

降水酸度与降水物理量关系的分析

陈德林 谷淑芳*

(吉林省气象科学研究所)

李洪珍

(气象科学研究所大气化学室)

提 要

本文利用1983—1985年长春等地的酸雨监测资料,分析了降水酸度与降水量、降水强度、降水类型、降水的季节变化以及雨滴大小分布之间的关系,还初步分析了降水对大气污染物的冲洗作用。

一、引 言

近年来随着工业生产的发展,大气污染也日趋严重,雨水的化学成分也发生了很大的变化。雨水酸度取决于大气污染物中各种物质的含量,而降水量、降水强度、降水类型以及降水的季节变化等因子对清除大气中天然的、人为的污染物起着重要的作用,对雨水酸度有很大的影响。本文利用1983—1985年长春、四平 and 公主岭等地区的酸雨监测资料,分析了降水量、降水强度、降水量级、降水的季节变化和雨滴微物理特征与雨水酸度的关系,并初步探讨了大气降水对大气污染物的冲洗作用。为研究酸雨的成因以及防治的策略提供依据。

二、降水量与雨水酸度的关系

据长春、四平和公主岭等站1983—1985年酸雨监测资料的分析,雨水酸度与降水量 V 呈负相关,即降水量增大时,雨水酸度下降,并可建立一元线性回归方程 $pH = A + bV$ (表1)。

n 为水样数, A 、 b 为回归系数, r 为相关系数, S 为标准差。从表1可知,当信度 $\alpha = 0.01$ 时,长春西民主站 $r_{0.01} = 0.1081$, $|r| > r_{0.01}$; 长春市气象站 $r_{0.001} = 0.2813$, $|r| > r_{0.001}$ 。 pH 与降水量之间相关非常显著。四平站当信度 $\alpha = 0.01$ 时, $r_{0.01} = 0.1402$, $|r| > r_{0.01}$; 公主岭站当信度 $\alpha = 0.05$ 时, $r_{0.05} = 0.1033$, $|r| > r_{0.05}$, pH 与降水量之间相关显著。随着降水量增加, pH 值下降,雨水酸度增大。

本文1987年3月9日收到,8月15日收到修改稿。

* 吉林省气象科学研究所、长春市气象站、四平市气象局气象观测站和公主岭市气象站参加酸雨监测。

表 1 $pH-I$ 一元回归方程的系数

| 站 名 | n | A | b | r | S |
|-------|-----|------|---------|---------|-------|
| 长春西民主 | 592 | 5.95 | -0.0195 | -0.1267 | 0.844 |
| 长春气象站 | 146 | 6.73 | -0.0152 | -0.3906 | 0.844 |
| 四 平 | 342 | 6.17 | -0.0193 | -0.1748 | 0.637 |
| 公 主 岭 | 365 | 6.27 | -0.0089 | -0.1083 | 0.581 |

三、降水强度与雨水酸度的关系

由于降水可以清洗大气中的一些粒状和气体的污染物,若降水强度越大,则清洗的作用也就越大。据长春和公主岭的资料分析, pH 值与降水强度 I 之间的相关系数为负值,并且可建立一元线性回归方程 $pH = A + bI$ (表 2)。

表 2 $pH-I$ 一元回归方程的系数

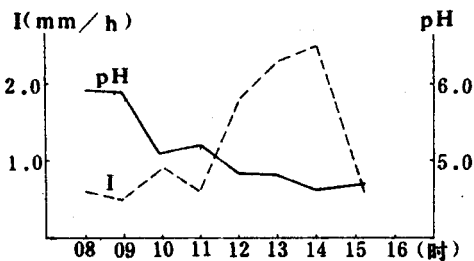
| 站 名 | n | A | b | r | S |
|-------|-----|------|--------|---------|-------|
| 长春西民主 | 592 | 6.03 | -0.034 | -0.2582 | 0.822 |
| 长春气象站 | 146 | 6.71 | -0.041 | -0.3458 | 0.550 |
| 公 主 岭 | 365 | 6.28 | -0.012 | -0.1553 | 0.578 |

当信度 $\alpha = 0.01$ 时,长春西民主站, $r_{0.01} = 0.1081$, $|r| > r_{0.01}$; 长春气象站 $r_{0.001} = 0.2813$, $|r| > r_{0.001}$, pH 与降水强度的相关非常显著。当信度 $\alpha = 0.05$ 时,公主岭站 $r_{0.05} = 0.1033$, $|r| > r_{0.05}$, pH 值与降水强度的相关也是显著的。

表 3 不同降水类型 $pH-I$ 一元回归方程的系数

| 降水类型 | n | A | b | r | S |
|------|-----|------|--------|--------|-------|
| 连续性雨 | 417 | 5.82 | -0.022 | -0.183 | 0.768 |
| 阵 雨 | 100 | 6.19 | -0.040 | -0.315 | 0.909 |
| 雪 | 85 | 6.93 | -0.558 | -0.321 | 0.426 |

表 3 给出长春西民主站不同降水类型的降水强度与 pH 值拟合的一元线性回归方程系数。当信度 $\alpha = 0.01$ 时,阵雨 $r_{0.01} = 0.257$, $|r| > r_{0.01}$; 雪 $r_{0.01} = 0.276$, $|r| > r_{0.01}$, 阵雨和雪的 pH 值与降水强度 I 之间的相关显著。当信度 $\alpha = 0.001$ 时,连续性雨 $r_{0.001} = 0.161$, $|r| > r_{0.001}$, pH 值与降水强度相关更为显著。图 1 给出长春西民主站 1983 年 8 月 6

图 1 pH 和 I 逐时变化曲线

日一次降水过程中, pH 值和降水强度 I 的逐时变化曲线。从图 1 可以看出, 降水强度增加时, pH 值下降, 雨水酸度增高。反之, 降水强度下降时, pH 值增高, 雨水酸度减小。这种变化趋势在降水过程的前期、中期比较显著, 但在降水过程的后期, 由于降水对大气污染物的清除, 其含量的减少, 大气缓冲能力降低, pH 值变化较小, 雨水酸度变化不大。

四、降水量级与雨水酸度的关系

统计长春西民主站和长春气象站、四平以及公主岭四站, 1983—1985 年 832 次降水日的资料, 给出不同降水量级雨水酸度的频率分布(表 4)。从表 4 可以看出, 小雨时, 酸雨出现的频率仅占 9.73%, 中雨时, 占 31.22%, 大一暴雨时, 占 46.34%, 随着降水量级的增大, 酸雨出现的频率也增大。中雨时, 92.2% 的降水为酸性和弱酸性, $pH > 7.0$ 的降水仅占 7.8%。大一暴雨时, 均为酸性和弱酸性降水, 不出现碱性降水。

表 4 不同降水量级雨水酸度的频率分布

| 降水量级 | 总次数 | $pH \leq 5.6$ | | $5.6 < pH < 7.0$ | | $pH > 7.0$ | |
|------|-----|---------------|-------|------------------|-------|------------|-------|
| | | 次数 | % | 次数 | % | 次数 | % |
| 小雨 | 586 | 57 | 9.73 | 406 | 69.28 | 123 | 20.99 |
| 中雨 | 205 | 64 | 31.22 | 125 | 60.98 | 16 | 7.80 |
| 大一暴雨 | 41 | 19 | 46.34 | 22 | 53.66 | | |

表 5 长春西民主站不同降水量级雨水酸度的频率分布

| 降水量级 | 总次数 | $pH \leq 5.6$ | | $5.6 < pH < 7.0$ | | $pH > 7.0$ | |
|------|-----|---------------|-------|------------------|-------|------------|-------|
| | | 次数 | % | 次数 | % | 次数 | % |
| 小雨 | 217 | 38 | 17.51 | 122 | 56.22 | 57 | 26.27 |
| 中雨 | 59 | 24 | 40.68 | 31 | 52.54 | 4 | 6.78 |
| 大一暴雨 | 10 | 8 | 80.00 | 2 | 20.00 | | |

表 5 给出长春市西民主站不同降水量级雨水酸度的频率分布。由于这个测站位于市区, 大气污染比较严重, 酸雨降水日为 70 天, 占总降水日数 24.48%; 弱酸性降水日为 155 天, 占 54.20%; $pH > 7.0$ 的降水日为 61 天, 占 21.33%。在大气污染比较严重的地区, 酸性物质的相对含量比较高时, 无论小雨、中雨, 还是大一暴雨时, 酸雨出现的机会都要更多一些。

五、降水量季节变化与雨水酸度的关系

图 2 给出长春西民主站 1984—1985 年各月降水量和 pH 平均值的变化曲线。从图 2 可以看出, 降水量少的月份, 月平均 pH 值比较高; 降水量多的月份, 月平均 pH 值比较低,

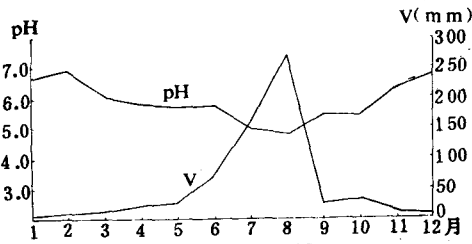


图2 月降水量和 pH 值的变化曲线

雨水酸度较大。8月是全年降水量最多的月份,降水量为271.0毫米,占年降水量的42.68%,月平均pH值为4.78,也是月平均pH的最低值。12月份是全年降水量最少的月份,其降水量为1.7毫米,pH值为6.81,比月平均pH最高值6.92稍低。另外,由各季降水量及pH值的统计可知,降水量最少的冬季,pH值最高;春、秋季的pH值次之;降水量最多的夏季,pH值最低。

六、降水对大气污染物的清洗作用

1985年7月在两次降水过程的前后,对大气中SO₂、NO_x和颗粒物进行观测。16日过程降水量为11.2毫米,降水强度为2.2毫米/小时;17日过程降水量为22.5毫米,降水强度为13.5毫米/小时。其降雨前后大气中污染物的含量由表6给出。从表6可以看出,随着降水量、降水强度的增加,大气污染物含量的减少率也增加。降雨对气体污染物的清

表6 降雨前后大气中污染物的含量 (单位 mg/l)

| 日期 | 1985年7月16日 | | | 1985年7月17日 | | |
|-------|-----------------|-----------------|-------|-----------------|-----------------|-------|
| 大气污染物 | SO ₂ | NO _x | 颗粒物 | SO ₂ | NO _x | 颗粒物 |
| 雨 前 | 0.014 | 0.051 | 0.667 | 0.014 | 0.054 | 0.783 |
| 雨 后 | 0.012 | 0.033 | 0.442 | 0.010 | 0.015 | 0.446 |
| 减少率% | 14.29 | 35.29 | 33.73 | 28.57 | 72.22 | 43.04 |

除过程,目前所知甚少,还待进一步的观测和研究。

七、雨滴微物理特征与雨水酸度的关系

为了探讨雨滴微物理特征量对雨水酸度的影响,在对降水酸度监测的同时,进行了地面雨滴谱观测。地面雨滴谱观测采用滤纸色斑法,当雨滴落在涂有可溶性染色滤纸上时,即留下圆形色斑。根据圆形色斑的直径可以计算雨滴的直径及其特征量。在1984年8月10日03时05分至11日04时06分,长春一次酸性大暴雨的降水过程中,共采雨水样品126个,雨滴谱259份,其中pH≤5.6的雨滴谱172份,pH>5.6的雨滴谱87份^[1]。根据pH≤5.6和pH>5.6的雨滴谱可拟合指数方程

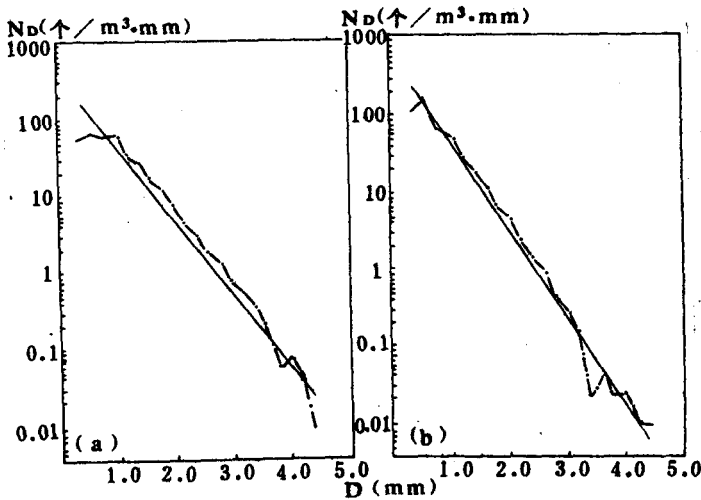
$$N_D = N_0 e^{-\lambda D}$$

其中, N_D 为单位体积、单位直径间隔的雨滴个数, N_0 为截矩参数, λ 为斜率参数 (1/mm)。表7给出不同雨水酸度的雨滴谱参数,表中 r 为相关系数, S 为标准差。图3a和图3b分

别给出雨水酸度 $pH \leq 5.6$ 和 $pH > 5.6$ 的雨滴平均谱及其对应的 $N_D = N_0 e^{-\lambda D}$ 直线。从图 3a 和图 3b 可以看出, $pH \leq 5.6$ 的平均谱在雨滴直径 $D < 1$ 毫米的浓度小于 $pH > 5.6$ 的浓度, 而当 $D > 1$ 毫米时, 前者比后者的浓度偏大。

表 7 不同雨水酸度的雨滴谱参数

| 雨水酸度 | 份数 | N_0 (个/ $m^3 \cdot mm$) | λ (1/mm) | r | s |
|---------------|-----|-------------------------------|---------------------|---------|-------|
| $pH \leq 5.6$ | 172 | 2072.7 | 2.191 | -0.9870 | 0.454 |
| $pH > 5.6$ | 87 | 3100.8 | 2.627 | -0.9920 | 0.426 |

图 3 雨滴平均谱及其对应的 N_D 直线(a) $pH \leq 5.6$ (b) $pH > 5.6$ 表 8 雨滴浓度 N 、雨水含水量 W 和雨强 I 的频率分布

| 雨滴直径 D (mm) | $pH \leq 5.6$ | | | $pH > 5.6$ | | |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | $\frac{N}{\Sigma N} \%$ | $\frac{W}{\Sigma W} \%$ | $\frac{I}{\Sigma I} \%$ | $\frac{N}{\Sigma N} \%$ | $\frac{W}{\Sigma W} \%$ | $\frac{I}{\Sigma I} \%$ |
| $D \leq 1.0$ | 70.84 | 18.51 | 11.13 | 83.62 | 29.00 | 17.87 |
| $1.0 < D \leq 2.0$ | 25.87 | 48.89 | 46.20 | 15.08 | 49.88 | 51.97 |
| $2.0 < D \leq 3.0$ | 2.97 | 25.11 | 31.55 | 1.24 | 18.53 | 25.75 |
| $D > 3.0$ | 0.31 | 7.50 | 11.13 | 0.06 | 2.59 | 4.41 |

将雨滴直径分为四档: $D \leq 1.0$ 、 $1.0 < D < 2.0$ 、 $2.0 < D < 3.0$ 和 $D > 3.0$ 。分别统计 $pH \leq 5.6$ 和 $pH > 5.6$ 的雨滴浓度 N 、雨水含水量 W 和雨强 I 的频率分布(表 8)。当 $pH \leq 5.6$ 、雨滴直径 $D > 1.0$ 毫米时, 雨滴空间浓度 N 的频率分布为 29.15%, 雨水含水量的频率分布为 81.5%, 雨强的频率分布为 88.88%。而 $pH > 5.6$ 、雨滴直径 $D > 1.0$ 毫米时, 雨滴空间浓度 N 的频率分布为 16.38%, 雨水含水量 W 的频率分布为 71.0%, 雨强 I 的频率分布为 82.13%。 $pH \leq 5.6$ 时, 雨滴直径大于 1 毫米的浓度比 $pH > 5.6$ 的较大, 而且雨

水含量较大,表示大雨滴对雨水酸度的贡献较多,大雨滴可能比较酸。当 $pH > 5.6$,雨滴直径 $D < 1.0$ 毫米时,雨滴的空间浓度比 $pH \leq 5.6$ 的大,雨水含量也较大,但 pH 值较大,表明小雨滴对酸度的贡献较小。

八、小 结

据长春等地 1983—1985 年酸雨监测资料分析:

1. 降水量、降水强度与雨水酸度之间可以拟合一元回归方程,降水量、降水强度增大时, pH 值减小,雨水酸度增大,其相关显著。
2. 大一暴雨时,出现酸雨的频率要比中、小雨高。大一暴雨酸雨出现的频率占 45% 左右;中雨占 10% 左右;小雨不到 10%。
3. 雨水酸度与降水量季节变化有一定关系,降水量大的夏季,雨水较酸;降水量小的秋、春季次之;冬季雪水不酸。
4. 通过雨滴微物理特征的分析,大雨滴对雨水酸度的贡献较大。

参 考 文 献

- [1] 陈德林等,一次酸性大暴雨分析,气象学报,第 44 卷,第 4 期,506—510,1986。

ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE ACIDITY AND PHYSICAL CHARACTER OF PRECIPITATION

Chen Delin Gu Shufang

(Institute of Meteorological Sciences, Jilin Province)

Li Hongzhen

(Institute of Atmospheric Chemistry, AMS)

Abstract

Utilizing the monitoring data of the acidity of precipitation obtained by Changchun observatory and other stations in 1983—1985, the relationships among the precipitation amount, precipitation intensity, precipitation type, the seasonal variation of precipitation, the distribution of rain-drop size and the acidity of rain have been analysed. Also, the effect of precipitation on the rain-washing pollutant has been discussed.