

# 江苏省酸雨时空分布特征及酸雨潜势预报因子

刘梅 濮梅娟 尹东屏 张备

(江苏省气象台, 南京 210008)

**摘要** 通过对江苏 4 个酸雨监测点近 13 年观测数据统计分析发现:江苏酸雨发生的年平均天数、酸雨出现次数、年平均酸雨量等都具有自北向南逐渐增加的趋势,酸雨发生次数和酸雨量具有明显的年际分布特征和月变化规律,发生天数和酸雨量的月变化均呈现抛物线形分布。根据发生酸雨时前期污染物浓度和气象因子平行分析,探讨了南京地区酸雨发生时污染物浓度和气象因子的变化规律,总结出了产生酸雨的有利条件:前一天污染物浓度为  $\text{NO}_2 \geq 0.04 \text{ mg/m}^3$ ,  $\text{PM}_{10} + \text{NO}_2 \geq 0.085 \text{ mg/m}^3$ ,  $\text{SO}_2 + \text{NO}_2 \geq 0.08 \text{ mg/m}^3$ , 850 hPa 主导风向以西南风为主,次之是东南风,风速小于等于 12 m/s。900 hPa 以下出现逆温层。在此基础上提出了南京地区酸雨潜势预报方法并进行了预报结果验证。

**关键词** 酸雨 时空分布 影响因子 预报方法

## 引言

目前,酸雨与全球气候变暖、臭氧层破坏并列为世界三大生态环境灾难。中国已成为继欧洲、北美之后的世界第三大酸雨区<sup>[1, 2]</sup>。1981~1983 年期间,由李洪珍、王木林等在全国建立了 40 余个酸雨观测站,首次开展了我国酸雨的普查,得出长江以南是我国主要酸雨区的初步结论。自此之后有关酸雨的调查和研究在全国普遍展开<sup>[3~5]</sup>。20 世纪 80 年代末进行了酸雨形成机理的进一步研究,得出云、云雨滴离子浓度和酸度与其大小、含水量、谱宽呈反相关,为此影响了降水云和非降水云的酸度和离子浓度<sup>[6]</sup>。丁国安、徐晓斌等在“八五”酸雨攻关项目中对我国湿沉降时空分布特点进行了系统的、全面的观测研究,并对我国酸雨发展趋势进行了探讨,发现 1986~1995 年 10 年间我国酸雨发展日趋严重,酸雨面积逐渐扩大,南方部分省市出现年平均 pH 值小于 4.0 的地区,酸雨出现频率也逐年上升。到 21 世纪初,年平均 pH 值与 1993~1995 年平均 pH 相比,其东部略有南缩趋势,西部没有明显变化,长江以南酸雨形势变化不大<sup>[7~9]</sup>。在酸雨研究普遍开展的环境下,各地如广西、福建、广东等地根据具体情

况进行了本地酸雨特征分析和预报方法探讨,深入研究了各地酸雨形成的主要影响因子以及在业务预报中的应用。

江苏省降水充沛,境内雨水是水资源的一个重要来源,而随着工业的发展,空气中的污染物也逐渐增多。降水的 pH 值呈现较大幅度的变化。改革开放以来,以燃煤为主的能源结构和治理措施的不当,使江苏省成为我国酸雨较严重省份之一。据研究,“九五”以来,江苏省酸雨污染总体格局基本不变,酸雨发生率总体在 30% 上下波动。省内酸雨控区,即淮河以南沿长江 8 个城市酸雨污染相对较重,酸雨区域中心位于南通—无锡—常州—南京一带。从降水化学成分而定,硫酸根离子是降水阴离子的主要成分,总体以煤烟型污染为主。因此江苏水资源面临着严峻的考验,为了更好地掌握酸雨的发生规律,探究其形成原因及气象因子对其影响的可预报程度,本文在前人研究基础上,利用江苏本地气象、酸雨、污染物浓度观测资料对其进行了分析,以期从方法上对酸雨的预报提供思路。

## 1 资料

酸雨资料取自江苏省 1992~2005 年徐州、淮

阴、南京、常州 4 个酸雨监测站,降水资料来自 4 个市区相应气象台站的观测资料,其它气象资料取自相关气象台站的实测资料。南京市污染物浓度取自环保局的每日实况观测资料。

## 2 江苏酸雨时空分布特征

### 2.1 酸雨地区分布

从 1992~2005 年江苏省 4 个观测点酸雨 pH 值与降水量的散点分布看,1992~2005 年酸雨发生次数在江苏省北部明显低于苏南地区,自北向南呈逐渐增加的趋势(图略),同时苏南地区强酸雨次数高于苏北地区。这种南北分布不均和气候、年降水次数、工业发展都有着一定的关系。苏南地区工业发达、能源消耗多,导致酸雨的污染物浓度要高于其他地区,另外苏南年降水量也明显高于苏北地区,气候上日平均风速要明显小于苏北地区,这些客观条件都是决定沿江苏南地区酸雨严重的因子。

为具体分析各地酸雨的情况,本文根据酸雨的 pH 值等级划分<sup>[9]</sup>(弱酸雨:4.5 < pH < 5.6,较强酸雨:4.0 < pH < 4.5,强酸雨:pH < 4.0。)对各站点的酸雨情况进行了统计,结果见表 1。各站弱酸雨的天数远远高于较强酸雨和强酸雨的天数,同时各级酸雨的天数均是自北向南递增趋势,苏南地区远高于苏北地区。常州地区弱酸雨天数年平均达 26 天,徐州仅为 4 天左右,强酸雨和较强酸雨发生天数南北也有 5~6 天的差距。每年平均的弱酸雨量明显高于较强酸雨和强酸雨量,苏南地区每年有 250~350 mm 的弱酸雨量,较强酸雨和强酸雨量仅 40~50 mm,而苏北地区的弱酸雨量仅为苏南的一半左右,强酸雨量很少,

表 1 江苏 4 观测点各级别酸雨的天数、pH 值和年酸雨量

	弱酸雨			较强酸雨			强酸雨		
		4.5 < pH < 5.6	4.0 < pH < 4.5	pH < 4.0		4.5 < pH < 5.6	4.0 < pH < 4.5	pH < 4.0	
天数	徐州	4.4	1.1	0.2	徐州	5.14	4.30	3.81	
	淮阴	11.4	2.1	0.2	淮阴	5.14	4.26	3.65	
	南京	14.9	2.5	1.6	南京	5.14	4.31	3.59	
	常州	26.3	4.4	2.9	常州	5.21	4.27	3.66	
pH 值	徐州	125.6	29.1	2.5	徐州	209.5	41.1	1.5	
	淮阴	209.5	41.1	1.5	南京	288.3	47.5	30.5	
	南京	288.3	47.5	30.5	常州	356.6	51.3	38.7	
	常州	356.6	51.3	38.7					

平均每年仅为 1~3 mm。南北各级酸雨的降水量具有明显差异。

### 2.2 酸雨年际分布特征

1992~2005 年各站酸雨 pH 值的年变化常州呈上升态势,南京的峰值出现在 1995 年和 2001 年,徐州峰值在 1995 年和 2002 年(图 1a),淮阴资料不全。苏北地区 1998 年是酸雨比较强的年份,pH 值处于低谷阶段,之后的几年酸雨状况有所缓解。而在 2001~2002 年之后苏北地区酸雨的 pH 值又有小幅下降趋势,酸雨有所增强。而苏南地区(以常州为代表)自 1992 年以来酸雨强度呈减弱的趋势。在苏南地区经济不断发展的同时,环境问题已经引起重视,根据江苏省环境监测中心分析,随着能源结构和燃煤方式的改变,引起酸雨的因子已有所转变<sup>[10]</sup>,酸雨强度已经有所缓解,但仍然很严重,从江苏南北的变化情况也明显看出,1998 年之前苏南地区酸雨的强度大于苏北,而 1998 年之后,苏南酸雨的 pH 值已明显高于 90 年代初期,酸雨的酸性明显减弱,而苏北地区的变化有所起伏,1995~1998 年酸雨 pH 有下降趋势,后又有所缓解,但酸雨酸性和苏南地区相比有加重趋势。

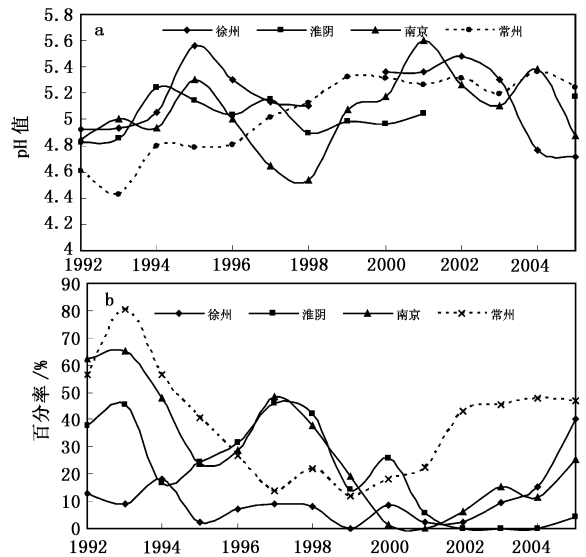


图 1 1992~2005 年酸雨的 pH 值(a)和发生百分率(b)的年际变化

酸雨发生百分率苏南地区和苏北地区有一定差异。如图 1a 所示,苏南地区(常州)除 1996~2000 年酸雨发生百分率低于其他地区外,其他年份都处于最高水平,同时年际变化趋势也不相同,苏南地区

呈U字形变化分布,而其他地区呈双倒槽形变化,而且在苏南酸雨发生百分率最低的阶段刚好是苏北地区酸雨发生百分率的峰值期,14年中,大部分年份苏南地区酸雨发生百分率高于苏北地区,其中淮北地区(徐州)一直处于最低水平,90年代初期全省酸雨发生百分率都较高,苏南竟达到60%以上,1994年开始苏南(常州)酸雨发生百分率明显下降,苏北酸雨发生百分率是降中有波动。总体看苏南地区酸雨发生百分率一般处于较高水平。2001年之后酸雨发生百分率全省都有上升趋势,苏南地区又升到近50%。可见酸雨治理是一个长期的工作。

从各站的变化趋势分析,酸雨发生天数从1993~2005年基本上呈下降趋势,中间有小的波动,每年酸雨天数基本上自北向南呈增加趋势(图2a)。1993年是除淮北外其他地区酸雨天数均较多的年份,常州达到90天,南京达到50天,是明显的高峰期,以后几年基本上维持在比较稳定的状态,变化幅度不大。近两年酸雨天数又有弱的上升态势,苏南地区每年酸雨天数都高于其他地区,根据他人对酸雨地区分布的研究,这可能和当地的土壤酸碱度有关,南方土壤一般呈酸性,而北方土壤呈碱性<sup>[1]</sup>。另外,当地的经济发展与污染程度有关,也和酸雨天数的分布有很好的相关。而出现酸雨的降水量年变化有明显的地区差别和年际间的差异(图2b),1993年是除淮北地区外发生酸雨量较多的一年,南京、常州发生酸雨的降水量达到900mm,其它年份除淮北

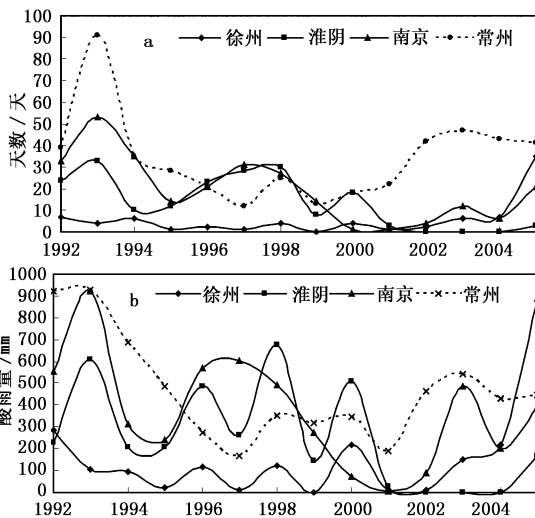


图2 1992~2005年酸雨天数(a)和发生酸雨的降水量(b)年际变化

相对稳定年际间变化较小外,其它地区年际变化均较大,其中90年代初、90年代末和2003年之后均为相对高峰期。地区间的分布趋势自北向南年际变化周期逐渐增大,苏北地区是高低相间分布,苏南地区基本上都稳定处在较高的范围,1997年最小也达到近200mm。从发生酸雨的降水量看,以徐州为代表的淮北地区最少,年平均在100mm左右,淮河以南明显偏高,是酸雨影响最为严重的区域。

### 2.3 酸雨月际分布特征

分析图3a和3b酸雨pH值和酸雨发生百分率月际分布,发现pH值的月际变化地区间差别明显,时间分布也有一定起伏。以徐州为代表的淮北地区降水pH值1~3月较大,酸性较弱,4月是全年的最低值区,5~9月pH值有所升高,但仍处于全年的相对低值区。9月之后pH值增大,降水的酸性减弱。而淮阴地区的pH值变化和徐州差别较大,其在冬半年pH值相对较低,夏半年较高。苏南地区一年内差距不大,但也存在季节间的变化,基本上是春季pH值小,4、5月之后相对较大。酸雨发生百分率从时间变化规律看,1~12月期间,淮北地区(徐州)在7~11月酸雨发生百分率最大,江淮(南京、淮阴)3~5月百分率最大,但全年百分率变化不明显,平均在20%~30%之间,苏南地区(常州)酸雨发生百分率有两个峰值区,分别位于4~5月和9~10月,发生百分率在50%以上,低值区在7~8月,但发生百分率也在20%以上,可见苏南地区酸

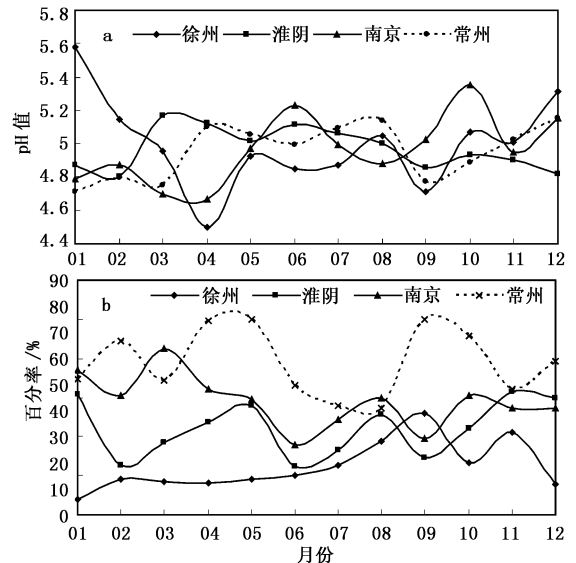


图3 酸雨的pH值(a)和酸雨发生百分率(b)的月际变化

雨发生百分率常年都比较高。发生几率远远高于淮北地区。就同一时间酸雨发生百分率的地区变化趋势也很明显,各月基本上都是自北向南逐渐增加。

酸雨发生天数的月际变化全年度自北向南是逐渐增加,其具体变化情况见图 4a,上半年南北差距大于下半年,各地发生天数月际变化趋势差别较大,苏南(常州)酸雨发生天数的峰值出现时间相对较早,在上半年的 5 月,沿江(南京)酸雨天数峰值出现在 3 月,次峰值在 8 月。苏北地区(淮阴、徐州)峰值出现在下半年。冬半年的酸雨天数都相对较低,从 11、12、1、2、3 月看,徐州地区月平均酸雨天数不到 1 天。苏南(常州)地区酸雨的月平均天数明显高于其他地区。这种月分布情况和雨季的时间分布有一定的联系,沿江苏南地区一般雨季早于苏北地区,因此雨季酸雨的次数要明显多于其它季节,沿江苏南春季和夏季酸雨较多,苏北地区夏季酸雨次数较多。

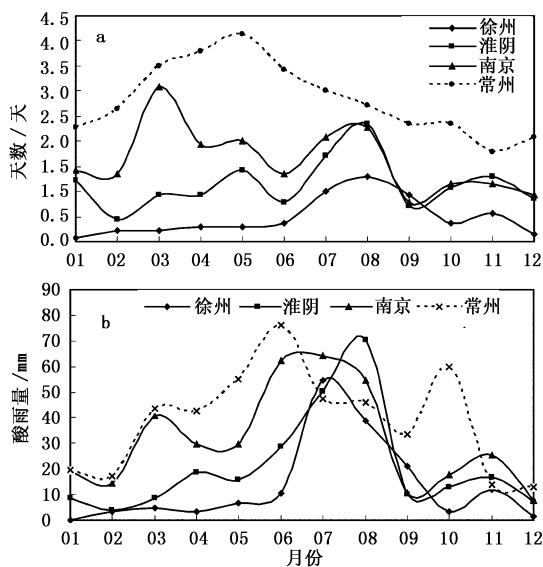


图 4 酸雨天数(a)和出现酸雨的降水量(b)月际变化

月出现酸雨的降水量变化时间上呈明显的单峰型分布,各地最大值基本上出现在 6~8 月,空间上具有明显的地域分布特点,自北向南逐渐增大,特别是在 6 月之前南北差异明显,沿江苏南在 20~60 mm,而苏北则在 0~20 mm,见图 4b。从其分布特点看,出现酸雨的降水量值和月降雨量的大小有很好的对应关系,各地区全年内出现酸雨的降水量月最大值出现在 6~8 月,约为 50~70 mm。

### 3 酸雨形成的气象因子和预报方法探讨

根据目前对酸雨研究,酸性物颗粒扩散时,气象条件是最重要的影响因子。而影响大气扩散能力的气象条件主要有两方面,一为动力因子,主要是指风和湍流;另一为热力因子,主要指大气的温度层结及大气稳定度<sup>[11~13]</sup>。

#### 3.1 酸雨与风的关系

风不仅对污染物起着输送的作用,而且还起着扩散和稀释的作用。一般来说,污染物在大气中的浓度与污染物的总排放量成正比,而与平均风速成反比<sup>[13, 14]</sup>。若风速增加 1 倍,则在下风向污染物的浓度将减少一半。统计南京地区发生酸雨时 850 hPa 的风向及风速发现,南京地区产生酸雨时的主导风向以西南风为主,次之是东南风,其它风向很少,西南风和东南风酸雨两个例占总数的 85%,且产生酸雨的风向季节间没有明显变化。850 hPa 风速也相对较小,其中小于等于 8 m/s 的酸雨两个例占总酸雨个例的 55%,另外分析了产生酸雨时风随高度变化情况,发现在发生酸雨时中低层风向一般也以东南风和西南风为主,而高空的风向则变化较复杂,各种风向均有。

#### 3.2 酸雨与温度层结

温度层结决定着大气的稳定度,而大气的稳定程度又影响着湍流的强度,因此温度层结与大气污染可能有十分密切的联系<sup>[7]</sup>。特别是当逆温出现时,不利于空气上下流通,大气污染物在近地层空气中堆积,而在这种情况下若出现降水,冲刷作用导致降水酸性增强的可能性极大。本文主要分析 2003~2005 年夏半年降雨过程中 08:00 和 20:00 的南京站的温度层结情况,发现在发生酸雨的个例中 90% 的个例在 900 hPa 以下出现了逆温层。

#### 3.3 酸雨预报方法探讨

据研究,酸雨的形成受多种因子的影响,最直接的影响是酸性物的排放,除此还受到一些重要因素的影响,如酸性污染物的迁移和扩散、土壤性质、大气中的氨、大气颗粒物、气象条件的影响。根据具体条件,本预报方法主要考虑本地污染物含量和气象条件来进行酸雨的预报,但酸雨的影响因子较复杂,因此对酸雨的预报采用潜势预报方法较好。

经对酸雨及其当天对应的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$  的资料统计,发现酸雨发生当天所对应的酸性污染

物的排放量并不大,因此考虑利用前1天的污染物浓度或前3天平均污染物浓度来进行第2天是否会产生酸雨的预报,为此整理了2003~2005年南京地区发生酸雨的前1天和前3天平均污染物浓度,并进行统计对比,发现在发生酸雨的前1天和前3天平均污染物浓度均具有一定规律性,其中前1天: $\text{NO}_2 \geq 0.04 \text{ mg/m}^3$ ,  $\text{PM}_{10} + \text{NO}_2 \geq 0.085 \text{ mg/m}^3$ ,  $\text{SO}_2 + \text{NO}_2 \geq 0.08 \text{ mg/m}^3$ ,其中除了 $\text{SO}_2 + \text{NO}_2 \geq 0.08 \text{ mg/m}^3$ 通过率稍低,其他都比较高,在85%以上。前3天平均: $\text{NO}_2 \geq 0.04 \text{ mg/m}^3$ ,  $\text{PM}_{10} + \text{NO}_2 \geq 0.1 \text{ mg/m}^3$ ,  $\text{SO}_2 + \text{NO}_2 \geq 0.06 \text{ mg/m}^3$ ,用于预报的准确率分别为95%、79%和89%。为验证该条件在预报酸雨方面的准确率,对2005年的每次降水过程进行了检验。仅利用前1天污染物浓度限制条件来预报酸雨时,TS评分为58%,预报准确率为60%,酸雨的漏报也比较低,基本上都可以报出来,一年内仅有4次酸雨漏报,但空报的几率比较大,为40%。为了更加准确地预报引入了前3天平均污染物浓度来进行酸雨的预报,发现引入该因子后对酸雨的预报没有大的改进。因此在污染物因子方面考虑利用前1天污染物浓度作为酸雨预报因子。

另外在进行酸雨预报时考虑了降水天气形势和其他气象因子,如风向、风速、温度层结和前一天850 hPa上温度露点差等。主要考虑当日850 hPa风向、风速和当日的温度层结,首先考虑850 hPa风速小于等于12 m/s,引入气象因子后检验预报效果,结果显示气象因子的介入对预报效果有较明显改进,酸雨的预报准确率和TS评分都有提高,分别从60%、57%提高到64%、61%。空报率下降,从40%下降到35%,漏报率较低。另外统计了有酸雨潜势当日的850 hPa风向和当日的温度层结,发现在南京地区有酸雨潜势时850 hPa风向偏南风占72%,900 hPa以下出现逆温占70%。这两个气象因子也是酸雨预报参考的重要因子。

污染物浓度和气象因子对酸雨的产生起着很大的作用,酸雨的预报可直接从这两个方面获取资料,最终做出预报结果。但从预报检验结果分析空报率较高,所得结果只能表示发生酸雨的潜在可能性,即酸雨的潜势预报。

#### 4 结论

(1)江苏酸雨具有明显的地区差异,酸雨发生年

平均天数、酸雨出现次数、年平均酸雨量、弱酸雨、强酸雨、较强酸雨量等都具有自北向南逐渐增加的趋势。

(2)酸雨的发生具有明显的年际分布规律,1998年之前苏南地区酸雨的强度大于苏北,1998年之后苏南酸雨的pH值已明显高于90年代初期,酸雨的酸性明显减弱,苏北地区的变化不明显。酸雨发生百分率苏南地区高于苏北地区,淮北地区一直处于最低水平,90年代初期江苏全省酸雨发生百分率都较高,苏南竟达到60%以上,1994年开始全省酸雨发生百分率总体趋势都明显下降。

(3)酸雨月发生天数全年自北向南都是逐渐增加的,上半年南北差距要大于下半年。各地发生天数月变化趋势差别较大,峰值出现时间不同。月酸雨量的变化呈明显的单峰型分布,月酸雨量自北向南逐渐增大,各地最大值基本上出现在6~8月,酸雨量的大小和月降雨量的大小有很大的关系。

(4)产生酸雨的有利条件:前1天污染物浓度为 $\text{NO}_2 \geq 0.04 \text{ mg/m}^3$ ,  $\text{PM}_{10} + \text{NO}_2 \geq 0.085 \text{ mg/m}^3$ ,  $\text{SO}_2 + \text{NO}_2 \geq 0.08 \text{ mg/m}^3$ ,850 hPa主导风向以西南风为主,次之是东南风,风速小于等于12 m/s。900 hPa以下出现逆温层。

(5)利用前一天污染物浓度和气象因子控制: $\text{NO}_2 \geq 0.04 \text{ mg/m}^3$ ,  $\text{PM}_{10} + \text{NO}_2 \geq 0.085 \text{ mg/m}^3$ ,  $\text{SO}_2 + \text{NO}_2 \geq 0.08 \text{ mg/m}^3$ ,850 hPa风速小于等于12 m/s及降水预报,可以判别当天发生酸雨的潜势。其预报检验结果较好,具有一定的实用性。

#### 参考文献

- [1] 吴丹,王式功,尚可政. 中国酸雨研究综述[J]. 干旱气象, 2006,24(2):71-77.
- [2] 解海卫,张艳,尹连庆. 酸雨研究的现状[J]. 环境科学与技术, 2004,27(增刊):179-181.
- [3] 李洪珍,王木林. 我国降水酸度的初步研究[J]. 气象学报, 1984,42(3):332-339.
- [4] 王木林,李洪珍. 华北四地降水酸度的观测与分析[J]. 气象, 1984,10(2):21-22.
- [5] 王木林,李洪珍. 杭州、南宁、南京、合肥等地1981年酸雨观测结果及其初步分析[J]. 环境科学, 1984,5(4):52-53.
- [6] 刘奇俊,丁国安,汤洁,等. 云、雨水酸度和离子浓度与其微物理参数的关系[J]. 气象学报, 1993,51(2):195-202.
- [7] 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):170-173.
- [8] 丁国安,徐晓斌,王淑凤,等. 全国湿沉降酸性气体时空分布特

- 点研究[R].“八五”国家科技攻关项目(编号 89912010107)研究报告,1995.
- [9] 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.
- [10] 黄海洪,孙崇智,郑凤琴,等.酸雨PH值分级短期预报方法研究初探[J].环境化学,2006,25(3):373-374.
- [11] 范元中.江苏省酸雨污染十五年趋势分析[J].环境科学与技术,2005,28(增刊):53-54.
- [12] 王文兴,张婉华,石泉,等.影响我国降水酸性因素的研究[J].中国环境科学,1993,13(6):401-407.
- [13] 徐梅,郑勇,易笑园.天津市酸雨及其成因初探[J].气象科技,2007,35(6):792-796.
- [14] 郑凤琴,孙崇智,于文杰,等.城市酸雨预报方法及业务系统[J].气象科技,2006,34(6):684-687.
- [15] 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.

## A Study of Acid Rain Space-Time Distribution and Potential Influencing Factors in Jiangsu Province

Liu Mei Pu Meijuan Yin Dongping Zhang Bei

(Jiangsu Provincial Meteorological Office, Nanjing 210008)

**Abstract:** Based on the analysis of 13-year acid rain data from four monitoring spots in Jiangsu, it is concluded that the annual mean number of acid rain days, the occurrence frequency of acid rain events, and the annual mean amount of acid rainfall in Jiangsu tend to increase gradually from north to south. The frequency and amount of acid rainfall show obvious annual and seasonal variation characteristics. The number of acid rain days and the monthly variation of acid rainfall exhibit a parabola-shape distribution. According to the parallel analysis of pollutant concentration and meteorological factors before acid rains, the variation regularities of pollutant concentrations and meteorological factors during acid rains in Nanjing are studied, and the favorable conditions for acid rains are summed up that the preceding pollutant concentration:  $\text{NO}_2 \geq 0.04 \text{ mg/m}^3$ ,  $\text{PM}_{10} + \text{NO}_2 \geq 0.085 \text{ mg/m}^3$ ,  $\text{SO}_2 + \text{NO}_2 \geq 0.08 \text{ mg/m}^3$ ; at 850 hPa, southwest winds prevail and southeast winds take the secondary place; wind velocities are less than or equals 12 m/s; there exists an inversion layer under 900 hPa. Base on these findings, the method of acid rain potential forecast in Nanjing is presented and forecast verification is conducted.

**Key words:** acid rain, space-time distribution, influencing factor, forecasting method