

# 京津地区酸雨变化特征及趋势分析

徐 梅<sup>1</sup> 祝青林<sup>2</sup> 王丽娜<sup>3</sup> 朱玉强<sup>1</sup>

(1. 天津市气象局, 天津 300062; 2. 大连市气象台; 3. 大连市人工影响天气办公室)

**提 要:** 利用京津地区三个国家级酸雨观测站(北京昌平、上甸子和天津站)1993—2006年的酸雨资料,研究了京津地区酸雨空间分布及其季节特征,并利用M-K统计分析方法研究了其变化趋势。结果表明:京津地区的大气降水pH值有明显的季节变化特征,三个站点在冬季、春季和初夏基本一致,酸雨频率秋冬高,而春季和初夏低。但三个站点的大气降水、pH值和酸雨频率变化趋势差异显著。其中天津站在1990年代初较为严重,但14年间天津站酸雨状况有改善的趋势。昌平站降水pH值的M-K统计量为-3.17,说明1993—2006年昌平站降水酸化趋势显著,并通过了95%的置信度显著性检验。上甸子站代表了京津的郊区,2002年以前酸雨状况有所改善,2002年以后酸雨状况日趋严重。

**关键词:** 酸雨 酸雨频率 趋势分析

## Trend Analysis of Acid Rain Pollution in Beijing-Tianjin Area

Xu Mei<sup>1</sup> Zhu Qinglin<sup>2</sup> Wang Lina<sup>3</sup> Zhu Yuqiang<sup>1</sup>

(1. Tianjin Meteorological Bureau, Tianjin 300062; 2. Dalian Meteorological Observatory;  
3. Dalian Weather Modification Office)

**Abstract:** The spatial and seasonal variation characteristics are discussed by using the data at three monitoring stations from 1993 to 2006 in Beijing and Tianjin. The Mann-Kendall trend test was applied to examine the trend of acid rain in recent 14 years. The results show that three stations have some resembling characteristics, such as high level of pH value in autumn and winter, low level of pH value in spring and summer. However, the changing trend of three stations is very different. The acid rain frequency at Tianjin Station is serious at the beginning of the 1990s, but the state of acid rain has improved obviously recently. On the other hand, the value of M-K method in Changping Station is -3.17, indicating that the state of acid rain has deteriorated obviously during the last 14 years. As the suburb of Beijing,

资助项目: 天津市科技攻关计划重大科技项目 06YFSDSF04500

收稿日期: 2008年3月28日; 修定稿日期: 2009年3月3日

Shangdianzi Station was improved before 2002, but afterwards the state of acid rain has become increasingly serious.

**Key Words:** acid rain acid rain frequency trend analysis

## 引 言

京津都市圈正处于经济快速增长时期,整体经济实力一直在高位上持续快速增长,城市规模不断扩大,京津地区加上 7 个河北省周边城市,人口总数超过 6000 千万,将成为中国和世界上最大的城市群之一。伴随着经济的高速发展,都市圈的环境问题越来越突出,酸雨污染就是其中之一<sup>[1-2]</sup>。

我国学者对酸雨的趋势和分布已开展了大量卓有成效的研究。丁国安等<sup>[3-7]</sup>着重分析了中国酸雨的现状及发展趋势,结果表明:1986 年年平均 pH 值为 5.6 的等值线基本在长江和淮河之间,1993—1995 年我国的酸雨区向北扩展,华北、长江以北、华东、华中地区也出现酸性降水,到了 21 世纪初,华北地区的酸雨状况又略有好转。

相对而言京津地区特别是天津的酸雨研究较少,两地重要的地理位置使京津地区的酸雨对比研究具有更加重要的意义。本文利用京津地区三个国家级酸雨站(北京昌平、上甸子、天津)1993—2006 年的酸雨观测资料,采用 Mann-Kendall 非参数统计法(简称 M-K 法)和线性趋势等方法结合,从定量和定性两个角度对酸雨的变化趋势进行研究,以分析京津地区降水酸度的时空变化,这对于正确认识京津地区酸雨的变化趋势并采取相应的防治对策具有重要意义。

## 1 资料来源与处理

### 1.1 资料来源及地理位置

研究资料来源于北京昌平、上甸子和天

津的三个国家级酸雨监测站,资料包括 1993—2006 年各监测站的降水起止时间、降水的 pH 值、降水的电导率以及常规天气观测资料。

研究区域为京津地区,各站点的地理位置如图 1 所示,监测站的地理信息如表 1 所示。其中上甸子站全年盛行风向为东北风和西南风,静风出现频率约为 16%。昌平站的盛行风向为西南和东南风;天津的风向有明显的季节变化,冬季多偏西北风,夏季多偏东南风,春秋季节盛行西南风。



图 1 观测站点分布图

表 1 监测站点地理信息

站名	区站号	纬度/°N	经度/°E	海拔高度/m
昌平	54499	40°13'	116°13'	74.7
上甸子	54421	40°39'	117°07'	286.5
天津	54517	39°06'	117°10'	3.6

## 1.2 酸雨指标及分析方法

### 1.2.1 酸雨指标

酸雨观测 pH 值和 K 值采用上海产雷磁 PHS-3B 型精密 pH 计和 DDS-307 型电导率仪分别测量。每日 08 时(北京时)为酸雨观测降水采样的日界,当日 08 时至次日 08 时为一个降水采样日。在一个降水采样日

内,无论降水是否有间隔及间隔长短,降水量达到 1.0 mm 时,必须采集一个日降水样品。

酸雨是指 pH 值小于 5.60 的大气降水,其中降水 pH 值大于等于 4.5,小于 5.6 为弱酸雨;降水 pH 值小于 4.5 的为强酸雨。年均降水 pH 值采用降水量氢离子浓度 $[H^+]$ 加权法计算:

$$\overline{pH} = -\lg \left[ \frac{\sum [H^+]_i \times V_i}{\sum V_i} \right]$$

式中, $\overline{pH}$ 为降水量加权的年平均 pH 值; $[H^+]_i$ 为由每次降水的 pH 值计算得到的氢离子浓度,单位均为  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ;  $V_i$ 为每次降水的降水量,单位为 mm。

酸雨出现频率为一年酸雨出现次数除以全年测量降水的总次数。酸雨出现频率是判别某地区是否为酸雨区的又一重要指标<sup>[4,8-14]</sup>。

### 1.2.2 趋势分析方法

Askew(1987)指出,某一自然过程是处于自然波动还是确实存在特定的变化趋势是很难区分的。针对这一问题,发展了众多的趋势诊断方法。其中 Mann-Kendall 非参数统计方法是世界气象组织推荐并已广泛使用的一种方法,它更适用于水文气象等非正态分布的数据的趋势分析。Kendall 统计量  $\tau$ 、方差  $\sigma_\tau^2$  和标准化变量  $M$  的计算式分别为:

$$M = \tau / \sigma_\tau$$

$$\tau = \frac{4S}{N(N-1)} - 1$$

$$\sigma_\tau^2 = \frac{2(2N+5)}{9N(N-1)}$$

式中, $S$ 为降水系列所有对偶观测值( $X_i, X_j, i < j$ )中  $pH_i < pH_j$  出现的次数; $N$ 为系列长度。在给定显著性水平  $\alpha$  下,临界值为  $M_{\alpha/2}$ ,当  $|M_{MK}| < M_{\alpha/2}$  时,接受原假设,即趋势不显著;若  $|M_{MK}| > M_{\alpha/2}$ ,则拒绝原假设,即认为趋势显著。取  $\alpha = 0.05$  的显著水平(置信度 95%),如果某时间序列有明显的趋

势,则  $|M| > M_{\alpha/2} = 1.96$ 。  $M$  值为正,表明具有上升或增加的趋势;值为负,则意味着下降或减小的趋势<sup>[12]</sup>。

## 2 结果分析

### 2.1 京津地区酸雨空间分布和季节特征

昌平站和天津站位于市区,可以代表大城市市区的情况,而用上甸子站代表京津地区郊区的变化。京津地区酸雨呈现出不同的空间分布,从 1993 到 2006 年,昌平站酸雨次数显著增多,年平均降水 pH 值显著减小,前 7 年仅出现了 5 次酸雨,而后 7 年共出现了 88 次酸雨。天津站和上甸子站在 2002 年以前降水 pH 值都呈现增加趋势,降水酸度有所缓解,但 2002 年后上甸子站酸雨情况比较严重,天津站波动较大,2005 年达到近年 pH 最小值 4.95,2006 年又有所缓和。

图 2 为近 14 年各站年平均 pH 值的变化图,可以看出,2000 年是比较三站降水 pH 值变化的转折点,昌平站在 20 世纪 90 年代年平均降水 pH 值明显高于天津站和上甸子站,2000 年以后这种情况发生了转变,在 2001—2006 年间,昌平站的降水 pH 值已较其他两站低,且下降趋势十分显著。

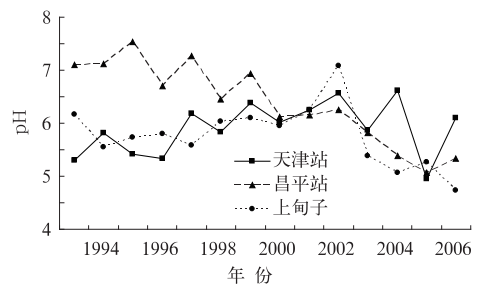


图 2 三个站点降水 pH 值的年际变化

图 3 为三站酸雨频率的季节变化特征,从图中可以看出,三个站点酸雨频率变化趋势基本一致,表现为冬季较高,酸雨出现频率在 25%~45%之间,春季和初夏频率较低,

在 0~30% 之间。12 月至次年 7 月三站酸雨出现频率比较接近,8—11 月差异较大,昌平站的酸雨频率较低,在 20% 以下,上甸子和天津站较高,在 30%~50% 之间,天津站波动最大。

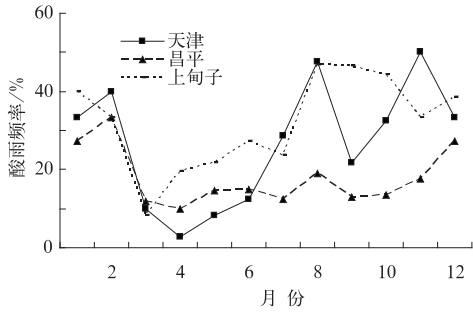


图 3 酸雨频率的月际变化特征

### 2.2 酸雨趋势分析

图 4 为 1993—2006 年天津站降水的 pH 值和酸雨出现频率情况,由图可以看出天津降水的年平均 pH 值呈现稳定升高趋势,而且 pH 值保持比较稳定的状态。对天津站 1993—2006 年的年均 pH 值进行 Mann-Kendall 趋势统计,其 M-K 值为 1.59,表明其 pH 值呈现升高趋势。1993—2006 年天津站酸雨频率呈现下降的态势,但 2005 年酸雨频率有较大的回升,其未来变化值得关注。

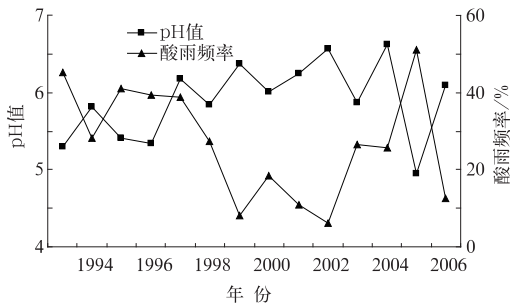


图 4 天津站酸雨 pH 值和酸雨频率变化趋势

由图 5 可知天津站酸雨与强酸雨次数的多年变化,天津站的强酸雨表现为显著的下降趋势,特别是 1999 年以后,强降雨出现次数大大减少。天津站的酸雨次数年际变化整

体呈下降趋势,但 2005 年次数突然增多,达到 24 次。

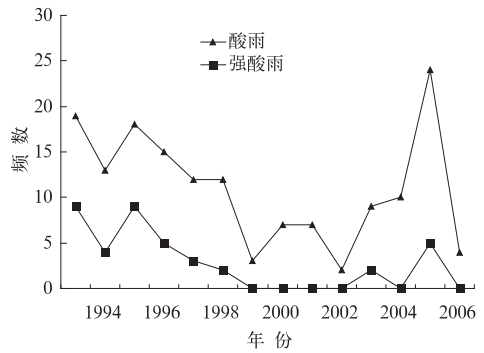


图 5 天津站酸雨次数与强酸雨次数的年际变化

1993—2006 年昌平站降水 pH 值呈持续下降趋势,由图 6 可知,昌平站 2000 年以前酸雨出现频率很小,但从 2000 年开始大气降水显现出酸化趋势,1993—1996 年年平均 pH 值为 7.1,2003—2006 年则达到 5.4。从酸雨出现频率也可以看出,昌平站酸雨出现的频率逐年显著增加,其 pH 值 M-K 统计量为 -3.17,并通过了 0.05 的显著性水平检验,由此可以说明 1993—2006 年昌平站降水酸化趋势显著。

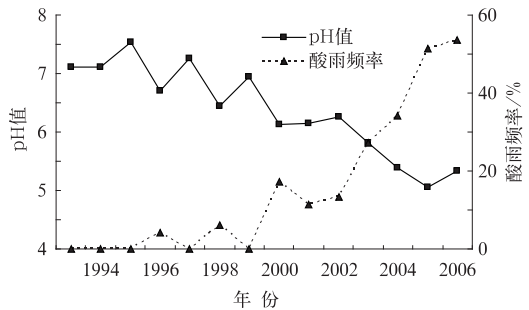


图 6 昌平站酸雨 pH 值和酸雨频率变化趋势

昌平站的酸雨次数多年变化明显呈增加趋势,特别是 2000 年以后,酸雨增加显著,由图 7 可知昌平站酸雨次数与强酸雨次数的多年变化,无论强酸雨还是酸雨次数都表现为上升趋势,其中酸雨 M-K 统计值为 1.78,强酸雨为 3.34。1999 年以前未出现过一次强

酸雨,而 2006 年酸雨和强酸雨次数都达到这几年的最大值,分别为 22 次和 9 次。

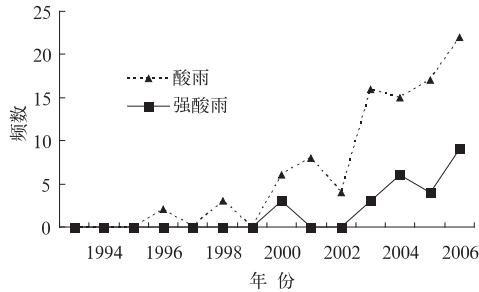


图 7 昌平站酸雨次数与强酸雨次数的多年变化

图 8 为 1993—2006 年上甸子站降水 pH 值和酸雨频率变化情况,由图可以看出,2002 年是一个转折点,2002 年以前该站降水 pH 值呈上升趋势,2002 年以后降水 pH 值是显著下降的,上甸子站降水的年平均 pH 值 2002 年达到峰值 7.01,2006 年达到最低点 4.74。酸雨频率变化情况正好相反,2002 年酸雨出现频率为 5% 以下,在 2006 年则高达 67%。

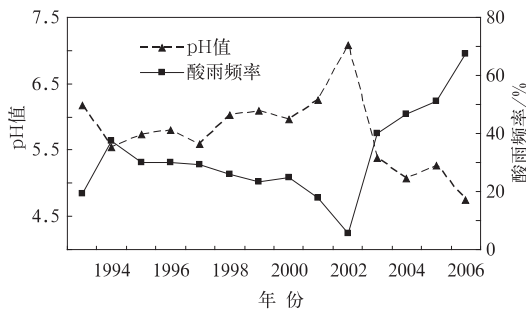


图 8 上甸子站大气降水 pH 值和酸雨频率变化趋势

由图 9 可知,上甸子站酸雨次数与强酸雨次数的多年变化情况,上甸子站的酸雨和

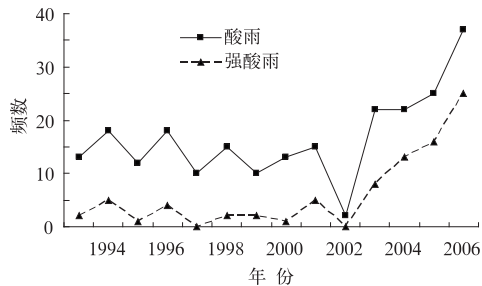


图 9 上甸子站酸雨次数与强酸雨次数多年变化

强酸雨次数在 2002 年以前比较稳定,2002 年骤然减少,酸雨和强酸雨次数仅为 2 次和 0 次,2003—2006 年酸雨和强酸雨次数又逐年增多,2006 年该站酸雨和强酸雨次数达到多年变化的最大值,分别为 37 次和 25 次。

由上可知,天津站在 1993—1996 年间酸雨情况较严重,这 14 年间呈缓解趋势,同时从酸雨和强酸雨次数来看也是有显著减少趋势的。昌平站在前 5 年酸雨出现次数几乎为零,酸雨出现频率也较小,但 14 年间酸雨增加趋势显著,特别是 1999 年以后尤其明显,是三个站中变化最剧烈的地区,值得重点关注。上甸子站位于北京郊区,在 2002 年以前酸雨状况一直在改善,之后情况急剧恶化,近 4 年每年平均 pH 值都要低于 5.5,2006 年酸雨出现频率达到 67%。

### 3 结语

利用京津地区三个站 1993—2006 年的酸雨观测资料,采用 M-K 趋势统计方法分析了京津地区的酸雨时空分布特征。结果表明:2000 年是比较三站降水 pH 值变化的转折点,20 世纪 90 年代,昌平站酸雨状况显著好于上甸子站和天津站,而 2000 年后天津站又要显著好于昌平站。京津地区的大气降水 pH 值有明显的季节变化特征,而且三个站点的季节变化特征基本一致,酸雨频率秋冬季较高,而春季和初夏低。

对 14 年的变化趋势而言,三站的大气降水 pH 值和酸雨出现频率变化趋势有很大的不同。天津站在 1993 年左右较为严重,14 年间,天津站代表的范围内酸雨状况呈逐年改善的趋势,但 2005 年酸雨出现频率比较高。

1993—2006 年昌平降水的年平均 pH 值一直持续下降,14 年间大气降水有显著的酸化趋势,从酸雨出现频率也可以看出,昌平

站酸雨出现的频率是显著上升的。

14 年中,2002 年是上甸子站的分水岭,2002 年以前上甸子站大气降水的年平均 pH 值呈现稳定的升高趋势,之后急剧下降,2006 年达到最低 pH 值 4.74。

对于酸雨的变化趋势及成因,还需要结合降水和大气化学成分来进行深入探讨,也应结合其他影响因子如工厂迁移、城市变化等在今后的工作中进一步展开研究。

### 参考文献

- [1] 刘嘉麒. 降水背景值与酸雨定义研究[J]. 中国环境监测, 1996, 12(5): 5-91.
- [2] 刘炳江, 郝吉明, 贺克斌, 等. 中国酸雨和二氧化硫污染控制区区划及实施政策研究[J]. 中国环境科学, 1998, 18(1): 1-7.
- [3] 丁国安, 徐晓斌, 房秀梅, 等. 中国酸雨现状及发展趋势[J]. 科学通报, 1997, 42(2): 169-173.
- [4] 丁国安, 徐晓斌, 王淑凤, 等. 中国气象局酸雨网基本资料数据集及初步分析[J]. 应用气象学报. 2004. 15 (增刊): 85-94.
- [5] 刘小红, 洪钟祥. 北京地区严重大气污染的气象和化学因子[J]. 气候与环境研究, 1999, 4(3): 231-236.
- [6] 王文兴, 丁国安. 中国降水酸度及离子浓度的时空分布变化[J]. 环境科学研究. 1997. 10(2): 1-6.
- [7] 陈辉, 胡非, 任丽红, 等. 北京冬季二氧化硫污染和气象条件的关系[J]. 气候与环境研究, 2000, 5(3): 287-295.
- [8] TERADA H, WANG T F. Trend of acid rain and neutralization by yellow and in East Asia a numerical study [J]. Atmospheric Environment, 2002, 36: 503-509.
- [9] 王体健, 李宗恺, 南方. 区域酸性沉降的数值研究 I 模式[J]. 大气科学, 1996, 20(5): 606-614.
- [10] 王自发, 黄美元, 高会旺, 等. 关于我国和东亚酸性物质的输送研究 II. 硫化物浓度空间分布特征及季节变化[J]. 大气科学, 1998, 22(5): 693-700.
- [11] 贾新媛. 区域酸沉降模式[J]. 大气科学, 1993, 17(6): 732-739.
- [12] 董蕙青, 黄海洪, 高安宁, 等. 影响广西酸雨的大气环流特征分析[J]. 气象, 2005, 31(10): 51-55.
- [13] 杨贤为, 邹旭恺, 马天健. 长江三峡库区酸雨分布特征分析[J]. 气象, 2002, 28(10): 14-18.
- [14] 刘昌明, 郑红星. 黄河流域水循环要素变化趋势分析[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 129-135.