来兴起的有别于有损检测手段的新兴高科技技术,得到了众多国内外研究人员的广泛关注,并且已经广泛应用于农业和工业,在水果成熟度检测方面,有较大的发展空间,现通过文献调查及统计分析的方法综述了目前对水果成熟度的几种无损检测技术方法的技术原理、研究现状及发展趋势,并对各种检测技术的应用前景进行了展望与预测。

**关键词:**水果;成熟度;无损检测

**中图分类号:**Q 94-331 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2010)03-0208-05

许多研究结果表明<sup>[1-2]</sup>,水果在采摘、包装、保存、运输及加工等作业环节中的损失率高达 30.45%,主要原因之一即为不同成熟度的水果相互混杂所造成的。因此,根据水果的成熟度区分与筛选并及时的对其进行加工处理,对于改善水果品质、提升水果等级有重要意义。

传统的果品成熟度检测主要是利用硬度计、糖度计、酸度计等来检测水果内部的硬度、可溶性糖、可滴定酸等一些与成熟相关的指标,均属于有损检测,不仅检测过程中要破坏水果的组织,而且无法大规模地逐个检测,不适用于现代果品生产。鉴于此,无损检测技术应运而生。无损检测又称非破坏检测,是一种在不破坏被检对象的前提下,利用果品的物理性质对其进行检测、评价的方法,是近年来新兴起的一种检测果品品质的高科技手段,既可以检测果品品质,又不会对水果造成伤害,保证了水果的完整性,是确定水果最佳采收期和按成熟度进行准确分级的关键<sup>[57]</sup>。无损检测技术具有无损、快速、准确和实时性的特性。目前对果实成熟度进行无损检测所利用的主要技术有:针对水果的光学特性<sup>[3-31]</sup>、电学特性<sup>[32-37]</sup>、声学特性<sup>[38-54]</sup>、力学冲击振动特性<sup>[40-54]</sup>、化学特性<sup>[55-57,62-64]</sup>、机器视觉特性<sup>[58-60]</sup>等众多性质进行的各种检测,但这些多处于试验研究阶段,实际应用较少。涉及的果品有苹果<sup>[5,12,18,20,31-32,37,52]</sup>、梨<sup>[29,35,41,45,49]</sup>、桃子<sup>[9,15,50,66]</sup>、猕猴桃<sup>[18]</sup>、番茄<sup>[8,28,33,36,46,53]</sup>、柿子<sup>[34,51]</sup>、芒果<sup>[47-48]</sup>等。各种检测技术各具特色,各有所长。

## 1 水果成熟度无损检测研究的文献分析

以“成熟度”为主题、以“无损检测”为标题在《中国

期刊全文数据库(教育网)》进行检索,并以“maturity”为标题在结果中限制为“nondestructive”在《Elsevier ScienceDirect》进行检索,得到 1980~2009 年间关于水果成熟度无损检测的文献 236 篇,并利用内容分析法和文献计量统计法进行了统计分析。236 篇文献中,综述类文献 38 篇,主要是对他人研究成果的综合论述或是生产实践中的经验总结;原创性研究论文 198 篇,试验研究中所采用的无损检测手段(表 1)包括水果的光学特性检测、电学特性检测、声学特性检测、力学冲击振动特性检测、化学气息检测、机器视觉特性检测等,其中以利用光学特性进行的研究最多,占到了检出文献的 32.2%。研究材料为常见水果,如苹果、梨、番茄等,其中以对苹果为材料的研究最多。而对于成熟度无损检测研究年代分布变化(图 1)的分析表明,2005 年以前对于水果成熟度无损检测的研究总体上呈缓慢上升趋势,但自 2006 年起开始迅速上升,表明随着人们认识的提高及科技的发展,对无损检测也越来越重视。

表 1 果品无损检测主要手段

文献类型	文献数量/篇	所占百分比/%
综述类文献	38	16.2
研究类文献	198	83.8
声特性检测	44	18.6
光学检测	76	32.2
电学检测	14	5.9
机器视觉检测	15	6.4
化学检测	14	5.9
核磁共振检测	29	12.3
其他检测方法	6	2.5
总计	236	100.0

## 2 水果成熟度的无损检测技术

### 2.1 利用水果光学特性的无损检测

水果对光的吸收特性、反射特性和透射特性因为其内部成分和外部特征不同,在不同的波长光线照射时会出现不同的吸收或者反射特性。水果的分光反射率或

**第一作者简介:**贺艳楠(1987-),女,河北承德人,满族,在读本科,研究方向为植物营养与生理。

**通讯作者:**魏永胜(1970-),男,副教授,现主要从事植物水分与营养生理研究工作。E-mail:wysh70@126.com。

**收稿日期:**2009-11-20

吸收率在某一波长内会出现峰值<sup>[71]</sup>,这一峰值的变化可与水果成熟时的内部生理指标如可溶性糖的含量、可滴定酸的含量或硬度相联系,因此根据水果的这些光学特性,进行无损检测是可行的。目前水果成熟度的光学检测主要是利用可见光—近红外和荧光技术。

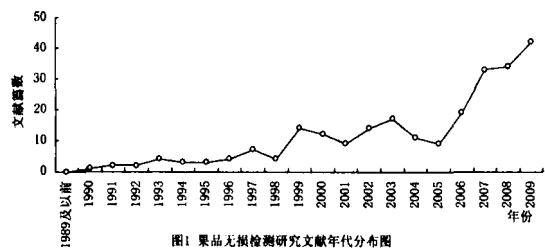


图1 果品无损检测研究文献年代分布图

2.1.1 可见光与近红外技术分析法 目前国内外对利用可见光—近红外技术检测水果成熟度的研究较多<sup>[6-7,12-31]</sup>。近红外射线于1800年由Friedrich Wilhelm Hersche发现(Davies, 2000),它包含了波长从780~2 500 nm的光波。当红外线照射到物体上时,光波会被反射、吸收或者散射,每种现象的产生都是由样品的物理和化学组成而决定的。所用的检测方法有单色扫描(scanning monochromator)、傅立叶变换(Fourier transform, FT)和光电二极管阵列(photodiode array, PDA)<sup>[11]</sup>。近红外与可见光的无损检测技术具有适应性强、灵敏度高、对人体无害、使用灵活、成本低和易实现自动化等优点,因而已被普遍应用于水果成熟度的无损检测的研究<sup>[12-31]</sup>。1993年,Slaughter<sup>[71]</sup>利用可见光与近红外技术建立了完整的桃和油桃内部品质无损检测的关系,并用该方法预测出了桃与油桃中可溶性糖的含量,从而预测了果实的成熟度;Lur<sup>[27]</sup>等人用近红外光谱检测苹果的硬度和含糖量,通过有损与无损相结合的方式建立了预测苹果内部品质的数学模型;2007年,Pereir等人<sup>[28]</sup>用近红外检测技术与硬度、糖度、酸度相结合的方法检测番茄的成熟度,并得到了各自的相关关系。其中,近红外技术与硬度、糖度、酸度的相关性分别为0.83、0.81和0.83。这一结果说明了近红外技术与成熟指标间具有良好相关性,表明用可见光与近红外技术无损检测水果的成熟度的方法是可行而且实用的,在果品检测及农产品分级领域的研究方面都拥有广阔的应用前景。但其也存在一定不足,如其抗干扰能力较差、光易散射、所用仪器复杂等,限制其广泛应用,因此未来的研究方向应放在抗干扰及轻便简捷上。

2.1.2 叶绿素荧光法检测成熟度 叶绿素荧光法的主

要原理是利用叶绿素a的荧光特性,用电磁辐射(红光)进行激发,使水果中的叶绿素a分子受到激发跃迁至高能激发态<sup>[9]</sup>,当其返回基态时,多余的能量会以荧光的形式散发出去。因水果成熟时叶绿素含量下降,故其荧光参数会发生变化,可以利用荧光变进行水果成熟度等级的判断。目前所利用的荧光的激发光主要在660~670 nm之间,而叶绿素的吸收峰在685 nm处。Hyun kwon Noh<sup>[10]</sup>等人对成熟度不同的水果中叶绿素的受光激发发光物质含量进行了研究,结果发现该物质含量变化符合果实成熟变化特性;王乐妍等人<sup>[9]</sup>对红心李和桃在655 nm激发光致使叶绿素a发光光谱进行了研究,结果发现,光谱变化与糖含量之间的相关性分别高达98.92%和97.31%。研究结果表明,通过叶绿素荧光的方法测定果实的成熟度具有一定的可行性。相对于近红外技术而言,利用叶绿素荧光进行果实成熟度的无损检测还是一项新兴的技术,目前国内外对此研究相对较少,但因其具有方便简单、快捷无损等特性,因而具有很大的发展潜力。未来在果品无损检测方面的研究方向应倾向于此。

2.2 基于水果电学特性的无损检测

对于基于介电常数测定水果成熟度的原理是根据生物分子中束缚电荷对外加电场的响应特性,通过电学参数反映水果内部变化,并与其内部某些生理指标(如可溶性糖含量、硬度、可滴定酸含量等)建立相关性关系,进而用于测定水果的成熟度<sup>[32-37]</sup>。目前该领域的研究也日渐增加,如郭文川等<sup>[33]</sup>对番茄的成熟度与电特性的关系进行了研究,陈致远等<sup>[36]</sup>研究了番茄成熟度与电学参数之间的关系,得到了与郭文川等人类似的结论。王玲等<sup>[37]</sup>研究了苹果的品质和电学特性之间的关系,其测定的等效电阻与果肉的硬度的相关性高达98.6%。这些研究的结果均表明,可以用介电常数变化对水果的成熟度进行无损检测。

2.3 基于水果声学特性的无损检测技术

利用水果的声学特性对其进行成熟度的无损检测和分级是近40 a来发展形成的新技术,水果的声学特性是指水果在声波作用下的反射特性、散射特性、透射特性、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,它们反映了声波与水果相互作用的基本规律。其主要原理是依据水果的各种声学特性指标变化来反映果实内部的品质<sup>[66]</sup>。应用上述各种指标的变化,与成熟指标(糖度、硬度、酸度)建立相关关系,以此来预测水果的成熟度和对其进行分级。目前利用较多的主要是超声波和可听声(声波)。其中利用可听声进行果品无损检测研究较早<sup>[38-60]</sup>,而超声波应用研究相对较晚,但超声波以其频率高、波长短、定向传播性良好、穿透性强等优点而受到了众多研究人员的青睐,发展快。

目前,国外研究人员利用超声波通过果皮和果肉后的衰减与果品成熟相关指标的关系进行检测,如鳄梨<sup>[55]</sup>与芒果<sup>[56]</sup>、苹果<sup>[57]</sup>、番茄<sup>[58]</sup>等,但国内还没直接利用超声波进行果品成熟度无损检测的研究报道。

此外,研究人员还用机械撞击产生的声学现象进行果品成熟度研究,如利用声脉冲阻抗技术确定西瓜成熟度的方法,从而确立了利用脉冲测定西瓜成熟度的方法<sup>[40]</sup>。1999年,王书茂等人<sup>[73]</sup>用冲击振动方法研究了西瓜的成熟度,并确立了其与含糖量的关系,二者之间的相关系数高达0.8,很好的用试验证实了冲击振动检测水果成熟度的可行性。冲击振动的方法快捷简单、成本低廉,但由于声波易受噪音干扰、冲击力度掌控难度较大,故对于冲击振动方法测定成熟度的应用来说,还有一段差距。未来的研究方向应该集中于克服干扰上。

#### 2.4 基于水果化学特性的无损检测技术

基于果实挥发特性的电子鼻检测技术:电子鼻又叫做气味扫描仪,是20世纪90年代发展起来的一种快速检测食品的新型仪器。它以特定的传感器和模式识别系统快速提供被测样品的整体信息,指示样品的隐含特征。电子鼻对水果成熟度的无损检测技术主要是用模拟电子仪器感知水果成熟时所散发出的特定物质(如某些酚类、酯类、乙烯等),而对其进行的无损检测<sup>[71]</sup>。基于电子鼻技术研究人员已经对苹果<sup>[62]</sup>、香蕉<sup>[63]</sup>、梨<sup>[64]</sup>等水果进行了检测。电子鼻检测技术具有客观性、可靠性和可重现性等优点,因此对其研究和应用也较为广泛,已经在酒类及其它许多领域用于检测和分析,但由于传感器具有选择性和限制性,电子鼻往往有一定的适应性,不可能适应所有检测对象,即没有通用的电子鼻<sup>[75]</sup>。因此有必要加强研制并发展合适的传感器结构和传感器材料,在模式识别系统上亦应多样化。

#### 2.5 基于机器视觉特性的成熟度无损检测技术

机器视觉技术是以计算机和图像获取部分为工具,以图像处理技术、图像分析技术、模式识别技术、人工智能技术为依托,处理所获取的图像信号,并从图像中获取某些特定信息。基于机器视觉特性的无损检测水果成熟度方法主要是依据水果成熟过程中的一系列生理生化反应与其成熟度的相关性,利用机器视觉传感系统传导其变化并通过分析确定成熟与否的成熟度无损检测技术。

Miller等人于1989年用机器视觉系统检测和分级市售桃,结果机器视觉成熟度检测结果与人工检测结果的吻合度为54%,机器视觉检测表面着色面积与人工检测着色面积相关系数为92%<sup>[64]</sup>。2006年,应义斌等人<sup>[62]</sup>用机器视觉的色度频度序列法进行柑橘成熟度的无损检测,结果对504只柑橘成熟果实和未成熟果实的判断正确率分别为79.1%和63.6%,总的判断正确率为

77.8%。研究证实机器视觉无损检测技术亦不失为一种较为良好的果实成熟度检测方法。

机器视觉检测技术可以将虚拟的和现实的联系起来,在人的最小干预下恢复场景信息。将人工智能和图像处理技术相结合,信息量大、功能多,是今后应用计算机技术检测水果成熟度的重要发展方向。但是,由于机器视觉系统构造复杂、造价偏高、正确率偏低等一些缺点,使得其推广存在难度。今后的主要研究方向应放在如何提高准确性以及如何降低造价上。

#### 2.6 其它对水果成熟度无损检测的方法

除上述各种无损检测技术外,其它应用于水果成熟度的无损检测技术还有:生物传感器检测技术,其原理同机器视觉技术相似,主要应用于检测糖度和测定成熟度;核磁共振检测技术<sup>[75]</sup>,其在测定水果糖度等方面存在巨大的潜在价值;X射线衍射技术,用X射线的强穿透性对水果内部可溶性固形物进行检测,进而预测其成熟度<sup>[76]</sup>。

### 3 展望

无损检测技术相对于传统的有损检测来说,不破坏产品,使水果检测与分级更加科学准确和便捷,对于要求高效率、大规模的检测来说较为适合。目前的各种无损检测技术多处于探索研究阶段,发展还不成熟,各有优势与不足,而且多需要与有损检测相结合。另外,现阶段的无损检测技术存在易受其它因素干扰、成本高、运行复杂等不足,使得此阶段对其全面应用具有很大挑战性。故在应用方面,目前的无损检测还存在欠缺。尽管计算机技术及测试技术已有了较快的发展,使研究人员可以获得更为准确的信息,同时更快地处理海量数据,但现有的无损检测技术研究多是与水果的物理特性相联系,而与其内在生理生化特性的关系研究还较少,若能用生理生化指标很好地解释无损检测指标,则研究所建立的相关模型将更可靠。因此,无损检测研究中应注重将检测指标更好地与内部生理发育指标相结合。

#### 参考文献

- [1] 滕斌,王俊. 国内外瓜果品质的无损检测技术[J]. 现代化农业, 2001, 258(1): 2-5.
- [2] 樊军庆,张宝珍. 浅谈水果品质的无损检测技术[J]. 世界农业, 2007, 334(2): 56-58.
- [3] 徐惠荣,应义斌. 红外热成像在树上柑桔识别中的应用研究[J]. 红外与毫米波学报, 2004, 23(5): 464-467.
- [4] 庞新安. 近红外光谱技术及其在农产品品质分析中的应用[J]. 广西农业生物科学, 2007, 26(1): 83-87.
- [5] 刘小勇,张辉元,董铁,等. 苹果水心病无损检测与防治研究进展[J]. 果树学报, 2008, 25(5): 721-726.
- [6] 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.
- [7] 李东华,徐亚民,纪淑娟,等. 近红外光谱分析技术在果蔬品质无损检测方面的应用[J]. 农业科技与装备, 2008, 175(1): 53-54.

- [8] 徐树来. 不同成熟期番茄及其储藏过程中超弱发光特性的研究[J]. 食品科学, 2005, 26(9): 539-541.
- [9] 王乐妍, 张冬仙, 章海军, 等. 基于激光光致发光光谱的果实成熟度测试方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28(12): 2772-2776.
- [10] Hyun Kwon Noh, Renfu Lu. UV/blue light-induced fluorescence for assessing apple maturity [J]. Proc of SPIE, 2005; 157-166.
- [11] Nicolai B M, Beullens K, Bobelyn E, et al. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy A review[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 46: 99-118.
- [12] Alamar, M. C., Bobelyn, E., Lammertyn, J., et al. Calibration transfer between NIR diode array and FT-NIR spectrophotometers for measuring the soluble solids content of apple[J]. Postharvest Biol. Technol. 2007, 45: 38-45.
- [13] Ariana, D., Guyer, D. E., Shrestha, B. Integrating multispectral reflectance and fluorescence imaging for defect detection on apples[J]. Comp Electron. Agric. 2006, 50: 148-161.
- [14] Ayora-Cañada, M. J., Muik, B., On, et al. Fourier-transform near-infrared spectroscopy as a tool for olive fruit classification and quantitative analysis[J]. Spectrosc. Lett. 2005, 38: 769-785.
- [15] Carlomagno, G., Capozzo, L., Attolico, G., et al. Non-destructive grading of peaches by near-infrared spectrometry[J]. Infrared Phys. Technol., 2004, 46: 23-29.
- [16] Chauchard F., Roger J. M., Bellon-Maurel V. Correction of the temperature effect on near infrared calibration-application to soluble solid content prediction [J]. Near Infrared Spectrosc. 2004(12): 199-205.
- [17] Cho R. K., Sohn M. R., Kwon Y. K.. New observation of nondestructive evaluation for sweetness in apple fruit using near infrared spectroscopy [J]. Near Infrared Spectrosc. 1998(6): A75-A78.
- [18] Clark, C. J., McGlone, V. A., et al. Prediction of storage disorders of kiwifruit (*Actinidia chinensis*) based on visible-NIR spectral characteristics at harvest[J]. Postharvest Biol. Technol. 2004, 32: 147-158.
- [19] Cozzolino, D., Esler, M. B., et al. Prediction of colour and pH in grapes using diode array spectrophotometer (400-1100 nm) [J]. Near Infrared Spectrosc. 2004, 12: 105-111.
- [20] De Belie, N., Tu, et al. Preliminary study on the influence of turgor pressure on body reflectance of red laser light as a ripeness indicator for apples[J]. Postharvest Biol. Technol. 1999, 16: 279-284.
- [21] Gomez, H. A., He, et al. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR spectroscopy techniques[J]. Food Eng, 2006, 77: 313-319.
- [22] Greensill, C. V., Newman, et al. An investigation into the determination of the maturity of pawpaws (*Carica papaya*) from NIR transmission spectra [J]. Near Infrared Spectrosc. 1999(7): 109-116.
- [23] Guthrie, J. A., Wedding, et al. Robustness of NIR calibrations for soluble solids in intact melon and pineapple[J]. Near Infrared Spectrosc. 1998, 6: 259-265.
- [24] Guthrie, J. A., Liebenberg, et al. NIR model development and robustness in prediction of melon fruit total soluble solids[J]. Aust. J. Agric. Res. 2006, 57: 1-8.
- [25] Hsieh, C., Lee, et al., Applied visible/near-infrared spectroscopy on detecting the sugar content and hardness of pearl guava[J]. Trans. ASAE, 2005, 21: 1039-1046.
- [26] Yande Liu, Xing miao Chen, Aiguo Ouyang. Nondestructive determination of pear internal quality indices by visible-infrared spectrometry[J]. LWT-Food science and Technology. 2008, 41: 1720-1725.
- [27] Lu R, Ariana D. A Near-infrared sensing technique for measuring internal quality of apple fruit [J]. Trans of the ASAE, 2002, 18(5): 585-590.
- [28] Yongni Shao, Yong He, Antihus H. et al. Visible/near infrared spectrometric technique for nondestructive assessment of tomato 'Heatwave' (*Lycopersicon esculentum*) quality characteristics[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 81: 672-678.
- [29] Donghai Han, Runlin Tu, Chao Lu, et al. Nondestructive detection of brown core in the Chinese pear Yaliby transmission visible - NIR spectroscopy[J]. Food Control, 2006, 17: 604-608.
- [30] G. P. Krivoshev, R. P. Chalucova, M. I. Moukarev. A Possibility for Elimination of the Interference from the Peel in Nondestructive Determination of the Internal Quality of Fruit and Vegetables by VIS/NIR Spectroscopy. Lebensmittel-Wiss. u. -Technol., 2000, 33: 344-353.
- [31] Renfu Lu. Nondestructive measurement of firmness and soluble solids content for apple fruit using hyperspectral scattering images[J]. 2007(1): 19-27.
- [32] 郭文川, 朱新华, 周闯鹏, 等. 西红柿成熟度与电特性关系的无损检测研究[J]. 农业现代化研究, 2002, 23(6): 458-460.
- [33] 郭文川, 朱新华, 邹养军. 苹果果实成熟期间电特性的研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11): 264-268.
- [34] 周永洪, 黄森, 张继澍, 等. 火柿果实采后电学特性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(4): 0117-06.
- [35] 王瑞庆, 张继澍, 马书尚. 基于电学参数的货架期红巴梨无损检测[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 243-247.
- [36] 陈志远, 张继澍, 刘亚龙, 等. 番茄成熟度与其电学参数关系的研究[J]. 西北植物学报, 2008, 28(4): 826-830.
- [37] 王玲, 黄森, 张继澍, 等. '嘎拉'苹果果实品质的电学特性研究[J]. 西北植物学报, 2009, 29(2): 402-407.
- [38] 刘芳, 赵峰. 超声波技术在食品生产检测和食品安全检测中的应用进展[J]. 福建分析测试, 2008, 17(4): 27-31.
- [39] 应义斌, 蔡东平, 何卫国, 等. 农产品声学特性及其在品质无损检测中的应用[J]. 农业工程学报, 1997(3): 319-323.
- [40] 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.
- [41] 屠康, 马龙, 潘秀娟. 敲击振动无损检测 3 种梨果实品质参数的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2005, 43(1): 61-64.
- [42] 齐银霞, 成坚, 王琴. 核磁共振技术在食品检测方面的应用[J]. 食品与机械, 2008, 24(6): 228-231.
- [43] Mitsuru Taniwaki, Masahiro Takahashi, Naoki Sakurai. Determination of optimum ripeness for edibility of postharvest melons using nondestructive vibration[J]. Food Research International. 2009, 42(2009): 137-141.
- [44] Takao, H., & Ohmori, S. Development of device for nondestructive evaluation of fruit firmness[J]. Japan Agricultural Research Quarterly, 1994, 28: 36-43.
- [45] Amos Mizrach, Uri Flitsanov. Nondestructive ultrasonic determination of avocado softening process[J]. Journal of Food Engineering, 1999, 40: 139-144.
- [46] Amos Mizrach. Nondestructive ultrasonic monitoring of tomato quality during shelf-life storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 46: 271-274.
- [47] Mizrach, A. Determination of avocado and mango fruit properties by ultrasonic technique[J]. Ultrasonics, 2000, 38: 717-722.
- [48] Mizrach, A., Galili, N., Rosenhouse, G., Determining quality parameters of fresh products by ultrasonic excitation[J]. Food Technol. 1994, 48: 68-71.

- [49] Mizrach, A., Flitsanov, U. Nondestructive ultrasonic determination of avocado softening process[J]. Food Eng. 1999, 40:139-144.
- [50] Constantino Valero, Carlos H. Crissto, et al. Relationship between nondestructive firmness measurements and commercially important ripening fruit stages for peaches, nectarines and plums[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 44:248-253.
- [51] Mitsuru Taniwaki, Takanori Hanada, Naoki Sakurai. Postharvest quality evaluation of "Fuyu" and "Taishuu" persimmons using a nondestructive vibrational method and an acoustic vibration technique[J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 51:80-85.
- [52] I-Bok Kim, Sangdae Lee, Man-Soo Kimb, et al. Determination of apple firmness by nondestructive ultrasonic measurement[J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 52:44-48.
- [53] Arturo Baltazar, Javier Espina-Lucero, Isidro Ramos-Torres, et al. Effect of methyl jasmonate on properties of intact tomato fruit monitored with destructive and nondestructive tests[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80:1086-1095.
- [54] Anette K. Thybo, Sune N. Jespersen, Poul Erik Lødrup, et al. Stbdkilde-Jørgensen. Nondestructive detection of internal bruise and spraing disease symptoms in potatoes using magnetic resonance imaging[J]. Magnetic Resonance Imaging, 2004, 22:1311-1317.
- [55] Mizrach, A., Determination of avocado and mango fruit properties by ultrasonic technique[J]. Ultrasonics, 2000, 38:717-722.
- [56] Kim KB, Lee S, Kim SK, et al. Determination of apple firmness by non-destructive ultrasonic measurement[J]. Postharvest Biology and Technology 2009, 52:44-48.
- [57] Mizrach A, Flitsanov U. Nondestructive ultrasonic determination of avocado softening process[J]. Journal of Food Engineering, 1999, 40:139-144.
- [58] Mizrach A. Nondestructive ultrasonic monitoring of tomato quality during shelf-life storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 46:271-274.
- [59] 张义, 陈燕丽. 乙烯利催熟过程中温州蜜柑果皮色泽及色素的变化[J]. 广西园艺, 2008, 19(5):3-4, 7.
- [60] 张望舒, 郑金土, 汪国云, 等. 不同成熟度杨梅果实采后呼吸速率、乙烯释放速率和品质的变化[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2005, 31(4):417-424.
- [61] 李曜东, 魏玉凝, 顾淑荣. PG 与番茄果实成熟的关系[J]. 植物学通报, 2004, 57(1):79-83.
- [62] Hines EL, Llobet E and Gardner JW. Neural network based electronic nose for apple ripeness determination[J]. Electron. Lett, 1999, 35:821-823.
- [63] Llobet E, Hines E L, Gardner J W and Franco S. Non-destructive banana ripeness determination using a neural network-based electronic nose[J]. Meas. Sci. Technol, 1999, 10:538-548.
- [64] Oshita S, Shima K, Haruta T, et al. Discrimination of odors emanating from La France pear by semi-conducting polymer sensors[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 26:209-216.
- [65] 应义斌, 饶秀勤, 马俊福. 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):255-258.
- [66] 应义斌, 章文英, 蒋亦元, 等. 机器视觉技术在农产品收获和加工自动化中的应用[J]. 农业机械学报, 2000, 42(3):223-226.
- [67] 应义斌, 徐惠荣, 徐正冈. 用于柑桔成熟度无损检测的色度频度序列法研究[J]. 生物数学学报, 2006, 21(2):306-312.
- [68] 刘静, 章程辉, 黄勇平. 无损检测技术在农产品品质评价中的应用[J]. 福建热作科技, 2007, 32(3):32-36.
- [69] Slaughter D C. Nondestructive determination of internal quality in peaches and nectarines[J]. Trans of the ASAE, 1993, 28(2):617-623.
- [70] 陈霞, 谢永红. 果品无损检测技术的研究进展[J]. 西南园艺, 2006, 34(3):27-29.
- [71] 李敏, 李宪华, 吴星林, 等. 无损检测技术在食品分析中的应用[J]. 检验检疫科学, 2008, 18(6):60-62.
- [72] 彭淦非. 电子鼻在水果无损检测中的应用[C]. 湖南省园艺学会第八次会员代表大会暨学术年会论文集, 2005:26-28.
- [73] 王书茂, 焦群英, 籍俊杰. 西瓜成熟度无损检验的冲击振动方法[J]. 农业工程学报, 1999(3):241-245.
- [74] 王俊, 胡桂仙, 于勇, 等. 电子鼻与电子舌在食品检测中的应用研究进展[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2):292-295.
- [75] Hinshaw WS, Bottomley PA and Holland GN. A demonstration of the resolution of NMR imaging in biological systems[J]. Experientia, 1979, 35(9):1268-1269.
- [76] 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, 21:176-180.

## Research Advanced of Nondestructive Detection of Maturity in Fruits

HE Yan-nan<sup>1</sup>, WEI Yong-sheng<sup>2</sup>, ZHENG Ying<sup>1</sup>

(1. College of Enology, Northwest A&F University, Yangling, Shanxi 712100, China; 2. College of Life Science, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Nondestructive detection technology is a new development of high-tech in recent years. It is distinguished with traditional destructive detection and has been researched by many researchers in the world. What's more; it has been widely used in many fields of industry and agriculture. In the maturity investigates of fruits, it also has a bright and promising space to develop. In this paper, we reviewed some of the nondestructive detection of fruits maturity through literature surveys and statistical analysis methods. We stated the usage and theories of each method and the research status and development trend of them. At last, we overview the future promising application prospects of some newly technology.

**Key words:** fruit; maturity; nondestructive detection technology