

农产品产地环境质量预测系统设计*

咏梅¹ 张漫¹ 王圣伟^{1,2} 刘刚¹

(1. 中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 西北师范大学计算机科学与工程学院, 兰州 730070)

摘要: 基于数据库技术、ArcGIS Server 技术、Flex 技术及模型理论构建了农产品产地环境质量污染预测系统。该平台以 VS 2008、Flash builder 4.6 为开发环境, 实现了农产品产地环境信息的查询、环境污染物的空间分析以及农产品产地环境污染预测等功能。根据农产品产地重金属污染的时间序列特征, 采用指数平滑预测模型对土壤重金属的污染进行了预测。在对 2010 年 1 月~2013 年 4 月重金属监测数据分析的基础上, 建立了 6 种重金属浓度预测模型。研究表明, 指数平滑预测模型能较好地拟合重金属污染变化规律, 预测精度在 90% 左右。

关键词: 农产品 产地环境 质量预测 Flex 指数平滑

中图分类号: X825; S-03 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)S2-0226-05

Forecast System for Origin Environment Quality of Agricultural Product

Yong Mei¹ Zhang Man¹ Wang Shengwei^{1,2} Liu Gang¹

(1. Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. College of Computer Science and Engineering, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Forecast system for origin environment quality of agricultural product was proposed based on the database technology, ArcGIS Server, Flex and model theory. Taking VS 2008 and Flash builder 4.6 as the development environment, the proposed system could be used for the query of agricultural environmental information, the spatial analysis of pollutant information, and the forecasting of farmland environmental pollution. Based on the time series characteristics of heavy metal pollution in origin environment, exponential smoothing forecasting model was built to predict the heavy metal pollution. According to the monitoring data of heavy metals from January 2010 to April 2013, six kinds of heavy metals concentration prediction models were established. The analysis results showed that the prediction accuracy of models were around 90%, which meant that the exponential smoothing model could better fit the variation of heavy metal pollution.

Key words: Agricultural products Origin environment Quality forecast Flex Exponential smoothing

引言

土壤作为最基本的自然资源对农业生产和人类生活活动具有重要的战略意义, 其质量要求与环境有着密切关系^[1]。现代工业化进程以及人为环境活动加剧了重金属对农业生产环境的基底土壤污

染。重金属极难降解, 并且在土壤中的积累可通过种植等农业活动进入农作物, 造成粮食污染^[2-5]。

随着网络与 GIS 技术的日趋成熟, WebGIS 技术应运而生, 为构建高效的农产品质量信息管理系统奠定了坚实的基础^[6]。李文峰等以建水县为研究区, 利用农业模型技术和 WebGIS 技术, 构建了土

收稿日期: 2013-06-24 修回日期: 2013-07-05

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2011AA100704)

作者简介: 咏梅, 硕士生, 主要从事 WebGIS 研究, E-mail: wulinqiqige@126.com

通讯作者: 张漫, 副教授, 博士生导师, 主要从事精细农业及其支持技术研究, E-mail: cauzm@cau.edu.cn

壤、水、大气的环境质量评价模型及综合环境质量评价模型^[7]。但系统对于产地污染预测预警没有做进一步的研究。WebGIS技术在农业资源评估与监测系统^[8]、农业生产管理决策支持系统^[9-10]、污染应急决策支持系统^[11-12]等研究中也得到了广泛应用。但目前这些系统主要采用C/S模式建立GIS系统,即使是WebGIS系统,也是结合地图控件,采用传统的动态网页技术,如ASP、NET、JSP、Javascript等,存在缺少客户端交互性、地理空间信息表达不丰富、数据传输与更新模式单一、开发维护复杂等问题^[13-14]。

为了克服传统WebGIS系统存在的缺陷,通过对Flex技术的研究,采用Flex和ArcGIS Server技术来构建农产品产地环境质量预测系统。该系统以黄河三角洲滨州市滨城区环境信息空间数据库为基础,旨在通过对土壤重金属污染现状和时间趋势的分析,对污染原因进行探讨,进而为农产品安全预测提供依据。

1 材料与方法

1.1 系统总体设计

系统采用ESRI公司的ArcGIS Server 9.3和Macromedia公司的Flash Builder 4.6作为WebGIS开发平台,以ActionScript 3.0、MXML、CSS和C#为开发语言。系统框架分为3层,分别为表现层、应用层和数据层,如图1所示。

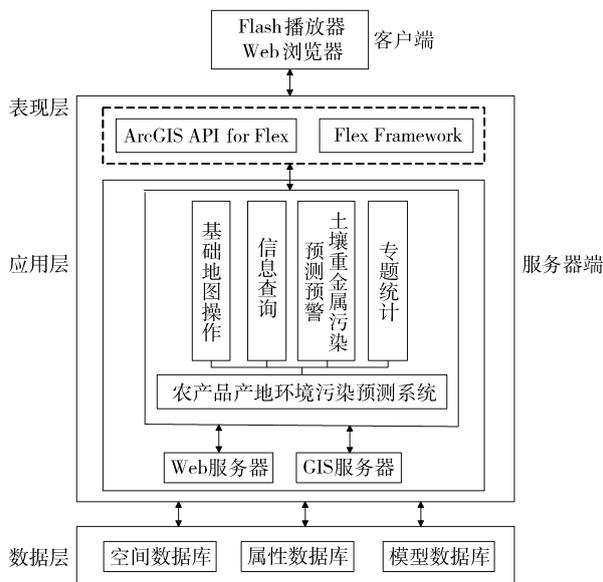


图1 系统结构框架图

Fig. 1 System architecture

表现层借助ArcGIS API for Flex和Flex Framework来设计与实现,通过浏览器和下载的Flash Player插件为用户提供具有高交互性的可视

化界面,以图文一体化的方式显示空间和属性信息,同时也为用户提供地图交互、信息查询、地图分析的交互接口。应用层通过Web应用服务器与GIS服务器响应空间数据和属性数据请求,对空间数据进行分析和管理。同时利用应用网关、远程服务与业务数据库进行交互,完成业务数据的查询。采用微软IIS 5.0作为Web服务器,采用ArcGIS Server作为GIS应用服务器。数据层用于存储试验区的矢量、栅格和属性数据。采用SQL Server 2008和ArcSDE管理数据。

1.2 研究区概况

滨州市滨城区,位于华北平原,黄河下游。地处东经117.47'~118.09'、北纬37.13'~37.36'之间。总面积1040.06 km²。境内有地上河——黄河和地内河——徒骇河自西南向东北流经全境。土壤主要为潮土和盐土,土壤表层质地面积:沙壤占7.9%,轻壤占56.7%,中壤占26.9%,重壤占8.2%,粘土占0.3%。黄河冲积物是唯一成土母质的基础物质,同时存在土质盐渍化。

1.3 采样处理与分析

在试验区域内,从2010年1月~2013年4月,每季度采集一次土样,共采集了14组数据。采样位置使用手持式GPS记录,在离地块边界100 m范围内采集0~20 cm的耕层土壤,四分法混合后作为该区域的混合样本。土样经风干、磨碎及过筛后,按国家GB/T 15337—2008标准通则,进行有关土壤重金属的含量检测。检测参数包括As、Hg、Pb、Cd、Cr和Cu 6种元素,其中As和Hg采用氢化物原子荧光法测定,Pb和Cd采用石墨炉原子吸收光谱法测定,Cr和Cu采用火焰原子吸收光谱法测定。

1.4 农产品产地环境质量预测模型

预测是预警系统的核心内容。由于农产品产地环境质量变化是一个渐变的历史过程,随时间缓慢、平稳地变化,并且存在单向趋势特性,符合应用时间序列预测分析方法构建农产品产地安全状态预测模型的基本条件,同时农业土壤历年的重金属实测值反映的是当前产地质量现状和历史状态,因而容易实现时间序列的构造^[15]。常用的时间序列预测方法有移动平均法、指数平滑法、季节周期预测法以及自回归滑动平均法^[16]。其中指数平滑预测法作为移动平均法的改进和发展,既不需要存储很多历史数据,又考虑了各期数据的重要性,且使用了全部历史资料,因而应用较为广泛。与自回归滑动平均法比较,计算量相对较少,可以用EXCEL软件里的数据分析工具直接计算出结果,并给出结果图表。因此本文应用指数平滑法建立农产品产地环境污染趋

势预测模型,探索土壤重金属浓度变化规律。

1.4.1 指数平滑预测模型

时间序列指数平滑法是一种特殊的加权移动平均法,其加权的特点是对离预测期近的历史数据给予较大的权值,对离预测期远的历史数据给予较小的权值,因此,该方法以本期实际值和上一期指数平滑值的加权平均作为本期指数平滑值,并可作为下一期预测值。

设 X_0, X_1, \dots, X_n 为时间序列观察值, $S_1^{(1)}, S_2^{(1)}, \dots, S_n^{(1)}$ 为时间 t 的观察值的指数平滑值,则一次指数平滑值为

$$S_t^{(1)} = aX_t + a(1-a)X_{t-1} + a(1-a)^2X_{t-2} + \dots \quad (1)$$

式中 a ——平滑系数,取 $0 < a < 1$

式(1)中,实际值 X_t, X_{t-1}, X_{t-2} 的权值分别为 $a, a(a-1), a(a-1)^2$ 。依此类推,离现在时刻越远的数据,其权值越小。指数平滑法就是用平滑系数 a 来实现不同时间的数据的非等权处理。

式(1)略加变换,得

$$S_t^{(1)} = aX_t + (1-a)S_{t-1}^{(1)} \quad (2)$$

当预测时间序列呈平滑趋势时,可采用式(2),也称一次指数平滑。当预测时间序列呈直线趋势时,必须通过二次指数平滑来估计;对于非线性趋势则需要通过三次指数平滑来估计。二、三次指数平滑的公式为

$$S_t^{(2)} = aS_t^{(1)} + (1-a)S_{t-1}^{(2)} \quad (3)$$

$$S_t^{(3)} = aS_t^{(2)} + (1-a)S_{t-1}^{(3)} \quad (4)$$

非线性关系预测模型为

$$Y_{t+N} = a_t + b_t N + c_t N^2 \quad (5)$$

式中 Y_{t+N} ——预测值

N ——预测值的时间序列与目前序列的间隔

a_t, b_t, c_t ——模型参数

可根据残差平方和计算公式,采用最小二乘法求出模型参数。

$$\varphi = \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2 \quad (6)$$

由 $\frac{\partial \varphi}{\partial a_i} = 0, \frac{\partial \varphi}{\partial b_i} = 0, \frac{\partial \varphi}{\partial c_i} = 0$, 得出

$$a_t = 3S_t^{(1)} - 3S_t^{(2)} + S_t^{(3)} \quad (7)$$

$$b_t = \frac{a}{2(1-a)^2} [(6-5a)S_t^{(1)} - 2(5-4a)S_t^{(2)} + (4-3a)S_t^{(3)}] \quad (8)$$

$$c_t = \frac{a^2}{2(2-a)^2} (S_t^{(1)} - 2S_t^{(2)} + S_t^{(3)}) \quad (9)$$

1.4.2 预测模型验证方法

预测模型的精度分析可直接说明预测成功与

否,并可用来评价这一预测方法是否通用。预测精度分析的指标一般包括:平均绝对误差(MAE)、平均绝对百分误差(MAPE)、均方根误差(RMSE)、预测精度^[16],计算公式分别为

$$R_{MAE} = \frac{1}{n} \sum_i |X_i - Y_i| \quad (10)$$

$$R_{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_i \left(\frac{|X_i - Y_i|}{X_i} \times 100\% \right) \quad (11)$$

$$R_{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (12)$$

$$R_p = 1 - R_{MAPE} \quad (13)$$

式中 Y_i ——重金属浓度预测值

n ——采集的样品数

2 结果与分析

2.1 农产品产地环境污染预测模型

滨州示范区2010年1月~2013年4月间每季度采集的数据标记为序列1~14,得到农田土壤重金属时间序列趋势图如图2所示。由图2可以看出,土壤重金属数据时间序列呈非线性变化趋势。因此,对产地重金属污染趋势预测采用三次指数平滑法建立预测模型。根据时间序列数据波动情况,初始值选为序列前3个数据的平均值;根据不同平滑系数下,平滑值的平均绝对误差最小原则选取平滑系数,其中Pb、Cu、Cd、As的平滑系数取0.1, Hg、Cr的平滑系数取0.3。

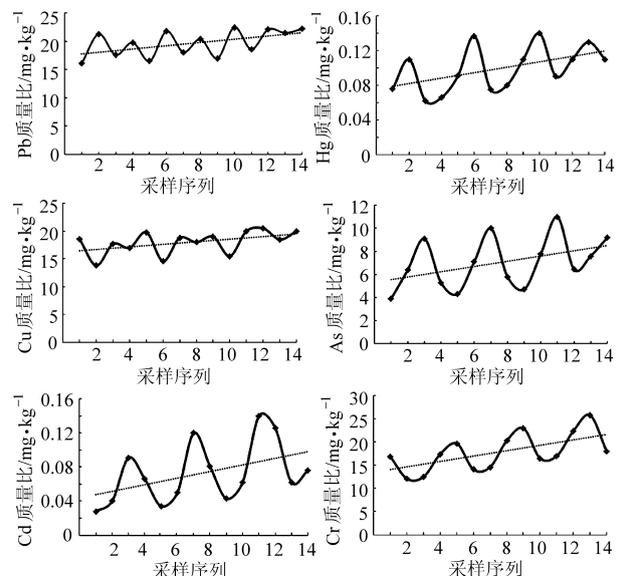


图2 土壤重金属时间序列趋势图

Fig. 2 Time series trend chart for soil heavy metal

在逐次计算指数平滑值后,用式(7)~(9)即可计算出模型的3个系数,建立预测模型。本时间序列的预测起点为2012年10月,序列数为12,将各重金属的指数平滑值代入式(7)~(9),经计算可得

$$\text{Pb}: a_{12} = 20.28, b_{12} = 0.14, c_{12} = 0.0005$$

$$\text{Hg}: a_{12} = 0.117, b_{12} = 0.0012, c_{12} = 2.2 \times 10^{-19}$$

$$\text{Cd}: a_{12} = 0.102, b_{12} = 0.004, c_{12} = 2 \times 10^{-5}$$

$$\text{Cu}: a_{12} = 19.16, b_{12} = 0.21, c_{12} = 0.0007$$

$$\text{Cr}: a_{12} = 20.77, b_{12} = 0.88, c_{12} = 0.0053$$

$$\text{As}: a_{12} = 7.66, b_{12} = 0.13, c_{12} = 0.009$$

将以上参数代入式(5)即可得到不同类型重金属浓度预测模型。分别为

$$\text{Pb}: Y_{12+N} = 20.28 + 0.14N + 0.0005N^2 \quad (14)$$

$$\text{Hg}: Y_{12+N} = 0.117 + 0.0012N + 2.2 \times 10^{-19}N^2 \quad (15)$$

$$\text{Cd}: Y_{12+N} = 0.102 + 0.004N + 2 \times 10^{-5}N^2 \quad (16)$$

$$\text{Cu}: Y_{12+N} = 19.16 + 0.21N + 0.0007N^2 \quad (17)$$

$$\text{Cr}: Y_{12+N} = 20.77 + 0.88N + 0.0053N^2 \quad (18)$$

$$\text{As}: Y_{12+N} = 7.66 + 0.13N + 0.009N^2 \quad (19)$$

2.2 预测模型验证

以土壤重金属 Pb 为例, Pb 浓度预测模型的精度检验结果如表 1 所示, 通过计算可得 $R_{MAE} = 1.44$, $R_{MAPE} = 7.7\%$, $R_{RMSE} = 1.58$, 模型的预测精度较好, 为 92.3%。采用同样的分析方法可计算出其他 5 种重金属 (Hg、Cd、Cu、Cr 和 As) 浓度预测模型的误差数据, 如表 2 所示, 模型的预测精度 R_p 分别为 87%、69%、91.2%、91.9% 和 97.6%。

表 1 精度检验

Tab.1 Precision checking

序号	X_i	Y_i	$ X_i - Y_i $	$ X_i - Y_i /X_i$
1	16.10			
2	21.30	19.0	2.34	0.11
3	17.60	18.6	1.02	0.06
4	19.80	18.9	0.88	0.04
5	16.50	18.3	1.79	0.11
6	21.80	19.3	2.54	0.12
7	18.10	19.1	1.03	0.06
8	20.40	19.4	1.01	0.05
9	17.00	18.7	1.72	0.10
10	22.50	21.7	0.77	0.03
11	18.60	19.6	1.01	0.05
12	22.12	20.4	1.70	0.08

采用式(14)~(19)对研究区 6 种重金属浓度进行预测可知, 10 年后该地区 As 浓度将超过本地区警戒线。由于 As 广泛用于家禽和猪生产中的饲料添加剂, 由此产生的粪便是土壤 As 的重要来源。P 肥、矿物燃料以及城市污泥中的 As 是土壤 As 的

较为次要的来源。如果不严格控制饲料添加剂中 As 的含量, 将会影响居民正常生活。

表 2 模型误差

Tab.2 Error of model

指标	Pb	Hg	Cd	Cu	Cr	As
R_{MAE}	1.440	0.012	0.020	1.520	1.330	1.580
$R_{MAPE}/\%$	7.7	13.0	31.0	8.8	8.1	2.4
R_{RMSE}	1.580	0.014	0.032	1.700	1.490	1.730

2.3 平台实现

在平台中利用开发的预测模型进行计算、分析、模拟和判断, 得到农产品产地环境状态预警、趋势预测信息。以滨州试验田为例, 在系统农产品产地污染预测菜单中选择要预测的重金属种类, 系统将调用该重金属历年的检测数据和指数预测模型进行运算, 并生成产地重金属浓度趋势图, 预测产地环境质量恶化的方向和速度。图 3 为产地重金属含量 Pb 的预测趋势图, 从图 3 可以看出 Pb 含量的逐年累积效果很明显, 计算得出 2025 年时将达到本地警戒线, 应当及时采取防御措施。

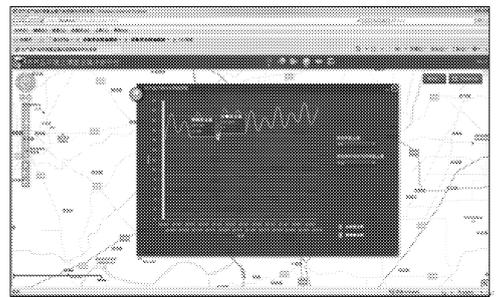


图 3 土壤重金属 Pb 含量的趋势预测图

Fig.3 Trend forecasting figure of soil heavy metal Pb

3 结束语

以黄河三角洲滨州市滨城区为研究区, 建立了基于 Flex 和 ArcGIS Server 技术的农产品产地环境质量预测 WebGIS 系统, 对产地环境污染趋势进行预测。系统结合模型技术、数据库技术、Flex 技术及 WebGIS 技术, 建立了 6 种重金属浓度预测模型, 并对 2023 年研究区重金属浓度进行了预测。预测结果表明, 重金属含量具有长期富集累积效应。10 年后, 该地土壤重金属 As 浓度超过本地区警戒线。As 增长比例较高, 说明外源性活动造成的污染明显增加, 如果不采取适当措施, 则土壤重金属浓度的累积效应将大量富集到农作物中, 引起食品安全问题。

参 考 文 献

1 孙波, 赵其国, 张桃林. 土壤质量与持续环境 II. 土壤质量评价的碳氮指标[J]. 土壤, 1997, 29(4): 169~175, 184.

- 2 Fialkowski W, Calosi P, Dahlke S, et al. The sandhopper *Talitrus saltator* (Crustacea: Amphipoda) as a biomonitor of trace metal bioavailabilities in European coastal waters[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2009, 58(1): 39 ~ 44.
- 3 贺亮, 范必威. 海洋环境中的重金属及其对海洋生物的影响[J]. *广州化学*, 2006, 31(3): 63 ~ 68.
He Liang, Fan Biwei. Heavy metals in marine environment and their effects on marine organisms [J]. *Guangzhou Chemistry*, 2006, 31(3): 63 ~ 68. (in Chinese)
- 4 范昆仑, 范先禄. 重金属元素对重庆近郊作物污染状况调查[J]. *重庆工商大学学报: 自然科学版*, 2004, 21(6): 549 ~ 551.
Fan Kunlun, Fan Xianlu. Present survey of heavy metallicions in vegetables & crops of some suburban of Chongqing city [J]. *Journal of Chongqing Technology and Business University: Natural Science Edition*, 2004, 21(6): 549 ~ 551. (in Chinese)
- 5 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 Yuansheng, Zhao Chunjiang, Wang Jihua, et al. Design and application of decision support system for heavy metal pollution management on WebGIS [J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(12): 137 ~ 140. (in Chinese)
- 6 吴晓明. 基于 WebGIS 的农产品质量信息管理系统设计与实现[D]. 西安: 西安科技大学, 2010.
- 7 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 Wenfeng, Li Chao, Yang Linnan, et al. Farmland environmental quality evaluation system for edible agricultural products based on WebGIS [J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(6): 198 ~ 202. (in Chinese)
- 8 金辉明. 农业资源地理信息系统平台设计与开发[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- 9 乔彦友, 武晓波. 基于 WebGIS 的农业决策支持系统及其应用[J]. *地球信息科学*, 2003, 5(4): 34 ~ 37.
Qiao Yanyou, Wu Xiaobo. Macro agriculture decision support system with WebGIS and its applications [J]. *Geo-information Science*, 2003, 5(4): 34 ~ 37. (in Chinese)
- 10 齐鲁, 聂宜民, 苏里. 基于 WebGIS 的寿光蔬菜安全生产决策支持系统的设计与实现[J]. *长江蔬菜: 学术版*, 2008(10b): 82 ~ 85.
Qi Lu, Nie Yimin, Su Li. Design and realization of decision support system for Shouguang's vegetable security production based on WebGIS [J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2008(10b): 82 ~ 85. (in Chinese)
- 11 钱建平, 吴晓明, 杨信廷, 等. 基于粗糙集和 WebGIS 的农产品质量安全应急管理系统[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(12): 123 ~ 129.
Qian Jianping, Wu Xiaoming, Yang Xinting, et al. Farm products quality safety emergency management system based on rough set and WebGIS [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(12): 123 ~ 129. (in Chinese)
- 12 王彦颖. 基于 WebGIS 的松花江(吉林省江段)污染应急决策支持系统研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2007.
- 13 周剑峰, 陈国华, 陈清光. 基于 Flex 的重大危险源监测预警 WebGIS 系统研究[J]. *工业安全与环保*, 2001, 37(12): 11 ~ 13.
Zhou Jianfeng, Chen Guohua, Chen Qingguang. A monitoring and early-warning system based on Flex and WebGIS [J]. *Industrial Safety and Environmental Protection*, 2001, 37(12): 11 ~ 13. (in Chinese)
- 14 刘洪顺, 周敏, 刘强. 基于 Flex 技术的 WebGIS 开发新模式[J]. *测绘*, 2012, 35(5): 215 ~ 218.
Liu Hongshun, Zhou Min, Liu Qiang. A new method of WebGIS development based on Flex [J]. *Surveying and Mapping of Sichuan*, 2012, 35(5): 215 ~ 218. (in Chinese)
- 15 李香梅, 王汉青, 周星火, 等. 铀矿井排风口尾气对周边农田土壤放射性污染的预测[J]. *安全与环境学报*, 2007, 7(1): 29 ~ 31.
Li Xiangmei, Wang Hanqing, Zhou Xinghuo, et al. On radioactive pollution forecast in soil of crop-fields near a uranium mine exhaust outlet [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2007, 7(1): 29 ~ 31. (in Chinese)
- 16 谭斌. 几种时间序列分析方法的比较与应用[J]. *统计与咨询*, 2007(6): 20 ~ 21.