

基于 FDR 的土壤原位水盐一体传感器设计与应用

郭佳¹, 王振营², 郑育锁³, 刘志杰³, 袁枫², 文晓明²

(1. 北京邮电大学 计算机学院, 北京 100876; 2. 沈阳巍图农业科技有限公司,
沈阳 110023; 3. 天津市土壤肥料工作站, 天津 300061)

摘 要: 土壤中的水盐含量及其动态演化与农田生产及生态环境等密切相关。土壤水盐含量受到作物、土壤和栽培技术等多重因素的影响, 其动态监测是业界的一大难题。该文结合水盐含量影响土壤介电特性这一特性, 通过运用新型频域反射、分频技术, 进行高频段土壤水分以及低频段土壤水盐含量的测定, 再采用基于土壤质地的水盐标定方法, 排除水分对盐分数据的影响, 从而实现土壤孔隙水盐含量的同时测定。从 2013 年至今, 将 FDR 传感器在天津市 18 个监测点的应用情况进行了分析, 证明了该种传感器工作的有效性和准确性。

关键词: 土壤; 原位; 介电特性; 频域反射法; 水盐一体

中图分类号: TH765.5

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)05-0376-03

Design and Application of Integrated Water and Salt Sensor in Situ Soil Based on FDR

GUO Jia¹, WANG Zhenying², ZHENG Yusuo³, LIU Zhijie³, YUAN Feng², WEN Xiaoming²

(1. School of Computer, Beijing University of Post and Telecommunications, Beijing 100876, China; 2. Shenyang Weituo Agricultural Science and Technology Co., Ltd., Shenyang 110023, China; 3. Tianjin Station of Soil and Fertilizer, Tianjin 300061, China)

Abstract: The contents and dynamic evolution of soil water and salt are closely related to agricultural production and the ecological environment. The dynamic monitoring of soil water and salt is a big challenge in the practice due to multiple impact factors such as the crop, soil and cultivation technique. Based on the results of the present study of soil water and salt content effects on the dielectric properties of the soil by using the model, frequency domain reflection technology, using frequency division technology, the high frequency of soil moisture measurement, frequency of soil water and salt content of the comprehensive measurement, and the soil texture calibration method based on elimination effect of water on salinity data, the simultaneous measurement of soil pore salt and water content can be realized. The analysis of the sensor in the application of the 18 monitoring points in Tianjin City has demonstrated the effectiveness and accuracy of the sensor since 2013.

Keywords: soil; in situ; dielectric properties; frequency domain reflection method; salt content; water content; water and salt content

土壤中的水分和盐分含量及其动态演化与农田灌溉、农业生产以及生态环境研究等密切相关。由于土壤含盐量对植物生长的重要影响, 如何在作物生长不同时期, 对耕作区的土壤中水盐含量进行连续测量, 了解土壤水盐分布及运移规律, 对制定农田有效灌溉和施肥措施等科学管理具有重要意义。频域反射技术(FDR), 是近年才兴起的一种土壤水盐测量方

法。它是利用电磁脉冲原理, 根据电磁波在土壤中传播频率来测试土壤的表观介电常数, 可以测得土壤溶液含水量和土壤电导率值。与探针式电容测量法和 TDR 测量法相比, 它具有几个优点: 频域反射技术分辨率高, 线性度好; 水盐联动, 同时测量; 仪器模块化设计, 维护简单; 无污染, 原位测量, 不破坏土层^[1-3]。针对频域反射技术(FDR)对土壤水盐含量的响应关

收稿日期: 2016-06-01

修回日期: 2016-06-28

资助项目: 天津市财政专项(20161001); 科技型中小企业技术创新项目(13C26212100963)

第一作者: 郭佳(1994—), 男, 天津人, 本科生, 主要从事网络技术、物联网技术、土壤水盐传感器研究。E-mail: Guoyunfengtjsf@126.com

通信作者: 王振营(1976—), 男, 辽宁沈阳人, 博士, 副研究员, 主要从事精准农业、3S 技术推广应用及节水灌溉工程产品研发等研究。
E-mail: chinacooperation@163.com

系,很多学者做了大量研究。但在水盐监测模型研究方面,综合考虑不同土质、盐分、含水量等因素来建立模型尚未成熟,使得 FDR 传感器在盐分测量方面受到限制。本文在现有成果的基础上,通过频域反射原理分析,探索在 FDR 测量土壤盐分中,土壤水分和质地对盐分测量精度的影响。

1 传感器工作原理及设计方案

1.1 传感器工作原理

FDR 的探头主要由一对电极组成一个电容,其间的土壤充当电介质,电容与振荡器组成一个调谐电路。传感器电容量与两级间被测介质的介电常数成正比关系。当土壤中的水分、盐分增加时,其介电常数相应增大,测量电容值也随之上升,导致测量频率也会发生变化,从而测得土壤的含水量、含盐量。

1.2 传感器硬件设计方案

基于 FDR 的土壤原位水盐一体传感器,是专为原位农田土壤各土层水盐含量动态监测而设计,因此在设计中考虑到田间传感器的维护保养,对原位土层的不干扰、不破坏,配合野外长期定点监测等需求,采用太阳能供电系统进行供电,数据存储至本地储存装置(液晶控制器)或采用无线移动网络 GPRS 进行数据传输,存储至云端数据库。

2 材料与方法

2.1 试验材料

供试土壤为采集于东北农田壤土,土壤容重 1.2 g/cm^3 。将采集的土壤风干、碾压、过筛后备用。

2.2 试验设计与方法

试验土柱高 50 cm ,直径 20 cm ,中间放置一根 FDR 的土壤原位水盐一体传感器测管,底部有排水孔若干。结合土壤现有含水量及样柱体积,按照 1.2 g/cm^3 的容重,每 10 cm 为一层,分层均匀装入样柱中,并将土壤压实,制作成标准样品土样,土层高 40 cm 。先对空气值、水值、干土壤值和饱和土壤值进行测定,用滴灌系统模拟田间水肥一体化灌溉,直至样柱土壤水分饱和。待水盐运移 24 h 后,使用传感器测量第一土层的 ADsH(高频段土壤中设备 AD 模数)和 ADsL(低频段土壤中设备 AD 模数),对土柱第一层土壤进行样品采集,用烘干法测量土壤含水量,并测量土壤土水比 $1:2$ 的电导率值 $\text{EC}_{1:2}$ 。每隔两周进行下一土层的 ADsH 和 ADsL 的测定,并采集土壤样品,测定土壤含水量以及土水比 $1:2$ 的

电导率值 $\text{EC}_{1:2}$ 。采用 Excel 2010 和 SPSS 17.0 软件对试验数据进行分析 and 处理。

3 结果分析与传感器应用

3.1 土壤体积含水量测量结果

通过使用 FDR 传感器测量空气和纯水,可以得到介质为空气和水的感应频率,再计算归一化频率 SF,并通过幂指数函数与土壤体积含水量建立模型的方式^[4-5]。因此,本设计采用此方法用传感器高频段输出的 AD 模数建立土壤水分标定曲线,结果如下:

$$\text{SF} = \frac{(\text{ADaH} - \text{ADsH})}{(\text{ADaH} - \text{ADwH})} \quad (1)$$

$$\Theta = a_1 \text{SF}^{b_1} \quad (2)$$

式中:ADaH 为高频段空气中设备 AD 模数;ADsH 为高频段土壤中设备 AD 模数;ADwH 为高频段纯水中设备 AD 模数; a_1 为土壤体积含水量标定曲线系数; b_1 为土壤体积含水量标定曲线幂指数。

图 1 显示土壤体积含水量标定结果,可以看出土壤体积含水量与归一化频率之间可以使用幂指数函数进行表达,其曲线数据决定系数达到 0.96 。该传感器水分测量的分辨率为 0.1% ,精度标定后可达 $\pm(1\% \sim 3\%) \text{ m}^3/\text{m}^3$,表明使用 FDR 可以很好地测定土壤水分。

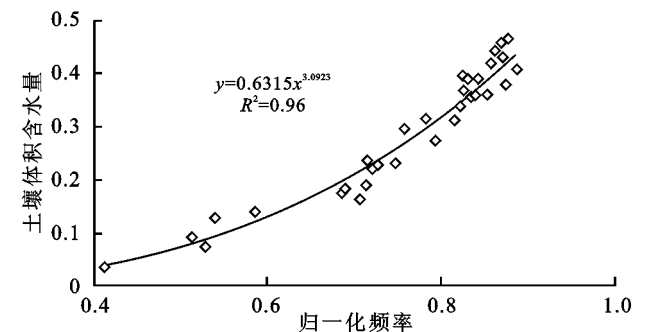


图 1 土壤体积含水量标定曲线图

3.2 土壤盐分测量结果

在进行盐分测量时,需要去除土壤质地所代表的一系列背景值,为空气值、水值、干土壤值和饱和土壤值。通过数据分析,本设计引入 VSIC 的概念,用于扣除不同土壤背景值对盐分测量的影响。VSIC 定义为体积盐离子含量(Volume Salt Ion Content),由 LC 振荡电路在不同介质中输出的 AD 模数计算得到,其计算公式为:

$$\text{VSIC} = \frac{[(\text{ADaL} \times 3 - \text{ADaH} - \text{ADdsH} - \text{ADdsL}) - (\text{ADsL} \times 3 - \text{ADsH} - \text{ADssH} - \text{ADssL})]}{[(\text{ADaL} \times 3 - \text{ADaH} - \text{ADdsH} - \text{ADdsL}) - (\text{ADsL} \times 3 - \text{ADsH} - \text{ADssH} - \text{ADssL})]}$$

$$\frac{(ADwL \times 3 - ADwH - ADssH - ADssL)}{10000} \quad (3)$$

将 VSIC 值与土壤 $EC_{1:2}$ 值通过以下公式获得土壤盐分数据的标定模型:

$$EC_{1:2} = a_2 \cdot VSIC + b_2 \quad (4)$$

式中: a_2, b_2 为土壤盐离子标定曲线常数;

图 2 显示土壤 $EC_{1:2}$ 标定结果,可以看出土壤电导率与 VSIC 之间呈现线性关系,其曲线数据决定系数达到 0.805 5。传感器盐分测量的分辨率可达 0.001 mS/cm,精度 $\pm 8.9\%$ (介于 4%~45% 的水含量和 0~7 mS/cm 电导率之间)。说明使用 FDR 技术对土壤盐分的测量结果也较好。

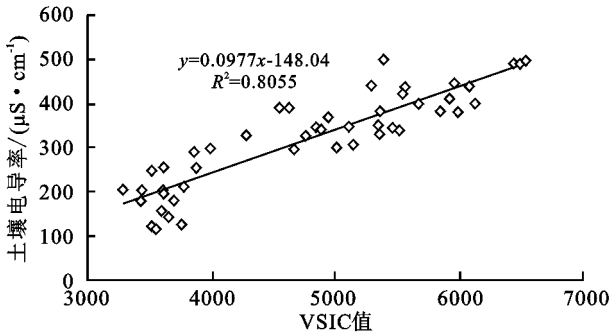


图 2 土壤 $EC_{1:2}$ 标定曲线图

3.3 传感器应用实例

天津市土壤肥料工作总站于 2013 年开始进行天津市土壤墒情监测与预警系统 (Soil Moisture Monitoring And Warning System) 的建设。该系统由田间监测终端、网络信息传输端 (GPRS 传输、WIFI, INTERNET 等)、用户使用端 (包括 PC 机 B/S 系统、智能手机、移动电脑等) 组成,并可外接报警设备、打印设备,实现墒情信息的智能监测和高效利用。其田间监测终端,主要传感器即为本文中的基于 FDR 的土壤原位水盐一体传感器。

系统在天津市全市范围内布设 18 个土壤水盐监测点,每个监测点布设 4 层土壤水盐一体传感器,分别位于 20 cm,40 cm,60 cm 和 80 cm 土层,每 1 h 采集一次数据,通过 GPRS 网络上传至系统数据库。通过两年的数据积累,可获得多种土壤属性、作物需

水量、土壤内肥料溶解和施肥效果等专业数据。其数据准确性强和精度高,结果可靠,可以提高工作站工作效率,节省工作成本。

4 小结

传统的土壤水盐测定方法过程繁琐,费时费力,尤其是不能实现土壤水盐含量的快速诊断以及动态连续性测定。基于 FDR 的原位测定土壤水盐方法直接测定土壤溶液电导率,经过校正,具有精度高、响应快等优点,能够实现田间尺度上土壤水盐数据的快速采集与动态监测,这已在天津市的 18 个监测点监测数据中得到应用。

基于 FDR 的土壤水盐原位测定技术具有广阔的发展前景,预计将在以下几个方面有较大的发展:发展自动水盐调控系统,并结合 3S 技术,研究不同尺度土壤水盐运移和空间变异规律,实现田间和区域尺度的土壤水盐快速诊断和预报;针对土壤面源污染单一盐离子,如氮离子的动态监测,即基于多频段和土壤质地的农田排水氮磷动态监测与标定模型,从田间灌溉施肥管理的角度,进行面源污染的防治;针对不同农田种植环境的作物精准施肥量计量与效果判断技术,实现真正的测墒、测肥动态管理、精准控制管理。

参考文献:

[1] 胡建东,赵向阳,李振峰,等. 参数调制探针式电容土壤水分传感器技术研究[J]. 传感技术学报,2007,20(5): 1057-1060.

[2] 卢启福,吴慕春,胡月明,等. 基于 TDR-3 的土壤水分传感器标定模型研究[J]. 传感技术学报,2009,22(7): 1066-1070.

[3] 黄飞龙,黄宏智,李昕娣,林金田. 基于频域反射的土壤水分探测传感器设计[J]. 传感技术学报,2011,24(9): 1367-1370.

[4] 熊文成. 含水含盐土壤介电特性及反演研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院(遥感应用研究所),2005.

[5] 刘蓓. 土壤含盐量和温度对 FDR 土壤水分传感器检测模型的影响研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学,2014.