

# 2007~2013年丹东地区酸雨特征及成因分析

王若男, 马鑫, 李美竹, 王文武, 邢钧 (辽宁省丹东市气象局, 辽宁丹东 118000)

**摘要** 根据丹东2007~2013年的酸雨监测资料,对近年来该地区酸雨的时空分布特征进行了总结与分析,研究了不同气象条件对降水酸度的影响,分析了酸雨形成的原因。结果表明,丹东降水酸度呈波动性变化;2007~2013年降水平均pH年平均范围为4.82~5.51,pH均小于5.60,且自2008年以来,呈现波动下降的趋势;pH有明显的季节变化,以夏季酸度为最强、秋季为最弱;出现频率以秋季最高,为43.3%,春季最低,为30.1%。丹东酸雨的形成是该地区的自然和人为因素共同作用的结果,气象条件的变化对降水酸度影响相当明显,丹东市当地地形、工业布局和外来源也为酸雨形成做出了较大贡献。

**关键词** 丹东;降水pH;酸雨频率;气象要素;影响因素

中图分类号 S161.6 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2014)33-11911-03

## Acid Rain Features and Cause Analysis in Dandong Region during 2007-2013

WANG Ruo-nan, MA Xin, LI Mei-zhu et al (Dandong Meteorological Bureau, Dandong, Liaoning 118000)

**Abstract** According to acid rain monitoring data in Dandong from 2007 to 2013, the spatial and temporal distribution features of acid rain in the region in recent years were summarized and analyzed, the influence of different meteorological conditions on precipitation acidity were studied, the formation causes of acid rain were analyzed. The result indicates that the Dandong precipitation acidity changes in volatility. Average annual precipitation in 2007-2013 average pH value range of 4.82-5.51, the pH value is less than 5.60, and since 2008, falling volatility trends; obvious seasonal change, pH value in the summer acidity is the strongest, autumn is the weakest; frequency as high as 43.3% to fall, and the lowest in spring as 30.1%. In Dandong, the formation of acid rain is the result of natural and human factors, the effect of the change of weather conditions on precipitation acidity is quite obvious, the local topography, industrial layout and source is also made a bigger contribution for the formation of acid rain.

**Key words** Dandong; Precipitation; pH value; Acid rain frequency; Meteorological elements; Impact factors

酸雨是指 $\text{pH} < 5.6$ 的大气降水<sup>[1]</sup>。酸雨的形成是大气中发生的错综复杂的物理和化学过程,其主要因素是 $\text{SO}_2$ 和 $\text{NO}_x$ 在大气或水滴中转化为硫酸和硝酸所致<sup>[2]</sup>。我国自1979年开始进行降水酸度监测<sup>[3]</sup>,尽管对酸雨研究的起步较欧洲和北美等国家略晚,但随着“七五”西南地区酸雨研究、“八五”我国酸沉降及其生态环境影响研究等各类科研项目的先后开展,目前在酸雨的分布规律、影响因素及控制对策等方面取得了大量的成果<sup>[4]</sup>。

目前全国酸雨污染状况总体保持稳定,其中135个城市属酸雨城市,占全部城市的29.6%;77个城市降水pH均值低于5.0,属较重酸雨城市,占16.9%;23个城市降水pH均值低于4.5,属重酸雨城市,占5.0%。酸雨主要分布在长江沿线及以南-青藏高原以东地区,主要包括浙江、江西、福建、湖南、重庆等省(市)<sup>[5]</sup>。近年来,在北方酸雨区范围逐渐向北扩展的背景下<sup>[6]</sup>,通过监测发现,包括辽宁省在内的东北地区降水酸度逐年增强,而丹东市由于酸雨频发也成为了辽宁省酸雨的多发区<sup>[7-8]</sup>。笔者对2007~2013年丹东地区酸雨监测站的测量数据进行了统计分析,探讨丹东地区酸雨特征和形成原因。

## 1 资料与方法

**1.1 资料来源** 丹东市酸雨观测站位于浪头国家基本气象站,为国家级酸雨观测站。丹东地区气候为暖温带大陆性季风气候,历年平均年降水量为864.7~1077.6 mm,主要集中在夏季。从2006年开始进行酸雨连续观测。选用2007年1月~2013年12月的监测数据,是按照中国气象局于2006

年1月发布的《酸雨观测业务规范》获得的,测量所用仪器设备为上海精密科学仪器有限公司生产的PHS-3B型pH计和DDS-307型电导率仪,其中电导电极为DJS-1C型、测温探头为T-818-A6型。为了反映不同气象条件的变化情况,选择风向、风速、云状和天气现象等气象因子进行相关表征。在此所应用的记录数据是2007年1月~2013年12月的地面气象月数据文件。

**1.2 分析方法** 年均降水pH采用氢离子浓度 $[\text{H}^+]$ -降水量加权法,即将每日降水pH换算成氢离子浓度后,乘上相应的日降水量,求和,再除以年内总降水量,得平均氢离子浓度,再取负对数,即为年均降水pH<sup>[9]</sup>。酸雨出现频率( $F$ )取降水 $\text{pH} < 5.6$ 的次数,除以当年pH观测的总次数,即得到酸雨发生的频率<sup>[9]</sup>。按降水的pH大小,划分酸雨强度等级为非酸雨、弱酸雨、强酸雨,其日降水pH分别为 $\text{pH} \geq 5.6$ 、 $4.5 \leq \text{pH} < 5.6$ 、 $\text{pH} < 4.5$ 。按照年(季、月)酸雨频率,划分酸雨频率等级为酸雨偶发、少发、多发、频发、高发,其对应的酸雨频率分别为 $F \leq 5\%$ 、 $5 < F \leq 20\%$ 、 $20\% < F \leq 50\%$ 、 $50\% < F \leq 80\%$ 、 $F > 80\%$ 。

## 2 结果与分析

**2.1 丹东地区降水的pH变化** 统计丹东地区2007~2013年酸雨资料(图1)发现,2007~2013年丹东地区酸雨降水年平均pH均低于5.6,达到酸雨标准。可见近年来丹东地区降水酸度变化相对稳定;pH年平均最低值出现在2007年,为4.8,最高值出现在2008年,为5.5,均达到轻酸雨区标准;自2008年以来,降水pH呈逐年波动下降趋势,可见丹东地区降水酸化有加重的趋势。2007~2013年丹东酸雨频率平均值为36.1%,出现酸雨共246次,总体形势可分为3个阶段:①2007~2008年,酸雨污染减轻,降水pH由2007年的4.82上

升至2008年的5.51,同时酸雨频率由2007年的47.9%下降至2008年的19.7%。2008年为近年来酸雨污染最轻的一年。②2008~2011年,降水pH虽呈现平稳变化,但总体呈下降趋势;酸雨频率也呈上升趋势。③2011~2013年,酸雨污染加重,降水pH由2011年的5.29下降至2013年的5.00,而酸雨频率也由2011年的29.2%上升至41.8%。

参考张新民等的研究<sup>[10]</sup>,2007年全国平均酸雨日数为1993年有系统观测数据以来的最高值,辽宁省降水大部分地区呈中性,酸雨主要分布在大连、丹东和阜新3个地区。洪也等从我国酸雨与区域SO<sub>2</sub>排放量的变化一致性,以及大气成分区域本地站降水中SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和NO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度上升的事实来看,酸雨污染主要来自源于工业SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>等酸性物质的排放<sup>[11]</sup>。

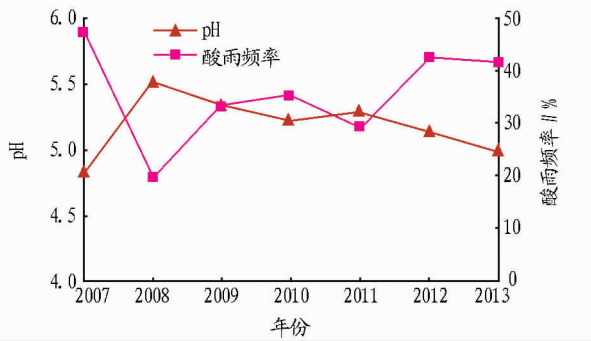


图1 2007~2013年丹东地区降水平均pH、酸雨发生频率年变化

**2.2 丹东地区酸雨的月变化** 从丹东市逐月降水平均pH与酸雨频率的变化曲线(图2)可以看出,2007~2013年丹东地区降水pH平均值最高出现在3和4月,均为5.47;次值出现在9月,为5.46;最低平均值出现在5月,为4.84;从整体上看,逐月降水pH平均值呈现为两峰一谷的波动形态。丹东地区1~12月均有酸雨现象出现,且酸性降水的出现频率有明显的月变化;4月的酸雨频率最低,为19.0%;10月的酸雨频率最高,为51.2%,11月次之,为47.7%;10月为全年最易出现酸雨的月份;5~8月酸性降水频率变化平缓。

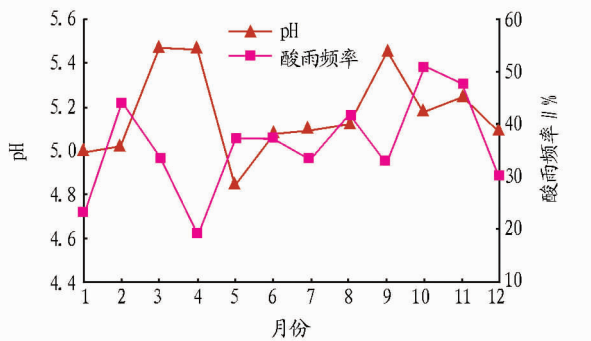


图2 2007~2013年丹东地区降水平均pH与酸雨频率月变化

**2.3 丹东地区酸雨的季节变化** 由2007~2013年丹东市降水pH和酸雨频率季节变化(图3)可见,丹东地区的酸雨季节性变化规律比较明显,夏、冬两季降水pH的季平均低,降水酸性较强,分别为5.10和5.11;春、秋两季降水pH的季平均相对偏高,分别为5.26和5.29;近年来丹东地区酸雨频率

秋季最高,占当季的43.3%;夏季次之,占当季的37.3%;春、冬季分别占当季的30.1%、32.6%,说明2007~2013年丹东市全年酸雨频率呈现出从春季开始上升,经过夏季持续上升,在秋季达到频率最大,之后开始缓慢下降至冬季的循环趋势。参考王文兴等的研究<sup>[12]</sup>发现,我国东部和东南部沿海地区的酸雨来源比较复杂。冬、春季不仅受西部大陆的影响,也受日本和韩国的影响;北部沿海地区至丹东一带,全年降水和酸雨均集中在夏季,而夏季盛行东南风,因而来自朝鲜半岛和日本的区域输送也是造成酸雨加重的主要原因。

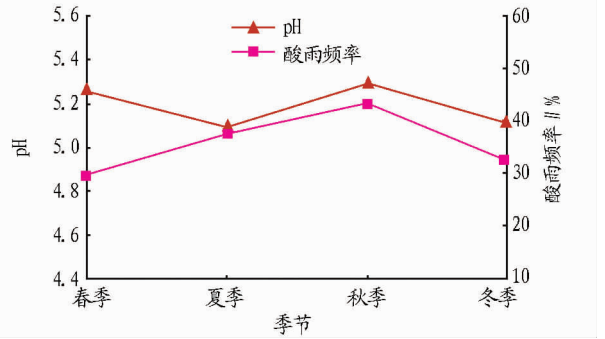


图3 2007~2013年丹东地区降水pH和酸雨频率季节变化

**2.4 酸雨与气象要素的关系**

**2.4.1 与风的相关分析.** 由2007~2013年丹东地区酸雨出现的风玫瑰统计图及降水pH(图4)可见,来自偏东北方向的风更容易形成酸雨,且酸性较强。这主要是受本溪、沈阳、抚顺和鞍山的影响,它们排放的SO<sub>2</sub>会对丹东酸雨做出贡献。同时,位于酸雨监测站北方的电厂排污也会增加北风中的酸性物浓度<sup>[8]</sup>。

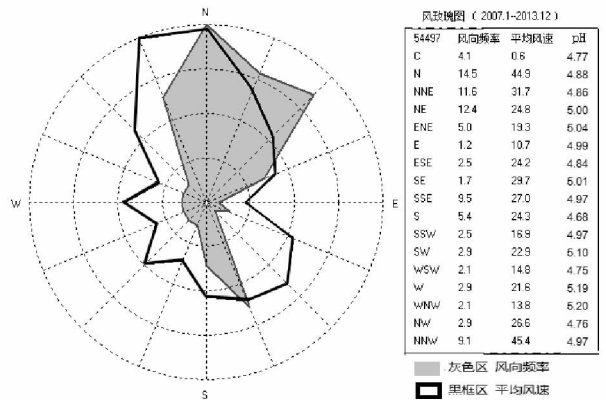


图4 2007~2013年丹东地区酸雨出现时的风玫瑰统计图及降水pH

**2.4.2 与降水量的相关分析.** 统计2007~2013年丹东地区日降水量与降水酸度和出现酸雨频率,其中日降水量 $p < 1.0$  mm,弃样不测; $p > 110$  mm,数据仅有2 d,属罕见值,不具代表性,故未计入统计。由表1可见,以每日(08:00~次日08:00)不同降水量划分统计出的酸性降水结果也呈现一定规律性。pH平均值随着日降水量的增长,呈现“U”型变化,但曲率较小;酸雨出现的频率则是随着降水量增大反而减小。可见中等量级的雨量最易引发酸性较强的酸雨,降水少

易于多发酸性降水。

表 1 2007~2013 年丹东地区日降水量与降水酸度和出现酸雨的频率

日降水量//mm	pH 平均值	出现酸雨频率//%
$p \leq 20$	5.50	86.9
$p \leq 50$	5.38	59.8
$p \leq 80$	5.35	56.0
$p \leq 110$	5.49	57.1

## 2.5 酸雨成因分析

**2.5.1 当地酸性气体的排放。**丹东市当地向大气排放  $\text{SO}_2$  污染物主要是通过工厂的低烟囱点源和居民燃煤采暖的面源 2 个途径。一方面,随着近年来丹东地区经济建设的迅速发展,工业布局较 2007 年之前密集程度有一定提高,从而  $\text{SO}_2$  的工业排放量也随之缓慢上升,酸雨测站监测到的降水 pH 变化稳中有降,降水酸度增强,酸雨频率提高;另一方面,从近年来酸雨出现的频率可以看出 11 月频率值为 47.7%,属于全年酸雨高发月份,而 11 月正是辽宁地区供暖初期。总的来说,丹东市当地酸性气体的排放对形成酸雨的贡献相对不大。

**2.5.2 区域输入。**丹东地处中朝边境,除冬季外,其他季节海陆风转换明显,非供暖造成的酸性降水主要集中在夏季,而夏季又盛行东南风,因此丹东地区区域输入是形成酸雨的主要因素。来自东南和西南的气流形成的降水酸度较强,酸雨频率高,污染严重。根据王日东等的研究表明,在雨季 5~8 月,日本、朝鲜和韩国等境外排放对丹东市和周边地区硫酸盐湿沉降的贡献率在 7%~10%,硝酸盐为 22%~25%,铵盐为 8%左右<sup>[13]</sup>。

**2.5.3 地形特征及气候条件。**丹东地区位于辽宁省东南部、鸭绿江西岸,北依长白山,南临黄海,东隔鸭绿江与朝鲜民主主义共和国相望。地势由东北向西南逐渐降低,可划分为北部中低山区、南部丘陵区、南缘沿海平原区 3 类规模较大的地貌单元,这种地形分布对于境外输入的空气污染物的稀释与扩散较为不利。丹东市平均年降水量在 864.7~1 077.6 mm,其中 2/3 的降水集中在夏季,而前文通过风向、风速与降水分析可见,以四季划分,近年来丹东地区夏季降水酸性最强。夏季的主导风向为南风 and 南偏东风,正成为东

南邻国酸性物输入的气流载体。

## 3 结论与讨论

(1)近 7 年来,丹东地区年降水平均值持续低于 5.6,酸雨发生频率平均值为 36.1%,酸雨情况总体呈波动增强趋势。降水酸度和酸雨频率有明显的月、季变化。夏季酸性最强,秋季频率最高。10 月为全年最易出现酸雨的月份。

(2)风向和风速与降水对酸雨的形成有一定影响。丹东地区来自偏东北方向的风更容易形成酸雨,且酸性较强。这主要是受本溪、沈阳、抚顺和鞍山的影响,它们排放的  $\text{SO}_2$  会对丹东酸雨做出贡献。可见中等量级的雨量最易引发酸性较强的酸雨,降水少易于多发酸性降水。

(3)从成因来看,丹东地区当地排放到大气中的  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  等酸性物质并不是造成当地酸雨生成的主要因素。对降水酸化贡献最大的途径为区域输入,主要表现在来自日本海西北部地区经朝鲜半岛北上的轨迹通过气流输送酸性物质。地形特征和气候条件也对酸雨的形成有所贡献。

## 参考文献

- [1] 中国气象局. 酸雨观测业务规范[M]. 北京:气象出版社,2005.
- [2] 冯砚青. 中国酸雨状况和自然成因综述及防治对策探究[J]. 云南地理环境研究,2004,16(1):25-28.
- [3] 戴树桂,岳贵春,王晓蓉. 环境化学[M]. 北京:高等教育出版社,1997:60-63.
- [4] 邓伟,刘荣花,熊杰伟,等. 当前国内酸雨研究进展[J]. 气象与环境科学,2009,2(1):82-87.
- [5] 张秋蕾. 环境保护部通报上半年全国环境质量状况[N]. 中国环境报,2013-08-01.
- [6] 侯青,赵艳霞. 2007 年中国区域性酸雨的若干特征[J]. 气候变化研究进展,2009,5(1):7-11.
- [7] 张青新. 丹东凤凰山山上与山下降水酸度迥异原因分析[J]. 环境保护与循环经济,2013(5):56-58.
- [8] 姜欣. 丹东市酸雨污染现状浅析[J]. 环境保护与循环经济,2011(2):53-54.
- [9] 赵艳霞,侯青,徐晓斌,等. 2005 年中国酸雨时空分布特征[J]. 气候变化研究进展,2006,2(5):242-245.
- [10] 张新民,柴发合,王淑兰,等. 中国酸雨研究现状[J]. 环境科学研究,2010(5):527-532.
- [11] 洪也,董德文,马雁军,等. 2004-2008 年辽宁酸雨时空分布特征研究[J]. 气象与环境学报,2009,25(2):28-32.
- [12] 王文兴,刘红杰,张婉华,等. 我国东部沿海地区酸雨来源研究[J]. 中国环境科学,1997,17(5):387-392.
- [13] 王日东,苏静. 大连市酸雨的变化趋势及来源简析[J]. 黑龙江环境通报,2011,12(4):20-22.

(上接第 11903 页)

之有效地对学生知识、能力的考核办法,强化培养学生的创新意识和创新能力,提高学生的自主学习能力,取得了良好的教学效果。

## 参考文献

- [1] 邸雪颖,王宏良. 林火预测预报[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1993.

- [2] 舒立福,张小罗,戴兴安,等. 林火研究综述(2) - 林火预测预报[J]. 世界林业研究,2003,16(4):34-37.
- [3] 黑龙江年鉴社. 黑龙江省年鉴,2008[M]. 北京:中国统计出版社,2008.
- [4] 杨光,舒立福,邸雪颖. 气候变化影响下大兴安岭地区 21 世纪森林火灾等级变化预测[J]. 应用生态学报,2012(12):3236-3242.
- [5] 杨光,舒立福,邸雪颖. 气候变化背景下黑龙江大兴安岭林区夏季火灾变化趋势[J]. 应用生态学报,2012(11):3157-3163.