第 42 卷 第 3 期　　气 象 学 报　　Vol. 42, No. 3
1984 年 8 月　　ACTA METEOROLOGICA SINICA　　Aug., 1984

我国降水酸度的初步研究*

李洪珍　王木林**

（国家气象局气象科学研究院）

提　　要

1981 年 3 月至 1983 年 4 月，我们在全国不同地区选定了四十几个测点对降水酸度进行了观测。

观测资料表明，酸雨出现的频率，南方城市较北方为高，酸度也较强，酸雨出现频率最高值达到 90%。说明酸雨在某些地区已相当严重。pH 的最低值是庐山的含鄱口（测值达 3.10）。我国北部地区降水多为中性，但局部地区也有酸雨出现。沿海城市青岛也出现酸雨。

作者结合地理环境、污染物的迁移输送以及天气系统等，对降水酸度变化进行了初步分析。

一、引　　言

酸雨是八十年代世界面临的重大环境污染问题。我国对酸雨的研究是近年来才开展的。1980 年，我们曾在北京附近地区进行了降水酸度的观测和分析，取得了初步成果[1]。1981 年以来陆续选定了一些条件不同的地点设置了四十多个观测点，对降水过程中酸度变化作了测定。

从观测的结果说明，我国许多城市酸雨出现频繁。部分地区相当严重。

本文初步分析、探索了我国酸雨的形成及其与地理环境、污染物、天气系统等的关系。

二、观测站网的布局和观测方法

1. 观测站网的分布

为进一步宏观地了解我国酸雨出现的趋势，探索我国不同地区、不同地理环境的污染情况，扩大建立观测站网主要考虑了地理位置、地理环境等条件，如南方、北方、沿海、内陆，平原、高山，工业区、风景游览区，和边远地区等。

* 本文于 1983 年 2 月 23 日收到，1983 年 6 月 17 日收到修改稿。

** 曾宪英，郭相成也参加了工作。

在选定站网之后，具体设置观测点时，我们是参照环境监测功能区布点的原则来选定的。如：在唐山市我们把测点分别设置在钢厂、农研所、机场、水文站、果园、西山口、气象台等七处包括工业区、市区、绿化区等不同条件的地方。秦皇岛测站设置了铁庄、四中、马头公社、山海关、北戴河海滨、海洋水文站及气象台等测点。庐山地区，则按不同高度从山脚下的威家、到最高点汉阳峰(海拔 1400 米)，中间设置了含鄱口植物园(高 1111 米)、大林沟云雾站(1100 米)、松树林(高 562 米)等，共五个测点。这样布点的目的是探索在同一地区不同条件下降水酸度的变化。

2. 观测方法

观测点的采样及样品的处理方法，我们都制定了统一的规程。

采样器皿用聚乙烯塑料盆(或塑料漏斗下接塑料瓶)，采样架高 1.0—1.2 米，采样前用蒸馏水或去离子水将采样器皿冲洗干净，雨水收集后，立即倒入聚乙烯瓶内。每次降水过程采样数目，根据降雨历时而定。一般情况，连续性降水每隔 2—3 小时采样一次。个例分析可视降水历时随机采样。采样后适时测定降水的 pH 值和电导率。

三、观　测　结　果

根据 1981 年 3 月至 1983 年 4 月观测的数据整理归纳列出表 1，并给出各测站降水 pH 值月变化的曲线(见图 1)。

从表 1 可见，青岛、庐山、杭州、南宁等地酸雨出现的频率都在 60%以上，青岛竟达 90%，庐山云雾站测点为 77.3%，说明酸雨相当频繁。武汉、西安、承德也都在 30%以上。

表 1　各测站降水酸度的变化

观测点	观测日期	pH 值范围	$\overline{pH}$	pH≤5.6 的频率(%)	样品总数
北　京	81.6—83.4	6.65—7.83	7.15	0.0	61
石家庄	81.6—83.4	4.87—8.34	6.80	2.4	85
唐　山	81.3—83.4	4.93—8.30	7.02	4.0	77
秦皇岛	81.5—83.4	4.08—7.86	6.57	12.0	104
承　德	82.6—83.3	4.40—8.83	6.30	32.0	38
西　安	82.1—83.4	4.40—8.40	6.12	35.0	189
青　岛	81.1—83.1	3.84—7.40	5.16	90.0	123
南　京	81.6—82.11	3.87—8.10	6.66	13.1	107
南　宁	81.5—83.3	3.90—7.76	5.33	65.5	145
杭　州	81.9—83.4	3.94—8.13	5.28	68.6	191
武　汉	81.8—83.3	3.62—8.70	5.96	35.7	221
庐山云雾站	81.8—83.4	3.74—10.03	5.41	77.3	516
乌鲁木齐	81.7—82.12	6.26—8.34	7.51	0.0	27

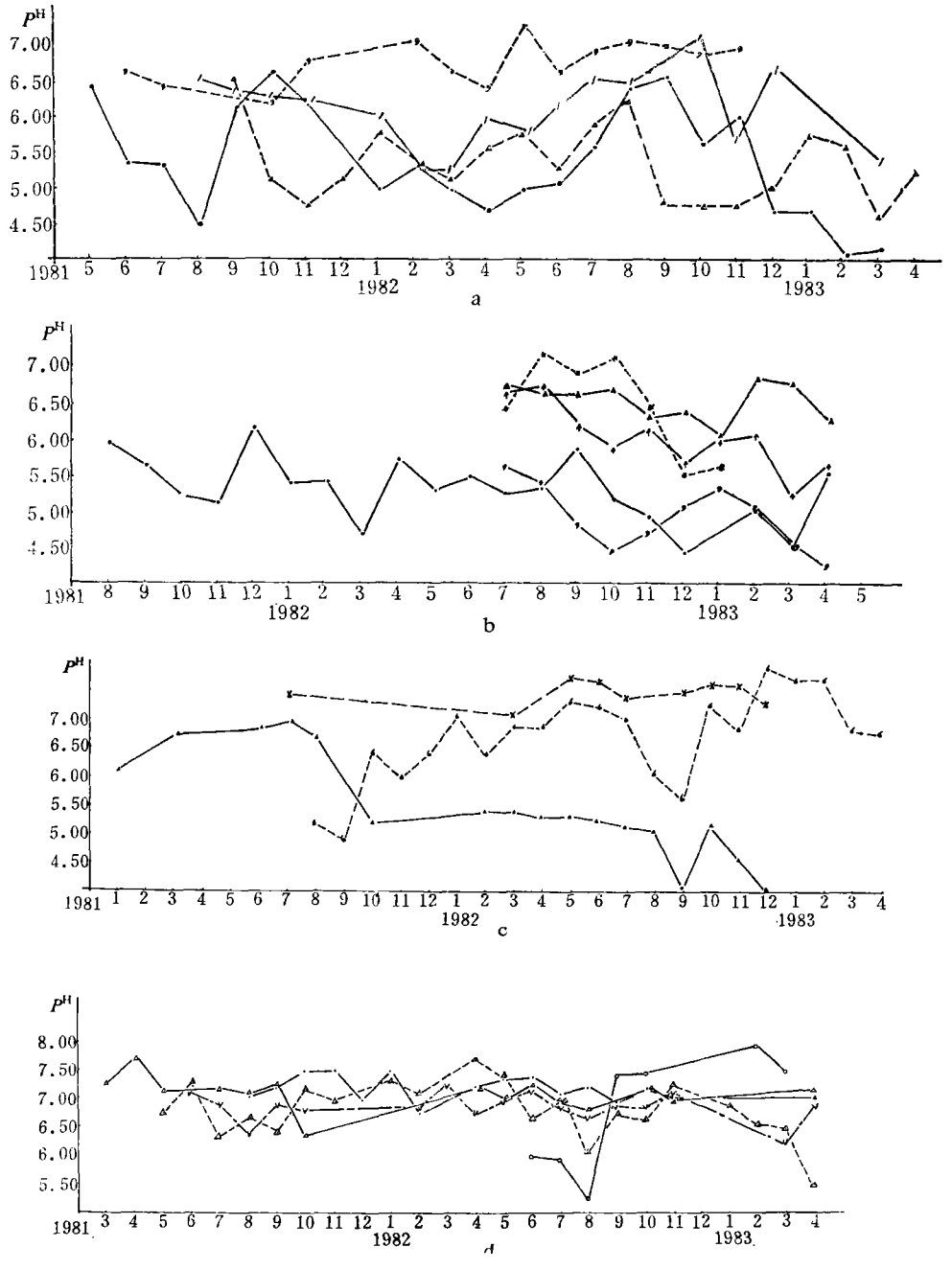

图 1 各测站降水 pH 值逐月变化曲线

(图例a, • 南宁 ′杭州 , 南京 ▲武汉 b, • 云雾站 , 植物园 ▲成家 * 电视台 ↑ 松树林 c, ‘ 西安 ▲青岛 × 乌鲁木齐 d, • 北京 ∘ 承德 △ 秦皇岛 ∨ 石家庄 △ 唐山)

从表 1 也可以看出，各测点的 pH 值变化幅度都比较大，庐山云雾站的观测数据 pH 低值 3.74,最高值达 10.03。对这个异常峰值,曾进行了多次验证,证明观测无误,限于条件未能进行化学成分分析。pH 的低值，南方几个城市与北欧及美国东北部的严重程度相

当[2]。如，武汉 pH 3.62，杭州 3.94，南宁 3.90，说明我国部分地区酸雨已相当严重。

图 1 给出了各测站降水 pH 值逐月变化的情况。从图中可以了解各测站酸雨变化的趋势。图 2 中可看出青岛市降水 pH 值从 1981 年起明显下降，1981 年 10 月以后，各月的降水平均 pH 值都在 5.6 以下，其他城市没有明显变化的趋势。

杭州在两年多的观测中，除 1981 年 9 月和 1982 年 7、8 月外，pH 值基本上都在 5.6 以下。南宁市，也多出现酸雨。庐山的资料说明，即使局地污染较轻的高山站，酸雨出现也很频繁。

从图中也可以明显的看出南方城市酸雨较北方为多。

由于观测的时间较短，有些问题还有待继续观测。

四、结 果 分 析

1. 大气污染与酸雨

酸雨主要来源于工业污染源向大气中释放的 SO_2 和 NO_x 经氧化形成硫酸和硝酸。因此，结合各地区大气污染的状况来分析与酸雨出现的关系。表 2 给出了几个城市 1981 年大气污染监测颗粒物、SO_2、NO_x 的浓度数值，并列出了同年降水的 pH 均值。

从表 2 可以看出，北京、唐山、秦皇岛等北方城市颗粒物浓度很高，SO_2 及 NO_x 接近标准值，降水的 $\overline{pH}$ 值分别为 7.22；7.16，6.61。乌鲁木齐的颗粒物和 SO_2 都超标，NO_x 未超标，降水 $\overline{pH}$ 值为中性。杭州和南宁两个南方城市，SO_2，NO_x 和颗粒物都未超标，降水 $\overline{pH}$ 值却偏低。这个现象说明降水的酸度除和大气中的污染物 SO_2，NO_x 有直接关系外，

表 2　各城市 1981 年大气污染监测结果及同年降水 $\overline{pH}$ 值

城　市	颗粒物浓度（毫克/米³）	SO_2 浓度（毫克/米³）	NO_x 浓度（毫克/米³）	降水的 $\overline{pH}$
秦皇岛	1.53	0.02	0.02	6.61
唐　山	1.05	0.08	0.09	7.16
北　京	1.10	0.11	0.06	7.22
乌鲁木齐	1.12	0.26	0.03	7.45
杭　州	0.25	0.07	0.05	5.09
南　宁	—	0.11	0.02	5.82

注：标准浓度：颗粒物为 0.30 毫克/米³，
SO_2 为 0.15 毫克/米³，
NO_x 为 0.08 毫克/米³。

还与大气中颗粒物以及碱性气溶胶粒子有很大关系。前者由于当地土壤多为偏碱性土质，大气中飘逸的飘尘粒子常为碱性，这些污染物的粒子在降水过程中与雨滴碰并吸附，对降水酸度起着缓冲作用，致使降水呈中性或偏碱性。杭州和南宁的大气中颗粒物、SO_2、NO_x 都未超标，却出现酸雨，说明除有可能为大气中污染物远距离输送的因素外，还可能和本地区的土质、地形、地貌等因素有关。

大气污染物的远距离输送导致酸雨的形成，国外不乏先例。北欧斯堪的纳维亚半岛

的酸雨是来自欧洲大陆大气污染物远距离输送的结果[3]。美国夏威夷以北 480 公里的考爱岛出现酸雨，经过追踪污染源，肯定了是来自夏威夷的酸性物质[4]。

2. 降水酸度变化与风的相关

风对污染物在空气中稀释扩散和长距离输送起着极为重要的作用[5]，因此，有必要分析降水过程中风向、风速的变化情况。

图 2 给出了几个城市的常年风向图和降水过程中出现酸雨时的风向图。

西安酸雨出现的频率为 35.0%，pH 值 4.40—8.40，从酸雨出现时的风向图可以看出，酸雨多出现在静风、N，NE，及 SW 风向时，风速一般小于 5 米/秒。在风向 NW 和 SE 时也很少有酸雨出现。这与当年风向基本一致。(见图 2a)

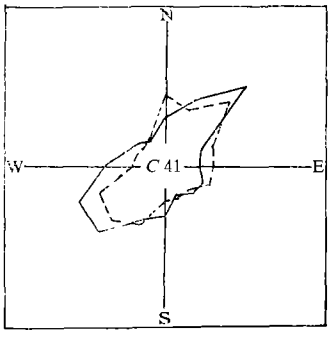

图 2a 西安(1982.1—1983.4) 酸雨出现时的风向和当年风向 (----出现酸雨时风向频率 ——当年风向频率)

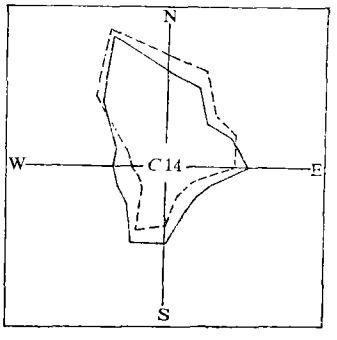

图 2b 杭州(1981.9—1983.4) 酸雨出现时的风向和当年风向 (线段符号同 2a)

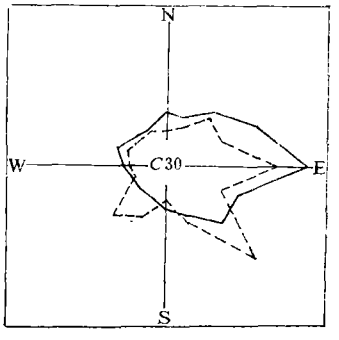

图 2c 南宁(1982.7—1983.3) 酸雨出现时的风向和当年风向 (线段符号同 2a)

我们认为这是由于西安地势低洼，地处关中盆地转折点上，燃料多为铜川的高硫煤，SO_2 污染严重，酸雨主要是局地污染所致。N、NE方向正是工业区，大气污染物浓度高，降水酸度较大。

杭州地区酸雨频率为 68.6%，是南方地区出现频繁的地区之一，从图 2b 中可知，酸雨多出现在静风及 N、NNW 及 NNE 方向。从城市布局分析，北和东北方向是工业区，南面和西面是西湖风景区，杭州的酸雨除本地区局地污染和地理环境酸性土壤敏感性的影响外，还有待于追踪随气团而来的污染源。

南宁酸雨的频率为 65.5%，全年主导风向为东风，冬季多偏北风，夏季多东南风。酸雨多出现在夏季的静风、SE、NE 及 E 风。(见图2 c)。南宁属海洋性气候，地势低洼，土壤多为酸性红壤，说明南宁降水酸度除受局地污染影响外，还要考虑远源输送的影响[6]。

3. 高山站降水酸度的时空变化

曾对庐山、泰山、黄山观测资料进行分析，试图了解局地污染较轻的高山站降水酸度的变化。从现有资料说明，庐山酸雨的污染相当严重，黄山未观测到酸雨，泰山酸雨出现频率很小。分别说明如下。

庐山各观测点的结果见表 3。从表中可以看出：各点都有不同程度的酸雨出现，含鄱口测点频率最高，达 87.1%。山脚下的威家频率最低，为 12.0%。山上测点以含鄱口植物园及汉阳峰周围环境最为开旷，附近无局地污染。

表 3　庐山降水酸度观测结果

站　　名	拔　海（米）	日　　期	pH 范 围	$\overline{pH}$	pH≤5.6的频率（%）
汉 阳 峰	1400	82.7—83.4	5.40—8.60	6.68	13.6
含 鄱 口（植物园）	1111	82.7—83.4	3.10—7.10	4.89	87.1
云 雾 站（大林沟）	1100	81.8—83.4	3.74—10.03	5.41	77.3
松 树 林	560	82.7—83.4	4.12—7.80	6.03	32.3
威　　家	山下	82.7—83.4	4.38—7.68	6.51	12.0

庐山局地污染不严重，只有少量小型工业。山上居民约 1 万多人，多以煤或柴为燃料。土质属弱酸性的红壤和黄壤。庐山以北 15 公里为九江市，以南 90 公里为南昌市。近年来两城市工业发展带来了环境污染。据南昌高空风资料，在降水过程中，5000 米高空多出现逆温层，加之庐山山区多逆温，致使大气层结稳定、湍流气团垂直交换减弱，造成污染物的堆积，易形成局地污染，查高空图，庐山降水盛行西南风，来自南昌的污染影响较大。

泰山观测点设在日观峰气象站，降水 pH 值为 5.0—7.3，酸雨出现频率为 11.0%，山上局地污染较少，目前酸雨并不严重，属清洁雨，但泰山的上风向是济南，该城市属高硫煤区，SO_2 污染严重。在不利的气象条件下可能对泰山降水酸度的变化有影响。

黄山降水观测资料说明没有酸雨出现。降水 pH 值 5.80—7.20。

4. 降水酸度与降水量及降水历时的相关[7]

据庐山及武汉降水资料分析，降水历时在连续一日或数日的过程中，其 pH 值一般是：初始期高、随后急剧下降，然后有一定稳定期出现，嗣后 pH 值又有峰值出现，终止期又明显低下(见图 3)。

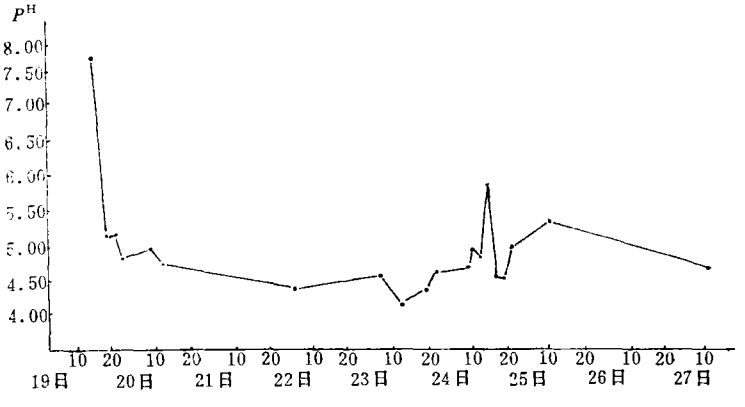

图 3　庐山 1981 年 11 月 19 日—27 日连续降水过程中 pH 值的变化

从武汉 1982 年 5 月 11 日至 13 日降水酸度观测资料分析可见，pH 值随降水量 R 增大而降低，当 R 出现峰值时，pH 值也出现低值。反之，当 R 较低时，pH 值又上升，见图4。

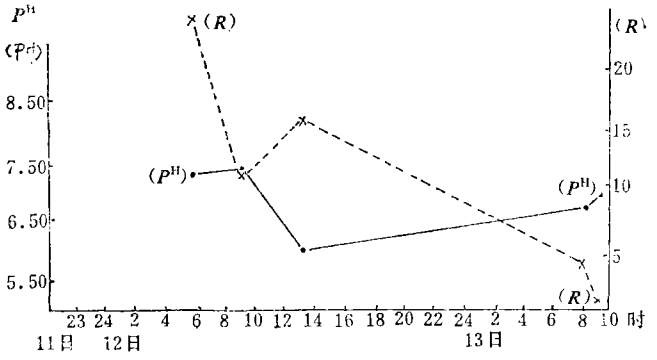

图 4 武汉 1982.5.11—13 降水过程中 pH 值与降水量(R)的相关

5. 降水酸度和天气系统的关系[1,8]

以北京、唐山、石家庄、秦皇岛、等地 1981 年降水观测数据为例，结合天气系统分析降水过程中酸度的变化，情况如下：当测站处于低压系统控制时，降水酸度较高，这是由于在低压系统控制时，容易形成大气中污染物的聚积，引起气旋区大气中 SO_2 及 NO_x 等污染物质浓度大幅度增加，8 月份河北有三次较为典型的天气系统，测站处于黄河气旋、东北低压、东蒙低压系统时，北京、唐山、秦皇岛、石家庄等地降水酸度升高。但由于各地所处气旋区的位置不同，受其影响也有差异。8 月 2 日、3 日，唐山、秦皇岛受东北低压控制较北京、石家庄更为直接，因此唐山、秦皇岛降水酸度明显高于北京、石家庄。唐山、秦皇岛降水 pH 值分别为 4.93，6.94，是唐山地区 1981 年降水酸度观测中的 pH 的低值。8 月6日河北省处于东蒙低压天气系统控制，北京、石家庄受东蒙低压影响较为直接，北京、石家庄降水酸度出现 pH 低值。8 月 16 日河北省处于黄河气旋天气系统控制。石家庄处于气旋区内，大气污染物堆积影响更为明显。石家庄在 8 月 15 日至 16 日分别测得降水 pH 低值为 4.87，5.32，5.68。明显地低于气旋外围的北京等地的 pH 值。

五、结 论

上述观测结果表明，我国许多地区都出现酸雨，并不局限于上海、重庆等工业城市。本文对观测结果分析得出以下见解

1. 一些南方城市降水 pH 值低于北方城市，酸雨出现频率也较高，这主要由于南方土壤多为酸性，影响大气尘埃的性质，对降水的缓冲能力低。

2. 酸雨的出现和工业污染及大气中颗粒物浓度、成份有关。随着污染物的输送，在污染源下风向区域内会形成酸雨。

3. 降水酸度与天气系统有关。位于低压系统控制时，易造成污染物的聚积，形成酸雨。

4. 降水酸度与该地区的地形、风向、风速有关。地势低洼地区在静风时，酸性污染物易聚积，多出现酸雨。

5．降水的强度、历时与降水的 pH 值有关。连续降水过程，pH 初始期较高，然后急剧下降，历时愈长，pH 值渐趋平缓，终止期又有低下现象出现。

6．某些无局地污染地区出现酸雨，有可能是污染物远距离输送所致，有待于进一步研究。

参 考 文 献

[1] 王木林、李洪珍，华北四地降水酸度的观测与分析，气象，1984，2。

[2] A NOAA program plan for investigation acid rain, 1980,1. U. S. National Oceanic and Atmospheric Administration.

[3] 鶴田治雄，大気污染物質の長距離輸送、変質および除去过程，天気，28，No. 12，1981。

[4] John M. Miller, The acidity of Hawaiian precipitation as evidence of long-range transport pellutants, WMO-NO 538, 1979, 10.

[5] 莫天麟等，南京市区降水酸度的初步研究，气象学报，39 卷，4 期 460—464，1981。

[6] 王木林，李洪珍等，杭州、南宁、南京，合肥等地 1981 年酸雨观测结果及初步分析（待发表）。

[7] 三宅泰雄等，降水の化学，71—74，1957，地人書館。

[8] 藤田慎一，降雨による大気污染質の洗净作用，大気污染学会誌，第 15 卷，第 9 号，359—373，1980。

SOME PRELIMINARY STUDIES OF ACID PRECIPITATION IN CHINA

Li Hongzhen　　Wang Mulin

(Academy of Meteorological Science, National Meteovological Burcau)

Abstract

For monitoring the acidity of precipitation more than forty observation stations had been established in China and observations have been carried out during Mar. 1981 to Apr. 1983.

A study of the data collected indicates that acid rain has already come into existence in a good part of southern China. The lowest pH-value in this region is found to be about 3.1, and the frequeney of presence is about 90%. Acid rain also occurs in Qingdao, Xi'an and Lushan.

In this paper the distribution of these monitoring stations has been described and the influence of geographical environments, transport of pollutants and the relation to the activities of weather systems have also been discussed.