WebGIS 支持下的黑土农田施肥决策支持系统
——以黑龙江省双城市为例

李 勇[1,2], 赵 军[1], 王毅博[3], 谢叶伟[4], 张 磊[4], 宋春雨[1], 杨靖一[5]
(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 黑龙江 哈尔滨 150081;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 上海集成电路研发中心, 上海 201203;
4. 东北林业大学, 黑龙江 哈尔滨 150040; 5. 加拿大农业和农产品部 温室与作物加工研究中心, 加拿大 安大略 N0R 1G0)

摘 要: 以双城市农田耕层 0—20 cm 采样数据和土壤图、区划图、土地利用图为基础, 通过地统计学和空间叠加分析方法, 生成了施肥管理图。并以长期田间试验和施肥模型为依据, 建立了推荐施肥指导数据库和专家系统。在 ArcGIS Server 平台上, 利用 JAVA Script 编程语言开发了双城市施肥决策支持系统。该系统可以在全市范围内按照不同的地力和养分等级进行施肥指导。系统操作简便, 可视化程度高, 可以帮助农户获得合理的施肥建议, 可为决策者对区域土壤养分动态变化的监测和管理提供数据支持, 为促进农村信息化建设、提高土壤肥力质量和作物产量, 保护生态环境提供了基于 GIS 的信息化管理平台。

关键词: WebGIS; 施肥指导系统; 空间分析; 施肥管理图
文献标识码: A 文章编号: 1000-288X(2009)06-0193-05 中图分类号: S431, TP393.09

Developing a WebGIS Fertilizer Decision Support System in Black Soil Zone of Northeast China
—A Case Study of Shuangcheng County in Heilongjiang Province

LI Yong[1,2], ZHAO Jun[1], WANG Yi-bo[3], XIE Ye-wei[4], ZHANG Lei[4], SONG Chun-yu[1], YANG Jing-yi[5]
(1. *Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin, Heilongjiang* 150081, *China*; 2. *Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*; 3. *Shanghai Integrated Circuit Research and Development Center, Shanghai* 201203, *China*; 4. *Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang* 150040, *China*; 5. *Agriculture and Agri-Food Canada, Greenhouse Processing and Crop Research Centre, Ontario N0R 1G0, Canada*)

Abstract: A Fertilizer Decision Support System was developed based on the long term maize field experiments in Shuangcheng County located in black soil region, Northeast China. In the study, 500 soil samples in the 0—20 cm layer were collected from the cornfield in all the Shuangcheng County and the support scheme of the system was established by the long-term experiment in the field and fertilization model. The geostatistics and Kriging methods were used in the study in order to analyze the spatial heterogeneity of soil nutrients and make the map of fertilization management unit. The Java Script Language was used to develop the Fertilizer Decision Support System on ArcGIS Servers. Using this system, agronomists and decision makers can obtain information on the spatial variability of soil fertility and make decision on strategic management on soil fertility. In addition, farmers can access the system to obtain their fertilizer recommendations easily. This research provides a useful tool to promote the application of agricultural information through WebGIS, to increase farmer's profit, and to improve sustainable agriculture and environment protection.

Keywords: WebGIS; fertilizer decision support system; spatial analysis; fertilization management map

用养失调的农田管理方式, 已经造成土壤质量下降, 黑土退化和水土流失的日趋严重。因此, 农民不得不靠投入大量的化肥来维持较高的粮食产量, 化肥的资金投入已经占到整个生产投入 50% 以上[1-5]。仅黑龙江省每年化肥施用量约为 4.00×10^6 t, 而有效利用率仅有 30% 左右。据估算, 该省每年因不合理施肥造成的肥料隐性浪费约 2.00×10^5 t, 无形中增加了种植业成本, 影响了农民收益, 造成了土壤污染

收稿日期: 2009-07-29 修回日期: 2009-09-29
资助项目: 黑龙江省自然科学基金重点项目(ZD200813-01); 地方攻关(2007AA6CN6104); 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW-09-09)
作者简介: 李勇(1983—), 男(汉族), 山东省单县人, 硕士研究生, 研究方向为遥感与地理信息系统应用技术。E-mail: wqshiliyong@163.com。
通信作者: 赵军(1958—), 女(汉族), 黑龙江哈尔滨市人, 研究员, 主要从事 GIS、数据库和土壤水肥模型研究。E-mail: zhaojun@neigaehrb.ac.cn。

与土壤板结。如何合理有效地施肥,提高肥料的当季利用率是当前的热点研究问题[6-9]。近年来国家开展了测土配方施肥工程项目,为农民提供按需施肥的方案[10-12],虽然还处于起步阶段[13],但对农户的施肥管理起到了积极的作用。由于专家人数有限,要实现对广大承包农户的科学指导还要借助于网络和信息技术。3S 技术是随着计算机技术发展起来的新兴产业,可在信息化农业中发挥重要作用,可用于决策支持系统、定量获取农田小区作物产量和影响作物生长的环境因素,如土壤肥力和病虫草害等,分析其时空异质性和影响小区产量差异的原因,采取技术上可行、经济上有效的调控措施,按需实施定位调控的"处方农作"等,在国外有较大的应用[14-15]。现在虽然就中国广大农村现状来讲,实现精准施肥还有一定距离,但我们可借助于 3S 技术分析土壤养分的空间变化,并在网络上实现在线施肥指导。目前基于 Web-GIS 的应用逐渐增多[16-17],但真正在实际中应用的效果并不明显。本研究是在长期田间试验的基础上,利用多源数据融合,在 ArcGIS server 平台上利用 JAVA 语言开发了基于不同土壤养分分区的推荐施肥指导系统,可以帮助农民提高肥料投入的科学性,提高其利用率。这是农民目前渴望得到的方法和技术,也是解决农业生产中如何科学施肥、改善土壤质量、提高作物产量最有效的措施之一。同时也给决策和管理者提供了一个可视化的信息处理平台,使其能够更好地对农田和农业生产进行管理。

1 研究区域和数据处理

1.1 研究区域

本研究区双城市位于松嫩平原典型黑土带中南部,松花江上游南岸,西南部与吉林交界,东北部与哈尔滨市区接壤。地理位置为北纬 45°08′—45°43′,东经 125°41′—126°42′。全境为冲积平原和阶地,地势平坦,呈东高西低的马鞍状;海拔在 110~ 210 m;耕地面积约 2.10×10^5 hm^2;有 6 个土类,黑土是主要土类,约占总面积的 58.08 %,黑钙土和草甸土分别占 18.85% 和 18.39%。年均气温在 2.0 ℃~ 5.3 ℃;年降雨量约 400~ 500 mm。种植业以玉米为主。双城市是我国重要的商品粮和畜产品基地,已连续 5 a 列全国百个产粮大县前 10 名。除此之外,双城畜牧业和食品加工业也是全国百强县之一,年产奶量居全国第一位。工农业产值较高,网络通讯设备发达,基本上实现了村村通。

1.2 数据处理

在 2005 年秋收后,以土壤分类图、区划图和土地利用图为底图,按照均匀分布和有代表性原则,设计在研究区内采集农田耕层(0—20 cm)土壤样品 500 个。每个混合样"X"型取样采集 10~ 15 个点,充分混合后 4 分法留存。将土样带回实验室自然风干,过 2 mm 筛后,分析土壤速效养分 N,P,K 的含量。

土样数据化验后,结合 GS+ 5.3 和 ArcMap 空间分析平台,利用地统计学和空间分析方法,克里格插值生成土壤养分空间分布图,土壤养分空间分布图通过了交叉检验和统计分析验证,符合研究要求后备分析使用。其它必要的图件,如土壤图和区划图在 ArcGIS 9.2 平台上进行矢量化。土地利用图通过 ALOS 遥感数据解译处理获得。对当地农业生产情况进行实地考察和数据录入。

1.3 数据库建立

数据库由空间数据库、属性数据库和专家知识库组成。(1) 空间数据库主要有 ALOS 遥感数据解译的土地利用图、区划图、土壤分类图和耕地地力评价图(比例尺 1∶ 5 万),采样点化验分析数据的空间插值图;(2) 属性数据库主要有土壤理化属性数据;土地利用数据;乡、村屯和农户调查数据;连续 5 a 的作物产量、施肥量等农田管理数据;全市气候变化和农业生产情况统计数据。空间数据采用 Shp 格式;属性数据库采用 Oracle 作为后台数据库管理,通过关键字实现图件数据和属性数据的关联。(3) 专家知识库主要由长期定位田间试验成果、土壤养分丰缺计算方法、目标产量法和专家多年的经验算法相结合建立。

2 系统设计原理和工作流程

2.1 总目标

农田施肥决策支持系统的总目标是要开发一个基于 WebGIS 的信息化平台,实现 2 个功能。(1) 数据服务平台。准确地提供地块土壤养分数据、农业生产相关数据,能够为决策者和农业技术人员使用;(2) 施肥指导平台。根据土壤养分和生态环境状况为农民提供施肥指导,提高施肥的科学性与合理性,逐渐提高土壤质量和作物产量。

2.2 系统框架

本系统采用的是基于 ArcGIS Server 的系统框架,B/S 模式。WebGIS(网络地理信息系统)是 Internet 技术应用于 GIS 开发的产物。客户端应用软件采用网络协议,使地理信息系统能够在 Internet 上运行。一般由多主机,多数据库和多个客户端以分布式连接在 Internet 上而组成,主要由 4 部分组成:浏览器,服务器,编辑器和信息代理。在这种 B/S 模式的 WebGIS 系统中,客户机无论在什么平台下,只要

安装了浏览器就可以使用服务器提供的 GIS 功能进行空间数据的调用、专题图的制作等等, 而不必关心数据格式和来源, 从而方便了用户, 节省了成本, 使得 GIS 通过 Internet 功能得以扩展, 真正成为一种大众使用的工具走进千家万户。

2.2.1　数据服务平台　数据服务平台采用 ORACLE 数据库进行管理。系统管理员拥有最高权限, 可以给用户授权, 授权用户分为数据管理用户和网络用户。数据管理用户根据授权可以对数据进行修改, 录入, 上传和下载。网络用户可以根据权限浏览各种的数据资源。数据查询功能可以实现对属性数据的单项和组合查询, 列表显示和组合显示, 及简单的统计分析。也可以对图件进行查询, 空间到属性和属性到空间的查询。实现对地图漫游、放大、缩小、移动、全屏显示等基础地图操作。

2.2.2　施肥决策平台　施肥决策平台是本系统最重要的部分, 本系统采用的是 B/S 结构, 浏览器和服务器管理架构。数据库和应用程序都在服务器端。服务器端在 ArcGIS SERVER 平台上配置为 TOMCAT + ADF, 开发环境为 Eclipse 利用 Java Script 语言进行开发。然后通过 ASP 和 HTML 语言进行 WEB 调用。客户端的用户可以根据不同的权限浏览数据, 获得指导。只要农户点击自家所在区域就能够获得本区域的施肥指导推荐方案。本系统可以运行在 Windows server 2003 和 Windows XP 环境下(图 1)。

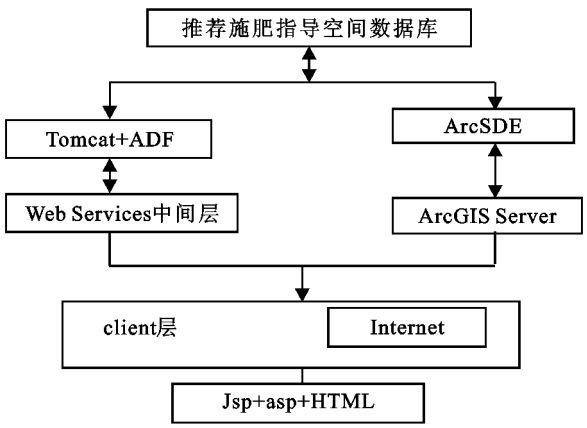


图 1　WebGIS 推荐施肥系统平台总体结构

3　建立专家推荐施肥模型库

3.1　专家推荐模型库

专家推荐施肥模型是本研究内容的最重要部分。专家推荐模型的方法很多, 但主要的有 3 种。(1) 土壤肥力分区配方法; (2) 目标产量法; (3) 田间试验配方法。有些方法理论上可行, 但由于变量太多, 参数难以得到, 实践中应用效果并不好。多年的土壤测试推荐施肥的结果证明, 土壤中各种养分含量的高低与该地块土壤上种植作物的产量有密切的正相关关系。即土壤有效养分含量水平高的地块, 农作物的产量水平也较高; 反之亦然。因此为了达到一定的目标产量, 在土壤有效养分含量高的地块可以少施肥, 而在土壤肥力水平低的地块就应多施肥。实际上到目前为止, 通过田间肥料试验来获取肥料用量信息, 是推荐施肥最基本的方法, 其它各种方法都要以它为参照标准。本研究采用了田间试验、模型算法和专家经验融合为一体方法建立分区指导施肥决策模型库。以全国统一的配方施肥 3414 试验方案和双城市农业技术推广中心长年田间试验结果为基础, 结合目标产量法和土壤养分丰缺指标法、肥力效应系数及专家修正系数, 最后建立土壤肥力分区施肥专家决策模型库。田间试验方法计算步骤为: 通过 3414 田间试验得到全肥区和无肥区产量, 并计算出相对产量的百分比函数。计算公式为:

$$\text{相对产量} = \text{缺肥区产量} / \text{全肥区产量} \times 100 \quad (1)$$

式中, 以施 N 肥为例, 全肥区表示田间试验处理中含有 N 肥的不同水平, 缺肥区表示试验中不含有 N 肥的处理。

根据得出相对产量的百分比和对应的土壤养分测试值, 拟合出相对产量与土壤养分含量的回归曲线, 通过曲线对应的土壤养分值, 得出相对产量水平下的土壤养分丰缺指标临界值。本研究拟合的曲线公式为:

$$y = \frac{x}{(b + a \times x)} \quad (2)$$

式中: x ——土壤测试值; y ——相对产量。

通过拟合公式得出双城市区域内相对产量在 50%~ 75% 为低, 75%~ 90% 为中, 90%~ 95% 为高, > 95% 为极高 4 个等级。以此建立玉米产量与有效养分 N, P, K 肥用量的曲线回归方程分别为: $y = -2.5x^2 + 43.5x + 530.7$; $y = -5.7x^2 + 63.6x + 538.3$; $y = -2.7x^2 + 33.2x + 609.3$; r^2 分别为 0.9, 0.8 和 0.7; 得到不同土壤肥力区施用 N, P, K 肥的比例和用量范围。

3.2　施肥管理单元图的建立

在施肥专家模型方案确定之后, 要对研究区土壤养分的空间分布进行研究并生成土壤养分综合空间分布图。由于目前在施肥中主要考虑土壤有效养分 N, P, K 含量; 因此通过地统计学分析和克里格插值的方法重点分析了土壤有效养分 N, P, K 的含量和空间分布规律, 作出了土壤有效养分 N, P, K 的空间分布图(图 2)。从图中看出土壤有效养分 N, P, K 的空间分布异质性和区

域分布规律。通过区域统计和挂接, 把 3 种土壤有效养分都落实到分区地块上, 并按照 50%~ 75% 为低, 75%~ 90% 为中, 90%~ 95% 为高, > 95% 为极高这 4 个级别进行分级组合, 最后生成了研究区施肥管理图。共计组合为 25 个施肥区, 3 种有效土壤养分含量见附图 6。系统将根据这 25 个土壤养分组合分区调用专家系统模型库进行施肥决策推荐和指导。由于每个分区组合的地块都叠加了区划图、土地利用和土壤图, 因此每个地块都带有所在区域的乡、村、队甚至农户的信息、土壤分类信息和土地利用信息。

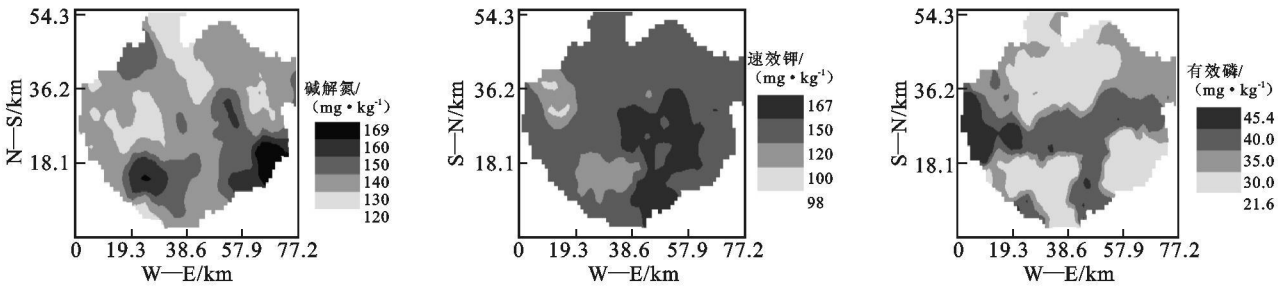


图 2 单质土壤有效 N, P, K 空间分布图

在施肥管理图 25 个分区的基础上调用每个施肥方案时计算不同复合肥配方的比例, 按照不同复合肥的配比提供施肥指导。

4 系统应用功能

4.1 数据浏览和查询

数据可以进行浏览, 分为列表型数据查询, 空间数据查询和组合查询。列表型数据的浏览和查询主要用于对长时间序列的数据查询和分析, 例如多年的气象数据、作物产量数据, 土壤分类信息, 土地利用现状等。空间数据查询主要用于对于指定地块信息的浏览和查询, 主要包括土壤养分信息, 土壤分类、土地利用信息, 实现了空间到属性的共同显示。可以利用 SQL 语言或者关键字查询村、镇、乡的位置, 多种土壤养分分级组合信息。

4.2 推荐施肥指导功能

当用户点击选择区域时, 将显示出该区域的乡名、村名、地块位置和农户信息、土壤养分现状等信息, 同时给出高、中、低目标产量选择, 一般在肥力较高的地块, 系统将推荐农户选择高产目标, 同时推荐施肥的时间、方法和经济效益。同时还提供了不同的配肥方法, 如直接购买复合肥和人工配肥等, 供农户根据自家的经济条件选择。

5 结 语

在农业生产中大面积精确施肥是当前国内外急需解决的主要科学技术问题之一。本研究以长期定位试验数据为基础, 对试验数据和专家经验数据进行融合, 建立了施肥决策指导知识库。通过农户调查和采样分析, 掌握了当地土壤养分空间分布格局, 并制定了施肥管理图。可以提供给农户到地块的施肥指导。为科学准确施肥提供了一种有效和可操作的新方法。

根据对双城市中部地区农户调查, 应用本系统推荐施肥方法和常规施肥方法对比, 玉米平均单产比常规施肥方法增产约 784.5 kg/hm^2, 纯增收约 1 001.7 元/hm^2。另外, 通过该 WebGIS 平台还可以查询历年的农田信息, 承包农户信息, 历年的种植作物和作物产量, 以及地块土壤养分的变化信息, 初步实现了对农田的信息化管理。农户还可以直接将遇到的问题提出并上传, 由双城市农业技术推广中心技术支持 110 的专家解答和服务。由于影响农业生产的因素多, 3S 技术的应用与土壤、农学等的交叉, 能够为改善土壤质量、提高肥料利用率、增加作物产量和农民收入起到重要作用。目前本系统还在试运行阶段, 在今后的运行中还需要不断地改进和升级。

致谢: 感谢日本北海道大学王秀峰给与遥感数据帮助; 感谢黑龙江八一农垦大学张之一先生, 哈尔滨市土肥站顾思平研究员, 双城农业技术推广中心张文成副主任和贵洪东高级农艺师等专家提供的施肥指导知识和建议; 感谢黑龙江省土肥站和双城市农业技术推广中心测土配方施肥项目提供的采样数据、3414 田间试验数据和耕地地力评价成果。

[参 考 文 献]

[1] 刘登高, 张小川, 崔永, 等. 东北黑土地保护问题的调查报告[J]. 中国农业资源与区划, 2004, 25(14): 16-19.

[2] 魏丹, 杨谦, 迟凤琴. 东北黑土区土壤资源现状与存在问题[J]. 黑龙江农业科学, 2006(6): 69-72.

[3] 陆继龙. 我国黑土的退化问题及可持续农业[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 53-67.

[4] 徐晓斌, 王清. 我国黑土退化研究现状与展望[J]. 地球

与环境, 2005, 33(S): 588-592.
[5] 鲁彩艳, 陈欣, 史奕, 等. 东北黑土资源质量变化特征研究概述[J]. 农业系统科学与综合研究, 2005, 21(3): 182-185.
[6] Shanahan J F, Kitchen N R, Raun W R, et al. Responsive in-season nitrogen management for cereals[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 61: 51-62.
[7] 韩秉进, 隋跃宇, 赵军, 等. 黑龙江省黑土农田养分时空演变分析[J]. 农业系统科学与综合研究, 2005, 21(4): 288-291.
[8] 王宗明, 张柏, 宋开山, 等. 东北平原典型农业县农田土壤养分空间分布影响因素分析[J]. 水土保持学报, 2007, 21(2): 73-77.
[9] 张兴义, 王树奎, 隋跃宇. 东北农田黑土碱解氮现状评价[J]. 农业系统科学与综合研究, 2005, 21(4): 305-308.
[10] 姚春霞, 陈振楼, 许世远. 上海市郊旱作农田土壤养分资源状况[J]. 水土保持学报, 2007, 21(1): 131-134.
[11] 韩秉进, 张旭东, 隋跃宇, 等. 东北黑土农田养分时空演变分析[J]. 土壤通报, 2006, 38(2): 238-341.
[12] 黑龙江省双城县土壤普查办公室. 双城土壤志[M]. 哈尔滨: 农业出版社, 1983: 52-57.
[13] 陈述惠, 杨腾玉, 陈飞. 测土配方施肥与常规施肥的比较试验[J]. 广西农学报, 2007, 22(6): 20-22.
[14] Naiqian Zhang, Maohua Wang, Ning Wang. Precision agriculture: a worldwide overview[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 36: 113-132.
[15] Udayakantha W A, Vitharana, Meirvenne M V, et al. Key soil and topographic properties to delineate potential management classes for precision agriculture in the European loess area[J]. Geoderma, 2008, 143: 206-215.
[16] 陈云峰, 赵春江, 马金峰, 等. 基于知识模型与 WebGIS 的精准农业处方智能生成系统研究[J]. 中国农业科学, 2007, 40(6): 1190-1197.
[17] 霍艾迪, 张广军, 武苏里, 等. 基于 WebGIS 的农田土壤推荐施肥信息系统的初步设计与应用[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(6): 90-102.

(上接第 192 页)

[参 考 文 献]

[1] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 635-640.
[2] 吴钢, 肖寒, 赵景柱, 等. 长白山森林生态系统服务功能[J]. 中国科学(C 辑), 2001, 31(5): 471-480.
[3] 于兴修, 杨桂山, 王瑶. 土地利用/覆被变化的环境效应研究进展与动向[J]. 地理科学, 2004, 24(5): 627-633.
[4] 王兵, 臧玲. 我国土地利用/土地覆被变化研究近期进展[J]. 地域研究与开发, 2006, 25(2): 86-91.
[5] 吴平, 付强. 扎龙湿地生态系统服务功能价值评估[J]. 农业现代化研究, 2008, 29(3): 335-337.
[6] 岳书平, 张树文, 闫业超. 东北样带土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. 地理学报, 2007, 62(8): 879-886.
[7] 叶庆华, 刘高焕, 陆洲, 等. 基于 GIS 的时空复合体—土地利用变化图谱模型研究方法[J]. 地理科学进展, 2002, 21(4): 349-357.
[8] 叶庆华, 刘高焕, 田国良, 等. 黄河三角洲土地利用时空复合变化图谱分析[J]. 地球科学, 2004, 34: 461-473.
[9] 陈燕, 齐清文, 杨桂山. 地学信息图谱的基础理论探讨[J]. 地理科学, 2006, 26(3): 306-310.
[10] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
[11] 榆林市统计局. 榆林市 1985—2000 年统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001.
[12] 肖玉, 谢高地, 安凯. 莽措湖流域生态系统服务功能经济价值变化研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5): 676-680.
[13] 曾辉, 刘国军. 基于景观结构的区域生态风险分析[J]. 中国环境科学, 1999, 20(1): 43-45.
[14] 臧淑英, 梁欣, 张思冲. 基于 GIS 的大庆市土地利用生态风险分析[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(4): 141-145.
[15] 韦仕川, 吴次芳, 杨杨, 等. 基于 RS 和 GIS 的黄河三角洲土地利用变化及生态安全研究: 以东营市为例[J]. 水土保持学报, 2008, 22(1): 185-189.