

中国降水酸度预测模型

李金惠 汤鸿霄(中国科学院生态环境研究中心,环境水化学国家重点实验室,北京 100085)

文 摘 利用逐步多元线性回归方法建立了中国降水酸度预测模型。该模型包括:大气中二氧化硫、氮氧化物和总悬浮颗粒物的浓度、单位面积二氧化硫排放量这四个时间和空间变量;地理位置横向坐标、降雨量和辐射强度这三个空间变量。该模型通过回顾检验具有较好的预测精度并在假设未来中国环境状况的基础上,对降水酸度的分布进行了预测。该模型是在地理信息系统工具软件 ARC/INFO 支持下运行的,其预测方法及结果具有空间特性。

关键词 酸雨 地理信息系统 区域分析 模型 多元线性回归

Model for predicting the acidity of precipitation in China. Li Jinhui, Tang Hongxiao (State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085). *China Environmental Science*. 1998, 18(1): 8~11

Abstract—Model for predicting acidity of precipitation in China is built with stepwise linear multi-variation regression approach, which involves four spatial and time variations: the concentrations of sulfur dioxide, nitrogen oxide and total suspended particulate matter and the emission amount of sulfur dioxide per square meter; and three spatial variations: x-coordination of geographic position, precipitation amount and radiant intensity. This model runs with the support of ARC/INFO, which is a tool software of Geographic Information System (GIS) and holds spatial characteristics.

Key words acid rain GIS regional analysis model linear multi-variation regression

中国酸雨分布范围较广,主要是由燃煤排放的二氧化硫引起,氮氧化物也具有不可忽视的作用。虽然中国为防治酸雨污染采取了一系列的减少二氧化硫排放的措施,如煤燃烧前的脱硫,烟气中硫的回收等,但目前二氧化硫年排放量仍在逐年增加。由于今后相当长的时期内中国的能源消耗仍将以煤为主,所以酸雨污染将持续较长的一段时期。酸雨的发生不仅与致酸气体的排放有关,还与气象条件和大气中其它物质的浓度有关。环境质量的变化对降水酸度也有影响,所以将来的降水酸度大小具有很大的不确定性,这就需要建立适当的酸雨预测模式。目前的酸雨预测模式主要是针对某一城市的,也即某一点位的降水酸度预测模型。这些模式包括时间序列分析模型^[1,2]、多元回归模型^[3]、灰色系统模型^[4,5]。然而,对于大区域范围的降水酸度的预测,也即以降水酸度的区域分布为目的的降水酸度预测模型还未见报道。本文以 DEC 工作站

Ultrix 平台上支持的地理信息系统工具软件 ARC/INFO (7.02 版)为基础,利用全国范围的酸雨及大气环境质量数据,考虑影响酸雨发生的各主要因素建立了适合于全国尺度的区域降水酸度预测模式。

1 研究对象及方法

以城市环境监测数据为基础,其研究对象是全国尺度。所采用的降水 pH 值以及大气中 SO₂、NO_x (氮氧化物)和 TSP (总悬浮颗粒物)浓度系全国范围各城市年平均值(包括其所属各区及郊县,大部分地区的采样点经过优化,代表性较好),并利用 ARC/INFO 进行模拟处理得到各指标的地理分布。SO₂ 的排放数据采用各省市的年度排放数据^[6,7];NO_x 的各省市排放量采用文献的估算值^[8],并根据作者建议的年增长率进行

收稿日期:1997-02-01

了不同年度的换算。用各省市 SO_2 和 NO_x 的排放数据除以各自的面积得出它们的地理分布。辐射强度地理分布系采用遍布全国的一些城市或城镇的辐射量数据^[9],利用 ARC/INFO 进行模拟计算而得到。土壤 pH 值系采用图形数据^[10]。年平均降雨量系采用等值线图^[11]并利用 ARC/INFO 进行模拟计算得到其地理分布。大气中 SO_2 、 NO_x 和 TSP 的浓度及 SO_2 和 NO_x 的单位面积排放量这 5 个因子代表了致酸前体物的状况。辐射强度、土壤 pH 值和降雨量等 3 个变量是空间变量,其中辐射强度与 SO_2 氧化速率有关;土壤 pH 值与大气对酸性气体的中和能力有关,因为大气中的 TSP 大约有三分之一至二分之一来自土壤;降雨量与酸性气体和大气颗粒物的洗脱有关。所有这 9 个因子加上地理位置因子(地图上的横坐标和纵坐标)共计 11 个因子为本研究的数据系列。

2 结果与讨论

区域酸雨预测模型的建立要有两个特点:预测结果可靠,模型所需数据易于获得。数据易于获得有两个涵义:有区域范围的数据监测网络;模型运行需要较少的参数。在上述数据系列中,土壤 pH 值、年平均降雨量、辐射强度和地理位置因子在本模型中看作具有恒定地理分布的因子,不随年度而变化。所以,对参数的处理实质就是利用多元统计分析方法对大气中 SO_2 、 NO_x

和 TSP 浓度、 SO_2 和 NO_x 的单位面积排放量等 5 个因子进行简化并确定各变量的系数。

2.1 数据矩阵及其正态分布检验

将各因子的地理分布在全国范围内按 $40\text{km} \times 40\text{km}$ 划分成网格,在一定的表面模型条件下各因子均有数据的网格有 5181 个。这样就构成了包括 5181 个样本,11 个参数的数据矩阵。因为多元统计分析要求数据服从正态分布,所以首先对这个数据矩阵进行了分布类型检验。结果表明所有因子服从正态分布,其显著性水平 $\alpha < 0.01$ 。

2.2 致酸因素的相关分析

因为氮氧化物来源复杂,并且在中国降水中 NO_3^- 的贡献相对较低。经相关分析表明,全国范围的 SO_2 与 NO_x 的单位面积排放量之间的相关系数是 0.89,这表明 SO_2 排放量的地理分布同 NO_x 排放量的地理分布具有较好的一致性。这样,我们将 NO_x 排放量这个指标排除在我们的降水酸度预测模型之外。

2.3 逐步多元线性回归分析

利用 SPSS 统计软件包进行逐步多元线性回归分析可以得到降水酸度预测模型的必要参数及其比例系数。

年平均降雨量、地理位置横向因子(X)、大气中 SO_2 、 NO_x 和 TSP 浓度、 SO_2 排放量和辐射强度等 7 个变量在 $\alpha = 0.025$ 的显著水平下被包括在预测方程中。其相应的系数如表 1 所示。

表 1 回归方程中各变量的代码和系数

Table 1 The nomenclature and their coefficients in regression equation

变量	变量代码	系数	变量	变量代码	系数
X(cm)	X	0.01764	年 SO_2 排放量(mg/m^2)	C ₄	- 0.004045
SO_2 (mg/m^3)	C ₁	- 0.8721	年降雨量(mm)	P	- 0.0007718
NO_x (mg/m^3)	C ₂	- 4.055	年辐射强度(RkJ/cm^2)		0.002281
TSP(mg/m^3)	C ₃	1.718			

地理位置纵向因子和土壤 pH 值这两个变量在 $\alpha = 0.025$ 的显著水平下被排除在回归方程之外。

2.4 区域降水酸度预测方程

在这 7 个变量中地理位置横向因子只是空

间变量,不随时间而变化。降雨量和辐射强度因所用数据为多年平均值,而且随时间具有相对的稳定性,可以近似认为仅随空间而变化。当由目前的降水酸度地理分布预测将来的降水酸度的地理分布时,这两个变量就成为一个固定的常

数。 SO_2 、 NO_x 、TSP 和 SO_2 排放量这 4 个因子不但随地理位置而变化,而且随着社会的发展随时间而变化。若已知或预测得到将来的各指标在全国的地理分布,根据式(1)就可以预测中国降水酸度地理分布。

$$\begin{aligned} \text{pH} = & 3.21 + 0.01764X - 0.8721C_1 - 4.055C_2 \\ & + 1.718C_3 - 0.004045C_4 - 0.0007718P \\ & + 0.002281R \end{aligned} \quad (1)$$

这里,回归系数 $R = 0.89$; 标准差 $SE = 0.28$; 显著性水平 $\alpha = 0.025$ 。

在这个预测方程中,大气中 SO_2 和 NO_x 、 SO_2 单位面积排放量和年平均降雨量这 4 个变量的系数与它们在酸雨形成中的角色一致。但是,从理论上说,辐射强度的系数应为负值,因为太阳辐射有利于 SO_2 的氧化。这可能是辐射强度在其它方面对降水 pH 值的影响起主导作用,例如辐射强度较低的四川盆地,其大气扩散能力较弱^[12],降水 pH 值较低。值得注意的是 TSP 这个变量,在不同地区,不同粒径的大气悬浮颗粒物其酸碱特性不同。但就全国尺度而言,TSP 对降水酸度呈现缓冲作用。

2.5 模型的校正与验证

利用该回归方程对 1994 年的降水酸度进行预测,其结果与降水酸度的实际地理分布相比较得到降水酸度校正值分布图。根据 1990 年大气中 SO_2 、 NO_x 、TSP 的浓度和 SO_2 的年排放量的地理分布,利用(1)式进行图形之间的计算,并利用降水酸度校正值分布图进行校正,得到预测的 1990 年度中国降水酸度的地理分布。同样根据实际监测的降水酸度的数据得到 1990 年度中国降水酸度的实际地理分布。这两个地理分布图相减的结果即为该区域降水酸度预测模型的误差分布图(图 1)。可以看出,就普遍关注的经济发展较快的中国中部和东部的大部分地区,预测结果的误差小于 0.3 个 pH 单位。

2.6 模型的应用

假设中国较为普遍地采用燃煤前的脱硫和烟气硫回收技术,大气中 SO_2 浓度及单位面积 SO_2 排放量的地理分布维持目前水平;由于燃油比重增大等原因各地大气中 NO_x 的浓度均增加

50%;由于烟尘控制措施得力,环境植被覆盖率提高等原因,各地大气中 TSP 的浓度均减少 50%。利用方程(1)得到的预测结果见图 2。结果表明,中国酸雨区和重酸雨区面积将会逐步扩大。

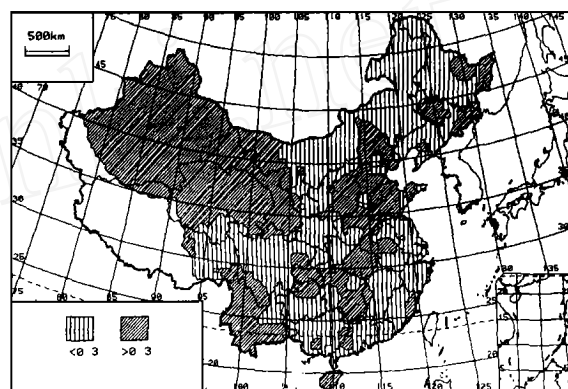


图 1 降水酸度预测结果的误差分布(1990)

Fig. 1 The error distribution of the prediction result of precipitation acidity in China

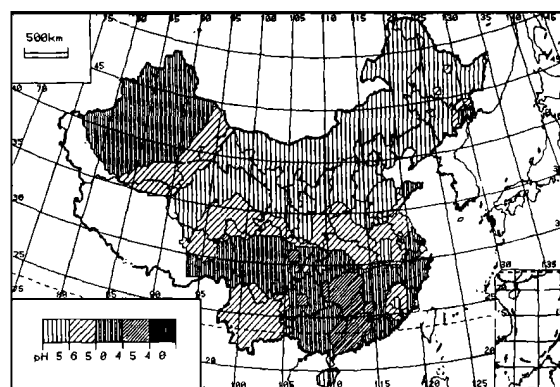


图 2 中国降水酸度预测结果

Fig. 2 The prediction result of precipitation acidity in China

3 结语

区域降水酸度预测模型是一个有益的尝试。该模型对于宏观调控国家在酸雨污染防治方面的政策具有一定的价值。而且,随着计算机的普及和计算机数据处理能力的大幅度提高,地理信息系统技术在区域环境分析中的应用将会越来越广泛,与之相配套的预测模型的建立自然具有十分重要的意义。该模型在地理信息系统工具

软件 ARC/INFO 的支持下运行,具有数据处理量大、方便、快速、直观的特点。同时,该模型通过模型检验具有较好的预测精度。该模型也存在不足之处,例如所揭示的规律在某些局部地区和农村地区可能会具有一定误差。然而,就全国范围而言,中国的经济发展、环境特点和酸雨污染确实具有大致分布规律和区域特点,对这个规律的探索仍然是十分有意义的,这就是本工作的目的。本文所提出的模型如果能够得到全国环境监测系统的支持,所采用数据将会更具代表性,预测结果也就更为可靠。

参考文献

- 1 Kessler C J, *et al.* Atmospheric Environment, 1992, 26A(5): 1137 ~ 1146
- 2 Ruijgrok W. *et al.* Atmospheric Environment, 1993, 27A(5): 637 ~ 653
- 3 广州市环境监测中心站“七五”酸雨研究课题组. 广州地区酸雨污染趋势与控制对策. 见:大气污染防治技术研究. 北京:科学出版社,1993. 929 ~ 933
- 4 王大坤. 四川环境,1990,9(4):6 ~ 12
- 5 庞燕波,刘希玲,卢筱凤. 环境保护,1994,5:31 ~ 33
- 6 国家统计局. 中国统计年鉴(1995). 北京:中国统计出版社,1995. 696 ~ 697
- 7 国家环境保护局. 中国环境统计资料汇编(1981 ~ 1990). 北京:中国环境科学出版社,1994. 99
- 8 王文兴,王 玮,张婉华等. 中国环境科学,1996,16(3):161 ~ 167
- 9 熊 毅,李庆逵. 中国土壤. 北京:科学出版社,1987. 442 ~ 443
- 10 《中国地理丛书》编委会. 中国综合地图集. 北京:中国地图出版社,1990. 19
- 11 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会. 中国自然地理 - 地表水. 北京:科学出版社,1981. 附图
- 12 王文兴,张婉华,石 泉等. 中国环境科学,1993,13(6):401 ~ 407
- 13 陶 澍. 应用数理统计方法. 北京:中国环境科学出版社,1994

作者简介

李金惠 男,1965 年 9 月生。现在中国科学院生态环境研究中心环境水化学国家重点实验室攻读博士学位,主要从事酸雨水化学研究,发表论文 8 篇。

美国民意测验表明公众认为全球变暖是一个严重威胁

由设在华盛顿的 Mellman 集团公司进行的对全国 800 名登记人进行的调查表明,有 74 %的人认为全球变暖是一个环境问题,50 %的人认为已经发生;24 %的人认为将来要发生。将近四分之三的受调查者倾向于达成一项国际会议协议,到 2005 年将二氧化碳排放减少 20 %。调查还表明,60 %美国人认为控制排放不会导致严重的经济问题,并认为已有对付全球变暖的技术。大多数人还要求政府领导人立即就此问题采取行动。80 %以上的人要求政府使新的汽车有更高的燃料效率和更清洁的发动机,让电力部门考虑用更多的太阳能和风能。大多数人愿意为清洁能源多付些钱,但反对提高汽油税来减少消费。民意调查结果已由世界野生生物基金会公布。

江 刚 摘自《Chem. & Eng. News》,October 6,21(1997)