

# 生姜产业链物联网信息感知系统研究\*

柳平增<sup>1</sup> 王秀娟<sup>1</sup> 马鸿渐<sup>1</sup> 陈栋<sup>1</sup> 张耘凡<sup>1</sup> 柳建增<sup>2</sup>

(1. 山东农业大学信息科学与工程学院, 泰安 201718; 2. 山东省万兴食品有限公司, 莱芜 271100)

**摘要:** 为实现生姜产业链的深度信息化, 构建了生姜产业链物联网信息感知系统。系统充分利用物联网透彻感知理念和方法, 设计了生姜产业链种植、仓储、加工、冷链物流及销售等信息感知终端, 实现了生姜产业链信息的无缝覆盖和自动采集。为便于产业链信息的现场查询与提交, 开发了生姜产业链通用信息采集仪, 采用 J2EE 架构构建了产业链信息管理平台, 实现了产业链感知信息的有效管理。长期运行结果表明, 感知系统信息采集全面准确, 系统运行稳定可靠。

**关键词:** 生姜 产业链 信息化 物联网信息感知系统

**中图分类号:** S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)12-0204-05

## Development of Perceptual System for Ginger Industry Chain Based on Internet of Things

Liu Pingzeng<sup>1</sup> Wang Xiujuan<sup>1</sup> Ma Hongjian<sup>1</sup> Chen Dong<sup>1</sup> Zhang Yunfan<sup>1</sup> Liu Jianzeng<sup>2</sup>

(1. College of Information Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China

2. Shandong Manhing Foods Corporation, Laiwu 271100, China)

**Abstract:** To achieve the deep informationization in ginger industry chain, an information perception system was built based on the internet of things. By making full use of the concepts and methods of thorough perception, some information collection terminals were designed for different stages of ginger industry chain, such as planting stage perceived terminal, warehousing stage perceived terminal, processing stage perceived terminal, cold chain transport stage and sales stage perceived terminal, etc. And the information of the ginger industry chain was acquired automatically with these terminals. In order to achieve real-time query and information submission, a general information collection instrument for ginger industry chain was developed. Moreover, an industrial chain information management platform was developed with J2EE architecture, which could be managed effectively. The result of long-running shows that the system could acquire information comprehensively and accurately, and the system was stable and reliable.

**Key words:** Ginger Industry chain Informationization Perceived system based on internet of things

### 引言

农业信息化是人类在农业生产活动和社会实践中, 通过通讯技术、网络技术和信息技术等为主要内容的高新技术, 充分有效地开发和利用农业信息资

源, 推动农业经济可持续发展和农村社会进步的过程。农业信息化是农业全过程的信息化, 是建设“高产、优质、高效、生态、安全”可持续发展的现代农业的迫切要求。生姜是一种典型的经济作物, 喜光耐荫, 不同生长期对光照要求不同; 属于浅根性作

收稿日期: 2012-12-17 修回日期: 2013-03-25

\* 国家星火重大专项资助项目(2011GA740001)、山东省科技发展计划资助项目(2011GNC11106)、山东省星火计划资助项目(2011GXH21004)和农业科技成果转化资金资助项目(2013GB2C600269)

作者简介: 柳平增, 副教授, 主要从事农业信息化、农业物联网及计算机智能测控研究, E-mail: pzliu@sdau.edu.cn

物,根系不发达,叶片保护组织不发达,不耐干旱;储藏时的环境要求也相对较高。基于物联网的生姜产业链信息感知系统,拟充分利用物联网透彻感知技术,建立覆盖生姜产业链的信息无缝感知系统,为生姜产业的标准化生产和加工奠定基础<sup>[1-6]</sup>。

## 1 种植阶段的信息感知

为探索生姜标准化种植管理模式,以提高产量和质量,生姜种植阶段需要感知的信息大体可分为生产环境信息、生姜长势信息及重要农事信息 3 类。

### 1.1 生产环境信息感知

农田是生姜发育和生长的物质基础,农田环境的优劣直接影响农产品的产量、质量和安全。种植阶段需感知的生产环境信息包括田块(田块大小、形状、面积及地貌等)、土壤养分、土壤墒情、气候环境及土壤污染等信息。具体分析影响生姜生长的环境因素时,种植阶段需要感知的信息包括空气温湿度、光照强度、风速、雨量、土壤墒情、土壤 pH 值、土壤温度及养分、土壤重金属及土壤农药残留等。在这些因素中,需实时监测的信息包括空气温湿度、光照强度、风速风向、雨量、土壤墒情、土壤温度及土壤 pH 值。分析种植阶段环境信息自动感知终端功能需求,设计感知终端结构示意图如图 1 所示<sup>[7-10]</sup>。

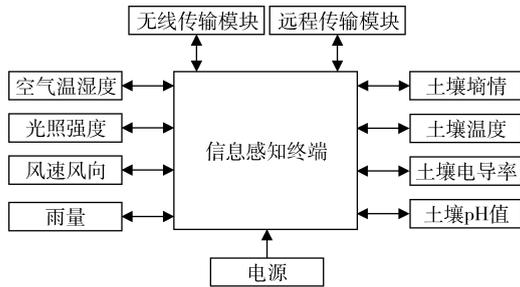


图 1 生姜种植阶段信息自动感知终端

Fig. 1 Perceived terminal for ginger planting stage

由图 1 看出,种植环节信息感知终端采用了模块化结构设计,系统由感知核心板、通讯模块及监测传感模块组成。其中感知核心板是感知终端的核心,感知核心板设计选用了 MSP430F5438 型微处理器。该微处理器为 16 位精简指令及架构,指令运行速度快,具有丰富的片内资源及较为强大的通信功能,且具有超低功耗特性。除微处理器外,核心板配置了复位电路、高低频晶振及定义好的标准 I/O 口基本电路,方便进行系统扩展。

种植阶段感知终端设计中,空气温湿度测量选用了 SLHT5-1 型传感器。该传感器工作电压为 3 V,两线数字信号输出。温度测量范围为  $-40 \sim$

$123.8^{\circ}\text{C}$ ,测量精度为  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ;相对湿度测量范围为  $0 \sim 100\%$ ,测量精度为  $\pm 4.5\%$ 。光照强度测量选用 ARN-GZ 型光照强度传感器,测量范围为  $0 \sim 200 \text{klx}$ ,输出信号为  $4 \sim 20 \text{mA}$ ,精度为  $\pm 3\%$ ;选用 QS-FS 型风速传感器,量程  $0 \sim 32.4 \text{m/s}$ ,输出信号  $0.4 \sim 2 \text{V}$ ;风向传感器型号为 QS-FX,测量范围为 16 个方向( $360^{\circ}$ ),测量精度  $\pm 5\%$ ,输出信号  $0.4 \sim 2 \text{V}$ ;选用 TW 型土壤温度传感器,测量范围为  $-30 \sim 70^{\circ}\text{C}$ ,测量精度为  $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$ ;雨量测量选用 JDZ05-1 型翻斗式雨量传感器;土壤湿度传感器为 FDS-100 型,土壤电导率传感器选用 TDR-4 型,土壤 pH 值传感器选用 JASP2801 型。

温度和雨量传感器输出数字量信号,接线如图 2 所示。其中,雨量传感器通过光电耦合器将信号传递到 CPU 引脚,以提高系统抗干扰性能。

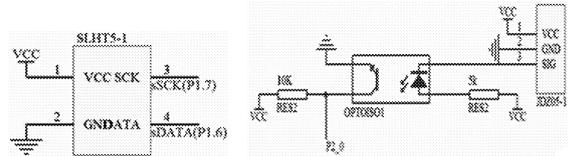


图 2 温度和雨量传感器连线图

Fig. 2 Temperature and rain sensor wiring diagram

其余传感器均为模拟量传感器,通过标准插座连接到 CPU 的 A/D 转换输入引脚上(图 3)。

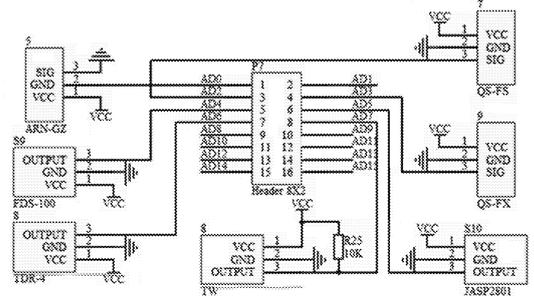


图 3 模拟量传感器连线图

Fig. 3 Analog sensor wiring diagram

无线传输模块选用 2.4 GHz 免授权 ISM 频带的第二代 ZigBee/IEEE802.15.4 射频收发芯片 CC2520,可实现最佳的连接性、共存性优异的链路运算性能。射频前端选用 CC2591 芯片,该芯片集成了可将输出功率提高 22 dBm 的功率放大器及可将接收机灵敏度提高 6 dB 的噪声放大器,以及平衡转换器、交换机、电感器和 RF 匹配网络等。无线传输模块的选用,便于组建无缝感知网络,实现种植阶段信息的透彻感知,并通过节点跳传实现感知信息的传输;远程传输模块主要完成信息的远距离传输,可通过电信网络将感知信息直接传输到远程服务器。模块选用的是 H7710 DTU。采用了太阳能电源供电方案。

## 1.2 生姜长势信息感知

作物长势信息是诊断作物营养缺失、分析和预测作物产量及进行人工调控的基础和依据。对作物长势进行感知的技术有遥感技术、光谱技术、化学定量分析技术、机器视觉技术等。其中,光谱技术具有简便、快捷、无损和精度高等优点,可快速检测作物水势、养分状况等信息。基于光谱的作物生理信息检测技术具有简便、快速、准确和无损等优点,可以快速检测生姜的叶水势、叶绿素含量、养分(N、P、K)状况等,可据此推测作物的长势和生命力。因此,生姜长势检测采用了多波段光谱监测技术。在已开发的农作物生理信息检测仪的基础上,添加典型波段光检测电路,并添加远程信息传输电路即构成了生姜长势信息感知终端。该终端通过设计生姜敏感波段光的发射和接收电路,基于目标光谱响应与波长间的变化关系揭示了光谱数据内蕴含信息。生姜长势信息感知终端结构如图4所示。信息传输电路选用了可直接将数据发送到服务器的GPRS H7710 DTU<sup>[11-12]</sup>。

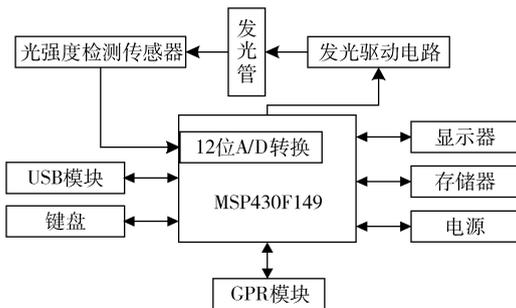


图4 生姜长势信息检测仪

Fig.4 Ginger growing information detector

生姜长势信息感知终端实现了生姜叶绿素含量、氮素含量及叶片水势的快速无损测定,测量值最大相对误差分别为0.12%、0.15%和0.21%。

## 1.3 重要农事信息感知

生姜生长过程中的种植、施肥、施药、浇水、病虫害防治、遮阴及收获等农事活动,直接影响着生姜产量和质量,也是生姜种植环节需要采集的重要信息。为便于农事信息的查询和采集,研制了生姜产业链通用信息采集仪。该采集仪可完成生姜产业链中重要信息的现场录入、现场查询、RFID标签读写及标签打印等功能,实现了生姜产业链无处不在的信息查询和采集。生姜产业链通用信息采集仪的结构如图5所示。

由图5看出,生姜产业链通用信息采集仪采用了模块化结构设计,由中央核心模块和各功能模块组成。核心板采用了MSP430F5438微处理器核心板。外围模块中,RFID模块和打印机主要完成产业

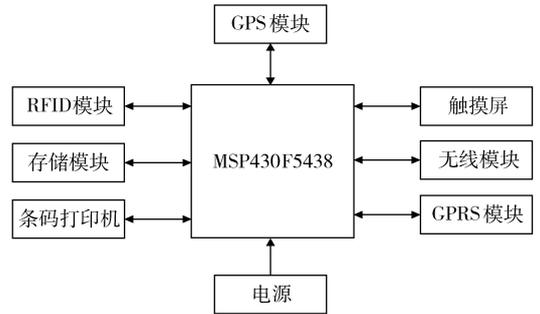


图5 生姜产业链通用信息采集仪

Fig.5 General information collector for ginger industry chain

链信息的标识和传递功能。其中,RFID模块1选用了880系列。880系列模块是基于ISO/IEC14443-1、-2、-3和ISO15693国际标准协议开发的非接触式智能卡读写模块。支持符合国际标准ISO14443-A-B、ISO15693及其兼容的信息卡,可定制各种接口,如TTL(UART)、RS232、RS485、SPI、Wiegand和ABA接口等;工作频率为13.56MHz,读卡距离约为5cm;工作电流小于100mA,读卡时间小于50ms;微型打印机选用的型号是XT4131A。微型打印机可根据编码规则进行一维码、二维码现场打印,便于实现生姜产业链信息以条码形式进行标识和传递。RFID和打印机均分别通过串口2和串口3与微处理器连接(图6)。

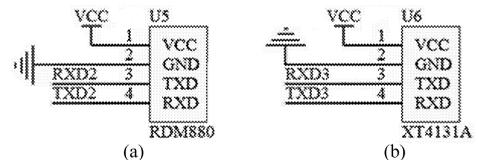


图6 RFID和XT4131A连接图

Fig.6 RFID and XT4131A connection diagram

(a) RFID电路 (b) 微型打印机电路

为便于现场信息的查询和录入,选用了触摸显示屏。触摸屏选用的是OCMJ8×10B LCD。模块内含GB2312 15×15点阵国标一、二级简体汉字和8×8点阵及8×16点阵ASCII字符,用户输入GB2312区位码或ASCII码即可实现文本显示,也可实现点阵图形显示功能;触摸屏选用的是FM784型四线电阻式触摸屏;存储模块选用了16M的FLASH EB25F16-100HIP型存储器;无线模块选用的是CC2520,便于通过无线网络实现信息的传递;GPS模块完成采集信息的定位功能,选用的是NS-87模块;GPRS便于远程信息输入及查询,同样选用H7710 DTU。GPRS和GPS模块连接电路如图7所示。

通用信息采集仪通过GPRS与服务器进行通讯,实现了产业链信息的实时提交和查询。提交信息时,以表格的形式完成信息的提交。通用信息采

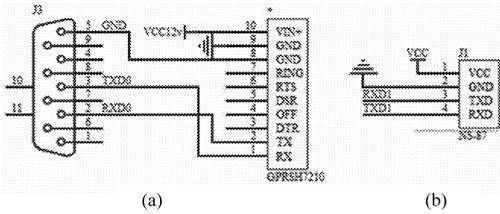


图 7 GPRS 和 GPS 连接电路

Fig.7 GPRS and GPS connection circuit

(a) GPRS 电路 (b) GPS 电路

集仪实现了产业链中种植、施肥、施药、浇水、病虫害、遮阴及收获环节重要农事活动信息的现场提交和查询。

## 2 仓储阶段信息感知

仓储阶段需要采集的信息包括存储地点、存储方式、存储时间、储藏药剂类型、使用时间及用量、储藏环境及负责人等信息。其中,储存环境是生姜存储质量的关键,特别是存储环境的温湿度及 CO<sub>2</sub> 浓度指标尤为重要。为实现仓储阶段温湿度及 CO<sub>2</sub> 指标的实时感知,设计仓储阶段信息自动感知节点结构如图 8 所示。

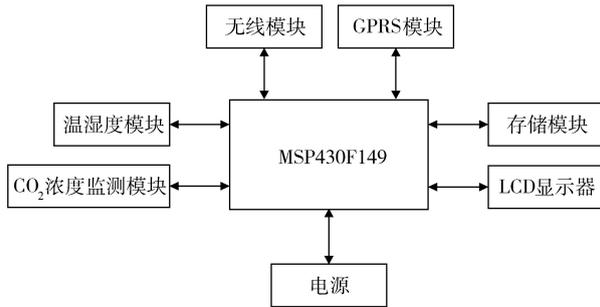


图 8 生姜仓储阶段信息感知终端

Fig.8 Information perception terminal for warehousing stage

由图 8 看出,系统设计也采用了模块化结构设计。其中,微处理器核心板选用了 MSP430F149 型微处理器。温湿度传感器型号为 KSW - V1,相对湿度精度为  $\pm 3\%$  R. H. (25 $^{\circ}$ C),温度精度为  $\pm 0.5^{\circ}$ C (0 ~ 50 $^{\circ}$ C); CO<sub>2</sub> 浓度监测选用的是 BMG - CO<sub>2</sub> - NDIR(2)防护型二氧化碳传感器,量程为 0 ~ 2 000、0 ~ 5 000、0 ~ 10 000 mg/kg 可根据需要选择,检测分辨率为  $\pm 10$  mg/kg,测量精度为  $\pm 5\%$ ,重复精度为  $\pm 1\%$ ;存储器选用了 16 MB 的 FLASH EB25F16 - 100HIP 型存储器;无线模块用于生姜大型储藏窖时的多点测量,便于形成多点、多窖监测的无缝感知网络,模块型号为 CC2520;LCD 用于监测参数的现场显示,选用的型号为 OCMJ4  $\times$  8C,GPRS 模块选用的是 H7710 DTU。

仓储信息上传后可以数字和图形 2 种形式显示,便于进行数据分析。当数据变化超出设定阈值

时,可通过短信及时报警,以便及时进行处理。上位机信息采集界面如图 9 所示。

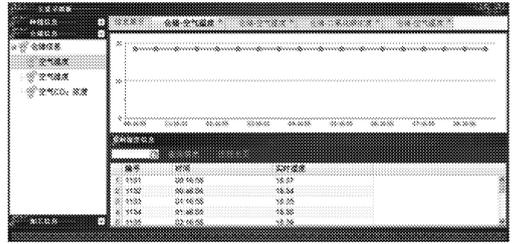


图 9 仓储阶段信息采集图

Fig.9 Information gathering diagram of warehousing stage

仓储阶段的其他信息可通过生姜产业链通用信息采集仪进行查询和提交。

## 3 加工、冷链物流及销售阶段信息感知

生姜加工阶段,为实现产品质量安全的有效监管,需采集的信息包括:加工批次、加工方式、加工质量、农药残留、微生物、添加剂、保质期、重金属、关键工序操作人、质检人员及负责人信息等。在加工过程中,不同的加工工艺和方法对环境的要求不同,一般来说,都需要检测空气温湿度。为便于加工环境空气温湿度信息的自动采集,研发了加工阶段无线信息感知网络。感知网络主要由感知和汇聚两种节点构成。感知节点采用了模块化结构设计,由 MSP430F149 型微处理器为核心板、配以 KSW - V1 型温湿度传感器、短距离无线传输模块 CC2520。汇聚节点完成区域内感知信息的收集,并把汇聚信息传输给服务器。汇聚器设计也以 MSP430F149 核心板为主要模块,配以 H7710 DTU、无线模块 CC2520 及存储器等,存储器选用了 16M 的 FLASH EB25F16 - 100HIP 型存储器,可完成感知信息的暂时保存。

冷链物流环节也直接影响生姜产品的质量。物流环节需采集的信息包括车次(包括车辆驾驶员)、物流时间、起始地、目的地、物流路线、车辆冷藏环境及负责人信息等。其中物流环境直接影响生姜产品的质量,因此冷藏环境信息的实时感知是非常重要的。物流信息感知终端设计也采用 MSP430F149 微处理器核心板,并配以 EB25F16 - 100HIP 型 FLASH 存储器、OCMJ4  $\times$  3C LCD 型显示器、KSW - V1 型温湿度传感器及 NS - 87 型 GPS 模块。GPS 模块可提供物流车辆的实时位置信息。

销售环节主要实现销售环境信息的自动感知。在冷链物流感知终端的基础上,只需去掉 GPS 模块即可。

## 4 生姜产业链信息管理平台

信息感知是前提,只有对信息进行有效管理、分

析和利用才能真正实现产业链信息化并达到提高产品质量安全的目的。J2EE 规范是目前较为完备的企业级开发架构,根据生姜产业链感知信息特点及产业链信息有效管理的需要,开发了以 SSH (Struts2 + Spring + Hibernate) 为主的轻量级开发技术为基础框架的生姜产业链信息管理平台,平台结构如图 10 所示。

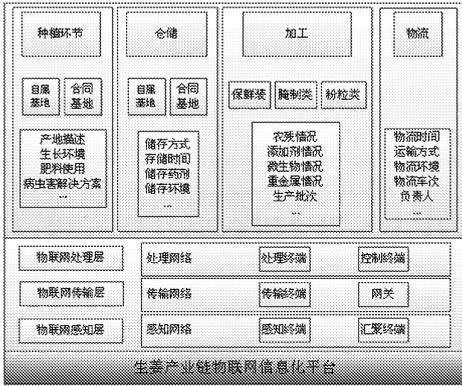


图 10 生姜产业链信息管理平台

Fig. 10 Platform of ginger industry chain information management

信息感知平台实现了产业链各环节感知信息的自动接收和管理,也能够方便完成通用信息采集仪发送数据及信息查询任务。这为进行产业链深度信息化奠定了坚实的基础。

### 5 系统应用

结合山东省万兴食品有限公司生姜产业链实际情况,开发了生姜产业链感知信息管理系统(图 11)。

系统信息涵盖了生姜种植、加工、仓储、运输及销售诸环节,实现了产业链信息的无缝覆盖。经过半年多的系统试运行表明,系统运行稳定可靠,信息采集方便快捷,采集信息完整细致。为公司进行产品质量安全控制、提高管理效率提供了很大便利。



图 11 生姜产业链信息管理系统

Fig. 11 Ginger industry chain information management system

### 6 结论

(1) 设计开发了涵盖种植、长势、仓储、加工、物流及销售各环节的信息感知终端,实现了各环节信息的自动感知。

(2) 设计了基于光谱技术的生姜长势信息感知终端,实现了生姜叶片叶绿素含量、氮素含量及含水率的自动获取。

(3) 设计了生姜产业链通用信息采集仪,实现了生姜产业链重要农事信息及质量安全相关信息的便捷采集与查询,实现了全产业链信息的无缝覆盖。

### 参 考 文 献

- 汪懋华. 关于精细农业试验示范与发展研究的思考[J]. 中国农业科技导报, 2003, 5(1): 7 ~ 12.  
Wang Maohua. Thinking through the experiment, demonstration and development research on precision agriculture[J]. Review of China Agricultural Science and Technology, 2003, 5(1): 7 ~ 12. (in Chinese)
- 郭庆然. 农业信息化推进农业产业化的策略研究[J]. 农业经济, 2009(4): 70 ~ 72.  
Guo Qingran. Research of strategy for agriculture information technology to promote agricultural industrialization [J]. Agricultural Economy, 2009(4): 70 ~ 72. (in Chinese)
- 高万林, 张港红, 李楨, 等. 关于农业信息化与农村信息化关系的探讨[J]. 中国农学通报, 2011, 27(1): 466 ~ 470.  
Gao Wanlin, Zhang Ganghong, Li Zhen, et al. The relation of agricultural informationization and rural informationization [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(1): 466 ~ 470. (in Chinese)
- 潘运国, 张连辉, 于素华. 农业生产领域信息化现状及对策分析[J]. 农业网络信息, 2011(9): 5 ~ 6, 86.  
Pan Yunguo, Zhang Lianhui, Yu Suhua. Research of the status quo and strategy of informatization in the field of agricultural production[J]. Agriculture Network Information, 2011(9): 5 ~ 6, 86. (in Chinese)
- H Auern Hammer. Mechanization and traceability of agricultural products: a challenge for the future [C] // Keynote Paper for 13th Members Meeting (Part 1) of Club of Bologna, Strategies for the Development of Agricultural Mechanization, Chicago, 2002.
- Sidney Cox. Information technology: the global key to precision agriculture and sustainability [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 36(2 ~ 3): 93 ~ 111.
- Masayuki N, Asushi S, Shizuo F, et al. Collaborative processing in Mote based sensor / actuator networks for environment control application [J]. Signal Processing, 2008, 88(7): 1 827 ~ 1 838.
- Amy J C Trappey, Tung-Hung Lu. Development of an intelligent agent system for collaborative mold production with RFID technology [J]. Robotics and Computer-integrated Manufacturing, 2007, 27(6): 363 ~ 370.

- Journal of Hygiene Research, 2011, 40(1): 46 ~ 49. (in Chinese)
- 6 Moss M O. Risk assessment for aflatoxins in foodstuffs [J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2002, 50(3):137 ~ 142.
- 7 Pervin B, Uemran A. Microwave irradiation of hazelnuts for the control of aflatoxin producing aspergillus parasiticus [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010, 11(1): 113 ~ 117.
- 8 Hakan K, Sebahattin N. Combined effect of pH and heat treatment on deradation of aflatoxins in dried figs [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2009, 33(Supp.1): 329 ~ 339.
- 9 Wang S, Liu H, Lin J, et al. Can ozone fumigation effectively reduce aflatoxin B<sub>1</sub> and other mycotoxins contamination on stored grain? [C]//10th International Working Conference on Stored Product Protection, 2010,425:582 ~ 588.
- 10 Tripathi S, Mishra H N. Enzymatic coupled with UV degradation of aflatoxin B<sub>1</sub> in red chili powder [J]. Journal of Food Quality, 2010, 33(Supp.1):186 ~ 203.
- 11 Mendez-Albores A, Arambula-Villa G, Loarea-Pina M G F, et al. Safety and efficacy evaluation of aqueous citric acid to degrade B-aflatoxins in maize [J]. Food and Chemical Toxicology, 2005, 43(2):233 ~ 238.
- 12 el Khoury Andre, Atoui Ali, Yaghi Joseph. Analysis of aflatoxin M<sub>1</sub> in milk and yogurt and AFM1 reduction by lactic acid bacteria used in Lebanese industry [J]. Food Control, 2011, 22(10):1 695 ~ 1 699.
- 13 Mohsen F, Shi Zhiqi, Alireza G, et al. Aflatoxin B<sub>1</sub> degradation by Bacillus subtilis UTBSP1 isolated from pistachio nuts of Iran [J]. Food Control, 2012, 23(1): 100 ~ 106.
- 14 陈晓青,孙娟,刘茜,等. 微波辅助提取虎杖中白藜芦醇苷[J]. 中南大学学报:自然科学版, 2007, 38(4): 686 ~ 691.  
Chen Xiaoqing, Sun Juan, Liu Qian, et al. Microwave-assisted extraction method for piceid from *Polygonum cuspidatum* Sieb et Zucc [J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2007, 38(4): 686 ~ 691. (in Chinese)
- 15 朱兴一,谢捷,忙怡丽,等. 微波辅助提取银杏叶萜类内酯的工艺研究[J]. 高校化学工程学报, 2009, 23(6): 1 080 ~ 1 083.  
Zhu Xingyi, Xie Jie, Mang Yili, et al. Study on microwave assisted extraction of terpene lactones from *Ginkgo biloba* L [J]. Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities, 2009, 23(6): 1 080 ~ 1 083. (in Chinese)
- 16 朱德文,岳鹏翔,王继先,等. 茶叶微波超声波耦合动态逆流浸提工艺[J]. 农业机械学报, 2010, 41(7): 136 ~ 140.  
Zhu Dewen, Yue Pengxiang, Wang Jixian, et al. Combined dynamic countercurrent extraction technology with microwave ultrasonic-wave extraction for tea [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(7): 136 ~ 140. (in Chinese)
- 17 王玉堂,李绪文,金海燕,等. 人参中人参皂苷的直接高压微波辅助降解[J]. 高等学校化学学报, 2007, 28(12): 2 264 ~ 2 269.  
Wang Yutang, Li Xuwen, Jin Haiyan, et al. Degradation of ginsenosides in root of *Panax ginseng* C. A. Mey. by high-pressure microwave-assisted extraction [J]. Chemical Journal of Chinese Universities, 2007, 28(12): 2 264 ~ 2 269. (in Chinese)
- 18 张小平,李元瑞,师俊玲,等. 微波处理对苹果汁中棒曲霉素的破坏作用[J]. 农业机械学报, 2006, 37(3): 64 ~ 67.  
Zhang Xiaoping, Li Yuanrui, Shi Junling, et al. Patulin destabilization in acid solution using microwave [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(3): 64 ~ 67. (in Chinese)
- 19 杨薇,欧又成,张付杰,等. 蘑菇热风、微波对流和微波真空干燥的对比试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(6):102 ~ 105.  
Yang Wei, Ou Youcheng, Zhang Fujie, et al. Comparative experiment on hot-air, microwave-convective and microwave-vacuum drying of mushroom [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(6):102 ~ 105. (in Chinese)
- 20 范会平,符锋,Mazza Giuseppe,等. 微波提取法对櫻桃、猕猴桃和枸杞多糖特性的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 355 ~ 360.  
Fan Huiping, Fu Feng, Mazza Giuseppe, et al. Effects of microwave extraction on characteristics of polysaccharides from cherry, kiwi and wolfberry [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(10): 355 ~ 360. (in Chinese)

(上接第 208 页)

- 9 韩安太,何勇,陈志强,等. 基于无线传感器网络的茶园分布式灌溉控制系统[J]. 农业机械学报,2011,42(9):173 ~ 180.  
Han Antai, He Yong, Chen Zhiqiang, et al. Design of distributed precision irrigation control system based on wireless sensor network for tea plantation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(9): 173 ~ 180. (in Chinese)
- 10 王新忠,顾开新,刘飞. 基于无线传感网络的丘陵果园灌溉控制系统[J]. 排灌机械工程学报,2011,29(4):364 ~ 368.  
Wang Xinzong, Gu Kaixin, Liu Fei. Hill orchard irrigation control system based on wireless sensor networks [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2011, 29(4): 364 ~ 368. (in Chinese)
- 11 柳平增,臧官胜,邓振民,等. 一种低成本作物叶绿素检测仪的研制[J]. 计算机测量与控制,2012,20(4):1 155 ~ 1 158.  
Liu Pingzeng, Zang Guansheng, Deng Zhenmin, et al. Development of a low-cost crop chlorophyll detector [J]. Computer Measurement & Control, 2012, 20(4): 1 155 ~ 1 158. (in Chinese)
- 12 毛罕平,高洪燕,张晓东. 生菜叶片含水率光谱特征模型研究[J]. 农业机械学报,2011,42(5):166 ~ 170.  
Mao Hanping, Gao Hongyan, Zhang Xiaodong. Spectral characteristics model of lettuce leaves' water content [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(5): 166 ~ 170. (in Chinese)