

物联网技术在食品及农产品中应用的研究进展*

刘东红¹ 周建伟^{1,2} 莫凌飞¹

(1. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310029; 2. 浙江大学宁波理工学院, 宁波 315100)

【摘要】 物联网(IOT)技术正被越来越多地应用在食品及农产品领域。首先简介了无线射频识别标签(RFID)和无线传感器网络(WSN)的原理和技术,然后较全面地分析归纳了近年来这些技术在食品、农产品的生产监控、安全监管及供应链的溯源与追踪等领域的应用研究现状,并分析了存在的问题和解决途径,最后展望了这些技术今后的发展趋势和应用前景。

关键词: 物联网 食品 农产品 无线传感器网络 无线射频识别标签

中图分类号: TN925⁺93; X954 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)01-0146-07

Applications of Internet of Things in Food and Agri-food Areas

Liu Donghong¹ Zhou Jianwei^{1,2} Mo Lingfei¹

(1. School of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

2. Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University, Ningbo 315100, China)

Abstract

With in-depth development of the technologies of internet of things (IOT), they have been increasingly applied in food and agri-food areas. The RFID (radio frequency identification) and WSN (wireless sensor networks) in principles, techniques and other related information were introduced, a more comprehensive summarization and analysis of these technologies and applications in agricultural and food industry during recent years were given, such as food processing, food-safety control, the food supply chain traceability and tracking, etc. The problems and solutions were also discussed. Furthermore, suggestions for future research and application areas were put forward.

Key words Internet of things, Food, Agri-food, Wireless sensor networks, Radio frequency identification

引言

食品和农产品从生产到消费的整个过程涉及生产、加工、包装、运输、仓储、货架展示和消费等环节,每个环节都有可能带来不安全因素,主要包括:种养殖过程投入品中有毒有害物质的残留;环境污染物给食品卫生带来的影响,农药、化肥等环境污染物通过食品链进入人体而损害健康;加工、运输销售环节的污染。随着消费者对食品和农产品品质、安全性要求的不断提高,对食品和农产品的供应链进行全程监测,对产品进行追踪和溯源的需求越来越迫

切^[1-2]。

由于食品和农产品的生产环节、供应链的分布空间都是广域的,甚至是流动的,所以传统的有线传感器技术(wired sensor technology)无法满足全程监测等应用的需要。近年来伴随着微型机电系统(MEMS)、无线通信、数字电子学等学科的进步和发展,物联网(internet of things, 简称 IOT)技术的研究取得了较大进展,已经开发出很多低成本、低功耗,具有感知、计算和通信能力的微型传感器节点,以及较为成熟的 RFID 芯片、封装、读写设备的设计、制造和系统集成技术,这就使得物联网技术在食品和

收稿日期: 2011-03-08 修回日期: 2011-05-31

* “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2009BADB9B09)和杭州市重大创新项目(20102012A08)

作者简介: 刘东红,教授,博士生导师,主要从事食品加工装备及自动化研究,E-mail: dhliu@zju.edu.cn

农产品的生产、加工、物流、安全监管等方面的应用成为国内外许多高校、企业、研究机构近期的研究热点之一。

本文在国内外相关研究的基础上,对物联网技术在食品及农产品的生产、流通等领域的应用研究现状进行论述,并详细阐述应用物联网技术的优势以及不足之处。

1 物联网

物联网指的是将各种监测传感器、移动终端、视频监控系統、附有 RFID 的各种物件和包装、携带无线终端的个人与车辆等“智能化物件或动物”或“智能节点”(mote),通过各种无线和/或有线的、长距离和/或短距离通讯网络实现互联互通(M2M),实现对“万物”的“高效、节能、安全、环保”的“管、控、营”一体化^[3]。简而言之,就是通过信息传感设备,将所有物品连接至网络,实现智能化识别和管理。

物联网可以分为感知、传输和处理 3 个基本部分。目前,物联网的两大关键感知技术就是无线射频识别标签技术(RFID)和无线传感器网络技术(WSN)。

2 在食品及农产品生产环节的应用

2.1 食品工艺参数研究

食品工艺参数获取是食品提升品质、提高加工效率、增强安全性的重要保障,物联网技术在这方面的应用研究已取得初步进展。

Marra 等应用了一套布设于罐头内部的 WSN 系统,通过温度传感器获得的数据,辅以有限元计算,获得了罐装食品在热杀菌过程中的热传导模型^[4]。Anastasi 等设计并应用了一套 WSN 系统,用于监测一家葡萄酒厂的整个生产环节,生产链所有场所都设有传感器节点,对种植园中的温湿度、光照、风向风速以及酒窖中的温湿度进行监测和记录,揭示了高品质葡萄酒整个生产过程中的环境参数^[5]。高英明等提出了一种基于物联网技术、面向食品安全的食品信息采集系统设计方案。通过具有 GPRS 通信功能的基站将 WSN 采集到的温度信息传给 PC 或手机中,方便人们随时监控食品加工各过程的温度信息,以提高食品的安全性^[6]。

以上研究表明,物联网技术在获取和优化食品工艺参数方面具有非常独特的优势,它可以使食品工艺参数由宏观细化到个体乃至微观,这在传统食品的现代化生产方面有着巨大应用价值。

2.2 温室环境监控

对于温室来讲,自动、高效的环境参数监控是农

产品品质和产量至关重要的保证。由于温室中的气候环境和土壤条件都相对稳定,在温室中构建 WSN 比室外容易得多,所以 WSN 在温室中的应用研究已有较多报道。

柳桂国等于 2003 年首次研究了基于 Bluetooth 技术的 WSN 监控系统并应用于温室^[7]。随后开发的很多类似监控系统,大部分采用的是 Zigbee 技术;Gonda 等提出了在温室中分布式监控网络中采用 Zigbee 技术^[8];Yoo 等研究了一套名为 A²S 的 WSN 在种植甜瓜和卷心菜的温室中的使用效果^[9]。Lea-Cox 等研发了一种集成了基质含水率、温度、导电率、光照度、叶片湿润度多种传感器的温室 WSN。实验证明,运用了该套装置后,水和肥料得到了更高效地使用,过度浇水引起的病害减低了,作物的生长得到了明显改善^[10]。Liu 等研究了一种应用于温室的 WSN 原型,该系统由两部分组成:一部分负责测量温度、光照和土壤湿度;另一部分是 GSM 通信模块和由远程 PC 数据库控制的软件管理模块^[11]。Zhou 等提出了一个基于 Zigbee 技术的温室监控 WSN 方案^[12]。Yang 等研究了集成 RFID 技术、光谱成像及环境监测的多功能温室远程 WSN。其中,多光谱成像系统能够在作物上空对温室内的温度、湿度、光照进行测量^[13]。Wang 等开发一种特殊的无线传感器节点用于温室内温度、湿度和光照度的监测^[14]。

以上研究表明,物联网技术可以获取精细农业所需的大量各种信息,从而达到真正的精细化农业生产,以提高能源、水、化肥等资源和物资的利用效率,进一步增加农业效益。

2.3 养殖环境监控

饲养室内的环境对动物健康非常重要,直接关系到动物产品的质量和产量。一方面,饲养室内必须保持良好的通风,以免动物因为高浓度氨气而导致精神压力或减产;另一方面,从节能的角度考虑,为了保持室内温度在一个合适、稳定的范围,应尽量少通风和调温。所以采用物联网技术对饲养室环境参数进行自动监控是一个非常高效的技术手段。

Cai 等研究了通过无线传感器远程查询监测区域氨气浓度^[15]。Cognasca 等使用移动节点,测试了饲养室内不同地点的温度、湿度、光照度数据,评估了将 WSN 应用于饲养室监控的实用性^[16]。Darr 等研究了在猪圈构建一个监测温度的 WSN,使用 3.6 V/1 200 mA·h 的电池作为电源,每隔 5 min 采样一次,结果节点电池持续工作了 3.5 年,表明了基于 Zigbee 技术的 WSN 非常适合应用于对动物饲养环境的监控^[17]。

2.4 牲畜疾病预防

近年来,由于各种精细饲养工具的使用,现代畜牧业发生了较大变化。物联网技术应用的最新研究成果已被用来预防和诊断牲畜的传染病,以及预报重大事件。动物的体温等生命体征信息,对及早发现病症及作出相应处理,从而减少牲畜损失具有重要意义。

Nagl 等研究了集成脉搏血氧计、GPS 定位装置等其他传感器的 WSN,获得了牛的血氧饱和度、位置、体表温度和呼吸等信息^[18]。Mayer 等将传感器节点放在标准缓释胶囊中置入瘤胃中,通过内外部传感器的通信,观察瘤胃内部的运动情况^[19]。Marsh 等将 RFID 标签和温度传感器置入一群马匹的脖颈中,使测得的每匹马体温都有一个身份识别号码^[20]。Ipema 等将温度传感器制成胶囊状放入牛的瘤胃中测量体温,每分钟测量一次,并通过放置在牛腿上的外部传感器节点,将数据传送到基站^[21]。

以上研究表明,由于体积小、无需导线连接,可以连续、远程、实时提供被测物信息的特点,物联网可被用作微创测量体温等信息。

2.5 田间病虫害预防

田间病虫害的早期预警一直是困扰农户的大难题,物联网技术的应用研究有助于解决这一难题。

Baggio 开发一种用于马铃薯种植地抵御 phytophthora(一种对气候条件较敏感的致病真菌)的 WSN,通过监测温度和湿度,该系统可使管理者在作物处于高风险时进行必要处理^[22]。

物联网技术使在尽量减少病虫害和环境影响的情况下,提高农作物产量和品质的愿望成为现实。农田管理者再也不必仅靠经验或推断来进行决策,而是可以从田间获得的各种实时信息,作出更有效、及时、科学的应对措施。

3 在食品及农产品物流环节的应用

对于蔬菜、水果、肉类和鱼类等易腐烂变质的新鲜农产品(食品),温度控制是延长货架期的一个关键因素。因此,冷链运输一直是业界关注的焦点之一,目前物联网技术的应用研究也主要集中于这一方向。

3.1 冷链过程监控

由于冷链运输的农产品(食品)到达集散中心后的几小时内就会被分发出去,这时合理的处理机制所需的信息就不仅是农产品(食品)供应链中地点历程等可追踪(或可追溯)的信息,还需要提供农产品(食品)温度历程的相关信息。

物联网技术在食品供应链中应用的可行性及其

便利性、高效性等诸多优点已被多项研究所论证。Amador 等在菠萝的瓦楞纸箱和塑料周转箱上安装了带温度传感器的 RFID(部分将传感器探头插入果肉中),通过从哥斯达黎加到美国的长途运输实验,获得了菠萝表面温度及果肉温度的变化情况,并对比了该技术与传统温度记录方法在测量数据精度上的区别^[23]。Abad 等利用带有温度、湿度和光照传感器的 RFID,研究了物联网技术在一次从南非到欧洲、历时 3 d、空陆联运的新鲜鱼洲际运输中的应用^[24]。Hayes 等研究了在 2 艘渔船鱼舱中设置测温传感器的 WSN,使用 SMS(短信)方式通过 GSM 网络将数据实时传送至 internet 上的服务器加以记录,解决了以往只能单艘船自成体系的监控方式,该技术可推广到多艘渔船的广域监测^[25]。王晓东等设计了一种基于 GPRS 技术,适用于冷链运输车的食品温度实时监控系統,可将温度监测数据实时发送至监控中心数据服务器^[26]。Shan 等研究了 Bluetooth、Zigbee、神经网络、人工智能和模糊逻辑等技术应用在冷链运输中的可行性,提出了未来冷链运输中应用物联网技术进行追踪和自动决策的技术方案设想^[27]。Ruiz-Garcia 等研究了水果多联运输中 WSN 的应用,验证了 ZigBee 网络中传感器节点在低温环境下的有效性,还提出可通过监视环境空气中含水率的变化,快速确定产品中水分的流失情况^[28]。Gras 研究了在冷藏食品包装中安装具有温度传感器的被动式 RFID,可以快速获取并记录物品的实际温度,加快物流速度^[29]。

物联网技术可通过对食品在冷链过程中的温度变化进行监控(必要时还可设定一个报警值),从而为供应商、监管者及早发现问题并迅速作出决策提供依据。

3.2 冷链设施研究

由于冷库、冷藏车厢、保温容器冷链设施等皆为金属封闭容器,业界一直对物联网技术所依赖的无线通信方式能否正常运作存有疑虑,Laniel 和 Fuhr 等研究后得到了肯定的结论,并揭示 433 MHz 是较适合的 RF 工作频率^[30~31]。被动式 RFID 标签在数据读取时,是凭借解读器发出的射频信号产生感应电流,从而获得能量发送信息的。在微型 RFID 标签中,天线常设置在其他金属材料附近,这会引起天线的阻抗匹配、频率响应参数变化等问题。莫凌飞等研究了被动式 RFID 标签中天线的类型及与金属表面距离对信号的影响,通过有限元模拟计算及实验修正,获得了超高频(UHF)RFID 标签天线与金属的最佳距离应大于 $\lambda/4$ (λ 为信号波长)的结论^[32~34]。

虽然冷藏设施都自带温控装置,但是其温度传感器的布置通常位于靠近四壁或顶部的某一位置,而对于装于其中的食品或农产品表面或内部(如果肉)的确切温度却无法得知。为了研究冷藏空间中物品表面或内部的温度与冷藏装置显示温度的关系,Jedermanna 等使用具有温度传感器的半被动式 RFID,研究了冷藏车厢和保温容器中温度的三维分布情况,并提出在冷藏车厢中最少每米布置一个测点即可准确探知厢内的最高温度^[35]。

4 在食品及农产品追踪与溯源中的应用

4.1 发达国家的应用

发达国家先从家畜产品(很多选择牛肉)入手,通过颁布法律法规、设立专门研究机构对实施可追溯系统的行业进行有效管理、评审和监督,以实现农产品的快速溯源,切实保障消费者食用农产品的质量安全。

1998~2001 年法国、德国、意大利、荷兰、葡萄牙和西班牙联合实施了家畜电子标识 (IDEA) 项目,涉及这 6 个国家 100 万头家畜,已在牛和羊中使用了 3 种电子耳标(瘤胃球、耳标和注射式应答机),为追踪动物从出生到屠宰的系统提供建议^[36]。美国成立了由来自 70 多个协会、组织以及政府机构的 100 余名畜牧兽医专业人员组成的家畜标识开发小组 (USAIP),共同参与制定家畜标识工作计划,采用 RFID 电子标签实现对畜产品生产过程的追溯,其目的是在发现外来疫病的情况下,能够在 48 h 内确定所有与其有直接接触的企业^[37]。日本在肉牛饲养业中强制实施销售点到农场的追溯系统,通过包装盒上的牛身份号码,即可获取牛肉生产全过程信息^[38]。澳大利亚颁布了使用电子标签技术的国家畜产品认证计划 (national livestock identification scheme,简称 NLIS)^[39]。

家畜产品中追溯系统的成功应用,为物联网技术进一步在其他食品领域的应用提供了良好的基础。日本已在蔬果 EDI 协议会的主持下,开展了苹果、米、蔬菜等农产品基于 RFID 技术的生产履历和食品追踪系统的建立,并在日本的千叶县进行了实验,取得了良好的效果。

4.2 国内的应用

近年来,国内在食品追溯系统的研究和应用方面投入了大量的资源,多个省市开始尝试对肉类等食品及农产品进行追溯。

北京市 2006 年在重点养殖基地通过对动物产品佩戴耳标、脚标等手段,在屠宰和流通环节应用 RFID 等技术,实现对畜禽产品养殖、收购、屠宰、分

割、运输、销售等信息进行记录,形成追溯档案。《2008 年北京奥运食品安全行动纲要》要求对奥运食品全部加贴电子标签,电子标签采用 RFID 技术,实现奥运食品的全程追溯,其中首先以蔬菜、猪肉等重点食品为试点^[40]。上海市动物卫生监督所等单位研发了动物及其产品信息化安排监管系统,利用 RFID 技术实现对动物产品及卫生的有效监控和管理。此项目已经在上海市 12 家规模屠宰场 8 个市道道口以及外省市供沪的 167 个养殖场中应用。江苏省建立了以超市流通模式为主的超市食品安全与预警信息系统,以苏果超市为基础开发了集超市食品安全信息查询系统、超市食品安全信息采集系统为一体的农产品溯源模式。海南省有关部门通过采用 EAN·UCC 系统,对该省水产品生产、包装、储藏、运输、销售的全过程进行标识,利用条码和人工可读方式使其相互连接,一旦水产品出现卫生安全问题,即可通过这些标识追溯水产品源头^[41]。

4.3 追踪与溯源系统研究

Ruiz-Garcia 和 Zhang 等分别研究了用于农产品追踪与溯源的设计原型系统,这些系统可通过网络便捷地查询农产品生产、分销、运输等各环节^[42~43]。刘东红等研究了基于 RFID 技术的原料奶品质管理系统、原料奶品质现场分析和监控系统、乳品运输过程品质监控及温度监控和报警系统的乳品质量安全溯源和监控体系,可对乳品从挤奶、装罐到运输实行全面的品质监测和溯源^[44]。谢洁锐等以 WSN 和 RFID 为基础,提出了一个技术方案,并为广东省某市建成了农产品安全监控与预警平台^[45]。此类研究已成为目前物联网技术的研究热点之一。

5 存在的问题及解决途径

目前,物联网技术大部分尚处于研究成果向产业化应用转化阶段,其在食品领域的应用还存在以下亟待解决的问题。

5.1 感知技术的创新与研发

影响食品品质的因素众多(如温湿度、大气环境、土壤成分等),所以为了保障食品安全,必须研究相应的感知技术;同时,低成本单品标识技术是农产品和食品追溯与物联网的基础,为适应规模化、精准化、设施化的发展要求,具有良好环境适应性、体积小巧便携、具备快速检测能力的低成本硬件系统亟待开发研究。

从技术上讲,WSN 用于监测的主要优点是传输距离比 RFID 大得多,且组网方式灵活、传感器种类多样、可探知的物理量众多。RFID 虽然阅读距离短,但是被动式 RFID 的低成本、零能耗、易于与包

装结合是其独有的优势。科学的规划设计、合理的布局,解决 WSN 与 RFID 的融合问题,使两者间取长补短,将是下阶段研究的重点。

5.2 信息的融合和体现

在温度、湿度、光照度、振动频率、气体浓度等众多传感信息中,选择何种信息或组合来表达食品新鲜度、货架寿命期才最为合理?若需要多信息融合表达时,如何建立融合后能真正反映宏观指标的模型?在以上模型的建立中,如何引入诸如模糊理论、神经网络、人工智能等方法,才能使模型更具有实用性?以上基础性问题解决后,才有可能建立一套有实用价值的快速评估其安全性及预测其货架寿命的决策系统。

5.3 真正实用的信息处理平台和管理系统开发

从目前的研究进展来看,不少被证实具有应用价值的技术方案尚处于原型阶段或试运行状态,溯源过程的真实性、唯一性和一致性问题没有彻底解决,缺乏有效可实施的信息传递载体以及相应的硬件系统,因此目前的系统可推广程度不高。

另一方面,食品的流通量与消耗量都是非常大的,如要真正实现食品安全的全面监控和管理,尚需解决诸如大量传感装置布设、海量信息传输、云计算、高效智能管理系统开发等实际问题,这必须要有非常好的物联网中间件、服务器系统及网络软硬件平台对其进行支撑。

5.4 物联网标准统一与信息安全

目前,世界各国都相继提出制订自己的物联网

技术标准,为今后的子网间兼容性埋下了隐患。究其原因,就是担忧知识产权和信息安全问题,且后者占据的因素更大。如 EPCglobal,其系统的中央数据库设在美国,得到美国国防部的强力支持,如果他国以此标准建立体系,对采用国的国民经济运行、信息安全甚至国防安全都会造成重大隐患。

事实上,对于食品、农产品等民用产品,可参照国际电信标准,建立一套国际统一的民用物联网技术标准,并且对相关敏感信息采用加密技术,即可有效保护信息安全和避免隐私泄露。

6 结束语

由于食品与农产品在生产、加工、贮运、物流和销售各环节中存在各种潜在风险,食品的品质及安全性有可能发生迅速恶化,这就要求供应链全过程实现自动化信息采集、管理和决策,以及生产到消费每一步的可追溯性和可追踪性,这样才能及时发现问题,并化解整个过程中所有可能对食品或农产品安全产生影响的潜在风险,从而构建有效的监控体系。本文所述的众多研究成果已经表明,物联网技术在食品及农产品领域的应用前景是非常广阔的。

总的来说,由于物联网技术可实现远程、实时、大范围、甚至深入产品内部测量信息,并且传感器组合多样、组网结构灵活、低功耗、低成本,它必将成为未来一种监控食品安全的有效技术手段;同时,研究人员对食品和农产品的研究也有望走出实验室环境,深入至真实的供应链环境中。

参 考 文 献

- 1 刘东红,吕飞,叶兴乾. 食品智能包装体系的研究进展[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 286 ~ 290.
- 2 谢丹,梁美超,刘东红. 无线射频识别技术在食品生产流通中的应用[J]. 粮油加工, 2007(8): 121 ~ 123.
- 3 周洪波. 物联网:技术、应用、标准和商业模式[M]. 北京:电子工业出版社, 2010.
- 4 Marra F, Romano V. A mathematical model to study the influence of wireless temperature sensor during assessment of canned food sterilization [J]. Journal of Food Engineering, 2003, 59(2 ~ 3): 245 ~ 252.
- 5 Anastasi G, Farruggia O, Lo Re G, et al. Monitoring high-quality wine production using wireless sensor networks[C] // 42nd Hawaii International Conference on Systems Science (HICSS-42 2009). Waikoloa, Big Island, HI, USA, 2009.
- 6 高英明,金仁成,澎渤,等. 面向食品安全的无线传感器网络系统设计[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(增刊4): 434 ~ 437.
- 7 柳桂国,应义斌. 蓝牙技术在温室环境检测与控制系统中的应用[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版, 2003, 29(3): 329 ~ 334.
- 8 Gonda L, Cugnasca C E. A proposal of greenhouse control using wireless sensor networks [C] // Computers in Agriculture and Natural Resources, 4th World Congress Conference. Orlando, FL, USA, 2006.
- 9 Yoo S, Kim J, Kim T, et al. A²S: automated agriculture system based on WSN [C] // ISCE 2007 IEEE International Symposium on Consumer Electronics. Irving, TX, USA, 2007.
- 10 Lea-Cox J D, Kantor G, Anhalt J, et al. A wireless sensor network for the nursery and greenhouse industry [C] // Southern Nursery Association Research Conference Proceedings, 2007, 52: 454 ~ 458.
- 11 Liu H, Meng Z, Cui S. A wireless sensor network prototype for environmental monitoring in greenhouses [C] // 2007 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCom 2007). Shanghai,

- China, 2007.
- 12 Zhou Y M, Yang X L, Guo X S, et al. A design of greenhouse monitoring & control system based on ZigBee wireless sensor network [C] // 2007 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCom 2007). Shanghai, China, 2007.
 - 13 Yang I C, Chen S, Huang Y I, et al. RFID-integrated multi-functional remote sensing system for seedling production management [C] // 2008 ASABE Annual International Meeting. Providence, RI, USA, 2008.
 - 14 Wang C, Zhao C J, Qiao X J, et al. The design of wireless sensor networks node for measuring the greenhouse's environment parameters [C]. Computer and Computing Technologies in Agriculture, IFIP Advances in Information and Communication Technology, 2008, 259:1 037 ~ 1 046.
 - 15 Cai Q Y, Jain M K, Grimes C A. A wireless, remote query ammonia sensor [J]. Sens. Actuat. Bio-Chem., 2001, 77(3):614 ~ 619.
 - 16 Cugnasca C E, Saraiva A M, Nääs I D A, et al. Ad hoc wireless sensor networks applied to animal aelfare research [C] // Livestock Environment V III. ASABE Eighth International Symposium. Iguassu Falls, Brazil, 2008.
 - 17 Darr M J, Zhao L. A wireless data acquisition system for monitoring temperature variations in swine barns [C] // Livestock Environment V III. ASABE Eighth International Symposium. Iguassu Falls, Brazil, 2008.
 - 18 Nagl L, Schmitz R, Warren S, et al. Wearable sensor system for wireless state-of-health determination in cattle [C] // Proceedings of the 25th IEEE EMBS Conference. Cancun, Mexico, 2003, 4:3 012 ~ 3 015.
 - 19 Mayer K, Ellis K, Taylor K. Cattle health monitoring using wireless sensor networks [C] // Proceedings of the Communication and Computer Networks Conference (CCN 2004). Cambridge, MA, USA, 2004.
 - 20 Marsh J R, Gates R S, Day G B, et al. Assessment of an injectable RFID temperature sensor for indication of horse well-being [C] // ASABE Annual International Meeting 2008. Providence, Rhode Island, USA, 2008.
 - 21 Ipema A H, Goense D, Hogewerf P H, et al. Pilot study to monitor body temperature of dairy cows with a rumen bolus [J]. Comput. Electron. Agric., 2008, 64(1):49 ~ 52.
 - 22 Baggio A. Wireless sensor networks in precision agriculture [C] // Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks, REALWSN'05. Stockholm, Sweden, 2005.
 - 23 Amador C, Emond J P, Maria C N N. Application of RFID technologies in the temperature mapping of the pineapple supply chain [J]. Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety, 2009, 3(1):26 ~ 33.
 - 24 Abad E, Palacio F, Nuin M, et al. RFID smart tag for traceability and cold chain monitoring of foods; demonstration in an intercontinental fresh fish logistic chain [J]. J. Food. Eng., 2009, 93(4):394 ~ 399.
 - 25 Hayes J, Crowley K, Diamond D. Simultaneous web-based real-time temperature monitoring using multiple wireless sensor networks [C] // Sensors, 2005 IEEE. Irvine, CA, 2005.
 - 26 王晓东, 张宏建, 周洪亮, 等. GPRS 技术在运输食品温度监测中的应用 [J]. 农机化研究, 2009, 31(2):83 ~ 86.
 - 27 Shan Q, Liu Y, Prosser G, et al. Wireless intelligent sensor networks for refrigerated vehicle [C] // IEEE 6th Symposium on Emerging Technologies Mobile and Wireless Communication. Shanghai, China, 2004.
 - 28 Ruiz-Garcia L, Barreiro P, Robla J I. Performance of ZigBee-based wireless sensor nodes for real-time monitoring of fruit logistics [J]. J. Food. Eng., 2008, 87(3):405 ~ 415.
 - 29 Gras D. RFID based monitoring of the cold chain [C] // Proc. 2nd International Workshop Cold Chain Management. Bonn, Germany, 2006.
 - 30 Laniel M, Emond J P, Altunbas A E. RFID behavior study in enclosed trailer/container for real time temperature tracking [C] // Food Processing Automation Conference. Providence, RI, USA, 2008.
 - 31 Fuhr P, Lau R. Mesh radio network performance in cargo containers [J]. Sensors, 2005, 22(3):13 ~ 18.
 - 32 Mo Lingfei, Zhang Hongjian. RFID antenna near the surface of metal [C] // IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications. Hangzhou, China, 2007.
 - 33 Mo Lingfei, Zhang Hongjian, Zhou Hongliang. Broadband UHF RFID tag antenna with a pair of U slots mountable on metallic objects [J]. Electronics Letters, 2008, 44(20):1 173 ~ 1 174.
 - 34 Mo Lingfei, Zhang Hongjian, Zhou Hongliang. Analysis of dipole-like UHF RFID tags close to metallic surfaces [J]. Journal of Zhejiang University—Science A, 2009, 10(8):1 217 ~ 1 222.
 - 35 Jedermann R, Ruiz-Garciab L, Lang W. Spatial temperature profiling by semi-passive RFID loggers for perishable food transportation [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009, 65(2):145 ~ 154.
 - 36 Ribo O, Korn C, Meloni U, et al. IDEA: a large-scale project on electronic identification of livestock [J]. Scientific and Technical Review, 2001, 20(2):426 ~ 436.

37 黄敏. 欧美区域全链食品追踪体系和中国食品追溯体系展望[J]. 农产品加工·学刊, 2005(增刊2): 78 ~ 81.

38 王立方, 陆昌华, 谢菊芳, 等. 家畜和畜产品可追溯系统研究进展[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7): 168 ~ 174.

39 李明学, 黄立平. RFID 在农业中的应用研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(20): 6 333 ~ 6 334.

40 臧明伍, 张迎阳, 韩凯, 等. RFID 技术在畜产品可追溯系统中的应用[J]. 肉类研究, 2007(9): 32 ~ 35.

41 童小燕. 《EAN·UCC 系统在海南水产品质量安全跟踪和追溯的应用研究》项目通过科技成果鉴定[J]. 条码与信息系统, 2009(2):14.

42 Ruiz-Garcia L, Steinberger G, Rothmund M. A model and prototype implementation for tracking and tracing agricultural batch products along the food chain [J]. Food Control, 2010, 21(2):112 ~ 121.

43 Zhang Xiaoshuan, Lü Shunyi, Xu Mark, et al. Applying evolutionary prototyping model for eliciting system requirement of meat traceability at agribusiness level [J]. Food Control, 2010, 21(11): 1 556 ~ 1 562.

44 刘东红, 唐佳妮. 乳品质量安全溯源和监控体系构建[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(5): 149 ~ 153.

45 谢洁锐, 胡月明, 刘才兴, 等. 基于无线传感器和 RFID 的农产品安全全程监控平台[J]. 中国农机化, 2007(1):79 ~ 80.

46 刘嫣红, 杨宝玲, 毛志怀. 射频技术在农产品和食品加工中的应用[J]. 农业机械学报, 2010, 41(8):115 ~ 120.
Liu Yanhong, Yang Baoling, Mao Zhihuai. Radio frequency technology and its application in agro-product and food processing[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(8):115 ~ 120. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 164 页)

10 易阳, 张名位, 廖森泰, 等. 龙眼多糖超声波-酶解辅助提取工艺优化[J]. 农业机械学报, 2010, 41(5):131 ~ 136.  
Yi Yang, Zhang Mingwei, Liao Sentai, et al. Optimization of ultrasonic-enzyme-assisted extraction technology of polysaccharides from longan pulp[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(5):131 ~ 136. (in Chinese)

11 韩林, 张海德, 李国胜, 等. 槟榔籽总酚提取工艺优化与抗氧化活性试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(4):134 ~ 139.  
Han Lin, Zhang Haide, Li Guosheng, et al. Optimization of extraction technology and antioxidant activities of total phenol from betel nut seed [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4):134 ~ 139. (in Chinese)