

基于 WebGIS 的盐碱地水盐动态监测系统^①

张 治^{1,2}, 高明秀^{1*}, 朱昌达¹

(1 山东农业大学资源与环境学院/土肥资源高效利用国家工程实验室, 山东泰安 271018;

2 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430072)

摘 要: 开发利用盐碱地是补充耕地、保障国家粮食安全的重要途径。加强水盐动态监测是掌握水盐运移规律, 及时采取针对性调控措施改良利用盐碱地的基础。本文基于 WebGIS 平台, 采用微软 Silverlight 技术, 设计开发了盐碱地水盐动态监测系统, 实现了地块信息查询、水盐数据统计分析、水盐空间分析、水盐动态趋势分析及预警等功能, 并在山东省无棣县盐碱农田进行了应用。结果表明, 该系统可以辅助用户及时、全面掌握盐碱农田水盐动态信息, 为田间管理提供决策支持。

关键词: 盐碱地; 水盐运移; 动态监测系统; WebGIS

中图分类号: S126 **文献标识码:** A

土地盐碱化是影响世界经济发展和生态环境的主要灾害因子之一, 及时监测和掌握水盐动态运移规律是改良利用盐碱地的重要前提^[1-3]。因此, 水盐动态监测研究始终是盐碱地研究的热点之一, 多年来取得较多研究成果^[3-7]。传统的监测方法一般是通过野外采样、实验室化验获取水分、盐分数据进行统计分析^[1,3-7], 但这种方法成本高且费时费力, 难于取得快速、及时的效果。随着遥感技术的发展, 大面积估测土壤水分、盐分取得较大进展, 但遥感主要面向区域, 且受到气象因素及影像取得条件等诸多限制^[8-9]。近年来通过高光谱技术反演土壤水盐含量受到重视^[10-14], 与遥感结合可实现不同尺度的监测, 但仍受到成本和技术要求高的限制, 难于广泛应用于实际^[15-17]。因此, 如何构建集数据获取、分析和预警于一体的监测系统, 将研究成果真正投入生产应用是当前面临的重要课题。目前来看, 国内外已经开发了很多用于土壤墒情监测的系统^[18-19], 主要是通过固定站点监测、移动式测量和遥感监测 3 种方式来获取墒情数据。张晓月等^[18]基于 VC++ 及 Fortran 程序语言设计了辽宁省农田土壤墒情监测与预报系统, 王东旭等^[19]开发了基于遥感影像温度-植被干旱指数(TDVI)反演的云南省土壤墒情监测系统。这些系统多是较大尺度的宏

观墒情监测。在盐碱地水盐联合监测方面, 有学者基于多种方式获取水盐数据, 开发了盐碱地水盐动态监测系统^[9,20]。徐力刚等^[20]运用 Microsoft Access 97 建立了基于 Windows 平台的土壤水盐动态数据库, 可进行数据管理、查询和基本分析; 林蔚等^[9]开发了监测滨海盐土棉田棉花和土壤水、盐状况的遥感监测系统。总的来看, 不管是单纯的墒情监测, 还是水盐状况联合监测, 均存在不能够大面积应用, 且人力物力财力耗费的缺点。基于此, 本文旨在针对环渤海低平原区土地瘠薄盐碱、水资源匮乏, 土壤水分、盐碱等影响作物生长的关键因子时空变幅大, 农业生产上土壤管理迫切需要及时准确把握变化规律、采取调控措施的现实问题^[21], 基于物联网自动定点监测数据和便携式速测仪移动采集数据, 在 WebGIS 平台支持下, 采用 Microsoft Silverlight 技术, 开发盐碱地水盐动态监测系统, 动态监测和分析土壤水盐变化, 通过综合分析、远程可视化呈现, 为生产管理提供决策支持。

1 系统总体设计

1.1 开发环境

系统集成开发环境采用 Microsoft Visual Studio

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAD05B06-5)、山东省自主创新及成果转化专项(2014ZZCX07106、2014ZZCX07402)、山东省重大科技创新工程项目(2017CXGC0301)和山东省高校“双一流”奖补资金项目(SYL2017XTTD02)资助。

* 通讯作者(mxgao@sdau.edu.cn)

作者简介: 张治(1995—), 男, 安徽滁州人, 硕士研究生, 主要从事农业信息化技术研究。E-mail: 1010279564@qq.com

2010, 运用 ESRI 的 ArcGIS 10.0 系列软件实现地图文档的编辑及发布功能, 并安装 ESRI 的 ArcGIS API for Silverlight, 以增加 Silverlight 开发地理应用的简易性和灵活性。采用 Silverlight 5 进行开发, 前台界面框架应用可扩展应用程序标记语言 (eXtensible Application Markup Language, XAML) 设计, 系统界面的动画部分用 Bend4 进行设计; 后台应用 C# 编程语言结合 ArcGIS API 完成基本功能设计、方法的调用^[22-24]。ArcGIS API for Silverlight 是由美国 ESRI 公司推出的, 用于在 Silverlight 平台上开发 WebGIS

应用的一套编程接口。它通过 REST 接口访问 ArcGIS Server 发布的地图服务、影像服务、几何服务、地理处理服务、要素服务、网络服务等, 还可以访问 OGC 标准的 WMS、WFS、WCS 等服务, 也可访问 Bing 地图服务。

1.2 系统架构

基于 WebGIS 服务, 该系统采用 3 层 B/S (Browser/Server, 浏览器/服务器模式) 架构: 数据层、功能层和应用层, 以提高系统的交互性, 结构如图 1 所示。

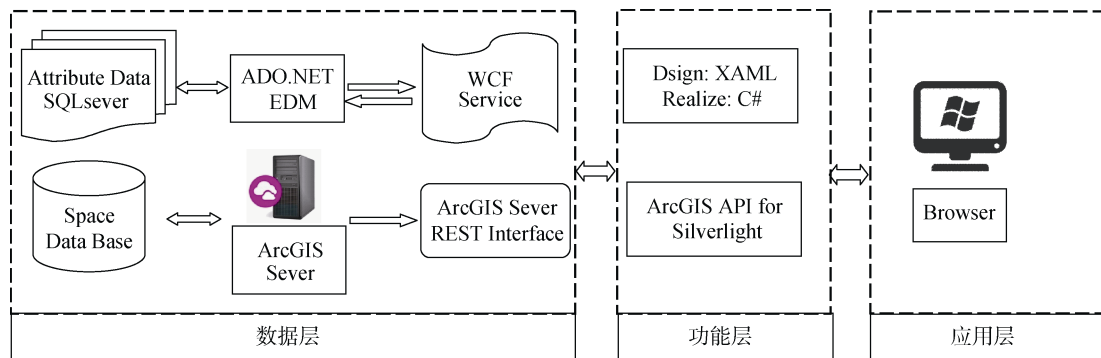


图 1 系统总体架构图

1) 数据层。该层存放盐碱农田的属性数据和空间数据, 系统使用 SQLserver 数据库存储农田属性数据, 使用文件地理数据库管理空间数据。在该层中, 数据库中的数据映射成 ADO.NET 实体数据模型, 对数据库的访问转化为对实体数据模型的访问, 并使用 WCF (Windows Communication Foundation) 服务发送 SOAP (Simple Object Access Protocol, 简单对象访问协议) 消息传输数据。通过 ArcGIS Server 发布地图数据, 发布的地图对应唯一标识-URI, 便于界面层访问。

2) 功能层。系统采用 ArcGIS API for Silverlight 实现 GIS 的各项功能, ArcGIS API for Silverlight 则基于 ArcGIS Server REST 接口工作, 以提高性能, 降低成本。

3) 应用层。用户通过安装有 Silverlight 插件的浏览器对系统进行灵活访问。

2 系统功能设计与实现

盐碱农田地块信息空间差异、动态变幅大, 及时掌握地块基本信息、统计分析水盐动态变化和空间差异并掌握其规律, 对指导生产具有重要实践意义。监测系统的主要功能包括地块信息查询、水盐数据统计分析、水盐空间分析和水盐动态趋势分析与预警 4 个模块。

2.1 地块信息查询

查询模块可以通过点查询和条件查询两种方式帮助用户快速获取地块的详细信息 (如经纬度、土壤含水量、含盐量、pH 等)。

技术实现: 将农田地块信息存储于后台的数据库中, 通过 Silverlight 调用 WCF 服务异步传输数据。通过 Web 服务端创建实体数据模型, 将类的属性映射到数据库中的表和属性字段, 对数据进行简单处理。通过创建域服务, 将生产的模型向 Silverlight 客户端公开。客户端通过模型和服务与后台数据库通信^[22]。

点查询运用 QueryTask 方法显示属性信息, 每个地块对应一个 3 位数字编码的地块号 (如 001, 999) 作为唯一标识。用户只需输入待查询地块号 (或在系统中选择), GIS 地图即可对该地块进行查找定位并渲染突出, 在信息框显示相应地块的查询结果信息。

条件查询通过将管理者输入的要素编制成 SQL 语句, 调用 QueryTask 方法实现。条件查询可满足用户对某属性进行定量查询和复合条件查询, 查询到目标后可通过点击该点实现快速定位。

2.2 水盐数据统计分析

通过统计分析模块, 对各地块监测数据进行统计分析, 并将分析结果呈现在 DataGrid 中, 或以统计

图形式呈现，方便管理者查看和分析使用。

技术实现：运用平均数、标准差、中位数、变异系数、峰度、偏度等统计分析模型，对数据进行统计分析，引用第三程序集调用第三方控件 Chart 进行数据呈现，对不同地块水分、盐分含量用柱状图显示，可作直观比较。

2.3 水盐空间分析

农田土壤墒情、盐分含量、酸碱度等在空间上有一定的连续分布规律，通过监测点数据对农田水盐进行空间分析，推测相邻监测点间土壤信息，为用户提供空间分布图利于水盐调控措施的实施。

技术实现：通过调用 GP(Geoprocessing)服务进行插值，分别对水分、盐分和 pH 进行反距离插值生成图像，使水盐数据由点及面覆盖整个研究区。GP 可以对原有的功能进行扩充，只要在桌面实现的事情，在 Server 都可以做到。通过发布 GP 模型，在 Web 端使用 ArcGIS 提供的空间分析，用较少的代码就可以完成一个复杂的操作。

2.4 水盐动态趋势分析与预警

土壤水分过多或过少会引起旱涝灾害。参考农业部《全国土壤墒情监测工作方案》([农办农 2012]14 号)和水利部《土壤墒情评价指标》(SL568—2012)，结合研究区土壤田间持水量，确定土壤含水量预警阈值[12%、30%]^[25-26]。土壤盐分过高、酸碱度过高或过低，都会对作物生长产生胁迫。盐分含量超过 2 g/kg 时，土壤中度盐渍化，作物生长受到胁迫，超过 3 g/kg 时严重影响小麦玉米生长；小麦、玉米适宜的 pH 在 6.5~8.5，pH>8.5 或 pH<6.5 都对作物生长不利^[1]。因此，通过系统分析，对田间水盐状况进行实时动态预警和空间预警，可以帮助用户及时掌握情况采取措施。

技术实现：水盐预警采取动态预警和空间预警两种方式。动态预警以设置水盐阈值方式进行警示。参照土壤盐分分级标准和作物(小麦、玉米)对水盐条件的要求，确定水盐含量的阈值，并将其标记在坐标系中，水盐含量数据在坐标系上动态地呈现为曲线图形。当水盐含量超过或低于该阈值时，则提示应采取调控措施。空间预警是根据监测点水盐数值的高低进行符号化显示，并进行插值和渲染，使阈值范围内和高(或低)于阈值的地块显示不同的颜色，以对用户起警示作用。

3 系统应用

3.1 基础数据来源与处理

系统采用 WGS84 地理坐标系，地理底图通过下

载研究区范围的 2014 年遥感影像，经 ERDAS 遥感图像处理软件处理，在 ArcGIS10.1 中影像配准，矢量化后得到研究区地理底图。研究区关键点坐标应用 GPS 实地采集后进行校准。将研究区底图在 ArcGIS Server 中发布成本机地图服务便于系统后台调用。全部地块水盐含量数据通过野外调查移动速测仪实测并通过室内化验分析校正后，导入 ArcGIS 内置数据库中。在典型地块安装物联网监测设备，实时感知自动采集土壤水盐动态数据，经传输处理后进入数据库。

3.2 系统应用

系统以无棣县柳堡镇盐碱农田为试验区进行应用测试，该盐碱农田为“渤海粮仓”科技示范工程核心试验区。结果表明，系统较好地实现了点属性数据查询、统计分析、空间插值分析、动态和空间预警诊断等功能，结果通过友好的可视化界面呈现(图 2~图 5)，为用户提供交互式服务。

图 2 为地块信息查询界面，结果显示地块基础信息。图 3 显示监测数据的统计分析结果，可见，2015 年 9 月研究区 35 个地块土壤含水量平均值(8.1%)、中位数(8.51%)和最大值(11.72%)均<12%，说明应该采取措施灌溉保墒。土壤含盐量平均值(1.62 g/kg)和

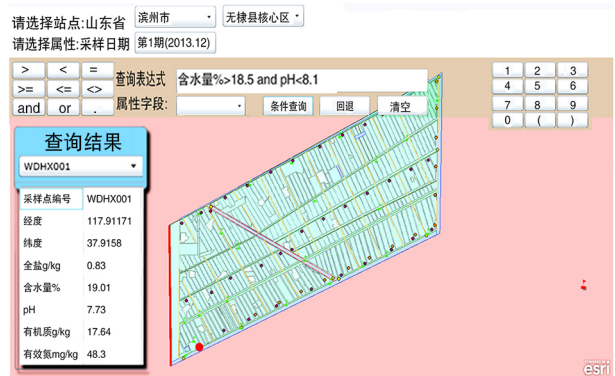


图 2 地块信息查询结果

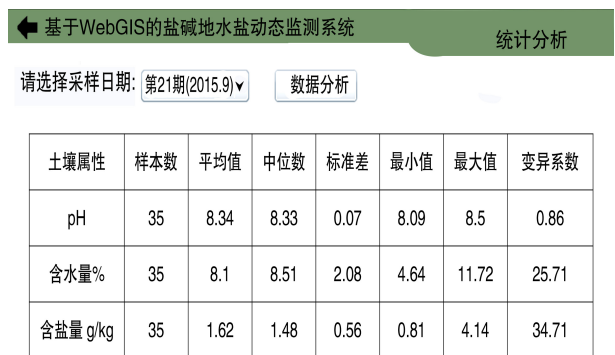


图 3 水盐数据统计分析结果

中位数(1.48 g/kg)虽然不高,此时总体上呈轻度盐渍化状态,但最小值(0.81 g/kg)与最大值(4.14 g/kg)相差较大,呈强变异性(变异系数 34.71%),部分地块为中度和重度盐渍化,故应对盐分含量高的地块采取重点治理措施;pH 平均值(8.34)和中位数(8.33)较接近,最小值(8.09)和最大值(8.5)相差不大,呈中等变异性(变异系数 0.86%),但反映出所有地块均呈中等碱性,对作物生产有一定的抑制性,需要引起注意。图 4 为土壤水盐动态预警图,根据选择显示不同地块监测预警结果,图中显示地块 1 含水量在 2015 年 8 月份高达 48%,需排水,而 4 月和 6 月则低于 12%,需灌溉,其他月份在适宜区间内;含盐量在 2015 年 3 月(3.2 g/kg)、11 月(4.6 g/kg)超过预警值(3 g/kg),其他月份在适宜区间内。图 5 为土壤水盐的空间插值图,可见,2015 年 6 月,土壤盐分整体上呈现北高南低的特征,但有斑块状插花分布。

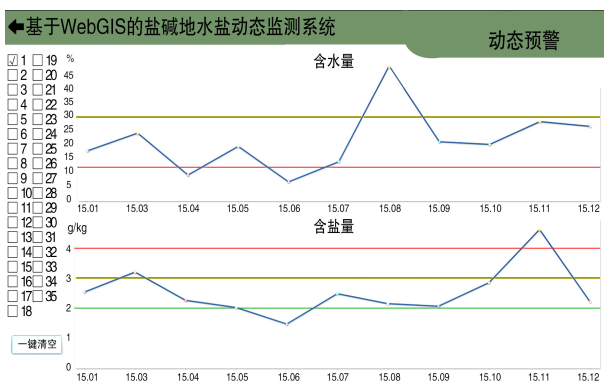


图 4 土壤水盐动态预警

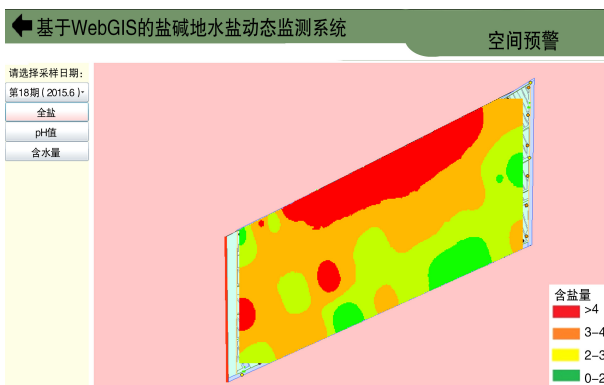


图 5 土壤水盐空间插值图

4 结论

本文基于 Microsoft Visual Studio 2010 开发环境,采用 B/S 架构,借助 Silverlight 集成应用 WebGIS 和数据库技术,设计开发了盐碱地水盐信息动态监测

系统,实现了数据规范处理与存储、地块信息查询、水盐数据统计分析、空间插值预测分析、动态趋势分析及预警等功能,分析结果可视化呈现,为农业管理人员及时了解土壤水盐状况、采取措施调控水盐提供了工具。实际应用结果表明,该系统可以辅助用户及时、全面掌握盐碱农田水盐动态信息,为田间管理提供决策支持。

参考文献:

- [1] 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培, 等. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993
- [2] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 837-845
- [3] 翟鹏辉, 杨丽晶, 李素艳, 等. 蒸发条件下不同夹层土壤水盐动态特性研究[J]. 水土保持学报, 2014, 28(4): 273-277
- [4] 闫正龙, 王晓国, 高凡, 等. 塔里木河干流上游地区土壤盐渍化时空变化监测分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(10): 105-110
- [5] 杨奇勇, 杨劲松. 基于 GIS 的土壤盐分空间变异及盐分监测样点合理布设研究[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(2): 10-14
- [6] 丁新原, 周智彬, 徐新文, 等. 咸水滴灌下塔克拉玛干沙漠腹地人工防护林土壤水盐动态[J]. 土壤学报, 2016, 53(1): 103-116
- [7] 夏贵菊, 何彤慧, 于骥, 等. 银川平原草甸湿地盐土及其盐分分布特征[J]. 土壤, 2016, 48(4): 785-792
- [8] Abbas A, Khan S, Hussain N, et al. Characterizing soil salinity in irrigated agriculture using a remote sensing approach[J]. Physics & Chemistry of the Earth Parts, 2013, 55/56/57: 43-52
- [9] 林蔚, 张雷, 张国伟, 等. 滨海盐土棉田棉花水、盐遥感监测系统的设计与实现[J]. 棉花学报, 2012, 24(2): 114-119
- [10] 杨爱霞, 丁建丽, 李艳红, 等. 基于表观电导率与实测光谱的干旱区湿地土壤盐分监测[J]. 中国沙漠, 2016, 36(5): 1365-1373
- [11] 李静, 王克如, 李少昆. 利用光谱-盐分指数监测棉田土壤盐分[J]. 棉花学报, 2014, 26(6): 555-562
- [12] Yang G J, Zhao C J, Huang W J, et al. Extension of the Hapke bidirectional reflectance model to retrieve soil water content[J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2011, 8(2): 2317-2326
- [13] 刘娅, 潘贤章, 王昌昆, 等. 基于差异化光谱指数的盐渍土水分含量预测——以滨海盐土为例[J]. 土壤, 2016, 48(2): 381-388
- [14] 彭杰, 王家强, 向红英, 等. 土壤含盐量与电导率的高光谱反演精度对比研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(2): 510-514
- [15] 张锐, 李兆富, 辛强, 等. 原状水稻土土壤湿度高光谱特征及反演模型[J]. 土壤通报, 2017, 48(1): 32-38

- [16] 王明宽, 莫宏伟, 陈红艳. 基于多光谱影像反演土壤盐分的建模方法研究[J]. 土壤通报, 2016, 47(5): 1036-1041
- [17] 刘影, 姚艳敏. 土壤含水量高光谱遥感定量反演研究进展[J]. 中国农学通报, 2016, 32(7): 127-134
- [18] 张晓月, 李荣平, 焦敏, 等. 农田土壤墒情监测与预报系统研发[J]. 农业工程学报, 2016, 32(18): 140-146
- [19] 王东旭, 王杰, 诸云强, 等. 云南省土壤墒情监测系统的设计与实现[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(10): 83-89
- [20] 徐力刚, 杨劲松, 张妙仙. 土壤水盐动态数据库管理系统的建立与应用[J]. 土壤通报, 2001, 32(6): 68-71
- [21] 高明秀, 李冉, 巩腾飞, 等. “渤海粮仓”建设推进策略分析[J]. 农业现代化研究, 2015, 36(2): 245-251
- [22] 孙培芬, 王培, 刘卉. 农田信息管理决策支持系统的设计与实现——基于 Silverlight[J]. 农机化研究, 2015(7): 156-159
- [23] 陈国才. 基于 Silverlight 的 WebGIS 系统及其应用研究[J]. 科技通报, 2013, 29(4): 177-179
- [24] 刘彬, 李晓鹏. 基于 Silverlight 的气象信息查询系统设计与应用[J]. 气象科技, 2016, 44(3): 369-373, 391
- [25] 方文松, 刘荣花, 邓天宏. 冬小麦生长发育的适宜土壤含水量[J]. 中国农业气象, 2010, 31(S1): 73-76
- [26] 陈玉民, 郭国双, 王广兴, 等. 中国主要作物需水量与灌溉[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995

Dynamic Monitoring System of Water and Salt of Saline-alkali Land Based on WebGIS

ZHANG Zhi^{1,2}, GAO Mingxiu^{1*}, ZHU Changda¹

(1 College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University / National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer, Tai'an, Shandong 271018, China; 2 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The exploitation and utilization of saline-alkali land is an important way to supplement cultivated land and ensure national food security. Strengthening the dynamic monitoring and mastering the movement law of water and salt are the bases of taking measures timely to improve the utilization of saline-alkali land. Based on the WebGIS platform and Microsoft Silverlight technology, a dynamic monitoring system was designed and developed for salt and water in saline-alkali land. The system realized the functions such as field parcel information query, statistical analysis, spatial analysis, dynamic trend analysis and early warning, and the system was applied in the saline-alkali land in Wudi County of Shandong Province. The results showed that the system can assist users to grasp the dynamic information of water and salt in saline-alkali land timely and comprehensively, thus can provide decision support for field management.

Key words: Saline-alkali land; Water and salt movement; Dynamic monitoring system; WebGIS