

2006—2007 年南昌市城郊地带的酸雨特征

曾 凯¹, 居为民², 涂良瑛³, 王尚明¹, 张崇华¹, 张清霞¹

(1.江西省农业气象试验站, 江西 南昌 330200; 2.南京大学环境学院, 南京 210093; 3.南昌县环境保护局, 江西 南昌县 330200)

摘 要: 为了解南昌地区酸雨现状, 通过对南昌农区、郊区、市区布设观测点, 根据有关监测数据资料, 对 2006—2007 年酸雨 pH 值、酸雨频率、酸雨成分、空气污染状况进行了统计分析。结果表明, 3 个测点观测的南昌地区酸雨年均 pH 值处强酸性标准, 3 测点酸雨发生概率为 88%~97%, 9—4 月酸雨较重、5—8 月减弱, 酸雨 pH 值与空气污染物浓度有极显著相关关系。酸雨呈硫酸性酸雨, 主要阴离子为 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- , 阳离子为 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 K^+ , 且 $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 比值较小。农田保护区因处于城市及工业污染源下风向, 降水总离子及 SO_4^{2-} 浓度较高, 酸雨强度不亚于城市。在新设工业园及迁出企业布局上, 应考虑设于较小风频方位, 以减轻南昌农田保护区及城市污染, 建议选择城市西北、东南侧安排新设排放源。

关键词: 酸雨 pH 值; 降水成分; 空气污染物浓度; 排放源分布; 风向

中图分类号: X517 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2010)03-0609-04

Characteristics of Acid Rain in the Suburb and Urban Areas of Nanchang During 2006 and 2007

ZENG Kai¹, JU Wei-min², TU Liang-ying³, WANG Shang-ming¹, ZHANG Chong-hua¹, ZHANG Qing-xia¹

(1. Agro-meteorological Experiment Station of Jiangxi Province, Nanchang 330200, China; 2. School of Environment, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 3. Nanchang County Environmental Protection Bureau, Nanchang 330200, China)

Abstract: Based on the statistical analysis for pH value, occurring frequency, constituents of acid rain, and air pollutants measured during 2006 and 2007 in the protected farmlands, suburb, and urban areas of Nanchang, the characteristics of acid rain in this region were studied. Measurements taken at three sites indicate that the annual mean pH values of acid rain in Nanchang are lower than the criteria of serious acid rain. The occurring frequency of acid rain was in the range from 88% to 97% at three sites. The acidity of rainfall was more serious during the period from September to April than during the period from May to August. The pH value of rainfall is significantly correlated with the concentration of atmospheric pollutants. Acid rain in this region is typically sulphuric acid, with SO_4^{2-} , NO_3^- and Cl^- as major anions and NH_4^+ , Ca^{2+} and K^+ as major positive ions. The ratio of SO_4^{2-} to NO_3^- is low. Since the protected farmlands are situated to the leeward of urban area and industrial pollution sources, the total ion and SO_4^{2-} here are high. The seriousness of acid rain in the protected farmlands is compatible to that of acid rain in the urban area. In order to alleviate pollutions in the protected farmlands and urban area of Nanchang, industrial park to be set up and enterprises emigrated out from the urban area should be allocated at locations away from predominant wind directions. The northwest and southeast areas are the potential homes for the pollutant emission sources.

Keywords: pH value of acid rain; constituent of precipitation; concentration of atmospheric pollutants; distribution of emission source; wind direction

近年来中国能源消费量呈增长趋势, 能源的消费结构以煤为主, 尚未改变高能耗、高排放的经济增长方式, 2000 年中国的单位 GDP 能耗是日本的 9 倍。我国 SO_2 的 87%、 NO_x 的 67% 和烟尘 60% 的排放来

自燃煤; 同时城市机动车剧增也带来 NO_x 的污染加重^[1]。2005 年中国 SO_2 排放总量达 $2\,549.4 \times 10^4 \text{ t}$, 氨氮排放总量 $149.8 \times 10^4 \text{ t}$, 烟尘排放总量 $1\,182.5 \times 10^4 \text{ t}$, 且 2001—2005 年这 3 项指标均呈现逐年增加态势^[2]。与此同时, 我国酸雨危害加重, 南昌市是全国酸雨污染最严重的城市之一^[3], 并且南昌市煤炭消耗总量仍在上升, 2007 年为 $426.3 \times 10^4 \text{ t}$, 比 2006 年增长 12%。目前南昌市 SO_2 治理尚在起步阶段, 部分企业处于直接排放状态。不仅城市生活、市民健康受到直接影响, 而

收稿日期: 2009-07-13

基金项目: 江西省气象科技创新基地基金(GCX200907); 中国气象局生态监测站建设试点项目

作者简介: 曾 凯, 男, 高级工程师, 从事生态环境与农业气象研究工作。E-mail: cowin18@163.com

且在下风向农田保护区已发现空气洁净度差、酸雨危害重,以及农田硫含量高、土壤呈递进性酸化的状况^[4]。

目前国内外的酸雨研究,涉及污染物排放、酸性气体、气溶胶、输送、沉降、化学成分、对生态系统影响、节能减排与生态恢复^[1,3,5-12],研究侧重于城市,农区酸雨研究以模拟酸雨文献较多、缺乏长期定点的农区酸雨观测。另外,许多研究以单点观测作为一城市酸雨状况依据,偶有为短期研究设立多点临时观测。本研究通过在南昌农田保护区设立长期酸雨观测点、结合城市和北郊的酸雨测点数据,以较完整地揭示一地的酸雨规律、特别是农区酸雨危害的现实状况,为南昌市新建工业园区的布局、SO₂ 排放治理、农田生态环境的保护提供决策依据及数据支持。

1 材料和方法

农区测点设于南昌县境内南昌敷林农田保护区中央(28°33'N, 115°58'E),四周为 66 hm² 连片双季水稻田。农田保护区观测点可以代表南昌市下风向广阔农区。测点观测项目包括降水量、降水 pH 值、风向、风速等气象要素。南昌市和郊区测点由南昌市环保局分别设于市中心的站前西路和郊区的江西农业大学。农区、市区、郊区酸雨测点位置如图 1 中 A、B、C 点所示,AB、BC、AC 距离分别为 19、13、31.5 km。图 1 中“P”为重点排放源位置。

南昌市及郊区酸雨 pH 值、降水成分、南昌市空气污染物浓度、南昌市 18 家重点源企业资料来自南昌市环保局,为 2006—2007 年 2 a 数据。市区和郊区降水 pH 值的样本分别为 143 个和 120 个,降水化学成分样本分别为 48 个和 29 个。农田保护区的 2006—2007 年 2 a 降水样本 120 个,不含 2007 年 8—12 月数据(测点位置略有调整)。农田保护区测点在南昌县环保局降水成分取样点附近(两者与南昌市的相对方位、距离相同),农田保护区降水化学成分采用县环保局的分析数据,为 23 个样本。酸雨 pH 的月均、年均值采用算术平均法计算。农田保护区主导风向、平均风速,使用农田生态监测站 2005—2007 年 3 a 资料求算。南昌市 2006、2007 年度风向频率根据南昌市气象局资料进行统计。

2 结果与分析

2.1 南昌市郊观测点降水 pH 值和酸雨频率

从图 2 可见,pH 值数值为 2006 和 2007 两年的平均值,农田保护区、郊区、市区的降水 pH 值全年分

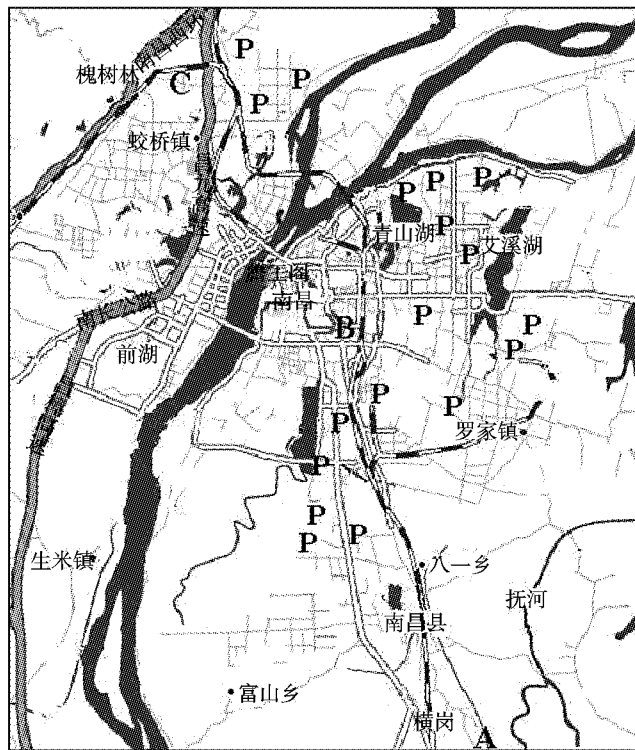


图 1 南昌市郊观测点及重点排放源位置

Figure 1 Location of main pollutant emission sources and observation sites in the urban and suburb areas of Nanchang

布规律总体趋同,均呈现 9 月到次年 4 月 pH 值处于较低水平,该时段降水酸性较强,而 5—8 月在一年中略高,此期间酸雨危害较弱。

由于三测点距离在 32 km 内,处在酸雨研究应考虑的大尺度范围内,3 点的降水 pH 年平均值较接近,南昌市 4.13、农田保护区 4.41、郊区 4.51,均处于一个区间、基本符合强酸性酸雨标准^[6],即 $\text{pH} \leq 4.5$ 。但市区及处于污染源下风向的农田保护区降水 pH 值稍低于处市区西北侧污染较轻的郊区。

农田保护区、郊区、市区 3 个测点,均出现从 2006 年 8 月—2007 年 3 月的连续 8 个月酸雨概率为 100%;而 3 测点年酸雨概率分别为 93%、88%、97%,表明南昌地区整体呈酸雨危害高发的情况。

南昌酸雨受信风环流和副热带高压纬向环流影响。据何纪力等研究^[7],深秋至冬春,北方冷空气携带致酸物质,经由鄱阳湖区入口(南昌上风向),沿赣江谷地南下,影响南昌及下风向地区酸雨发生;夏季至初秋,来自海洋的降雨云团所携致酸物质较少,对流性天气过程较多,局地污染对酸雨形成发生了一定作用;沿鄱阳湖、南昌、农田保护区、永丰进行航测(南昌距鄱阳湖约 50 km、距永丰 150 km),由上风向→南

昌→图表中的误差线下风向,曾测得夏天云水 pH 值由 5.12→4.27→3.91,即污染源的上下风向云水污染有时存在差异。图 2 显示南昌地区 3 个测点在 5—8 月酸雨 pH 值差异相对明显,尽管测点间距离小于航测范围,但各测点酸雨 pH 值仍可能反映对流性天气集中期局地污染的一些差异。

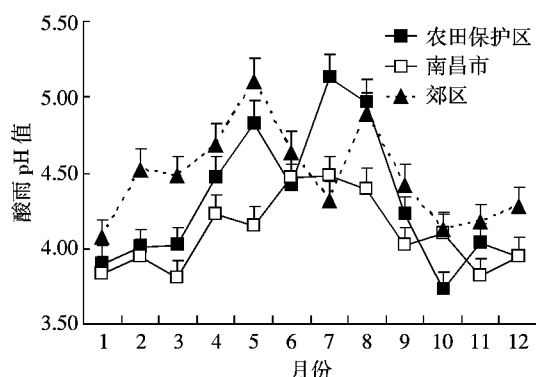


图 2 2006—2007 年南昌城郊带酸雨 pH 值分布

Figure 2 Distribution of pH value of acid rain in the urban and suburb areas of Nanchang during 2006 to 2007

2.2 南昌市郊观测点的酸雨成分

从图 3 可见,农田保护区、郊区、南昌市酸雨中主要阴离子同为 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- , 主要阳离子同为 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 K^+ ; 其中阴离子 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 浓度 3 测点平均分别达 7.01 和 $2.33 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 阳离子 NH_4^+ 和 Ca^{2+} 浓度 3 测点平均分别达 0.74 和 $1.64 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 摩尔比为 1.9, 呈硫酸型酸雨特征, 但比值较低, 这与东亚的一些地区酸雨有从硫酸型酸雨向硫酸和硝酸混合型发展的趋势一致^[6]。

南昌市 2007 年酸雨 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 浓度高于 2006 年, 同时 pH 值低于 2006 年, 且 2007 年煤炭消耗环比上升 12%, 说明南昌市酸雨危害加重与污染增加有

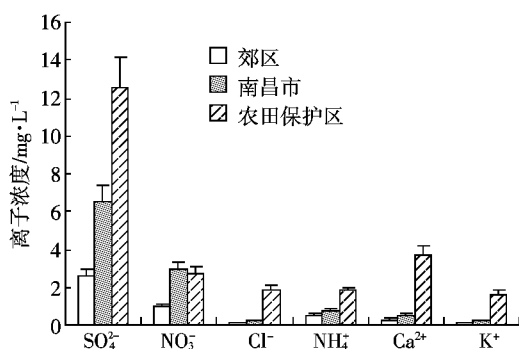


图 3 2006—2007 年南昌城郊带降水主要成分年均值

Figure 3 Annual means of major components of precipitation in the urban and suburb areas of Nanchang during 2006 to 2007

关。近年北京等一些城市酸雨中硫酸盐、硝酸盐浓度和比例也呈现上升的趋势^[8]。

农田保护区降水阴离子和阳离子浓度相对较高, 一方面农田保护区处于城市及工业排放源下风向, 另一方面有研究表明 Ca^{2+} 、 K^+ 、 NH_4^+ 主要来自土壤、土壤飘尘及施肥^[6], 局地环境影响对降水成分有一定反映。

2.3 南昌市空气污染物浓度的影响

图 4 是南昌市空气污染物浓度月均值分布图, 图中可见一年中的夏季(6—8 月)空气污染程度较轻, 与农田保护区、郊区、城市的酸雨酸性较弱的期间相对应; 而 9—4 月空气污染程度较重, 秋冬降水也较少, 与酸雨危害较重的时间基本吻合。

城区酸雨 pH 值与该市空气污染物浓度有极显著相关关系; 农田保护区 SO_2 、 NO_2 和 PM_{10} 观测样本不足, 但根据农田保护区处于城市下风向处, 分析发现农田保护区酸雨 pH 值与城市空气污染物浓度亦有极显著相关关系, 酸雨发生均与该市空气污染有关。在盛行风作用下, 污染源所在地及下风向处均易发生较严重的酸雨危害^[10]。市区和农田保护区酸雨 pH 值(Y)与南昌市空气 SO_2 (S)、 NO_2 (N)浓度的回归方程分别为:

$$\text{市区: } Y = 4.953 - 7.822S - 12.622N$$

$$R = 0.901^{**}, F = 19.347, P = 0.001, n_{\text{样}} = 12$$

$$\text{农区: } Y = 5.688 - 5.840S - 31.922N$$

$$R = 0.848^{**}, F = 11.510, P = 0.003, n_{\text{样}} = 12$$

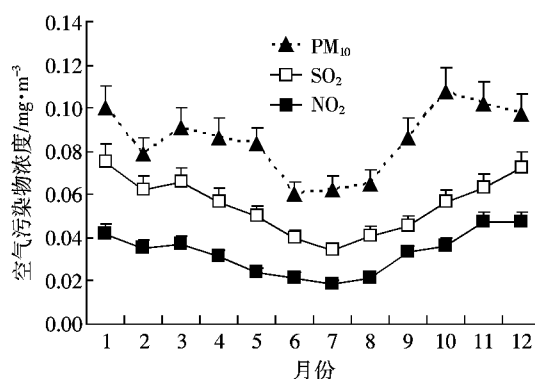


图 4 2006—2007 年南昌城郊带空气污染物浓度分布

Figure 4 Distribution of contents of air pollutants in the urban and suburb areas of Nanchang during 2006 to 2007

2.4 南昌市污染源的排放与风向关系

农田保护区常年主导风向为 NNE, 其次为 NE, 再次为 N; 夏季主导风向为 NNE、SW(两个风向频率同为 13%), 说明农田保护区常年风向以偏北风向为主, 利于空气污染向处于 S 方位的农区传输; 夏季偏

西南风向频率增大,减少了空气污染对农田保护区的扩散。南昌市常年高频风向同为 NNE、NE、N,2007 年 NNE、NE、N 风向频率合计为 30%,2006 年为 33%,污染物易于向下风向农田保护区传输。

南昌市 18 家重点源企业中的 15 家集中于市区,3 家处于北郊,亦即排放源主要集中在农田保护区的偏北方向。2007 年农田保护区的正北方向重点源企业排放量合计为 SO_2 17 003 t,氮氧化物 11 047 t;NNW 方位排放量合计为 SO_2 3 228 t,氮氧化物 4 082 t。南昌市 SO_2 排放总量>氮氧化物排放总量,降水中 SO_4^{2-} 浓度也相应高于 NO_3^- 浓度, SO_4^{2-} 和 NO_3^- 同为酸雨的主要前体物^[1]。虽重点源主要集中在城区,农田保护区因处于南昌市下风向处且距离较近,受空气污染和酸雨的影响也较严重。

3 结论

对南昌城区、郊区、农区 3 个测点的研究表明,南昌地区酸雨分布总体上较为严重;3 测点降水 pH 年均值的平均为 4.35,符合强酸性酸雨标准;酸雨发生频率高,3 测点平均酸雨概率为 93%,9—4 月酸雨酸性强、5—8 月酸雨酸性减弱;从酸雨成分来看,主要阴离子为 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- ,主要阳离子为 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 K^+ ,具有硫酸型酸雨特点,但 NO_3^- 含量也较高,硝酸性污染不可忽视。农田保护区由于处城市及排放源下风向及土壤与耕作等因素,降水 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 及总离子含量较高。酸雨酸性与南昌市空气污染物浓度有极显著相关关系,南昌市主要排放源集中于市区及城北,而常年主导风为偏北风,污染易向城南以及农田保护区传输,仅在夏季西南风频率增高时,酸雨酸性有所减轻。工业污染源不适合设置于拥有大批良田的农田保护区上风向处,应把较小风频方向,如偏西北、偏东南方位,作为新设工业园区及迁出企业选择,可避免直接对南昌城区、农田保护区排放或传输污染。

参考文献:

- [1] 郑博福,邓红兵,严 岩.我国未来能源消费及其对环境的影响分析[J].环境科学,2005,26(3):1-6.
ZHENG Bo-fu, DENG Hong-bing, YAN Yan. Analysis of China's energy consumption and its impact on the environment in the future[J]. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2005, 26(3):1-6.
- [2] 国家统计局,国家环境保护总局.2007 中国环境统计年鉴[Z].北京:中国统计出版社,2007.
National Bureau of Statistics, State Environmental Protection Administration. China statistical yearbook on environment 2007[Z]. Beijing: China Statistical Publishing House, 2007.
- [3] 吴 丹,王式功,尚可政.中国酸雨研究综述[J].干旱气象,2006,24(2):70-77.
WU Dan, WANG Shi-gong, SHANG Ke-zheng. Progress in research of acid rain in China[J]. *Arid Meteorology*, 2006, 24(2):70-77.
- [4] 曾 凯,万和平,张崇华,等.江西省稻田生态土壤肥力监测试验设计与结果分析[J].江西气象科技,2005,28(3):27-29.
ZENG Kai, WAN He-ping, ZHANG Chong-hua, et al. The paddyfield ecological soil fertility monitors test design and analysis result in Jiangxi [J]. *Jiangxi Meteorological Science & Technology*, 2005, 28(3):27-29.
- [5] Streets D G, Carmichael G R, Amann M, et al. Energy consumption and acid deposition in northern Asia[J]. *Ambio*, 1999, 28:135-143.
- [6] 叶小峰,王自发,安俊岭,等.东亚地区降水离子成分时空分布及其特征分析[J].气候与环境研究,2007,24(5):115-123.
YE Xiao-feng, WANG Zi-fa, AN Jun-ling, et al. Analysis of the spatial-Temporal distribution and ion feature of vomponents of precipitation in East Asia[J]. *Climatic and Environmental Research*, 2007, 24(5):115-123.
- [7] 何纪力,陈宏文,胡小华,等.江西省严重酸雨地带形成的影响因素[J].中国环境科学,2000,20(5):477-480.
HE Ji-li, CHEN Hong-wen, HU Xiao-hua, et al. On the influent factors for the formation of severe acid rain band in Jiangxi Province[J]. *China Environmental Science*, 2000, 20(5):477-480.
- [8] 汤 洁,徐晓斌,巴 金,等.近年来京津地区酸雨形势变化的特点分析[J].中国科学院研究生院学报,2007,24(4):667-673.
TANG Jie, XU Xiao-bin, BA Jin, et al. Trend of precipitation acidity in Beijing-Tianjin region[J]. *Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences*, 2007, 24(4):667-673.
- [9] 郑有飞,徐建强,张海鸥,等.南京市江北工业区降水酸性及化学成分分析[J].环境科学研究,2007,20(4):45-51.
ZHENG You-fei, XU Jian-qiang, ZHANG Hai-ou, et al. The analysis of precipitation acidity and chemical composition in the industrial estate located on north bank of the Yangtze River, Nanjing[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2007, 20(4):45-51.
- [10] 董惠青,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.
Dong Hui-qing, Huang Hai-hong, Gao An-ning, et al. Analysis of effect of atmosphere circulation on acid rain in Guangxi[J]. *Meteorological Monthly*, 2005, 31(10):51-55.
- [11] 丁国安,郑向东,马建中,等.近 30 年大气化学和大气环境研究回顾[J].应用气象学报,2006,17(6):796-814.
DING Guo-an, ZHENG Xiang-dong, MA Jian-zhong, et al. Review of atmospheric chemistry and environment research work in recent 30 years[J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2006, 17(6):796-814.
- [12] 丁一汇,李巧萍,柳艳菊,等.空气污染与气候变化[J].气象,2009,35(3):3-14.
Ding Yi-hui, Li Qiao-ping, Liu Yan-ju, et al. Atmospheric aerosols, air pollution and climate change[J]. *Meteorological Monthly*, 2009, 35(3):3-14.