

朱 权, 宋金茜, 姜小三, 等. 基于 WebGIS 的农产品产地污染评价系统设计与实现[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(9): 1850–1857.
ZHU Quan, SONG Jin-xi, JIANG Xiao-san, et al. Design and implementation of a pollution evaluation system in an agricultural producing area based on WebGIS[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(9): 1850–1857.

基于 WebGIS 的农产品产地污染评价系统设计与实现

朱 权, 宋金茜, 姜小三*, 王 强

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘 要:农产品产地环境安全问题日益受到关注,及时准确地监控农产品产地环境状况,并收集相关数据进行风险评估,对保障农产品产地安全具有重要意义。传统的农业环境监控手段存在耗时长,成本高等缺点,无法及时快速的掌握环境污染状况。为此利用 Java 技术平台,将开源 WebGIS 技术与环境分析评价模型整合,在江苏省建立了基于 WebGIS 的农产品产地污染评价系统。该系统能利用 Web 技术的便捷性,实现对农产品产地环境数据的快速收集、管理和统计功能;也可以利用 GIS 的空间插值技术和环境污染评价模型,对江苏省进行农产品产地重金属污染的单因子和多因子评价。系统最终可以利用收集的数据生成江苏省的环境污染风险分级评价图,为江苏省农产品产地重金属污染防治工作提供了有力支持。

关键词: WebGIS; 农产品产地; 污染; 评价系统

中图分类号: X820.2 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2017)09-1850-08 doi:10.11654/jaes.2017-0227

Design and implementation of a pollution evaluation system in an agricultural producing area based on WebGIS

ZHU Quan, SONG Jin-xi, JIANG Xiao-san*, WANG Qiang

(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The environmental safety of agricultural producing areas has attracted increasing concern. Timely monitoring of the agricultural environment and collection of relevant data for risk assessment is important to guarantee agricultural security. The traditional method of agricultural environment monitoring is time-consuming and expensive, thus it is difficult to determine pollution conditions of agricultural producing areas in a timely manner. Building a WebGIS pollution evaluation system can meet the needs of collecting the environmental data rapidly and analyzing these data efficiently. Open source WebGIS technology and an environmental evaluation model were combined using the Java platform to build the agricultural producing area pollution evaluation system (APAPES) for Jiangsu Province. The APAPES can quickly collect, manage, and analysis environmental pollution data. Via the APAPES, a massive amount of data was collected in a few weeks. Users can easily add, view, modify, and delete data. Several search and statistical tools are offered by the APAPES. It is convenient for searching environmental data with multiple conditions and displaying data characteristics in multiple dimensions. Users can employ spatial interpolation tools to generate a distribution map of pollution elements. By applying the single factor and multiple factor index methods to the element distribution map, the APAPES returns a comprehensive pollution risk distribution map to the user. By using the APAPES, environmental monitoring is organized in a more modern and efficient way, which streamlines the collection and analysis of environmental data. The analysis results can help people allocate resources more appropriately to prevent environmental pollution of agricultural producing areas.

Keywords: WebGIS; agricultural producing area; pollution; evaluation system

收稿日期: 2017-02-26

作者简介: 朱 权(1992—),男,湖北荆门人,硕士研究生,主要从事土壤资源环境遥感与信息系统研究。E-mail: 2014103076@njau.edu.cn

*通信作者: 姜小三 E-mail: gis@njau.edu.cn

基金项目: 江苏省农产品产地安全智慧管控系统项目(JSZC-G2015-039)

Project supported: Intelligent Management System for Safety of Agricultural Producing Area of Jiangsu Province, China(JSZC-G2015-039)

随着社会经济的发展,农产品产地环境安全问题越来越受到人们的关注,其中农产品产地重金属污染问题因其危害后果严重,尤其引人注目。因此,寻求合理高效的方法来对农产品产地进行全面的调查,收集必要的数据监控农产品产地环境质量,进而对其环境污染风险进行评估至关重要。

传统的农业环境检测依靠人工手段收集处理环境检测数据,需要耗费大量的人力、物力和时间成本,在面对较大数据量时往往效率不足,并且无法做到及时进行农产品产地的监督预警^[1]。在大的空间尺度上,GIS技术可以被用来对环境要素进行空间分析,对环境危害做出预警^[2]。随着互联网信息技术的发展,GIS技术也在不断与互联网技术融合^[3],WebGIS技术逐渐成为GIS技术的主流。使用WebGIS技术构建环境污染监测系统,既可以利用互联网的便捷性来加快信息收集和处理的效率,还可以利用GIS技术来对环境污染数据进行处理和分析,使得环境污染问题的处理效率极大提高^[4-6]。

目前,WebGIS在农产品产地环境监测方面的应用研究已有不少实例^[7]。李文峰等^[8]以云南省建水县为研究区,对农田土壤、灌溉水、大气的污染状况建立模型,利用WebGIS系统对食用农产品产地环境质量进行评价。但由于此系统主要是利用部分历史环境数据来进行分析,不具备对环境数据的实时输入和管理功能,应用能力有限。

本研究以江苏省为研究区,通过整合WebGIS技术和环境污染评价模型,建立农产品产地污染评价体系。该系统具备对农产品产地环境监测数据的收集、

上报和管理能力,能对数据进行分析评价,进而为农产品产地重金属污染防治工作提供支持。

1 材料和方法

1.1 数据来源

本研究的研究区为江苏省,数据包括空间数据和属性数据两类。空间数据包括数字化的江苏省行政区划图、土地利用图、土壤类型图等。属性数据分为五个表格,包括农产品产地信息、具体采样点的位置信息、环境要素信息、污染物含量信息等,表格包含的具体内容见表1。属性数据由江苏省耕保站工作人员现场调查和测量录入到标准表格中,并通过系统的数据录入模块来进行收集和上报。

1.2 系统设计方法

系统基于通用的B/S架构开发,分为服务器端和客户端。服务器端基于Java平台开发,采用JDK7.0作为开发环境和运行环境,Eclipse作为开发工具。Web应用服务器使用Tomcat6向外提供互联网网站访问服务;GIS服务器采用GeoServer2.7向外提供GIS数据访问服务;数据库使用MySQL5.5存储各类数据;客户端为标准的Web浏览器,开发语言为JavaScript,兼容使用Webkit内核的所有浏览器。客户端利用Ajax技术来与服务端进行数据交互,数据交互格式为JSON。

1.3 开源WebGIS技术

本系统的核心是一套WebGIS组件,其亮点在于全部采用开源社区技术,优点是可定制性强,符合国际标准,成本低,易于维护和升级。后台GIS服务器使

表1 农产品产地污染评价体系属性数据库内容

Table 1 Content of the attribute database of pollution evaluation system for agriculture products

数据表	属性指标
江苏省“菜篮子”工程蔬菜生产基地情况调查表	调查日期、所在地市、基地名称、面积及产量(亩,1亩=667 m ²)、土壤情况、主要农作物种植面积(亩)、有机农产品面积(亩)、氮肥总量(t)、磷肥总量(t)、钾肥总量(t)、复合肥总量(t)、有机肥总量(t)、亩均用药量(kg·亩 ⁻¹)、农膜使用量(kg·亩 ⁻¹)、地膜使用量(kg·亩 ⁻¹)、地膜覆盖面积(亩)等
江苏省“米袋子”工程粮食生产基地情况调查表	调查日期、所在地市、基地名称、面积及产量(亩)、土壤情况、主要农作物种类、种植面积(亩)、氮肥总量(t)、磷肥总量(t)、钾肥总量(t)、复合肥总量(t)、有机肥总量(t)、亩均用药量(kg·亩 ⁻¹)、农膜使用量(kg·亩 ⁻¹)、地膜使用量(kg·亩 ⁻¹)、地膜覆盖面积(亩)等
农田土壤环境质量监测采样点位登记表	调查日期、样品编码、基本农田、采集地点市、采集地点、GPS定位北纬、GPS定位东经、GPS定位海拔高度、所属区域类别、土地利用现状、土壤采集采样深度、土壤采集土类名称、主要农作物种类、主要农作物常年单产(kg·亩 ⁻¹)、主要农作物种植面积(亩)、采集地块面积、现场采样记录等
农产品重金属安全监测采样点位登记表	调查日期、样品编码、采集地点、基地名称、GPS定位北纬、GPS定位东经、GPS定位海拔高度、所属区域类别、蔬菜面积(亩)、土地利用现状、农副产品(种类)、农副产品常年单产(kg·亩 ⁻¹)、农副产品种植面积(亩)、采集地块面积、现场采样记录等
土壤及农产品样品检测分析结果登记表	点位编码、土壤代码、农产品代码、土壤铬含量(mg·kg ⁻¹)、农产品铬含量(mg·kg ⁻¹)、土壤铅含量(mg·kg ⁻¹)、农产品铅含量(mg·kg ⁻¹)、土壤镉含量(mg·kg ⁻¹)、农产品镉含量(mg·kg ⁻¹)、土壤砷含量(mg·kg ⁻¹)、农产品砷含量(mg·kg ⁻¹)、土壤汞含量(mg·kg ⁻¹)、农产品汞含量(mg·kg ⁻¹)、土壤pH值、检测机构等

用 GeoServer, GeoServer 是符合 OGC 标准的 J2EE 实现,能够方便地帮助用户发布地理数据,并允许用户对地理数据进行增加、修改、删除等操作。前端地图展现使用开源的 JavaScript 库 OpenLayers, OpenLayers 能够访问各种标准类型的 GIS 数据,对数据进行展现,并允许用户与数据进行各种交互操作。前后端的 GIS 数据通信标准为 WMS 和 WFS^[9-11]。

2 农产品产地环境污染分析模型

本研究需要对农产品产地环境污染状况特别是重金属污染状况进行评价,因而选取合适的分析模型尤为重要。本系统在设计时考虑到评价模型的多样性,设计了可插拔的评价模型体系,可以同时兼容各种不同的评价模型。本系统的评价要素主要为土壤及农产品中的重金属污染元素。要对重金属污染元素进行风险评价,首先需要得到污染元素在全研究区的含量分布图,而该分布图可以通过对录入的重金属采样数据进行空间插值来得到。

环境污染风险的分析模型包括单因子分析模型和多因子分析模型两类,其中多因子分析模型又包括潜在生态危害指数法、综合污染评价法和最大单项指数法等。利用 WebGIS 的空间分析功能,可以对单个污染元素含量分布图进行单因子分析运算,得到单个污染元素的风险指数分布图,也可以对多个污染元素含量分布图进行多因子分析运算,得到综合污染风险指数分布图。

2.1 空间插值方法

地理学上认为距离越近的事物越相近。反距离权重(IDW, Inverse Distance Weighted)插值法正是基于这一原理。它用插值点与样本点之间的距离作为权重进行加权平均,来计算插值点的属性值^[12]。一般公式如下:

$$Z(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (1)$$

式中: $Z(s_0)$ 为 s_0 处的预测值; N 为预测计算过程中要使用的预测点周围样点的数量; λ_i 为预测计算过程中使用的各样点的权重,该值随着样点与预测点之间距离的增加而减少; $Z(s_i)$ 为在 s_i 处获得的测量值。

确定权重的计算公式为:

$$\lambda_i = d_{s_0}^{-p} \sum_{i=1}^N d_{s_0}^{-p} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (3)$$

式中: P 为指数值; d_{s_0} 为预测点 s_0 与各已知样点 s_i 之间的距离;各点的权重值之和为1。

克里金(Kriging)插值法是一种以变异函数理论和结构分析为基础,根据有限邻域样本数据对未知样点进行分析的一种线性无偏最优估计。该方法的适用范围为区域化变量存在空间相关性,即通过变异函数和结构分析的方法可以检测到区域化变量存在空间相关性,就可以使用克里金插值。

克里金插值法与反距离权重插值法一样,也是通过对已知样点赋权重来求得未知样点的值,其公式如下:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i Z(x_i) \quad (4)$$

式中: $Z(x_0)$ 为未知样点的值; $Z(x_i)$ 为未知样点周围的已知样本点的值; w_i 为第 i 个已知样本点对未知样点的权重; n 为已知样本点的个数。

两种方法不同的是,在赋权重时,反距离权重插值方法只考虑已知样本点与未知样点的距离远近,而克里金插值法不仅考虑距离,还通过变异函数和结构分析,考虑了已知样本点的空间分布及与未知样点的空间位置关系^[13]。变异函数是已知点的半方差与距离的拟合函数,变异函数包括球状模型、指数模型等多种数学模型。得到变异函数模型后,就可以通过已知点与预测点的距离得到已知点与预测点的半方差,进而计算得到权重。克里金插值法的优点是插值精度高,一般情况下误差较小,缺点是对数据结构有要求,计算过程复杂并且计算量巨大,在实际实现程序应用时需要进行简化处理。

2.2 单因子评价模型

单因子指数法可以评价单一元素的污染风险程度,指数值越大,污染越严重。从单因子污染分级图中了解到不同区域人为活动对土壤重金属影响的类型和程度,评价结果用于指导农业生产和对应农产品的采集工作。单因子指数法的计算公式为:

$$P_i = C_i / S_i \quad (5)$$

式中: P_i 为土壤中污染物的环境质量指数; C_i 为污染物的实测浓度; S_i 为污染物评价标准, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

S_i 的值除了引用《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995)之外,还将《农用地土壤环境质量标准》(征求意见稿)也放入系统中,评价结果为政府部门提供一些参考。若要评价不同农产品产地的生产潜力,则需要选用不同级别的农用地标准,后文列出一些标准放入系统中,供有关部门参考已监测的五种重金属是否符合各级农用地标准^[14]。污染分级标准见表2。

表 2 土壤单项污染程度分级标准

Table 2 The classification of soil single pollution

P_i 值范围	$P_i \leq 1$	$1 < P_i \leq 2$	$2 < P_i \leq 3$	$P_i > 3$
污染水平	非污染	轻污染	中污染	重污染

2.3 多因子评价模型

多因子评价模型是在单因子评价模型的基础上发展出来的,包括最大单项指数法和内梅罗综合指数法等。最大单项指数法是农业部环境监测总站针对全国农产品产地土壤规定的综合评估方法,即按点位单项指数 P_i 的最大值 $P_{\max}$ 来确定各个点位的安全等级。内梅罗综合指数法同时考虑了污染物的平均值和最大值,其计算公式如下:

$$P = \sqrt{\frac{P_i^2 + P_{\max}^2}{2}} \quad (6)$$

式中: P 为内梅罗综合指数; P_i 为各元素单项指数的平均值; $P_{\max}$ 为各元素单项指数的最大值^[16-18]。

$P_{\max}$ 与 P 的分级标准见表 3。

表 3 评价指数分级标准

Table 3 The classification standard of evaluation index

等级	风险水平	评价指数	
		$P_{\max}$	P
I	无风险	$P \leq 1$	$P \leq 0.7$
II	低风险	$1 < P \leq 2$	$0.7 < P \leq 1$
III	中度风险	$2 < P \leq 3$	$1 < P \leq 2$
IV	高风险	$P > 3$	$2 < P \leq 3$
V	极高风险		$P > 3$

3 系统结构和功能

3.1 系统架构

整个软件平台基于虚拟机技术构建,可运行于各类 Linux 和 Windows 服务器上,其体系结构如图 1 所示,分为数据层、服务层、应用层。数据层是系统的基础,存储各类系统运行所需数据。服务层则根据各种需求,对数据层进行处理,抽象出各种数据服务接口。引用层则调用服务接口,实现各种功能,满足用户需求。

在数据层存储系统运行必需的数据主要分为四类。空间数据包括各种必需的行政区图、土地利用图、土壤类型图等。这些数据是进行空间分析的基础数据,需要提前获取。属性数据是指根据实际采样得到的数据,包括农产品产地信息、重金属含量信息等。这些信息由省农环站安排各级单位调查得到,并通过系

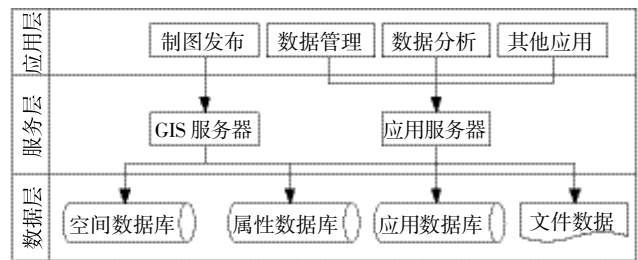


图 1 系统架构

Figure 1 System architecture

统的数据录入模块进行录入,属于本系统的核心数据。应用数据库主要包括用户信息、权限信息、地区代码信息等维持系统正常运作的信息。文件数据包括对属性数据的字段说明、对属性数据做补充的图片等各类文件类型的数据,这类数据通常体积较大,占据数据存储层的大部分空间。

服务层从数据层获取数据,进行相应的处理,供应用层来调用,处理各种业务逻辑。服务层的核心是一个基于 JavaEE 标准的 Tomcat 服务器,它作为应用服务器,能够承载各种不同类型的 Web 应用。同时,环境分析评价模型作为一种特殊的服务,可以被应用服务器调用。环境分析评价模型能够调用 GIS 服务器提供的 GIS 数据以及属性数据来完成分析操作。而 GIS 服务器则专门用来提供 GIS 数据服务,这些服务既可以被用户以地图方式直接调用,也可以被环境分析模型调用,以完成复杂的分析操作。

应用层直接与用户进行交互,满足各类用户需求。本系统在教育层实现了多种多样的应用,包括数据管理、数据分析、地图结果展示等核心功能,也包括用户管理、权限管理等系统必备功能,还有文档管理、信息门户、自动办公等辅助功能。

3.2 数据管理功能

本系统的首要任务是对全省的农产品产地和土壤重金属的监测数据进行录入和管理。这部分功能由数据管理子系统来完成,如图 2 所示,该系统包括数据录入、数据审核、数据查询和数据统计四个模块。

数据录入模块提供了对表 1 中所列的 5 大类表格数据的录入功能。每个地区都分配有自己的账号,以便完成本地区的数据录入。用户在此模块中还能对已录入表格数据进行查看、修改和删除。数据录入系统对用户录入的每条数据都会进行数据校验,保证输入数据的合法性。例如,采样点经纬度数据作为后续分析的关键数据,在录入时要求必须精确到小数点后 4 位,而且会根据所属地区,进行空间查询,确认经纬

样品编码	调查日期	校核人	记录人	采样人	创建时间	操作
320114-YB-0009-CB-E-2	2015年10月28日	张臻	武琴	金必忠	2017-01-04 17:18:10	查看 修改 删除
320114-GK-0005-CB-E-2	2015年10月28日	张臻	武琴	金必忠	2017-01-04 17:16:04	查看 修改 删除
320114-GK-0005-CB-C-2	2015年10月28日	张臻	武琴	金必忠	2017-01-04 17:11:21	查看 修改 删除
320114-YB-0017-CB-E-2	2015年10月28日	张臻	武琴	金必忠	2017-01-04 17:09:14	查看 修改 删除
320114-YB-0015-CB-E-2	2015年10月28日	张臻	武琴	金必忠	2017-01-04 17:06:21	查看 修改 删除
320114-YB-0014-CB-E-2	2015年10月28日	张臻	武琴	金必忠	2017-01-04 17:04:11	查看 修改 删除
320114-YB-0013-CB-D-2	2015年10月28日	张臻	武琴	金必忠	2017-01-04 17:01:58	查看 修改 删除
320114-YB-0020-CB-F-1	2015年7月28日	张臻	武琴	金必忠	2017-01-04 16:55:52	查看 修改 删除
320114-YB-0017-CB-F-1	2015年7月28日	张臻	武琴	金必忠	2017-01-04 16:53:17	查看 修改 删除
320114-YB-0016-CB-B-1	2015年7月28日	张臻	武琴	金必忠	2017-01-04 16:50:33	查看 修改 删除
320114-YB-0015-CB-E-1	2015年7月28日	张臻	武琴	金必忠	2017-01-04 16:48:05	查看 修改 删除
320114-YB-0014-CB-E-1	2015年7月28日	张臻	武琴	金必忠	2017-01-04 16:44:21	查看 修改 删除
320114-YB-0013-CB-C-1	2015年7月28日	张臻	武琴	金必忠	2017-01-04 16:42:00	查看 修改 删除
320114-YB-0009-CB-E-1	2015年7月28日	张臻	武琴	金必忠	2017-01-04 16:37:58	查看 修改 删除

图2 数据管理子系统

Figure 2 Interface of data management sub-system

度数据是否在合理的范围内。

数据审核模块能够审核表格内各个字段以及各个表格之间的数据一致性,并提示用户修改,能显著提高整体数据的准确性、一致性和完整性,使得后期的数据分析结果更可靠。例如,同一采样点的信息可能会分布于不同的表格,数据审核功能可以校验一个采样点在每张表格上的信息是否是一一对应的,是否在某个表格上缺失某个点的信息。

数据查询模块能组合多种条件来进行数据查询。在用户录入了大量数据后,要找到并修改其中某一条数据将变得困难。用户通过数据查询模块的各种条件组合可以很快地过滤查找到想要的信息,并直接点击修改按钮进行修改。同时,数据查询模块提供了数据导出功能,用户可以快速输入查询条件,以Excel表格形式批量下载想要的信息,方便用户自由利用数据。

数据统计模块能够帮助用户对表格数据进行统计,包括表格数量统计,对某些字段的值进行分段统计,以柱状图查看字段值的分布趋势等。

3.3 数据分析评价功能

数据分析评价子系统是本系统的核心。用户在分析评价模块中可以完成数据格式转换、空间插值、分析评价、制图发布的全部流程。用户在此系统中操作的主要对象包括图层、工作空间和图层样式。

图层在系统中表示空间数据。例如,江苏省的行政区图是一个图层,而采样点位及相关属性信息构成另外一个图层。系统提供数据转换工具,将用户录入

的环境监测信息转换为空间图层。

工作空间是用户操作空间数据的场所。图3所示为工作空间的截图,工作空间上方为工具栏,左侧为图层列表,右侧为图层显示区。用户可以在左侧图层列表中添加图层、新建图层、查看和修改图层样式、查看图层属性信息、查看图层的属性表、对图层属性进行搜索查询。用户还能打开上方的编辑器,使得当前选中的图层进入编辑模式,从而可以直接修改其空间和属性信息。在图层列表的下方,用户可以对地图区域的底图进行切换,目前支持的底图包括OpenStreetMap和BingMap等。地图右侧用于图层的可视化展示,地图使用的坐标系为wgs84 web mercator (auxiliary sphere)。用户可以自由缩放和拖动地图,点击图层上的元素可以查看其属性信息。地图区域的左上角为地图缩放按钮,左下方为动态比例尺,右上方为当前鼠标坐标,右下方则会根据情况来显示图例。

工具栏的右侧可以打开工具箱,其中包含有各种空间分析工具,包括空间插值工具、单因子分析工具、多因子分析工具。空间分析工具可以根据用户的需要进行开发,随时加入到工具箱中,供用户使用。

典型的分析流程如图4所示。用户首先通过数据录入系统录入环境监测数据,然后根据年份、地区等条件选择需要进行分析的环境监测数据,利用数据转换工具将其转换为采样点位图。接着用户建立并打开工作空间,加入数据分析需要使用的采样点位图、行政区图等图层。使用工具箱中的插值工具,对采样点

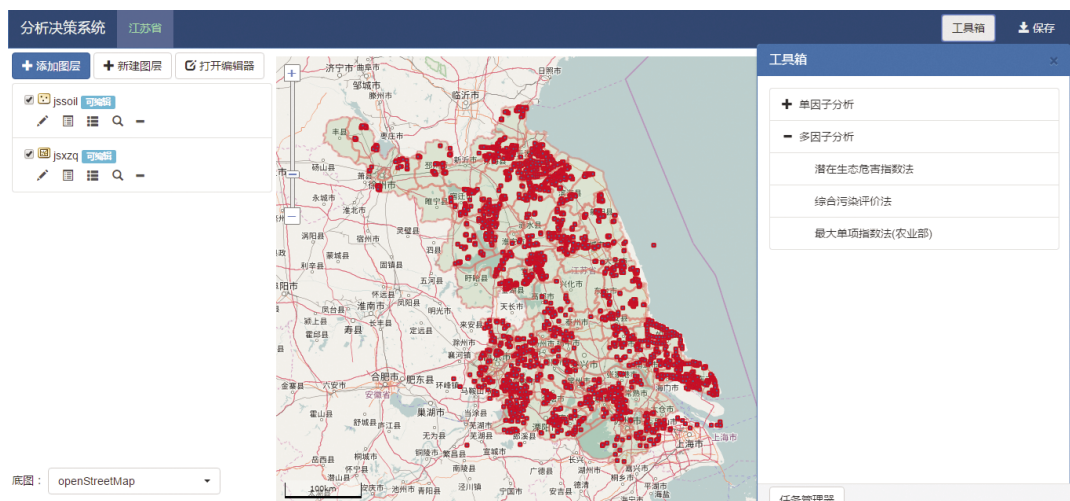


图 3 数据分析子系统的工作空间

Figure 3 Interface of workspace in data analyze sub-system

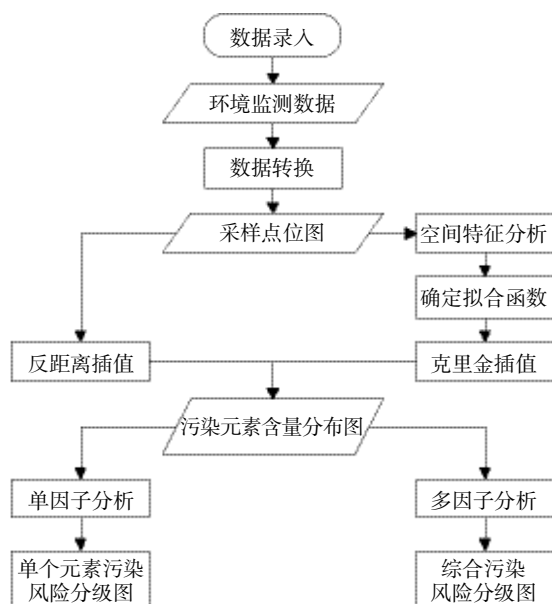


图 4 数据分析处理流程图

Figure 4 Flowchart of data analysis process

位图中的污染元素含量值进行插值,得到污染元素含量分布图。对该图层应用单因子分析模型得到该因子的污染风险分级图(图 5),在得到多个因子的含量分布图之后,可以对这些图层应用多因子分析模型,得到综合污染风险分级图。

3.4 其他功能

其他功能还包括后台管理、信息门户、文档管理、自动办公等。这些功能可以提高系统的实用性,帮助用户更好的管理系统,将系统的作用完全发挥出来。

后台管理子系统供系统管理员使用,包含用户管

理、权限管理、短信管理、新闻管理等模块。用户管理模块提供对用户信息的统一管理,权限管理则控制用户对各个系统模块的访问权限,短信管理模块提供了向用户推送短信的功能,新闻管理则能够控制信息门户的信息展示。

信息门户用于向用户发布新闻和通知,并提供常用系统功能的快捷通道。

文档管理子系统提供对各种文档数据的管理。用户可以上传 Word、Excel、PPT、图片等各类文档,并直接在网页上预览文件。文档管理也提供了对各类系统元数据的管理功能。用户可以直接上传 GIS 数据,系统提供了接口将其转换为图层,可以在数据分析模块中使用。

自动办公提供了文档的审核和发布功能,提供多人共享的文档办公流程。

4 结论

本研究基于新型的开源 WebGIS 技术,结合江苏省农产品产地环境监测工作的特点和需求,构建江苏省农产品产地污染评价系统,取得了如下研究成果:

(1)建立了一套基于开源 WebGIS 技术的系统架构,并得到成功应用,为传统的 WebGIS 开发提供了新的思路和方向。

(2)通过系统的数据录入模块实现了对江苏省近几年来农产品产地环境监测数据的录入和管理,建立了农产品产地环境信息数据库。同时建立数据审核模块,制定数据标准,保证了数据库的数据质量以及后期数据分析结果的精确性。

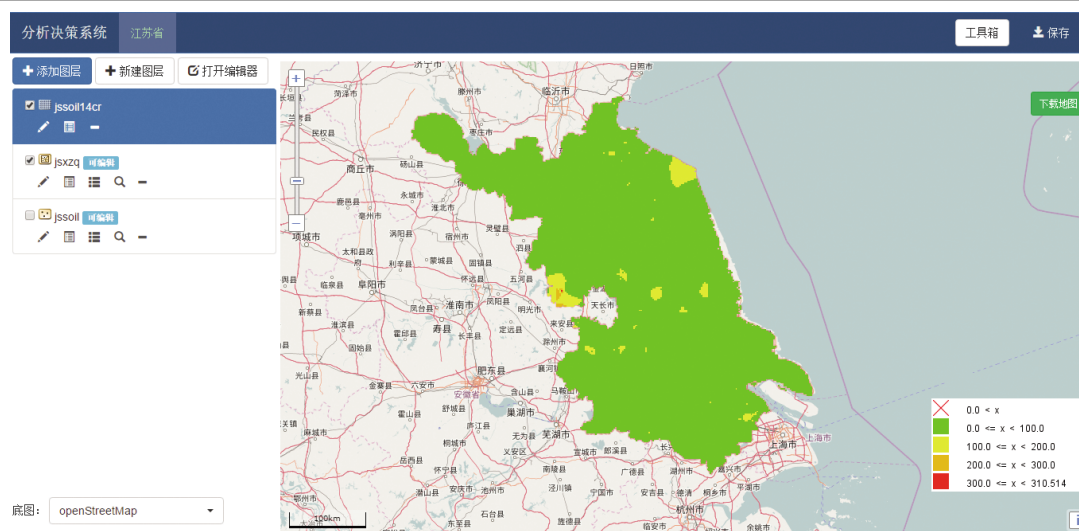


图5 污染风险评价图

Figure 5 Map of pollution risk evaluation

(3)研究并整合 GIS 空间分析技术与环境污染风险评价模型,建立了分析评价模块,实现对农产品产地环境污染数据的分析,得到污染元素含量分布图、污染风险分级评价图等成果,为江苏省农产品产地重金属污染防治工作提供了技术支持。

系统的整体框架已经基本构建完成,针对在投入使用过程中遇到的一些问题,还需要进一步完善系统功能。主要包括:数据录入模块需要加入智能录入提示,提高数据录入效率;数据管理系统目前只能统计重要字段的信息,需要添加更全面的统计分析工具;数据分析评价模块的可视化效果比较粗糙,还需要参考好的实现方式不断改进;系统在面对大用户量时稳定性还有所欠缺,下一步需要优化系统的性能。

参考文献:

- [1] 王元胜, 赵春江, 王纪华, 等. 基于 WebGIS 的重金属污染决策支持系统设计与应用[J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 137-140.
WANG Yuan-sheng, ZHAO Chun-jiang, WANG Ji-hua, et al. Design and application of decision support system for heavy metal pollution management on WebGIS[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(12): 137-140.
- [2] 刘小军, 朱艳, 姚霞, 等. 基于 WebGIS 的农田生产环境质量评价系统研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(3): 551-557.
LIU Xiao-jun, ZHU Yan, YAO Xia, et al. Study on WebGIS-based farming environment quality assessment system[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(3): 551-557.
- [3] 施加春. 浙北环太湖平原不同尺度土壤重金属污染评价与管理信息系统构建[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
SHI Jia-chun. Assessment and management information system design

of soil heavy metal pollution at different scales in northern plain of Zhejiang Province around Taihu Lake[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.

- [4] 罗娜, 陆安祥, 王纪华. 基于空间插值的土壤重金属污染评估分析系统设计与实现[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(2): 497-504.
LUO Na, LU An-xiang, WANG Ji-hua. Estimation and analysis system for soil heavy metal pollution based on spatial interpolation[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2016, 7(2): 497-504.
- [5] 林世滔, 李琳, 卢志红, 等. 基于 GIS 的江西省耕地土壤重金属污染评价研究[J]. 江西农业大学学报, 2014, 36(5): 1167-1172.
LIN Shi-tao, LI Lin, LU Zhi-hong, et al. Evaluation of heavy metal pollution of farmland soil in Jiangxi Province based on GIS[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2014, 36(5): 1167-1172.
- [6] 王成军, 刘勇, 刘华, 等. 工业园区土壤重金属时空分布信息查询分析系统[J]. 环境工程学报, 2014, 8(11): 5035-5040.
WANG Cheng-jun, LIU Yong, LIU Hua, et al. Soil heavy metal spatial and temporal distribution of industrial park information query and analysis system[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2014, 8(11): 5035-5040.
- [7] 王艳敏. 基于 ArcGISServer 的土壤重金属信息系统设计与实现[D]. 郑州: 河南农业大学, 2012.
WANG Yan-min. The design and implementation of an ArcGIS server-based soil heavy metal information system[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2012.
- [8] 李文峰, 李超, 杨林楠, 等. 基于 WebGIS 的食用农产品产地环境质量评价系统[J]. 农业工程学报, 2011, 27(6): 198-202.
LI Wen-feng, LI Chao, YANG Lin-nan, et al. Farmland environmental quality evaluation system for edible agricultural products based on WebGIS[J]. *Transactions of the Chinese Society of the Agricultural Engineering*, 2011, 27(6): 198-202.
- [9] 王莉. 基于 WebGIS 的农业环境动态监测与评价管理信息系统设计与实现[D]. 南昌: 江西农业大学, 2013.

- WANG Li. Design and implementation of agricultural environment dynamic monitoring and evaluation management information system based on WebGIS[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2013.
- [10] 唐 伟. 基于开源 WebGIS 的农产品供求与价格信息系统应用研究[D]. 成都: 四川师范大学, 2013.
- TANG Wei. The information system of the price of agricultural products based on WebGIS[D]. Chengdu: Sichuan Normal University, 2013.
- [11] 蔡飞燕. 基于 WebGIS 的江苏省高风险农产品产地适宜性评价系统研究与实现[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- CAI Fei-yan. Research and implementation of suitability assessment system of high-risk farmland in Jiangsu Province based on WebGIS[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2010.
- [12] 李卫江, 吴永兴, 茅国芳. 基于 WebGIS 的基本农田土壤环境质量评价系统[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 59-63.
- LI Wei-jiang, WU Yong-xing, MAO Guo-fang. WebGIS-based information system for evaluation of soil environment in prime farmland[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(8): 59-63.
- [13] 谢正苗, 李 静, 王碧玲, 等. 基于地统计学和 GIS 的土壤和蔬菜重金属的环境质量评价[J]. 环境科学, 2006, 27(10): 2110-2116.
- XIE Zheng-miao, LI Jing, WANG Bi-ling, et al. Evaluation on environmental quality of heavy metals in soils and vegetables based on geostatistics and GIS[J]. *Environmental Science*, 2006, 27(10): 2110-2116.
- [14] 高怀友, 郑向群, 赵玉杰, 等. 基于 WebGIS 的全国基本农田环境监测信息管理系统研究[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(1): 194-197.
- GAO Huai-you, ZHENG Xiang-qun, ZHAO Yu-jie, et al. National information management system of basic farmland environmental monitoring base on WebGIS[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, 23(1): 194-197.
- [15] 林 艳. 基于地统计学与 GIS 的土壤重金属污染评价与预测[D]. 长沙: 中南大学, 2009.
- LIN Yan. Pollution assessment and prediction of heavy metals in soil based on geostatistics and GIS[D]. Changsha: Central South University, 2009.
- [16] 严加永, 吕庆田, 葛晓立. GIS 支持下的土壤重金属污染预测预警研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 27(3): 592-596.
- YAN Jia-yong, LÜ Qing-tian, GE Xiao-li. The research about soil heavy metal pollution forecast and early warning support by GIS[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 2007, 27(3): 592-596.
- [17] Zhang C S. Using multivariate analyses and GIS to identify pollutants and their spatial patterns in urban soils in Galway, Ireland[J]. *Environmental Pollution*, 2006, 142(3): 501-511.
- [18] Shen H, Xing T, Zhou S X, et al. Research on soil heavy metal pollution assessment system based on WebGIS[M]//Advances in Multimedia, Software Engineering and Computing Vol1. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011: 355-360.