

# 基于物联网技术的土壤温度水分远程实时监测系统<sup>①</sup>的构建和运行

马力<sup>1</sup>, 王辉<sup>1</sup>, 杨林章<sup>1,2</sup>, 夏立忠<sup>1</sup>, 李运东<sup>1</sup>

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008;

2 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 南京 210014)

**摘要:** 物联网能够通过传感器和互联网将任何物体联系起来, 为进行实时跟踪监测、管理和研究提供了有效手段。该技术在土壤生态系统研究领域具有应用前景, 但在国内发展滞后亟待深入研究和拓展。本研究将物联网技术与土壤生态环境因子监测研究相结合, 选择三峡库首地区典型土壤和不同施肥条件下的脐橙为对象, 通过野外安装土壤剖面温度水分传感器、环境温湿度传感器、有线和无线数据传输网络硬件, 同时定制开发了一套远程监控管理软件平台, 构建了一个基于物联网的土壤环境远程实时监测系统。该系统是利用交叉学科优势对土壤生态因子监测和研究手段在时空范围上拓展和探索, 克服了传统原位采样和测试方法带来的滞后和误差, 提高了获取数据的效率和准确性。利用该系统特点通过进一步研究脐橙生长过程对土壤剖面温度水分实时动态的响应机制, 可深入探讨脐橙高效生产和提高水肥利用率的措施, 验证物联网技术在土壤生态因子研究中的准确性和可靠性。该系统的构建和运行, 将为三峡库区优质脐橙生产提供科学依据, 为土壤干旱预警、水土流失以及面源污染监测提供科学手段。

**关键词:** 物联网; 传感器; 土壤生态; 环境因子; 远程监测; 实时

**中图分类号:** S157; X84

作为土壤中重要的生态因子和环境要素, 温度和水分在土壤生态系统养分循环过程、植物根际营养环境及生长发育方面起到重要的作用<sup>[1]</sup>。围绕土壤生态因子监测和研究方面已有众多传统且成熟的手段和技术, 但诸如温度和水分等生态因子是易受周围环境影响而实时变化且不易控制的, 通过采样分析和原位测试等方法获得的数据往往存在滞后和误差, 造成研究结果与野外田间实际情况不符<sup>[2-4]</sup>。

基于物联网技术的无线传感网络为土壤信息的实时获取提供了准确有效的手段, 该技术能够把目标事物通过射频识别、信息传感、无线传输和互联网连接等手段, 实现智能监测和管理<sup>[5-8]</sup>。该技术可以不受地域时空限制, 对各土壤生态因子进行实时监测控制, 获得数据的精确度和效率都大大提高<sup>[9]</sup>。目前该技术在国内外发展处于起步阶段, 而在土壤环境因子监测研究领域尚未得到成熟应用<sup>[10-13]</sup>。近年, 国内外围绕土壤温度和水分方面已有大量的研究报道<sup>[14-16]</sup>。然而, 国内在获取土壤温度水分参数的手段上多为传

统原位采集和定点观测方法, 相比国外的一些研究场地和平台, 其研究手段相对落后, 亟待进一步改进和提高。

土壤温度和水分具有相互关联性, 精确获取土壤温度水分的实时动态对于得到准确的研究结果十分重要。构建本系统正是基于这个出发点, 旨在运用信息技术开展土壤温度水分研究方法的拓展和应用。基于物联网的土壤温度水分实时动态获取是信息技术与土壤生态学研究相结合的手段, 具有极高的数据采集频率和实时性, 可在已有研究的基础上进一步提高数据获取的效率、可靠性和准确性, 是对前人研究手段和现有成果的深入拓展和探索。

## 1 物联网技术在农业土壤监测领域的应用

物联网是把所有物品通过射频识别等信息传感设备与互联网连接起来, 实现智能管理的一种信息技术<sup>[17-18]</sup>。通过射频识别(radio frequency identification, RFID)、红外感应器、全球定位系统(global positioning

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(41301307)、土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放基金项目(0812201210)和中国科学院知识创新工程领域前沿交叉项目(ISSASIP1114)资助。

作者简介: 马力(1979—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事土壤生态环境智能监测技术与应用, 土壤养分循环与面源污染控制方面研究。  
E-mail: lma@issas.ac.cn

system, GPS)、激光扫描器等信息传感设备,按约定的协议,把任何物体与互联网相连接,进行信息交换和通信,以实现物体的智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络<sup>[19-20]</sup>。其包括的3个主要部分(传感器网络、信息传输网络和信息应用网络)赋予了物联网能全面感知信息、可靠传递数据、有效优化系统以及智能处理信息等特征<sup>[21-22]</sup>。

在现代农业领域,物联网技术可在监控农作物生长状况、土壤灌溉墒情、环境生态因子变化、畜禽水产养殖场环境状况以及农产品安全溯源等方面发挥作用。通过收集温度、湿度、养分、风力、大气、降雨、pH等土壤、植物、水体和环境数据信息,进行远程监控和管理,从而进行科学预测,防灾减灾,科学种植,提高农业生产和综合效益<sup>[3-4, 23]</sup>。基于无线传感网络的土壤墒情与温湿度等环境信息监测系统近年来时有报道,其中 ZigBee 技术由于模块功耗和成本较低,时延较短,组网节点容量较大,且安全可靠,因而在农业信息采集和远程监控中得到了广泛的应用<sup>[24-25]</sup>。物联网技术可广泛应用于温室等栽培设施的精准化管理中,采用不同的传感器和机械控制装置对设施温室中土壤含水量和氮磷钾元素含量,空气温湿度和光照强度, pH 和 CO<sub>2</sub> 浓度等影响作物生长的环境信息进行实时监测<sup>[26]</sup>, 控制系统根据监测到的实时数据将温室内水、肥、气、光、热等植物生长所必需的条件调节到最佳状态,以保证栽培作物的产量和品质,同时达到最佳的经济效益<sup>[27-28]</sup>。

物联网技术及其应用是一个新兴的交叉学科,目前美国在该类技术基础方面占有绝对的优势,欧盟和日韩电信运营商对于物联网业务关注度较高。该技术在我国的应用还处于起步阶段,与发达国家相比有较大差距<sup>[29-31]</sup>。国内的研究人员在理论研究方面,如对物联网的网络协议、算法、体系结构等方面,已提出了许多创新的想法与理论<sup>[32-33]</sup>;也存在很多问题需要进一步解决,如网络的节能优化,网络节点的合理布设,生命周期的延长,提高传输数据的安全可靠性等。同时该技术受到资金缺乏、技术装备落后、缺乏在各应用领域的专业指导途径等因素限制,其发展滞后且智能化水平相对较低,没有与相关控制设备进行联动,没有真正实现科学决策和智能控制<sup>[34]</sup>。物联网在我国农业生产上的应用远未达到规模化的程度,无论是科研还是产业化都需要做更多的工作<sup>[35-38]</sup>。因此,将物联网技术应用于农业资源利用、生态环境监控、农业精细管理及农产品安全溯源方面正在成为一个新的研究领域,同时具有广阔的发展前景<sup>[39-41]</sup>。

## 2 物联网监测系统软硬件的设计与构建

### 2.1 远程监测试验区域概况

本系统的构建和应用在位于湖北省秭归县的中国科学院三峡工程生态环境秭归实验站进行。秭归站位于 31°3.53'N, 110°40.55'E, 距离长江干流约 4 km, 距离三峡大坝约 40 km。实验站所在的三峡库首区域是长江流域典型的生态环境脆弱带,属于北亚热带湿润气候,山地丘陵面积占 97.3%,耕地大部分为坡地,紫色土约占耕地面积的 78.7%。年平均气温 16.7℃, ≥10℃的有效积温 5 584.2℃,年降雨量 1 013.1 mm,无霜期 306 天。站区海拔高度为 224 m,主要土壤为中性和石灰性紫色土。脐橙是该地区的主要经济作物<sup>[42]</sup>。实验站目前已建设了稳定运行的长期定位试验观测区,为本系统的构建提供了一个良好的平台。

### 2.2 监测系统的试验设计方案

本研究选择三峡库首地区的典型紫色土,建立了面积为 2 m × 2 m 的试验观测小区。研究共设 3 个处理,分别为不施肥对照(CK)、秸秆覆盖处理(SW)、有机肥菜饼处理(SC),每个处理 3 个重复,并设裸地土壤作为背景值参照,共 10 个实时观测小区。各试验小区土壤养分背景值保持一致。供试植物为当地种植脐橙优势品种纽荷尔脐橙(Newhall navel orange),选择生长期和长势一致的植株,每试验小区定植 1 株。分别在树冠滴水线以内根区埋设土壤温度水分传感器(图 1),不同施肥处理土壤剖面在 0~20、20~40 和 40~60 cm 3 个深度分别埋设传感器。在小区附近架设太阳能供电系统(图 2),以便为传感器和数据采集装置供电。同时将数据采集器通过有线和无线传输设备与远端监控设备连接,以实时在线获取不同处理土壤温度和水分数据。为获得试验区周边的环境背景值,在气象观测站的土壤剖面相同 3 个深度埋设土壤温度水分传感器,同时设置环境空气温湿度传感器。本系统布设的物联网系统硬件设施主要由:土壤温度



图1 土壤温度水分传感器

Fig. 1 Sensors of soil moisture and temperature

水分和环境因子传感器、信息采集装置、数据传输网络和 数据管理应用装置等几个部分构成,其技术原理框架如图 3 所示。



图 2 安装传感器和太阳能供电系统的小区

Fig. 2 Plots installed sensors and solar energy power supply system

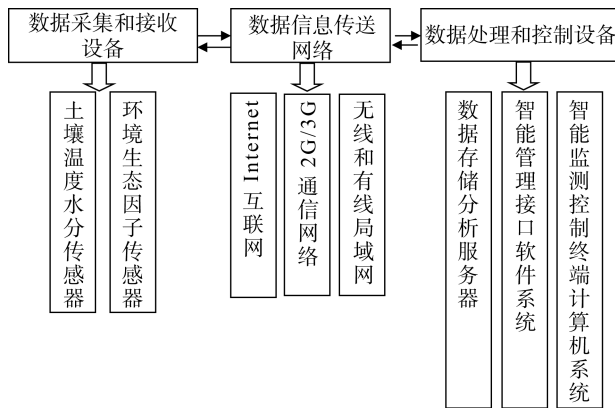


图 3 物联网远程监测技术原理框架图

Fig. 3 Principle framework of IOT remote monitoring technology

### 2.3 传感器的选择和测量原理

本研究采用的传感器为北京时域通 TDC220TH 土壤水分温度一体化传感器和 TDC302I 环境空气温湿度传感器。土壤水分传感器采用晶体振荡器产生高频信号,并传输到平行金属探针上,产生的信号与返回信号叠加,通过测量信号的振幅来测量土壤水分含量。在传感器探头外圈其中一个探针内安装了铂温度传感器,可以同时测量土壤温度。将土壤水分和温度传感器整合为一体化,可避免对土壤产生较大扰动,以获得更准确的测量结果。

TDC 土壤水分传感器测量的是土壤容积含水量,数学表达式为:  $\theta_v(\%) = (V_w / V_{\pm}) \times 100$ , 其中  $\theta_v$  为体积含水量,  $V_w$  为土壤水的体积,  $V_{\pm}$  为湿土体积。使用经典烘干法得到的土壤含水量为质量含水量,数学表达式为:  $\theta_m(\%) = (M_w / M_{\pm}) \times 100$ , 其中  $\theta_m$  为质量含水量,  $M_w$  为土壤水的质量,  $M_{\pm}$  为烘干土的质量。体积含水量与质量含水量之间换算关系为:  $\theta_v = \theta_m \times \rho$ , 其中  $\rho$  表示土壤体积质量(容重)。

通过出厂校准和实地测试,土壤体积含水量与传感器输出电流存在如下特征曲线,如图 4 所示。

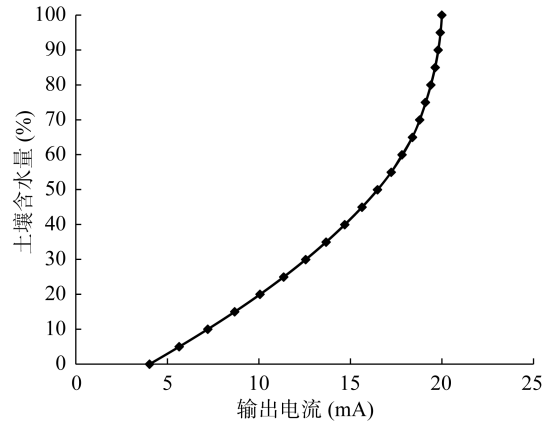


图 4 土壤水分传感器输出特征曲线

Fig. 4 Output characteristic curve of soil moisture sensor

### 2.4 物联网监测系统的硬件构建方案

运用物联网技术的土壤环境远程监测系统可连续在线监测不同试验小区土壤剖面温度水分及相关环境背景值数据,具有无人值守、实时性和高可靠性等特点。该系统包括 3 个部分:物联网传感器节点和采集终端,秭归野外监控站,南京监控数据中心。其系统硬件结构如图 5 所示。

**2.4.1 传感器节点和采集终端** 采集终端的作用是根据不同的测试目的,配置相应的测试仪器,将被测对象数据转换为标准信号,并通过数据采集器将测量结果传输到监控计算机。在本系统中,每个采集终端均配置土壤水分和温度传感器,分别实时测量土壤水分温度数值,测量结果通过标准信号传输到数据采集器。对于距离监控中心较近的采集点,通过有线数据采集器,将数据传输到监控计算机;而对于距离相对较远,不便于铺设线路的监控点,使用无线数据采集器和无线定向天线,将数据传输到监控计算机。

**2.4.2 秭归野外监控站** 秭归监控站主要配置无线网桥、网络交换机以及监控计算机等设备。其中无线网桥接收无线数据采集器发送的土壤剖面和环境监测实时数据,通过网络交换机发送给监控计算机。监控计算机中安装定制开发的监控管理软件平台,实现对监控数据的连续采集、查看和存储。

**2.4.3 南京监控数据中心** 为实现远程监控和提高系统的自动化水平,在南京建立一个远程监控数据中心,利用 VPN(virtual private network, 虚拟专用网)技术,具有访问权限的用户通过 Internet 即可远程监控秭归监控站中的所有历史和实时数据,不仅大大减少南京往返秭归的交通费,而且提高了监控的实时性和准确性。由于采用 VPN 技术,在保证数据的安全

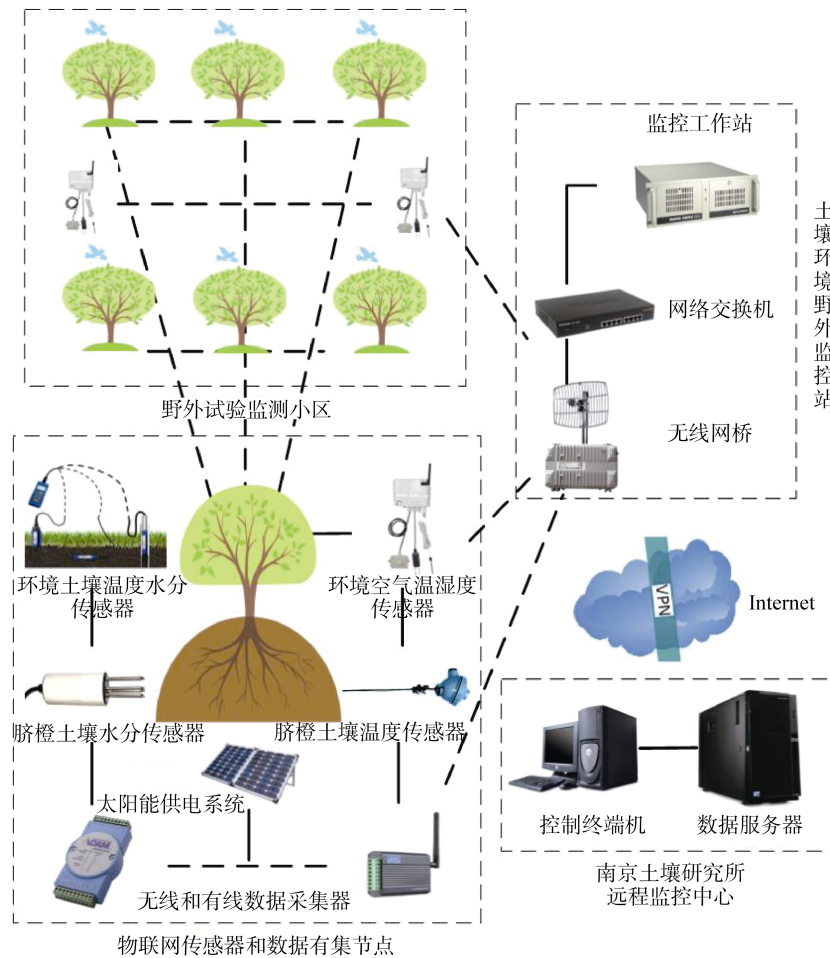


图 5 基于物联网的土壤环境远程监测系统硬件构架图

Fig. 5 Hardware architecture diagram of soil environment remote monitoring system based on IOT

性的同时，能够有效降低系统成本。通过在南京的终端计算机安装监控管理软件，可实现对监测数据的远程查看、转换导出和存储分析，同时对野外硬件设备的运行状况进行在线管理和智能控制。

### 2.5 物联网远程系统软件平台构建方案

数据服务器和终端计算机中安装定制开发的监

控系统软件平台，以实现远程控制，远程数据采集、数据库管理、数据分析、指令控制等功能。其结构和运行界面如图 6 和图 7 所示。该监控平台软件具有多种监控功能，如实时监控、统计报表、历史曲线显示、实时曲线显示和报警等，具有良好的人机界面，易于操作；配置了强大的实时数据库，可根据实际需求存

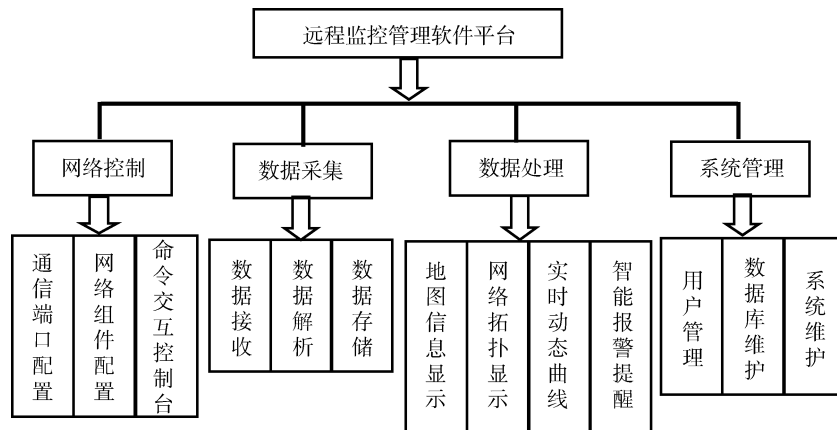


图 6 远程监控管理平台结构图

Fig. 6 Structure of remote monitoring management platform

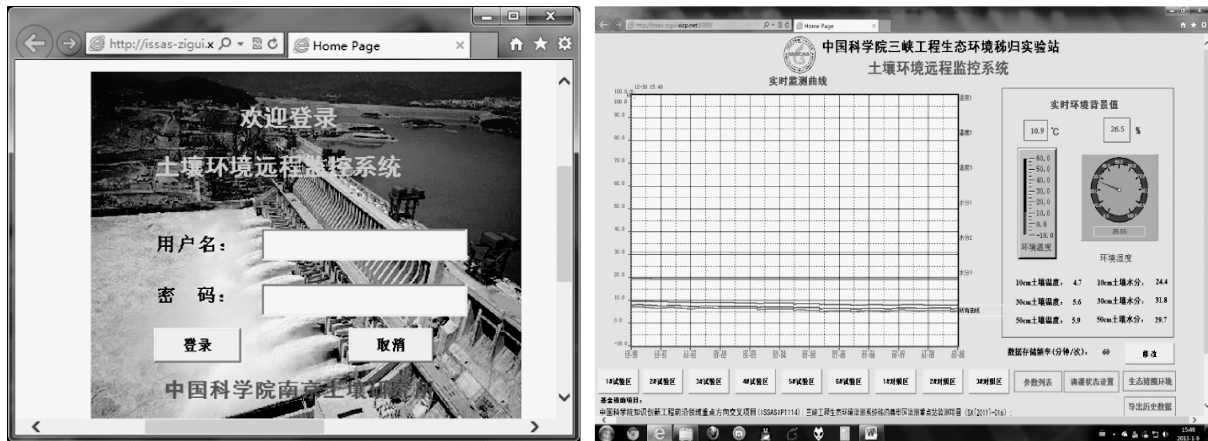


图 7 管理软件和数据库平台运行界面

Fig. 7 Operation interface of management software and database platform

储所采集的数据,如定时存储、变化存储等,保证数据可靠性的同时,减少对存储空间的要求;具有软件自动指令控制,基于后台数据库和相关指标设定值,实现智能决策功能,自动调控硬件设备的运行状态;具有良好的开放性,支持将数据存储为 Excel 等常用软件格式,便于后续对数据的使用;具有良好的扩展性,在不改变软件系统结构的前提下,仅需做少量的配置开发,即可增加对其他数据的监控,为整个系统的扩展提供可能性;同时提供数据的实时校正,确保监测结果的准确性和可靠性。

### 3 监测数据的实时获取与校验分析

本研究构建的土壤环境远程监测系统自 2012 年 10 月建设完成以来,已长期稳定运行,获得了大量实时观测数据。远程获取的实时数据可实现以秒为单位刷新,可随时查看各试验小区传感器的运行情况。系统数据的存储频率可根据需要以 min 为单位设置,现阶段设定的存储频率为 60 min,每天每个传感器探头可存储 24 个数据,在降雨集中期将提高数据存储频率,根据需要可获得不同时间频段的动态监测曲线,为试验数据的后续分析带来了很大便利。图 8 和图 9 为观测期间获得的环境温湿度和土壤温度水分背景值实时动态曲线。图 10 为秸秆覆盖处理、有机肥处理和对照小区土壤温度和水分实时动态曲线,其中环境温湿度动态分别给出了日、月和年变化曲线。从系统运行初期获得的结果来看,整个系统在软硬件运行稳定性和数据获取连续性方面已显现出其他手段不可比拟的优势,不同处理之间的差异得到清晰的体现,试验数据采集达到精准高效的程度,节省了大量的人力、时间和精力。在研究的后期阶段,可针对不同处理试验区不同时间频段的实时动态数据

进行深入研究。

通过基于物联网的无线传感网络技术获取土壤生态环境因子信息是一项新的交叉学科研究方法,为探讨该技术获得远程实时数据的准确性、可靠性和安全性,本项目同时设置部分处理的传统人工实测记录和采样分析模式,将人工实测数据与实时监测数据对照,进行数据汇总和可靠性分析。通过与人工观测数据比较分析和准确度检验表明,远程监测的数据精度远高于人工观测数据,土壤温度与环境气温的变化趋势一致,土壤水分的动态也与自然降水存在相应关系。远程监测数据达到了实测数据的准确度要求,能够满足野外试验站点日常监测和研究的需要。

### 4 结论与展望

(1) 本研究构建的土壤环境远程监测系统是一个基于物联网技术的软硬件相结合具有远程实时监测控制功能的野外科研和监测平台。对于本研究领域的其他野外试验和监测站点可起到了一定示范作用。

(2) 物联网技术与土壤生态环境因子监测和研究相结合,是利用学科交叉优势在研究方法上的探索和实践。将先进信息技术应用于传统土壤生态学研究,可拓展研究的时空范围。运用物联网技术的土壤环境远程监控系统的建设和应用,将有助于克服传统土壤采样分析和原位测试方法带来的滞后和误差,大大提高获取数据的效率和准确性。

(3) 本系统构建完成和稳定运行后,可进一步验证物联网技术在土壤生态因子监测和研究方面的精度和可靠性,通过研究脐橙生长过程对土壤剖面温度水分环境实时动态的响应机制,可进一步探讨脐橙高效生产和提高水肥利用率的措施。本研究构建的物联网监测系统现处于运行初期,对于已获取的实时数据有

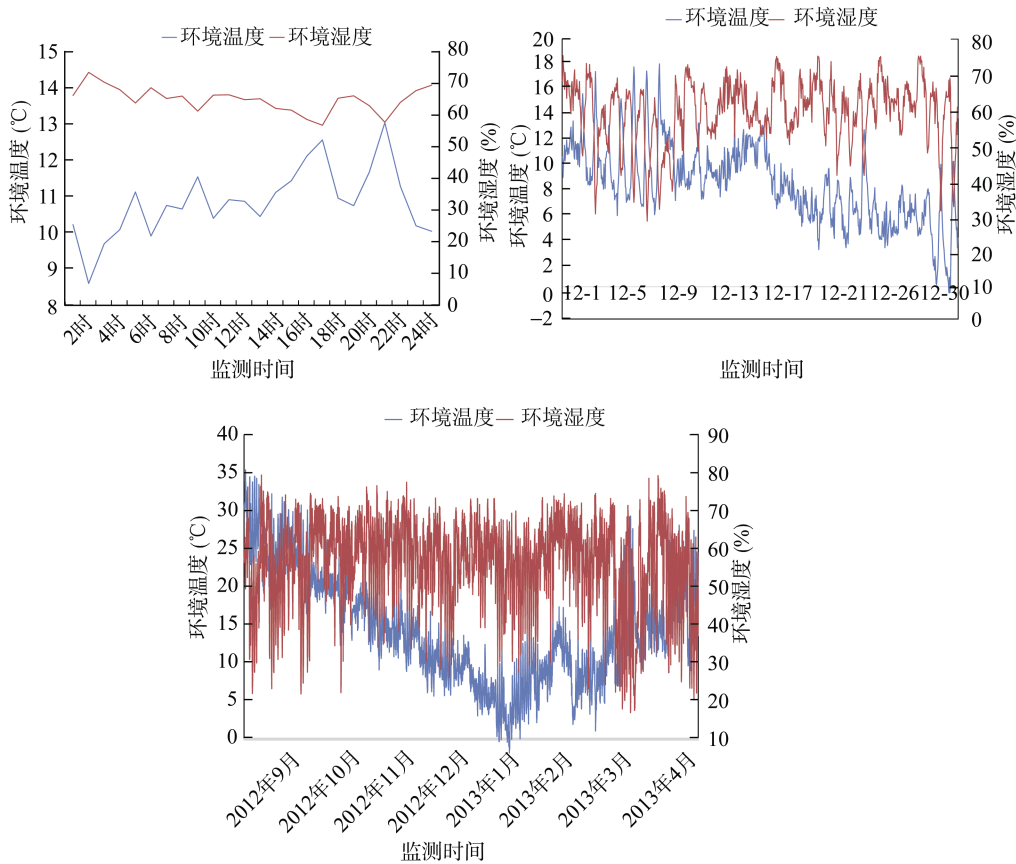


图 8 试验区环境温度和湿度背景值不同时频实时监测数据

Fig. 8 Real-time monitoring data of environment temperature and humidity background values

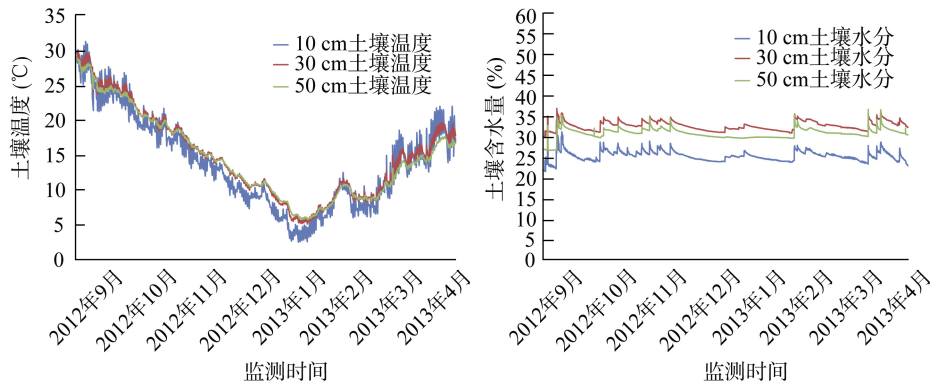


图 9 试验区环境土壤温度和水分背景值实时监测数据

Fig. 9 Real-time monitoring data of environment soil temperature and moisture background values

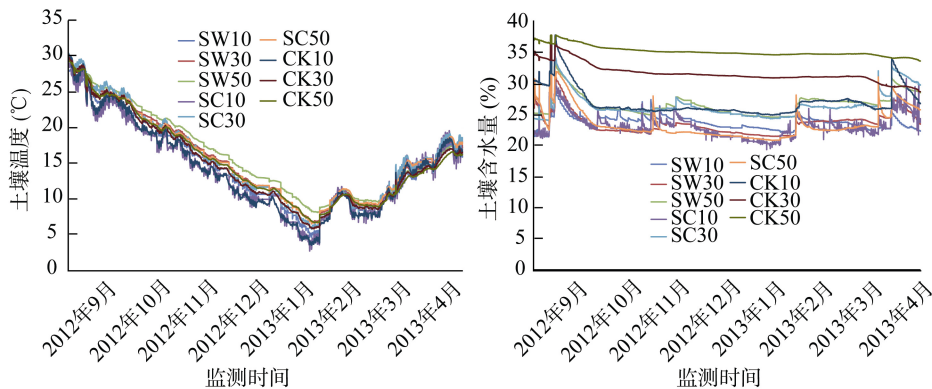


图 10 不同试验处理和深度土壤温度水分实时监测数据

Fig. 10 Real-time monitoring data of soil temperature and moisture in different treatments and depths

待于进一步的累积、检验和系统分析。

(4) 针对三峡库区特有的地理和生态环境特点, 该系统的构建和应用, 将为库区优质脐橙生产提供科学依据, 并为农业土壤干旱预警、水土流失及面源污染控制提供科学手段。

#### 参考文献:

- [1] 杨林章, 徐琪. 土壤生态系统[M]. 北京: 科学出版社, 2005, 10: 10-21
- [2] Shuai XY, Qian HY. Design of Wetland Monitoring System Based on the Internet of Things[J]. Procedia Environmental Sciences, 2011, 10(B): 1 046-1 051
- [3] 吴仲城, 徐珍玉. 农业物联网关键技术及其在农产品质量追溯系统中应用[J]. 中国科技投资, 2010(10): 41-42
- [4] 金攀. 物联网在设施农业方面的应用[J]. 技术装备, 2010(5): 40-41
- [5] Gubbi J, Buyya R, Marusic S, Palaniswami M. Internet of things (IOT): A vision, architectural elements, and future directions[J]. 2013, 29(7): 1 645-1 660
- [6] Rügea S, Ehrenbergera W, Arendb M, Geßnera P, Zimmermanna G, Zimmermann D, Bentrup FW, Nadler A, Ravehf E, Sukhorukova VL, Zimmermanna U. Comparative monitoring of temporal and spatial changes in tree water status using the non-invasive leaf patch clamp pressure probe and the pressure bomb[J]. Agricultural Water Management, 2010, 98(2): 283-290
- [7] Othman MF, Shazali K. Wireless Sensor Network Applications: A Study in Environment Monitoring System[J]. Procedia Engineering, 2012, 41: 1 204-1 210
- [8] 周小波. 基于物联网技术的设施农业在线测控系统设计[J]. 太原科技大学学报, 2011, 32(6): 182-185
- [9] Bonastre A, Capella JV, Ors R, Peris M. In-line monitoring of chemical-analysis processes using Wireless Sensor Networks[J]. Trends in Analytical Chemistry, 2012, 34: 111-125
- [10] Du CQ, Zhu SB. Research on urban public safety emergency management early warning system based on technologies for the Internet of Things[J]. Procedia Engineering, 2012, 45: 748-754
- [11] 林新霞, 郭建辉. 传感器技术发展与前景展望[J]. 工业仪表与自动化装置, 2011(2): 107-111
- [12] 李道亮. 物联网与智慧农业[J]. 农业工程, 2012, 2(1): 1-7
- [13] Wang N, Zhang NQ, Wang MH. Wireless sensors in agriculture and food industry—Recent development and future perspective[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2006, 50: 1-14
- [14] Yuin E. An infiltration model to predict suction changes in the soil profile[J]. Water Resource Research, 1998, 34(7): 1 617-1 622
- [15] Nassar IN. Thermally induced water movement in uniform clay soil[J]. Soil Science, 1996, 161(8): 471-479
- [16] 马东豪, 张佳保, 黄平. 确定 Brooks-Corey 土壤水力特性模型参数的垂直入渗方法[J]. 水科学进展, 2011, 22(2): 235-241
- [17] Miorandi D, Sicari S, Pellegrini FD, Chlamtaca I. Internet of things: Vision, applications and research challenges[J]. Ad Hoc Networks, 2012, 10(7): 1 497-1 516
- [18] Li Z, Wang N, Franzen A, Taher P, Godsey C, Zhang HL, Li XL. Practical deployment of an in-field soil property wireless sensor network[J]. Computer Standards & Interfaces, 2014, 36(2): 278-287
- [19] Domingo MC. An overview of the internet of underwater things[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2012, 35(6): 1 879-1 890
- [20] Mitton N, Simplot-Ryl D. From the Internet of things to the Internet of the physical world[J]. Comptes Rendus Physique, 2011, 12(7): 669-674
- [21] 国际电信联盟. ITU 互联网报告 2005: 物联网[M]. 国际电信联盟(ITU), 2005
- [22] Chen XY, Jin ZG. Research on Key Technology and Applications for Internet of Things [J]. Physics Procedia, 2012, 33: 561-566
- [23] Roman R, Alcaraz C, Lopez J, Sklavos N. Key management systems for sensor networks in the context of the Internet of Things [J]. Computers & Electrical Engineering, 2011, 37(2): 147-159
- [24] 周宇, 景博, 张劫. 基于 ZigBee 无线传感器网络的嵌入式远程监测系统[J]. 仪表技术与传感器, 2008(2): 47-49
- [25] 劳凤丹, 余礼根, 滕光辉, 朱骏君. 设施农业 3G+VPN 远程监控系统的设计与实现[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(2): 155-159
- [26] Vougioukas S, Anastassiou HT, Regen C, Zude M. Influence of foliage on radio path losses (PLs) for wireless sensor network (WSN) planning in orchards[J]. Biosystems Engineering, 2013, 114(4): 454-465
- [27] Dong X, Vuran MC, Irmak S. Autonomous precision agriculture through integration of wireless underground sensor networks with center pivot irrigation systems[J]. Ad Hoc Networks, 2013, 11(7): 1 975-1 987
- [28] 徐丹华, 戴景双. 传感技术的发展及在现代农业中的应用[J]. 农业工程, 2011, 1(3): 33-36
- [29] McKinion JM, Turners SB, Willers JL, Jenkins JN, McDade J. Wireless technology and satellite internet access for high-speed whole farm connectivity in precision agriculture[J]. Agricultural Systems 2004, 81(3): 201-212
- [30] 李琳. SIM 卡在物联网环境下应用的新思考[J]. 电信技术, 2010(1): 19-21
- [31] 张长利, 沈维政. 物联网在农业中的应用[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(5): 1-5
- [32] Nolz R, Kammerer G, Cepuder P. Calibrating soil water potential sensors integrated into a wireless monitoring network[J]. Agricultural Water Management, 2013, 116(1): 12-20
- [33] 张航. 面向物联网的 RFID 技术研究(硕士学位论文)[D]. 上海: 东华大学, 2011

- [34] 阎晓军, 王维瑞, 梁建平. 北京市设施农业物联网应用模式构建[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 149-154
- [35] Zhang RB, Guo JJ, Zhang L, Zhang YC, Wang LH, Wang Q. A calibration method of detecting soil water content based on the information-sharing in wireless sensor network[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 76(2): 161-168
- [36] 夏晶. 物联网技术在现代农业中的应用[J]. 电脑知识与技术, 2011, 35(7): 9 091-9 093
- [37] 陈明, 王锁柱. 物联网的产生与发展[J]. 计算机教育, 2010, 12(6): 1-8
- [38] 朱晓妹. 物联网技术在现代农业信息化中的应用研究[J]. 沈阳师范大学学报(自然科学版), 2010, 28(3): 391-393
- [39] 韩安太, 郭小华, 吴秀山. 温室环境控制无线传感器网络的服务质量管理[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 216-220
- [40] Rehman AU, Abbasi AZ, Islam N, Shaikh AZ. A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture[J]. Procedia Environmental Sciences, 2011, 11: 558-565
- [41] 潘根兴, 高民, 胡国华. 应对气候变化对未来中国农业生产影响的问题和挑战[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(9): 1 707-1 712
- [42] 杨林章, 董元华, 马毅杰. 三峡库首地区土地资源潜力与生态环境建设[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007: 2-12, 172-194

## Construction and Operation of Soil Temperature and Moisture Remote Monitoring System Based on Internet of Things (IOT)

MA Li<sup>1</sup>, WANG Hui<sup>1</sup>, YANG Lin-zhang<sup>1, 2</sup>, XIA Li-zhong<sup>1</sup>, LI Yun-dong<sup>1</sup>

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China; 2 Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** Internet of Things (IOT) technology can link any object through the sensing equipment and Internet, and achieve real-time tracking monitoring, management and research functions. This method has a wide application prospect in the research field of soil ecosystem, but development of IOT technology in domestic lags behind and needs further research and application. In this research, IOT technology was combined with monitoring of soil ecological environment factors, and a soil environmental remote real-time monitoring system was built. Typical soil in the head part of the Three Gorges Reservoir (TGR) and navel oranges under different fertilizer treatments were selected as the study objects. The system based on the IOT technology included water and moisture sensors in the soil profile, environment temperature and humidity sensors, wired and wireless data transmission network hardware, and custom developed software platform. With the interdisciplinary advantage, the system is an exploration and development of time and space scope of the soil ecological factor monitoring and research techniques. The system can decrease the lag and error in traditional sampling and in situ testing method, and improve the efficiency and accuracy of data acquisition. Through monitoring the responses of navel orange growth process on soil profile temperature and humidity real-time change and its influence mechanism, we can further explore the effective mode of improving the utilization ratio of water and fertilizers and verify the accuracy and reliability of IOT technology in the research field of soil ecological system. The construction and operation of the system can provide a scientific basis for the quality navel orange production in the TGR area and explorer effective means for the agricultural soil drought warning, soil erosion and mountain agricultural non-point source pollution monitoring.

**Key words:** Internet of Things (IOT), Sensor, Soil ecology, Environment factor, Remote monitoring, Real-time