

# 基于WebGIS 中国农田养分平衡与环境风险评价系统的构建<sup>①</sup>

周娟<sup>1</sup>, 沈润平<sup>1\*</sup>, 孙波<sup>2</sup>

(1 南京信息工程大学遥感学院, 南京 210044; 2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**摘要:** 在分析了 ArcIMS 的体系结构及其运行机制的基础上, 基于 ArcIMS9.0 平台, 采用空间数据引擎技术、数据库技术及 ASP.NET 编程技术, 结合农田养分平衡模型和环境风险评价模型, 设计开发基于 WebGIS 中国农田养分平衡与环境风险评价系统。系统主要包括远程基础数据库管理、基本数据查询分析、养分专题制图、在线养分平衡分析、环境风险评价分析及施肥策略咨询等 6 大功能, 将农业基础数据通过模型运算的结果与地图数据相结合, 实现了全国范围内基本农业数据、农田养分平衡与环境风险等信息的在线共享、评价与施肥咨询服务。

**关键词:** WebGIS; 农田养分; 环境风险评价; ArcIMS

中图分类号: S126

随着人口的日益增长和耕地面积的减少, 我国现在所面临的保持环境质量问题也越来越突出<sup>[1]</sup>。从 20 世纪 50 年代开始许多国家就逐渐开展农业的“绿色革命”, 即通过增加化肥、杀虫剂和除草剂的投入, 以增加粮食的产量。但是这种高投入的农业也对环境产生了一些负面的影响。如: 温室气体 ( $N_2O$ ) 排放量增加、进入水体及土壤的污染物 (如养分和农药等有机污染物) 的数量大量增加, 从而引起对流层臭氧的破坏和湖泊及河流的富营养化, 影响人类的生活<sup>[1-3]</sup>。2007 年 5 月太湖地区爆发大规模的蓝藻而导致无锡市生活用水严重污染无法使用, 严重地影响到人们的日常生活, 便是例证之一<sup>[4]</sup>。中国目前已是世界上最大的化肥消费国, 农业的非点源污染 (面源污染) 问题受到了越来越广泛的关注<sup>[1]</sup>。

WebGIS 是 Internet 技术与 GIS 相结合的产物, 从 WWW 的任意一个节点, Internet 用户可直接通过浏览器, 对地理空间信息进行浏览、查询、时空分析等常规的 GIS 操作。农田的养分平衡是影响土地或土壤质量的一项重要指标<sup>[2-5]</sup>, 保持农业生态系统中养分投入与支出之间的平衡有利于农业的可持续发展和环境保护。农田养分平衡受到人类活动因素的影响, 特别是化肥使用的影响, 表现出较强的时间和空间变异性。因此, 借助 WebGIS 构建农田养分环境时空数据库, 对农田养分在时间上进行长期监控, 多时段数据比较, 在空间上进行大范围覆盖研究和空间变异分析, 能够帮助农业、环境、生态等政府部门的管理人员科学及

时地掌握农田养分平衡信息及科学地评价区域养分状况对环境的影响, 对于相关人员在制定相关政策法规和措施时具有重要意义。

近年来, GIS 技术在农田养分及施肥咨询方面的应用日益广泛, 如“红壤丘陵村级农田土壤养分的空间变异与制图”<sup>[6]</sup>、“GIS 支持下的农田土壤速效养分评价、分级与推荐施肥”<sup>[7]</sup>、“基于 WebGIS 的农田土壤推荐施肥信息系统的初步设计与应用”<sup>[8]</sup>、“基于 WebGIS 的基本农田土壤环境质量评价系统”<sup>[9]</sup>、“基于 GIS 技术的新疆棉花施肥专家系统”<sup>[10]</sup>等, 这些系统的研制为提高我国农田养分管理信息化水平起到了重要作用, 极大地推动农田施肥科学化。但基于 WebGIS 的区域养分平衡和风险评价系统研制尚较少。本系统在国家重点基础研究发展计划“我国农田生态系统重要过程与调控对策研究”和江苏省青蓝工程的支持下, 综合应用 WebGIS、网络技术、C# 程序开发和数据库技术, 结合农田养分平衡模型、环境风险评价模型, 利用国家统计资料及生态网试验数据, 对全国各省份的农田养分情况进行分析, 并根据分析结果结合各省的气候、地形地势和作物类型等因素, 对农田养分潜在环境风险进行分析, 并依此提出施肥和农田管理建议, 以促进信息技术在区域农田生态系统养分管理中的应用。

## 1 系统的总体设计

### 1.1 WebGIS 设计方式

<sup>①</sup>基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 项目 (2005CB121108-6)、江苏省青蓝工程项目和南京信息工程大学科研基金项目资助。

\* 通讯作者 (rpshen@nuist.edu.cn)

作者简介: 周娟 (1982—), 女, 浙江宁波人, 硕士研究生, 主要从事 GIS 的开发与应用。E-mail: happycatherin@126.com

早期的 WebGIS 设计方法主要有 CGI (common gateway interface) 和 ServerAPI (经过扩充的 CGI)。目前分布式 WebGIS 主要有两种标准: ① OMG 的 CORBA/Sun 的 Java 标准, 优点在于其跨操作系统、跨平台的互操作能力, 不足之处在于其相对速度较慢; ② 微软公司的 DCOM (distributed component object model)/ActiveX, 最大的技术优势在于通过了对象池 (object pool) 和负载均衡两项技术, 极大地提高了 WebGIS 对多用户请求的处理能力和分布式计算的效率以及良好的 Windows 平台移植性, 不足之处在于只能运行在 Windows 平台上<sup>[11]</sup>。

本次 WebGIS 的开发设计方式是基于分布式对象, Object Web 规范采用的是 DCOM/ActiveX 标准。

## 1.2 系统组织结构

中国农田养分平衡与环境风险评价系统总体设计是在 ArcIMS9.0 的平台上, 利用 ASP.NET 语言和模型组件技术相结合的开发策略, 采用 B/S 结构<sup>[12-13]</sup>, 由用户浏览层、业务服务层, 模型库和数据库服务层 4 层结构组成 (图 1)。

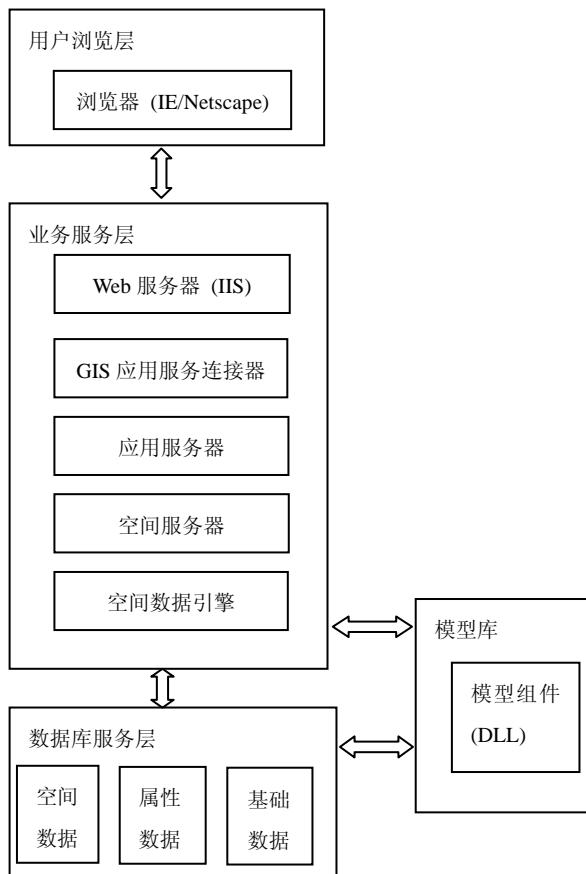


图 1 系统总体结构

Fig. 1 General structure of the system

(1) 用户浏览层。用户浏览层即客户端, 为一个标准的 Web 浏览器 (如 IE/Netscape 浏览器) 用于业务服务层中的 Web 服务器提交请求, 并接收由服务器端返回原 HTML 文件。

(2) 业务服务层。业务服务层主要处理相关的 GIS 事件请求、访问空间属性数据库和平衡服务器负载<sup>[14-15]</sup>。Web 服务器通过 GIS 应用服务连接器与应用服务器相连, 应用服务请求的数据从空间服务器中获得, 空间服务器通过空间数据引擎从关系数据库中提取数据。

(3) 模型库。模型库主要包括一套用于农田养分平衡分析和环境风险评价模型组件。模型采用 C# 语言开发, 符合 com 标准, 最终封装成动态数据链接库 (DLL) 的形式。当客户端发出农田养分平衡分析或环境风险评价请求时, 业务服务层中的 Web 服务器根据请求自动调用相应的模型组件, 模型组件通过调用数据库中的基础数据表利用已有知识模型进行计算, 并将计算结果返回到客户端。当用户以管理员的身份对基础数据进行修改并确认后, 系统自动调用模型组件, 根据新的基础数据表利用已有知识模型对养分平衡和环境风险进行重新计算, 并生成新的数据库文件, 通过数据库中的关联技术将新的数据库文件同地理数据中的属性数据相关联, 实现了基础数据库中数据改变, 则地理数据中的属性数据有自动更新的功能。

(4) 数据库服务层。包括了基础数据库和地理数据。地理数据由属性数据和空间数据组成, 并存放在关系数据库 (RDMBS) 中, 通过空间数据引擎技术来实现空间数据和属性数据的关联。空间数据引擎技术将 GIS 数据提交给 RDMBS, 由 RDMBS 统一存储, 管理 GIS 数据, 使用户能够快速、准确地定位所需的数据, 保证了数据的安全性和一致性。

基础数据库主要由 3 个数据表组成, 数据表 1 包括全国各省市 1980—2005 年各年份稻谷、小麦、玉米、杂粮、大豆、油料、花生、棉花、麻类、糖料、烟叶、药材等作物的产量及蔬菜、绿肥、桑园、茶园、果园的面积和产量信息; 数据表 2 中包括 1980—2005 年各年份的全国各省市总人口、非农业人口、农业人口, 家畜总量等信息及土地总面积、农作物面积、耕地面积、水田面积、旱地面积、有效灌溉面积、幼苗面积、造林面积、幼林面积等农业统计数据。数据表 3 为气象统计数据, 主要包括 1980—2005 年各省市平均温度、全年降水量等气象资料。

空间数据主要存储描述区域所在位置的空间信

息, 包括各中国行政区图斑图和线状图。

属性数据除了包括基础数据库中 3 个表中的数据外, 还包括了 1980—2005 年各年份全国各省市 N、P、K 的盈亏量, 环境风险等级, 及 2010 年、2015 年环境风险预测值。

### 1.3 系统开发环境与运行环境

系统的开发环境为 Windows 2003, 采用 Apache 作为 Web 服务器, Tomcat Servlet Engine 作为连接器, ESRI 公司的 ArcIMS (9.0) 作为地图服务器, ArcSDE 作为空间数据引擎, SQL Server 2000 为数据库服务器。模型组件库是用 C# 语言依照 Microsoft 的 COM 标准开发的封装好的 DLL。

### 1.4 系统工作流程

中国农田养分平衡与环境风险评价系统的地图服务的请求过程为:

(1) 客户通过 Internet 浏览器向服务器发出地图服务请求, 请求首先通过 HTTP 协议传送到 Apache Web 服务器 (80) 端口。

(2) Web 服务器以 ArcXML 形式将地图服务请求传给 Tomcat Servlet Engine 的 8008 端口。

(3) 连接器又将请求以 ArcXML 形式转发给应用服务器的 5300 端口。应用服务器由两部分组成: ① Monitor: 用于开始、监控空间服务, 即跟踪空间数据服务的状态; ② Tasker: Tasker 根据 ArcXML 内容, 通过 Monitor 判断请求的地图服务是否启动, 若启动则转 4, 否则返回错误信息。

(4) 应用服务器通过 5353 端口与空间服务连接。

(5) 空间服务器接到请求后, 解析 ArcXML 请求

后, 通过端口为 5151 的 ArcSDE 发出对地理数据库的请求。

(6) ArcSDE 收到请求后, 将请求译为对关系型数据库有效的 SQL 语句, 在关系数据库中找到相关图层的空间和属性数据后对其进行 GIS 解译, 并将结果返回给空间服务器。

(7) 结果以相反的方向传递、返回给用户。

## 2 系统的主要功能及实现

### 2.1 系统的主要功能

基于 WebGIS 中国农田养分平衡与环境风险评价系统由远程数据库管理模块、基本数据查询分析模块、养分专题制图模块、在线养分平衡分析模块、环境风险评价分析模块和施肥策略咨询模块等 6 个模块构成。

(1) 远程数据库管理模块。本模块主要是服务于系统管理人员, 通过 ASP.NET 和 ADO.NET 技术对存放在 SQL Server 2000 中的数据实现了远程管理, 数据包括了 1980—2005 年中国各个省份农业、气象相关的统计资料。利用 ASP.NET 的 Session 机制来确保对管理员的身份验证及对数据库的操作权限控制。管理员的操作权限包括对数据库中的农业统计数据、历年气象数据进行数据录入、删除、修改等。

(2) 基本数据查询分析模块。本模块主要是服务于系统访问用户, 可对各省农业统计历史资料、养分分析结果、气象历史资料分别进行单项、多项、条件查询与分析, 结果以表格或统计图等形式显示和输出, 使用存储过程和视图技术来优化查询方法并实现数据的动态更新 (图 2)。

数据表	省份	年份	字段	单位	排序方式
粮食	安徽 北京 福建 甘肃 广东 广西 贵州 海南 河北	1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987 1988	粮食 稻谷 小麦 玉米 杂粮 大豆	万吨 万吨 万吨 万吨 万吨 万吨	<input checked="" type="radio"/> 省份 <input type="radio"/> 年份

图 2 查询界面

Fig. 2 Interface of data query

(3) 养分专题制图模块。在服务器端根据各个省份的农业、气象相关统计资料, 通过动态链接库引入农

业养分平衡模型, 对养分进行模拟, 并通过 ArcSDE 空间数据引擎, 根据省份名称字段将模拟结果与专题

图中相应空间的属性数据相关联, 完成了动态更新专题图中的属性数据, 保证了数据的一致性和正确性。专题图库中包括全国各省份 1980—2005 年历年的 N、

P、K 模拟收入支出量及农业统计数据。用户可根据自己的需求选择不同的专题图表现方式进行图查属性, 属性查图, 地图放大、缩小等功能(图 3)。

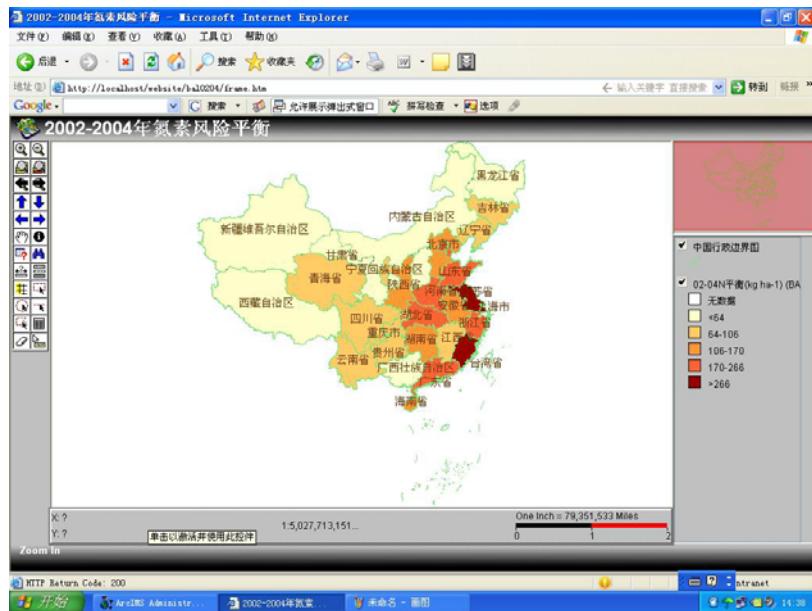


图 3 2002—2004 年中国农田生态系统 N 素养分平衡

Fig. 3 N budget of farmland system in China from 2002 to 2004

(4) 在线养分分析。根据用户在浏览器端输入的参数信息, 利用 ASP.NET 技术将参数信息回传给服务器端, 在服务器上调用数据库中的养分平衡模型, 生成养分模拟结果, 并以图表的形式, 发送到用户的浏览器上。参数信息主要包括主要农作物的产量面积、

人畜数量、化肥施用量、绿肥产量和面积。该功能主要满足有相关统计数据的县市农业、环境、生态等政府部门的管理人员、技术人员进行养分估计计算的需要, 以便为相关政策和法规的制定提供技术支持(图 4)。

### 在线养分分析与氮素潜在风险评价

请根据贵地农业统计资料按年份输入以下信息, 结果为贵地输入年份的模拟养分分析结果和氮素潜在风险等级

农业人口: <input type="text"/> 万人	稻谷: <input type="text"/> 吨 面积: <input type="text"/> 公顷	复合肥: <input type="text"/> 吨
城镇人口: <input type="text"/> 万人	小麦: <input type="text"/> 吨 面积: <input type="text"/> 公顷	复合肥中氮: <input type="text"/> 示例
牛: <input type="text"/> 万头	玉米: <input type="text"/> 吨 面积: <input type="text"/> 公顷	磷钾的比列 (3: 2: 1)
猪: <input type="text"/> 万头	杂粮: <input type="text"/> 吨 面积: <input type="text"/> 公顷	氮肥: <input type="text"/> 吨
羊: <input type="text"/> 万只	大豆: <input type="text"/> 吨 面积: <input type="text"/> 公顷	磷肥: <input type="text"/> 吨
家禽: <input type="text"/> 万只	绿肥: <input type="text"/> 吨 面积: <input type="text"/> 公顷	钾肥: <input type="text"/> 吨

根据模型模拟得出贵地:

氮素平衡量: <input type="text"/> 千克/公顷	氮素潜在风险等级: <input type="text"/>
磷素平衡量: <input type="text"/> 千克/公顷	钾素平衡量: <input type="text"/> 千克/公顷

图 4 在线养分分析与 N 素潜在风险评价

Fig. 4 On-line nutrient analysis and nitrogen potential risk evaluation

(5) 环境风险评价模块。根据各省市的养分分析模拟结果, 结合农业、气象历史统计等资料通过 ASP.NET 技术调用封装了环境风险评价模型的动态联接库, 生成 1980—2005 年各省市的 N 素潜在风险等级信息(图 5)。环境风险评价模块将根据各省市单位面积耕地 N 素年平均盈余量划分为 3 个风险等级<sup>[1,18-19]</sup>:

低风险<100 kg/hm<sup>2</sup>、潜在风险 100~180 kg/hm<sup>2</sup>和高风险>180 kg/hm<sup>2</sup>。利用 GIS 的空间表达能力, 实现了专题地图表达和空间潜在趋势分析。此外, 利用具有线性增加趋势的指数平滑模型(holt exponential smoothing model)对 2010、2015 年各省农田养分平衡变化作出预测, 并绘制 2010、2015 年潜在风险评价图(图 6)。

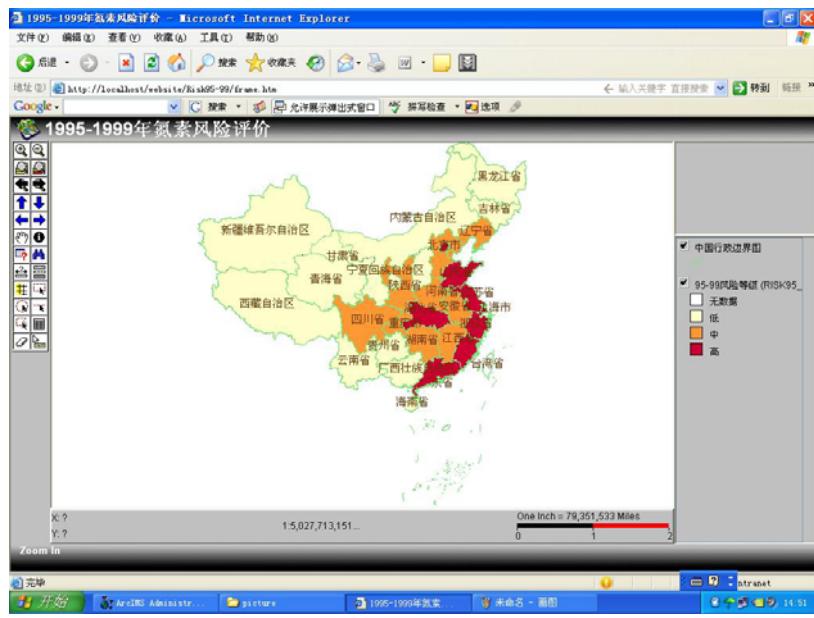


图 5 1995—1999 年 N 素潜在风险评价

Fig. 5 Evaluation map of nitrogen potential risk from 1995 to 1999

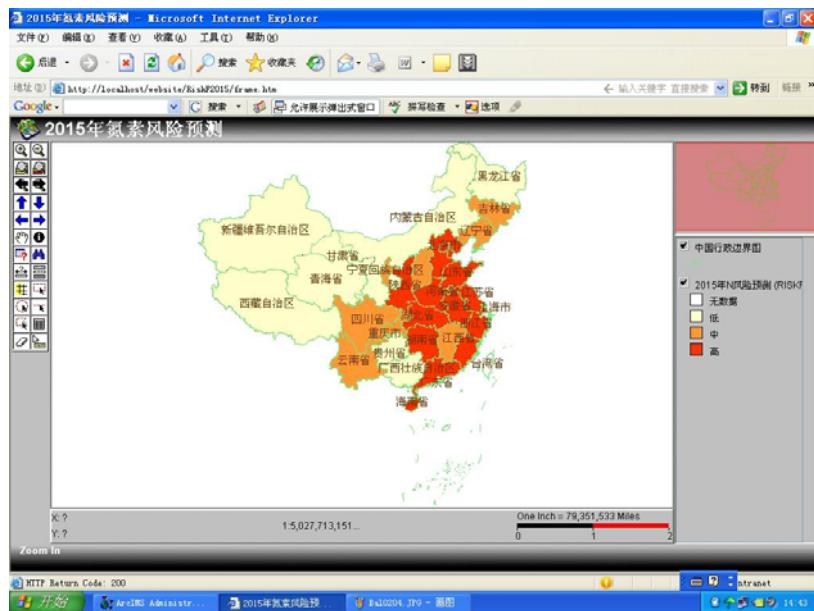


图 6 2015 年 N 素潜在风险预测

Fig. 6 Evaluation map of nitrogen potential risk in 2015

(6) 施肥策略咨询模块。根据基础数据库中的各省农业统计资料和气象资料以及各省的地理、土壤类型等信息,结合模拟出的各省份的N、P、K等养分盈亏信息,对不同省份不同作物,结合专家意见设计了作物推荐施肥策略数据库。用户在浏览器端选择作物类型和省份名称后,通过 ASP.NET 技术将参数信息传递给服务器端,服务器通过 ADO.NET 数据库连接技术在作物推荐施肥策略数据库中查找相应施肥策略并将结果以图、文、表等方式送至客户端。

## 2.2 养分平衡模型

农田生态系统中养分平衡主要包括N、P、K的收入与支出。养分平衡量的计算采用养分表观平衡量计算模型<sup>[16-17]</sup>,N、P、K的收入主要考虑了有机肥(动物排泄、秸秆)、化肥、固N等投入因子;而支出主要根据耕地面积、农作物产量等数据,以农作物从农田带出量来模拟。养分平衡可用下列模型<sup>[19]</sup>来计算:

$$A(\text{or } B \text{ or } C) = a \sum b_i L_i + \sum d_i e_i O_i + R_{cn} + f R_{cm} + g \sum h_i M_i - \sum k_i O_i$$

式中, A、B、和C分别为农田N、P和K素的表观盈亏量; a为人畜排泄物养分回收率; b<sub>i</sub>为人及不同牲畜排泄物养分含量; L<sub>i</sub>为年均人畜排泄物量; d<sub>i</sub>为作物秸秆返田率; e<sub>i</sub>为不同作物秸秆养分含量; O<sub>i</sub>为不同作物的经济产量; R<sub>cn</sub>为单质肥料年投入量(纯量); R<sub>cm</sub>为复合肥年投入量(纯量); f为复合肥中N(P或K)含量; g为豆科植物固N占收获物量的比例; h<sub>i</sub>为豆科作物及豆科绿肥养分含量; M<sub>i</sub>为豆科作物及豆科绿肥收获产量; k<sub>i</sub>为每生产1000公斤不同作物经济产量的养分需要量。

## 3 结语

本系统基于地图化、网络化、开放式环境,集信息编辑、查询统计、模型运算、结果输出等功能于一体,为保证农业基本统计数据及养分信息的动态更新、网络共享和网络化服务提供了很好的信息技术支持,并且结合了模型组件、数据库技术和空间数据引擎技术完成了空间数据和属性数据的无缝联接。系统将养分平衡分析与环境风险评价模型以及施肥策略集为一体,有助于相关管理人员对农业资源和环境信息的掌握,提高决策水平。

为使系统具有更强的指导意义,将进一步补充县一级的农业、气象统计数据,使养分平衡分析与环境效应分析达到县一级水平。此外,风险评价模型、风险预测方法的进一步完善,无疑能提高风险评价及预测的精确度。

## 参考文献:

- [1] 朱兆良, David N, 孙波. 中国农业面源污染控制对策. 北京: 中国环境科学出版社, 2006:1-28
- [2] 鲁如坤, 时正元, 施建平. 我国南方6省农田养分平衡现状评价和动态变化研究. 中国农业科学, 2000, 33(2): 63-67
- [3] 彭奎, 朱波, 欧阳华. 农林复合生态系统氮素平衡及其评价. 长江流域资源与环境, 2004, 13(3): 252-257
- [4] 高超, 朱建国, 窦贻俭. 农业非点源污染对太湖水质的影响: 发展态势与研究重点. 长江流域资源与环境, 2002, 11(3): 260-263
- [5] 杨学云, 黎青慧, 孙本华, 郝兴顺. 陕西省典型农区农田生态系统养分平衡研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2001, 29(2): 99-104
- [6] 路鹏, 苏以荣, 牛铮, 吴金水. 红壤丘陵区村级农田土壤养分的空间变异与制图. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2007, 33(1): 89-95
- [7] 李辉, 贺立源, 黄魏, 江成旺, 鲁明星, 徐辉, 张德才, 巩细民. GIS 支持下农田土壤速效养分评价、分级与推荐施肥. 华中农业大学学报, 2004, 23(4): 412-415
- [8] 霍艾迪, 张广军, 武苏里, 晁晓菲. 基于 WebGIS 的农田土壤推荐施肥信息系统的初步设计与应用. 干旱地区农业研究, 2006, 24(6): 90-94
- [9] 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. 农业工程学报, 2006, 22(8): 59-63
- [10] 王海江, 吕新. 基于 GIS 技术的新疆棉花施肥专家系统. 农业工程学报, 2006, 22(10): 167-170
- [11] 龚健雅. 当代地理信息系统进展综述通信. 测绘与空间地理信息, 2004, 27(1): 5-11
- [12] 曾杉. ArcIMS 管理员教程. 北京: ArcGIS 地理信息系统培训系统丛书, 2003: 29-59
- [13] 黄健熙, 吴炳方. 基于 B/S 的水土保持信息查询系统的设计和实现. 计算机应用研究, 2006, 7: 138-140
- [14] 陈踊, 黄丙湖, 刘二年, 张宏, 黄家柱. 基于.NET 和 ArcIMS 的 WebGIS 设计与实现. 南京师范大学学报(工程技术版), 2005, 5(2): 91-94
- [15] 刘小军, 朱艳, 姚霞, 田永超, 曹卫星. 基于 WebGIS 的农业空间信息管理及辅助决策系统. 农业工程学报, 2005, 22(5): 125-129
- [16] Shaffer MJ, Ma L, Hansen S. Modeling Carbon and Nitrogen Dynamics for Soil Management. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 2001: 404-425
- [17] Shen RP, Sun B, Zhao QG. Spatial and temporal variability of N, P and K balances for agroecosystems in China. Pedosphere, 2005, 15(3): 347-355

## WebGIS-Based Information System for Nutrient Balances and Environmental Risk Evaluation in Chinese Agroecosystem

ZHOU Juan<sup>1</sup>, SHEN Run-ping<sup>1</sup>, SUN Bo<sup>2</sup>

(1 School of Remote Sensing, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China;

2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract:** The system frame work and operation mechanism for ArcIMS were analyzed. Based on the platform of ArcIMS 9.0, a scheme with multi architecture for WebGIS was put forward with the help of ASP.NET technology. Combined with the knowledge models of farmland nutrient balance and environmental risk assessment, the WebGIS-based information system for the nutrient balances and environmental risk evaluation in Chinese agroecosystem has been developed. The system included six function modules named as basic database management module, data query and analysis module, the nutrient thematic mapping module, on-line nutrient analysis module, environmental risk assessment module, and fertilizer consultancy service module. Combining map data with the result of the modules which deal with agricultural basic data, the system could provide the services of on-line share, evaluation and consultation of the national farmland nutrient balance and environmental risk assessment.

**Key words:** WebGIS, Farmland nutrient, Environmental risk evaluation, ArcIMS