

现代食品加工新技术丛书

XIANDAI SHIPINJIAGONG XINJISHU CONGSHU

农产品 无损检测技术

应义斌 韩东海 主编

Food



化学工业出版社

现代食品加工新技术丛书

农产品无损检测技术

应义斌 韩东海 主 编

王 俊 王剑平 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

农产品无损检测技术/应义斌, 韩东海主编. —北京:
化学工业出版社, 2005. 3
(现代食品加工新技术丛书)
ISBN 7-5025-6733-X

I. 农… II. ①应…②韩… III. 农产品-无损检
验 IV. TS207

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 017397 号

现代食品加工新技术丛书

农产品无损检测技术

应义斌 韩东海 主 编

王 俊 王剑平 副主编

责任编辑: 侯玉周

文字编辑: 孔 明

责任校对: 郑 捷

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 21½ 字数 409 千字

2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6733-X/TS·255

定 价: 40.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

内 容 提 要

本书是《现代食品加工新技术丛书》中的一本。

农产品无损检测技术是建立农产品质量和农产品安全的有效监控体系的关键技术。本书共分 10 章,即概论、分光法检测技术、机器视觉检测技术、介电特性检测技术、声学特性及超声波检测技术、力学特性检测技术、软 X 射线检测技术、核磁共振检测技术、生物传感器检测技术和电子鼻与电子舌检测技术。全书不仅系统地阐述了国内外农产品质量无损检测方面的最新技术的原理和应用实例,而且全面地分析了国内外农产品质量无损检测技术的发展、应用现状及前景,书中既有全面系统的理论分析,又有紧密结合生产实际的应用实例。内容涉及许多交叉学科,主题为高新技术,取材新颖,内容实用。

本书可供农业、食品、医学、商学、化工等行业的科研、教学、设计、生产和管理人员使用,也可供对农产品无损检测感兴趣的普通读者阅读。

《农产品无损检测技术》参编人员

主 编 应义斌 韩东海

副主编 王 俊 王剑平

参编人员 (按姓氏笔画排序)

于海燕 (第 1 章)	王 俊 (第 6、10 章)
王书茂 (第 6 章)	王剑平 (第 4、9 章)
成 芳 (第 3、8 章)	刘兆艳 (第 8 章)
刘新鑫 (第 2 章)	刘燕德 (第 2 章)
严衍禄 (第 2 章)	应义斌 (第 1、2、3、5、8 章)
周亦斌 (第 10 章)	赵龙莲 (第 2 章)
饶秀勤 (第 3、5 章)	徐惠荣 (第 3、4 章)
盖 玲 (第 5 章)	蒋雪松 (第 9 章)
蒋焕煜 (第 4、9 章)	韩东海 (第 2、7 章)
鲁 超 (第 2 章)	温朝晖 (第 7 章)

出版者的话

食品加工新技术是提升我国农产品加工业和食品制造业技术水平、提高我国农产品国际竞争力、缓解“三农”问题、保障食品安全的有效技术措施之一，是全面建设小康社会的重要技术保障。目前发达国家食品加工技术日新月异，以利用高新技术为特点的深加工食品层出不穷，高新技术为企业带来了丰厚的利润、巨大的国际市场和强劲的竞争力。我国食品加工业起步较晚，高新技术尚未得到有效应用。尤其是近几年，对国外出现的新技术以及传统技术的新应用，国内科研机构、企事业单位研究、开发、应用较少。许多企业几乎不了解目前国际市场上流行的食品加工新技术，以致无法采用新技术改造我国落后的加工工艺和设备，极大地限制了我国食品工业的发展。为此，化学工业出版社决定组织编写、出版一套以工程技术为主线的《现代食品加工新技术丛书》（以下简称《丛书》），以期利用高新技术推动我国农产品加工业和食品制造业的进步和发展。

《丛书》由十多位一直从事该领域研究开发的博士编写，分别介绍食品加工中的微胶囊和超微粉碎技术、辐照技术、包装技术、膜技术、超高压技术、无损检测技术、冷冻技术、生物技术等；重点介绍近几年，尤其是近5年来国外先进、实用的食品加工新技术以及传统技术的新应用。该套《丛书》既注重技术的基本原理、设备，也注重技术的工艺和具体应用；既注重技术的先进性、新颖性，也注重技术的实用性和科学性；图文并茂，理论联系实际，突出自身特点。《丛书》以工程技术为主线，即一项工程技术适用于多种食品加工，如微波技术既可用于各种蔬菜的干燥、杀菌，亦可用于各种果品、粮食等食品的干燥、杀菌，使读者阅读该套《丛书》后能够触类旁通，起到举一反三的作用。

中国农业科学院农产品加工研究所张德权博士参与了该套《丛书》的构思、设计与组稿，并做了大量工作，在此表示由衷的感谢。

该套《丛书》可供农产品加工、食品及相关专业科研人员，企事业单位的工程技术人员、管理人员阅读，也可作为大专院校相关专业的教学参考书。

化学工业出版社

2005年1月

前 言

近十几年来,我国的国民经济和科学技术飞速发展,人民的生活水平大幅度提高,人们要求吃得好,吃得安全放心。中国加入世界贸易组织(WTO)以后,进出口农产品大幅度增加,农产品流通更为广泛和国际化,因此对农产品生产过程监测、农产品质量管理、农产品安全都提出了更高的要求。如何从农产品的加工和管理上,利用更为快速有效的检测和分析手段,建立保证农产品质量和安全的有效监控生产管理体系,为消费者营造放心满意的消费环境,保障人民群众健康安全,是政府乃至包括科研工作者、生产者、经营者、管理者在内的全社会都在关注的大事。

农产品无损检测技术是建立农产品质量和农产品安全的有效监控体系的关键技术。从20世纪80年代开始,农产品无损检测的研究在国外迅速兴起,经几十年的研究与开发,机器视觉、核磁共振、生物传感器、电子舌和电子鼻等新技术在农产品质量无损检测中应用已经越来越广泛,也有少数专门介绍某一技术原理和应用的著作问世。但迄今为止,我国在这一领域的书籍仍然是空白,这和我 国农产品生产实际对该技术的迫切需求及该技术在国际上日新月异的发展现状是极不相称的,而且已经大大影响了我国技术人员对这些新技术的消化、吸收和应用,甚至给国家造成重大经济损失。特别是我国加入世界贸易组织后,面临着竞争激烈的国际市场,普及农产品质量无损检测技术和建立我国农产品质量与农产品安全的有效监控体系已成为当务之急。

本书的作者在各相关领域都进行了卓有成效的研究,多数作者都在国外研究机构进行过长期或短期的合作研究,承担了大量的国家级研究项目,发表了一大批学术论文,在本领域已经有相当的研究积累。为了填补我国在此领域论著的空白,促进农产品质量无损检测技术的研究和应用,作者总结自己多年的研究成果和工作经验,并汇集国内外有关研究之大成,撰写了此书。

本书共分10章,分别详细地介绍了利用分光法、机器视觉、介电特性、声学特性、超声波、力学特性、软X射线、核磁共振、生物传感器、电子舌和电子鼻等技术进行农产品质量无损检测的原理和具体应用。全书不仅系统地阐述了国内外农产品质量无损检测方面的最新技术的原理和应用实例,而且全面分析了国内外农产品质量无损检测技术的发展、应用现状及前景,书中既有全面系统的理论分析,又有紧密结合生产实际的应用实例。本书的出版填补了我国空白,对促进我国农产品质量无损检测技术的发展和具有积极意义。

本书内容涉猎面较广,作者水平有限,加以脱稿仓促,不妥之处在所难免,敬请广大读者批评和指正。

作者

2004年8月于浙江大学

目 录

第一章 概论	1
第一节 我国农产品质量现状及存在的问题	1
第二节 国内外农产品无损检测技术的概况	2
参考文献	14
第二章 分光法检测技术	20
第一节 紫外分光法检测原理及应用	20
第二节 可见分光法检测原理及应用	21
第三节 近红外分光法检测原理	35
第四节 近红外分光法在食品成分检测中的应用	38
参考文献	65
第三章 机器视觉检测技术	68
第一节 机器视觉系统组成	68
第二节 数字图像处理方法	76
第三节 可见光图像法在农产品品质无损检测中的应用	117
第四节 红外图像检测技术在农产品品质检测中的应用	136
参考文献	147
第四章 介电特性检测技术	152
第一节 介电特性检测原理	152
第二节 介电特性在水果品质检测中的应用	154
第三节 介电特性在谷物品质检测中的应用	159
参考文献	163
第五章 声学特性及超声波检测技术	164
第一节 农产品的声学检测原理及其应用	164
第二节 超声波法检测	174
参考文献	180
第六章 力学特性检测技术	184
第一节 农产品品质检测中常用的力学特性	184
第二节 农产品质地的测定	185
第三节 农产品流变特性与品质检测	190
第四节 果蔬质地指标	194

第五节 利用冲击力特性检测果蔬坚实度的方法	196
第六节 果蔬坚实度的动力学振动检测法	201
第七节 果实的动态交变力学特性	210
参考文献	212
第七章 软 X 射线检测技术	215
第一节 X 射线的性质及检测原理	215
第二节 软 X 射线检测在食品中的应用	231
参考文献	244
第八章 核磁共振检测技术	246
第一节 核磁共振检测技术原理	246
第二节 核磁共振技术在农产品无损检测中的应用	269
参考文献	272
第九章 生物传感器检测技术	274
第一节 生物传感器检测原理	274
第二节 生物传感器在农产品检测中的应用	287
参考文献	299
第十章 电子鼻与电子舌检测技术	302
第一节 概述	302
第二节 电子鼻与电子舌的构造	307
第三节 电子鼻与电子舌的模式识别	320
第四节 电子鼻与电子舌的应用与发展	326
参考文献	333

第一章 概 论

第一节 我国农产品质量现状及存在的问题

据 2000 年的统计数据,我国苹果、梨、桃、李的产量居世界第一,占世界总产量的比值分别高达 36.69%、50.28%、27.05%、42.32%,其中苹果的产量最高,为 6012.6 万吨^[1]。可见,我国是名副其实的水果大国,但我国的水果在国际市场上大多档次较低;在国内,高档水果市场也被洋水果垄断,果蔬产品市场前景不容乐观。

我国农产品在品种、品质、产后、加工技术与设备方面与国外相差甚远。20 世纪 90 年代初,国内外农产品产后产值与采收时自然产值的比例为:美国 3.7 : 1,日本 2.2 : 1,中国仅为 0.38 : 1。目前,我国农产品产后产值虽有大幅度增长,但仍未超过采收时的自然产值。如,我国水果产后处理能力不到总产量的 5%,采后烂果率高达 25%以上。以香港市场为例,我国出口柑橘数量占香港市场的 2/3 以上,但是收汇只占 1/3,单价仅为其他国家产品的 1/4。其中一个很重要的原因是品质较差、品种混杂、质量优劣不齐,农产品缺乏严格挑选。目前我国采摘后进行分级、打蜡、包装、贮运的水果只占总产量的 1%,贮藏的水果不到总产量的 20%,加工的水果不到总产量的 10%,且分级基本上仍由人工完成^[2]。

目前,农产品在采摘、包装、贮运及加工等作业环节中的损失率仍然很高,其主要原因:一是不同成熟度的农产品相互混杂,二是病害农产品掺杂在正常农产品之间,三是作业中受到各种力的作用而导致机械损伤。若能根据农产品的不同物理特性对农产品品质进行检测、评定与分级,从而对过于成熟和不新鲜的农产品进行及时加工,这对提高贮藏质量是非常重要的。而在流通及销售中,如能实现严格的质量分级和大小分级,既能保护消费者的利益,又可提高农产品的加工质量和出品等级。

农产品加工过程中的成分分析以及在线的品质检测、控制与分级,是农产品质量管理和市场选择的需要。而品质检测和在线检测与控制往往是基于成分分析之上的。但是,无论是化学分析还是仪器分析,其试样的前处理、实验本身的耗时性以及对物料的破坏性又是许多场合所不允许的。例如,小麦和油菜籽按品质分仓贮运,用标准化学分析方法测定小麦中蛋白质含量需 2h,油菜籽中油脂含量需 18h,赖氨酸含量约需两天^[3]。农产品无损检测技术则以它的快速、准确和

实时性,弥补了这一缺陷,因而受到许多研究者的青睐。目前,国内外已对农产品无损检测技术进行了大量的研究。

第二节 国内外农产品无损检测技术的概况

无损检测又称为非破坏检测,即在不破坏样品的情况下对其进行品质评价的方法^[4]。农产品无损检测技术是近年来发展起来的一种新技术,该技术涉及光学、力学、电学和磁学等学科,内容广泛,其基础更是涉及材料科学、计算机技术、生物技术、信息技术等诸多领域,其中以光学检测技术发展最快。因为农产品无损检测技术有效地运用了计算机、传感器等大量高新技术,在世界范围内得到迅猛发展。其在生产实践中的应用,主要表现为检测项目由表观品质检测向内部品质检测发展,检测仪器主要由实验室分析仪器向便携式检测器和在线检测装置方向迈进。

农产品无损检测技术是利用农产品的物理性质,如力学性质、热学性质、电学性质、光学性质和声学性质等对其进行品质检测的。力学性质是物理性质中十分重要的内容,它包括农产品在力的作用下产生变形、振动、流动、破断等的规律。农产品的力学性质与其生化变化、变质情况有着密切的联系,通过力学性质的测定可以把握以上品质的变化。农产品的热物理性质也是农产品生产管理、品质控制、加工和流通等工程的重要基础。常见的热学性质指标和研究内容主要有比热容、潜热、相变规律、传热规律及与温度有关的热膨胀规律等。对农产品电学性质的研究,虽然起步较晚,但随着农产品加工工业的发展,近年越来越受到重视。电学性质主要是指导电特性、介电特性以及其他电磁特性和物理特性。在无损检测方面,电学性质尤为重要。农产品的光学性质是指其对光的吸收、反射、折射和衍射等特性。农产品的成分虽说可以通过化学分析的方法测定,但因其成分的变化可以引起其对光的吸收、反射、折射和衍射等性质的变化,而光的测定又具有快速、准确、简单和无损等特点,所以无论是在仪器分析还是在在线检测上,光学性质的研究都发挥着重要作用^[5]。

农产品的品质检测主要包括水果、蔬菜的检测与分级;禽蛋、肉食类的检测与分级;经济作物的检测与分级(烟叶、茶叶等);谷物的检测与分级(如小麦、玉米、大米等)。目前,农产品无损检测技术大致包括:分光检测技术(紫外分光法、可见分光法、近红外分光法等)、机器视觉检测技术、介电特性检测技术、声学特性及超声波检测技术、力学检测技术、X射线检测技术、核磁共振检测技术、生物传感器检测技术和电子鼻与电子舌检测技术等。根据农产品品种的多样性,不同的农产品可采用不同的方法和装置来实现检测和分级。

一、紫外、可见、近红外光谱无损检测技术

紫外光谱法、可见光谱法、近红外光谱法是农产品内部品质无损检测的有效

方法^[6]。它是利用农产品对光的吸收、散射、反射和透射等特性确定农产品内部品质的一种方法,该项技术可广泛用于谷物、果蔬等多种农产品的化学成分分析、物理学品质分析、色度学品质分析,可作为核心技术构建我国农产品光学快速无损检测体系。

(1) 谷物及种子检测中的应用 自从 Norris^[7]首先将近红外光谱技术应用到农业领域,在相继测试了谷物中的水分、粗蛋白和脂肪之后,该项技术在谷物品质检测领域中得到了快速发展,并取得了较大的成果。

近红外光谱技术在小麦品质分析中得到了较大发展(表 1-1),相继有许多文献分别报道测定了小麦蛋白质、淀粉、面筋、灰分等组成的含量^[8~12]。Wesley 等^[13]用近红外漫反射技术对面粉的纯溶蛋白和麦谷蛋白进行了测定,获得了较高的相关系数和较低的误差,进一步深化了近红外光谱技术的应用领域。值得关注的是澳大利亚研究人员 Black 和 Panozzo^[14]利用可见光-近红外漫反射技术测定了小麦的水分、蛋白质、硬度、出粉率、面团黄度、吸水性、延展性、最大抗延阻力和峰值黏度 9 项指标,只有延展性和最大抗延阻力的相关程度较低,其他各项指标均与常规分析结果之间达到了显著相关。

表 1-1 近红外光谱技术在小麦品质中的应用^[15]

年份	作者	近红外类型	测定性状	范 围	R^2	SEP
1984	Obsorne	漫反射	蛋白质	9.5~13.9	0.97	0.19
			水分	9.3~11.5	0.95	0.12
			脂肪	1.9~4.3	0.96	0.15
1992	McCaig	可见光/漫反射	色度	—	0.94	0.77
1993	Delwiche	透射仪	硬度	19.9~85.7	0.44~0.68	14.2~19.6
1995	彭玉魁	漫反射	水分	9~11.55	0.96	0.1
			粗蛋白	8.57~17.62	0.98	0.22
			赖氨酸	0.28~0.46	0.94	0.12
			粗淀粉	56.78~65.42	0.94	0.77
2001	Wesley	可见光/漫反射	麦谷蛋白	3.92~7.65	0.71~0.83	0.38
			醇溶蛋白	3.55~7.55	0.46~0.78	0.43
2001	Black	可见光/漫反射	水分	8.2~12.2	0.98	0.16
			蛋白质	9.4~18.8	0.97	0.35
			硬度	14.1~28.1	0.72	4.31
			出粉率	63~75	0.822	1.42
			面团黄度	8.7~13.2	0.91	0.33
			吸水率	57.8~69.1	0.83	1.35
			延展性	14.9~2.9	0.68	2.06
			最大抗延阻力	146~365	0.47	43.7
			峰值黏度	112~174	0.83	10.2
2002	Delwiche	可见光/漫反射	直链淀粉	18.7%~22.0%	0.94	1.57

近红外光谱技术在小麦品质分级领域中也取得了较快的进展。它可以快速地

进行谷物分级，无损地鉴定出籽粒的品质特性。Williams 等^[16]用近红外光谱技术分析小麦的筋力强弱，将小麦分为不同的等级。Stephen 等^[17]以硬白麦、硬红麦、硬红冬和软白麦为材料，用可见光和近红外光对小麦的分级做了系统的研究，认为可用其对小麦品质进行分级。目前，澳大利亚、美国和加拿大等许多国家已将近红外光谱技术广泛用于小麦的收购，主要用来测量水分含量、蛋白质含量和硬度等，以便快速确定小麦的品质级别和收购价格。

除了小麦之外，近红外光谱技术在其他作物领域中的应用也相当广泛，如利用近红外反射光谱分析燕麦麸皮的品质（燕麦麸皮中的可溶性纤维、不可溶性纤维与总纤维，以及蛋白质与淀粉含量）等^[18]。同时油菜籽中的含油量、粗蛋白、硫苷和芥酸的近红外光谱分析也相继有很多报道^[19~21]。

我国近红外光谱技术的研究较为落后，主要集中在利用漫反射技术分析水分和蛋白质的含量^[22~28]，且采用的样品数往往较少，使得定标模型的适用范围很小，但也有一定程度的发展。表 1-2 所列为近些年近红外光谱技术在谷物以及油料品质研究中的应用情况。

表 1-2 近红外光谱技术在谷物及油料品质研究中的应用情况^[29]

谷物名称	测试性状
小麦	蛋白质、水分、硬度、沉降值、灰分、淀粉、峰值黏度、出粉率、形成时间、稳定时间、延展性、吸水率、最大抗延阻力、色素、氨基酸等
大麦	蛋白质、脂肪、水分、葡萄糖
水稻	水分、油分、直链淀粉、总淀粉
玉米	蛋白质、水分、各种氨基酸、油分、纤维、淀粉、直链淀粉、植株吸收的氮
高粱	蛋白质、脂肪、水分、纤维
油菜籽	蛋白质、水分、油分、脂肪酸、总硫苷、单个硫苷、芥酸
马铃薯	淀粉、水分、蜡质、坚固性、粉状
大豆	蛋白质、水分、油分、碘价、游离脂肪酸

随着对蛋白质、水分等含量较高组分研究的逐渐深入，近红外光谱技术也逐渐转向了对含量较低的各种氨基酸以及微量元素的分析。严衍禄等^[30]用傅里叶变换近红外漫反射光谱技术分析了谷子和玉米中 13 种氨基酸的含量，大部分氨基酸分析结果较好，但精氨酸和酪氨酸的分析结果较差。吴建国^[31]利用近红外光谱技术对大米中的各种氨基酸做了系统的分析，除了胱氨酸、蛋氨酸、组氨酸之外，其余的都与常规分析之间达到了高度的相关。彭玉魁等（1997），闵顺耕等（2003）也分别利用近红外光谱技术对小麦、大麦中的赖氨酸含量进行了测定^[32,33]。

（2）果蔬检测中的应用 由于水果和蔬菜含水分高且个体体积大，故近红外光谱仪在很长一段时间并未能在该领域中得到充分利用。然而随着高性能近红外分析仪器的出现及光纤在交互传输模式中的应用，采用近红外光谱技术检测水果

和蔬菜的品质现已相当普遍。

近红外光谱技术可以用来检测蔬菜中的农药残留量、维生素含量、叶面的破损情况等。在水果检测方面,该技术主要用于内部成分检测,可以同时测定水果的糖度、酸度、糖蜜含量以及检验有无病斑等^[34~42]。另外,近红外光谱技术还能根据果蔬成熟过程中固形物含量、酸度和硬度的变化来确定果蔬的成熟程度,以适合不同加工的需要。利用近红外光谱技术进行果蔬的无损检测及自动分级,可使分级标准更加科学合理,同时避免了手工分级中出现的人为误差,保证了统一标准下果蔬品质的一致性,有利于果蔬的加工和销售^[43]。

(3) 烟草、茶叶等检测中的应用 烟草、茶叶等的化学分析费时、费力,操作烦琐、复杂,人为引入的误差较大,而利用近红外光谱进行分析则具有简便、快速、低成本、无污染以及样品的非破坏性和多组分同时测定等优点。

在烟草行业,近红外技术已经被广泛应用于测定水分含量。近几年来,还应用于烟草常规化学成分含量的日常检测,如烟草的总糖、还原糖、总氮、烟碱及尼古丁含量等^[44~46]。近红外光谱技术也可用于烟叶分类,McClure 等(1997)对产自 16 个国家的 1600 多个样品进行了基于近红外光谱的分类研究,对烟叶所属的品种或不同产地的判断得到了 100% 的验证。在茶叶品质检测领域,近红外光谱技术可用于茶叶多组分的定量分析,如茶多酚、咖啡碱、全氮量、粗纤维等的定量分析^[47~53]。

现代近红外光谱的研究与应用尽管起步较晚,但其在农产品质量检测及分级领域的研究应用已取得很大的进展,近红外光谱作为一种绿色、快速、高效、适合在线的分析技术将会在农产品质量检测的更多领域得到开发和应用。

二、机器视觉检测技术

机器视觉技术就是用各种成像系统代替视觉器官作为输入敏感手段,由计算机来代替大脑完成处理和解释。机器视觉的最终研究目标就是使计算机能像人那样通过视觉观察并理解世界,具有自主适应环境的能力。在实现最终目标以前,人们努力的中期目标是建立一种视觉系统,这个系统能依据视觉敏感和反馈的某种程度的智能完成一定的任务。

机器视觉技术是 20 世纪 70 年代初期在遥感图片和生物医学图片分析两项应用技术取得显著的成效后开始崭露头角的。现在,随着图像处理技术的专业化与计算机硬件成本的下降和速度的提高,机器视觉技术在农产品品质检测和分级领域应用越来越广。20 世纪 70 年代末以来,国际上许多研究人员已为开发用于农产品品质自动识别和分级的机器视觉系统倾注了大量的心血。农产品在其生产过程中由于受到人为和自然等复杂因素的影响,产品品质差异很大,如形状、大小、色泽等都是变化的,很难整齐划一,故在农产品质量检测与分析时要有足够的应变能力来适应情况的变化。机器视觉不仅是人眼的延伸,更重要的是具有人

脑的部分功能，其在农产品质量检测上的应用恰好满足了这些应变的要求。目前国外利用机器视觉进行农产品品质检测的对象极其广泛，如谷粒的表面裂纹检测，农作物种子的分级，以及根据梅、鸡蛋、黄瓜、玉米、竹笋、西红柿、辣椒、苹果和土豆等的大小、形状、颜色和表面损伤与缺陷等进行分级等^[54~65]。机器视觉技术的特点是速度快、信息量大、功能多，以水果为例，可一次完成多种品质指标的检测，并可以测量定量指标。应用机器视觉技术有利于设计制造自动分级流水线，因而机器视觉技术在农产品品质检测中有非常好的应用前景^[66]。

机器视觉技术涉及计算机、光学、数学、信息论、模式识别、数学形态学、人工智能、自动化、CCD 技术、视觉学、心理学、数字图像处理等众多学科，由于研究时间还不是太长，研究成果离大规模推广应用尚有一定的距离，还存在许多需继续解决的问题。

① 目前绝大多数研究的对象均是静态的农产品个体，效率较低。而在实际生产中所采集的图像应该是动态的农产品群体图像，此时的图像处理和分析将更复杂。如何从快速运动的农产品群体中提取有效图像信息并对其矫正，这还是一个尚未解决的难题。

② 由于许多农产品是近似一个球体，在其二维图像中，中部的灰度值往往要远远大于边缘的灰度值，这就使得图像中部的损伤部位的灰度值仍大于边缘的灰度值，从而带来损伤检测的误差，必须加以矫正。多年来，国际上许多学者对此做了大量的研究工作，但到目前为止，还只能靠改善光照条件来实现对单个静止球形物体图像的矫正，对动态的农产品群体图像的矫正方法还正在研究。

③ 在对农产品的多个品质指标进行检测时，大多采用串行算法，这大大影响了处理速度的提高。急需研究农产品品质检测中所需的多种图像处理算法的并行实时处理方法，以便提高检测效率。

④ 农产品的内部品质是农产品分级的重要依据，目前大多只研究对农产品的外部品质进行机器视觉自动识别，而对农产品内部品质的机器视觉无损检测技术的研究仅涉及桃子和番茄的成熟度、苹果内部水芯、桃核的裂纹、玉米的应力和肉牛的脂肪厚度等少量指标，而且结果也不太理想。这说明要利用机器视觉技术对农产品品质进行全面（包括内部品质和外部品质）检测，还有很长的路要走。相对于国外而言，国内在利用机器视觉进行农产品品质自动识别方面的研究起步较晚，无论在硬件还是软件上都还有很大的差距^[67]。

三、介电特性检测技术

介电特性是指生物分子中的束缚电荷（只能在分子线度范围内运动的电荷）对外加电场的响应特性。农产品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。介电特性参数的检测结果基本可以正确反映农产品的品质情况^[68]。目前国内外对农产品介电特性的研究越来越重

视, 原因在于农业物料的介电特性在农产品质量检测领域有广泛的用途, 如可迅速简便地确定农产品的含水率和吸湿性, 检测其品质, 确定其成熟度等^[69]。

农产品一般都是吸湿性物质, 它们的水分含量是其介电参数的重要因变量。此外介电参数还和交流电场的频率、物质的密度有十分密切的关系。在颗粒状农产品中, 粒子/气隙混合物的容积密度对于介电特性十分重要。当然, 物质本身的介电特性还主要取决于它们自身的化学结构和其分子的偶极矩。不同的农产品存在着不同结构、不同性质的基因, 因此农产品的介电特性应是各种物质结构与成分的综合反映。

(1) 谷物含水率检测中的应用 很早人们就知道通过测量谷物的电参数来求得谷物中水分的含量, 这是农产品的介电特性用于农业的最早范例。谷物湿度电测法是当前农产品介电特性最成功的应用之一, 农产品湿度和介电参数之间的密切关系已证明了这一点。

从电磁理论分析, 谷物的介电特性应是由谷物的各种成分、分子结构的介电特性所共同决定的, 但大量实验表明, 失去游离水分的干燥谷物, 相对介电系数很小。以小麦为例, 通过烘干的小麦, 其相对介电系数为 3~5, 这表明尽管淀粉、蛋白质等是极性分子, 但它们表现的极性很弱。而水的相对介电系数高达 81, 显然影响谷物介电特性的主要因素应是其中的游离水分。这就为通过对介电特性的测定而确定谷物含水率提供了理论根据, 但真正实现准确的测量, 需要认真分析影响介电特性的多变因素^[70]。目前, 已实现了农产品的在线湿度测量, 采用 9.4GHz 的表面波在谷物层内传播, 测量其幅值的衰减和相移可得到这个参数和谷物湿度的线性关系式。但在各类谷物的在线湿度监测中, 容积密度不稳定会使测量结果产生较大的误差^[71,72]。

(2) 水果无损检测中的应用 水果作为生物体由生物组织构成, 从微观结构角度观察, 其内部存在大量带电粒子形成生物电场。水果在生长、成熟、受损及腐败变质过程中的生物化学反应将伴随物质和能量的转换, 导致生物组织内各类化学物质所带电荷量及电荷的空间分布的变化。生物电场的分布和强度, 从宏观上影响水果的介电特性。因此, 水果的内部品质及其外形尺寸可以通过对其介电特性的无损检测加以判别。

Nelson 等^[73,74]在 0.2~20GHz 的频率范围内对多种水果进行了研究。结果表明, 介电常数随水果种类的不同而不同, 且所测试水果的介电常数随频率增加均稳定减少。加藤宏朗在 10~13MHz 的频率范围内, 对损坏的和正常的水果的介电特性进行了对比测试。结果显示损坏水果的串、并联等效电阻及阻抗, 在该频率范围内低于正常水果, 而串联等效电容及损耗因数数值则比正常的水果大, 串联等效电阻与水果的新鲜度或成熟度呈相关性。

目前, 对苹果、梨和桃子等水果在低频范围的介电特性进行了系统的研究,

揭示了低频范围内水果介电特性与新鲜度、内部损伤的关系,初步建立了水果介电特性理论的基本框架。此外,对农业物料的一些电学特性,如电阻、电阻率、阻抗和电导率也做了研究,但大多是探求这些介电特性和农产品品质之间的关系,其具体的运用还有待进一步研究^[75~77]。而且,由于农产品的介电参数与频率、湿度、温度、密度有关,因此农产品介电特性的无损检测应用前景十分乐观^[78,79]。

四、声学特性及超声波检测技术

(1) 农产品的声学特性及其检测 农产品的声学特性是指农产品在声波作用下的反射、散射、透射及吸收特性,衰减系数和传播速度及其自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。利用声学特性在农产品质量检测中的应用主要包括以下几个方面。①通过测定共振频率确定农产品硬度。②测定声波传播速度以确定农产品的成熟度。随着农产品的成熟,声波在农产品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农产品成熟度,既不需测定质量,也不需进行快速傅里叶变换。③通过测定声压确定农产品的含水率。如 G. Brusewitz 等研究发现,声波中心频率在 2~4kHz 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)^[80]。

(2) 超声波检测技术 超声波技术是一种声学特性分析法,该检测法具有无损伤、非侵入式、无需准备样品及快速检测等优点。超声检测技术多用于工业生产中,近几年才应用到农产品检测领域。其检测原理为通过测定超声波脉冲信号经过介质时的声速及振幅衰减等来达到检测的目的^[81]。

目前国内外对农产品的超声波检测的研究主要集中在以下几个方面:对果蔬成熟度、硬度和内部质量缺陷等的无损检测,对蛋类及乳制品的品质检测等。

① 果蔬无损检测中的应用 超声波检测技术可用于果蔬保鲜或成熟度的检测。成熟过程或贮藏过程中果蔬内部组织结构和水分含量是变化的,糖分或其他成分也在变化,其结果均体现在对超声波性质的影响。对这类体系的检测会由于物料组织中气体的存在(不连续性)使得超声波衰减比较明显,结果分析显得过