

2010~2019年北京市酸雨变化特征分析

单瑞娟¹, 张爱英^{2*}, 李雅洁¹, 吴琳¹, 陈倩倩¹

¹北京市怀柔区气象局, 北京

²北京市气象服务中心, 北京

收稿日期: 2024年4月8日; 录用日期: 2024年5月12日; 发布日期: 2024年6月30日

摘要

选用2010~2019年北京市3个酸雨站(昌平、观象台和上甸子站)的酸雨观测数据, 分析北京市酸雨变化特征。结果表明: 2010~2019年北京市酸雨频率持续降低, 3个观测站酸雨频率分别从41%、39%和53%降低至5%、7%和22%。昌平站酸雨频率下降最多, 观象台站次之, 表明北京地区局地的降水酸性改变速度较华北区域整体改变速度要快。3个观测站月降水量变化趋势和降水pH值变化趋势存在显著不同。北京地区夏秋两季酸雨污染严重, 弱酸雨和强酸雨一般出现在夏季和秋季。北京地区酸雨主要发生在大雨和暴雨的降水过程中, 而强酸雨更易出现在大雨以下降水过程中。

关键词

北京市, 降水, 酸雨, 特征

Characteristic Analysis of Acid Rain in Beijing over the Past Ten Years

Ruijuan Shan¹, Aiyong Zhang^{2*}, Yajie Li¹, Lin Wu¹, Qianqian Chen¹

¹Huairou Meteorological Bureau, Beijing

²Beijing Meteorological Service Center, Beijing

Received: Apr. 8th, 2024; accepted: May 12th, 2024; published: Jun. 30th, 2024

Abstract

By analyzing the data from three acid rain monitoring stations (Changping, Guanxiangtai, and Shangdianzi) in Beijing over the past 10 years, this study explores the changes and future trends of acid rain in Beijing. The analysis results show the following: First, the frequency of acid rain in

*通讯作者。

文章引用: 单瑞娟, 张爱英, 李雅洁, 吴琳, 陈倩倩. 2010~2019年北京市酸雨变化特征分析[J]. 环境保护前沿, 2024, 14(3): 615-623. DOI: 10.12677/aep.2024.143084

Beijing has been continuously decreasing in the past 10 years. The acid rain frequency at the three monitoring stations has decreased from 41%, 39%, and 53% to 5%, 7%, and 22% respectively. Changping station has experienced the largest decrease in acid rain frequency, followed by Guanxiangtai station, indicating that the local precipitation acidity in Beijing changes faster than the overall change in the North China region. Second, there are significant differences in the trends of monthly precipitation and pH value changes at the three monitoring stations. Acid rain pollution in Beijing is severe in summer and autumn, with weak acid rain and strong acid rain generally occurring in these seasons. Third, acid rain in Beijing mainly occurs during heavy rain and torrential rain events, and strong acid rain is more likely to occur in precipitation levels below heavy rain.

Keywords

Beijing, Precipitation, Acid Rain, Characteristic

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

大气污染问题一直都是人们非常关注的重要问题[1] [2]。随着现代工业技术的快速发展、人类对能源需求的持续增加,煤、石油、天然气等化石燃料燃烧产生的硫氧化物和氮氧化物也在持续增加[3] [4]。这些化合物在大气中通过光化学氧化反应和非均相催化氧化反应生成硫酸和硝酸,进而与大气中的水汽混合随雨雪等降水形式降落形成酸雨。酸雨是指 pH 值低于 5.6 的降水,已成为全球性的环境问题。酸雨自二十世纪二三十年代在中国出现,到 1998 年以后,全国几乎一半以上的城市都出现了酸雨,以至酸雨覆盖面积占国土总面积的 40%。中国已成为继欧洲和北美之后的世界第三大酸雨区[5] [6]。酸雨不仅会危害水生系统、土壤系统、森林植被、建筑设备、名胜古迹,而且可能危害人类健康。自 2000 年以来,我国北方酸雨区范围扩大明显且酸雨强度也呈现出显著增强的趋势,其中华北的京津冀部分地区出现不小的酸雨区[7]。

2003~2008 年华北区域降水的酸性较北京局部地区显著减弱,且北京局地酸雨污染情况呈现逐年增强的趋势[7] [8] [9]。北京市地理坐标为 39°26'~41°03'N, 115°25'~117°39'E,位于华北平原的西北边缘,西部与北部为山地丘陵,中部与东部为平原[10],辖区总面积约为 16,410 km²。赵艳霞等[11]认为污染物的长距离输送加剧了北京市的酸雨问题;蒲维维等[7]通过整合北京市气象台、昌平站以及上甸子站的相关数据,发现秋季逆温温差较大加剧酸雨污染;张爱群等[12]的文章指出北京市的酸雨由南向北有加重趋势。总体来说北京出现酸雨频率和降水 pH 值随季节变化明显,夏、秋两个季节酸雨情况相对较严重。然而,对北京地区的酸雨系统性的研究较少报道。本文根据 2010~2019 年北京市酸雨观测站分析北京市酸雨的年际、月际变化特征以及降水量对酸雨 pH 的影响,以期北京市酸雨变化特征分析及预报提供参考。

2. 资料与方法

2.1. 研究区概况

北京市地处中国北部、华北平原北部,毗邻渤海湾,上靠辽东半岛,下临山东半岛[13]。与天津市毗连,其余均与河北省相邻,总地势体上呈西北高、东南低。西部、北部和东北部三面环山,东南部是一片缓缓向渤海倾斜的平原,全年降水在各季节分布差异较大,夏季高温多雨,冬季寒冷少雪,四季分明,

于等于 5.6 时定义为非酸雨。本文所用 pH 平均值、酸雨频率以及电导率平均值均按照中国气象局《酸雨观测规范》(GBT 19117-2017)中的方法计算得出, 数据经北京市气象信息中心进行质量控制。

3. 结果分析

3.1. 北京市酸雨年际变化

2010~2019 年昌平站、观象台站和上甸子站降水年均 pH 随时间的变化和酸雨频率年际变化见图 2。由图 2(a)可知, 昌平、观象台和上甸子站 2010~2019 年降水平均 pH 值呈波浪式上升, 但总体变化范围在 4.2~6.3。虽然昌平站显示 2015 年为非酸雨年, 但另外两个观测站均显示同年为酸雨年。三个观测站(昌平、观象台和上甸子)同时显示 2018 和 2019 年为非酸雨年, 说明总体酸雨频率呈减弱趋势。

图 2(b)表明 2010~2019 年各站点的酸雨频率均呈下降趋势。昌平、观象台和上甸子站酸雨频率分别从 41%、39%和 53%降低至 5%、7%和 22%。昌平站酸雨频率下降最多, 观象台站次之。上甸子站是华北区域的大气本底站, 其酸雨频率下降较其它两站少, 说明华北区域降水酸性改变速度较北京地区局地改变速度要慢, 这与汤洁等对北京地区酸雨形势变化特点的分析一致[19]。由图 2(a)和图 2(b)可知, 虽然昌平站年际 pH 值从 2012 年的 5.07 降至 2013 年的 4.28, 该值在 2014 年快速回升至 5.25, 同时酸雨频率也大幅度降低(从 2013 年 42%降至 2014 年 18%), 表明 2014 年间酸雨环境得到快速改善。此外, 昌平站 2018 年酸雨频率为 0, 进一步说明北京地区酸雨问题得到显著改善。

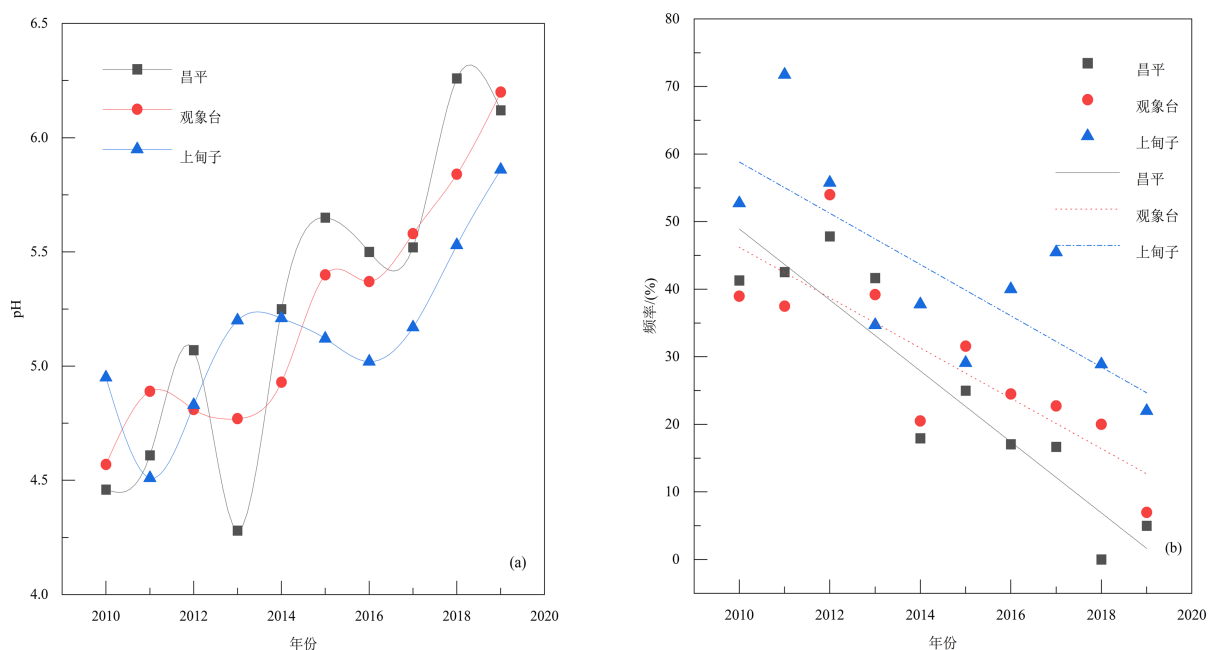


Figure 2. (a) Variation of annual mean pH of precipitation with time and (b) Interannual variation of acid rain frequency at Changping Station, Guanxiangtai Station and Shangdianzi Station from 2010 to 2019

图 2. 2010~2019 年昌平站(a)、观象台站(b)和上甸子站(c) pH 月平均值和月降水量

3.2. 酸雨月变化

2010~2019 年昌平站、观象台站和上甸子站 pH 月平均值和月降水量见图 3。可以看出, 3 个观测站月降水量变化趋势和降水 pH 值变化趋势存在显著不同。昌平、观象台和上甸子站月降水量的变化趋势总体上一致, 均是从 1 月开始逐渐增加并在 7 月达到最大值(分别为 172 mm、188 mm 和 178 mm)后逐渐

减少。从季节上看,月平均降水量最大出现在夏季,秋季次之,冬季降水最少。1~6月,昌平站和观象台站的降水pH值有相同的变化趋势,都是1~3月逐渐降低,3~4月升高,在4~6月又呈降低趋势。昌平站和观象台站的降水pH值于4月达到最大值,分别为6.05和6.17。7~12月间,观象台站和上甸子站月均降水pH值具有相同的“W”型变化趋势。不同于昌平站和观象台站,上甸子站降水酸性最弱月份为12月,pH值为5.89。昌平、观象台和上甸子站降水酸性最强月份出现在12月、10月和1月,pH值分别为4.49、4.61和4.60,均低于酸雨标准5.6。在夏秋两季3个观测站的降水pH值均在5.6以下,这种变化特征说明北京地区2010~2019年,夏秋两季酸雨污染较其他季节更为明显。

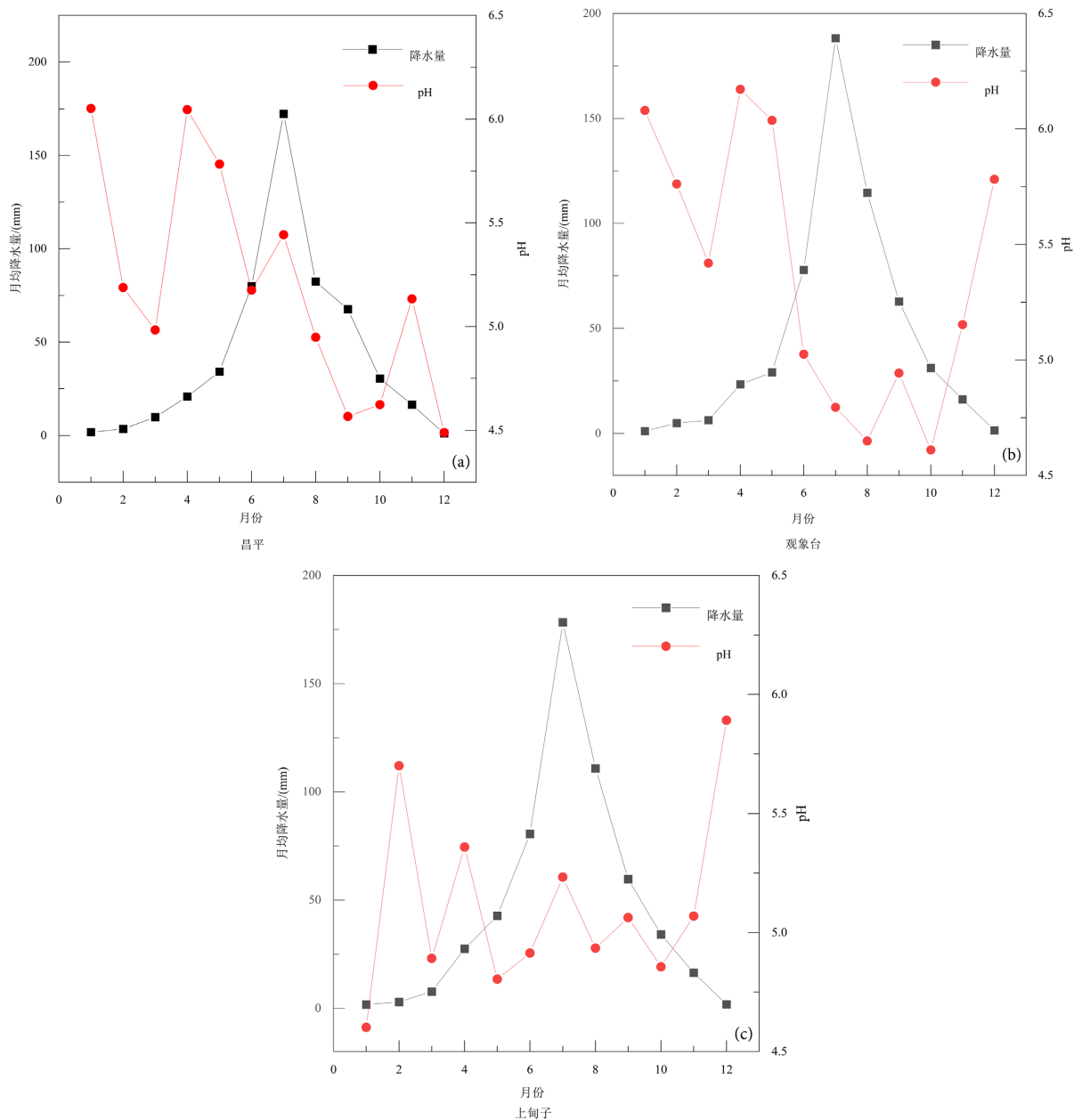


Figure 3. Monthly average pH and monthly precipitation of Changping Station (a), Guanxiangtai Station (b) and Shangdianzi Station (c) from 2010 to 2019

图 3. 2010~2019 年昌平站(a)、观象台站(b)和上甸子站(c) pH 月平均值和月降水量

2010~2019年昌平站、观象台站和上甸子站弱酸雨(a)和强酸雨(b)频率月变化见图4。由图4(a)可知,3个观测站的弱酸雨随时间的变化趋势基本一致,总体在0%~55%之间波动而大部分集中在20%~30%之间,并且上甸子站 > 观象台站 > 昌平站。这表明北京地区在3月以及8~11月,弱酸雨出现的频率相对较高,且最高频率均出现在11月。由图4(b)可知,上甸子站出现强酸雨频率最高,观象台次之。3个观测站点的强酸雨出现频率几乎都在20%以下,只有上甸子站在10月份达到23.7%。此外,3个观测站点的强酸雨频率在8~11月都相对其他月份较高,这与弱酸雨的变化规律相同。从季节上看,弱酸雨和强酸雨一般出现在夏季和秋季。

造成降水 pH 值和酸雨频率月、季变化的可能原因一方面是北京市夏秋两季光化学反应氧化作用明显,进而加快了酸雨前体物 SO_2 、 NO_2 在大气中的转化速率,增加了两季的降水强度,导致高频率出现酸雨。另外一方面是,北京沙尘天气多出现在春季,而沙尘中和土壤颗粒多呈碱性,能够对降水酸性离子起到中和作用。大气中偏碱性的颗粒对降水酸化具有较强的缓冲能力,从而在一定程度上提高春季降水的 pH 值[4]。

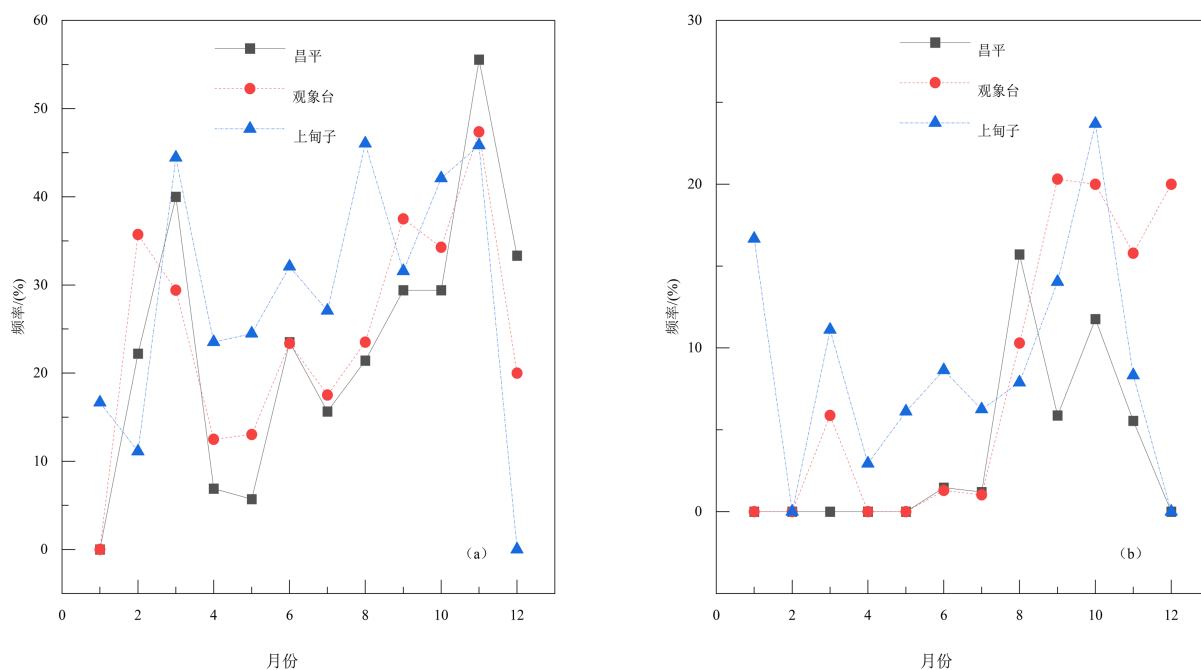


Figure 4. Monthly variation of frequency of weak (a) and strong (b) acid rain at the three observation sites from 2010 to 2019
图4. 2010~2019年昌平站、观象台站和上甸子站弱酸雨(a)和强酸雨(b)频率月变化

3.3. 降水量对酸雨 pH 值的影响

按照酸雨降水量的5个量级,24小时内降水量,小雨(<10.0 mm)、中雨(10.0~24.9 mm)、大雨(25.0~49.9 mm)、暴雨(50.0~99.9 mm)和大暴雨(100.0~250.0 mm),(降水量是0.1 mm为最小降水量,所以降水等级是连续的)。

2010~2019年昌平站(a)、观象台站(b)和上甸子站(c)降水量与pH值的关系见图5。由图5可知,除昌平站和观象台站降水量级为大暴雨时,降水pH值在各个量级下均低于5.6。昌平站和观象台站监测数据显示酸雨出现频率在低降水量和高降水量时较低,而上甸子站数据显示随降水量波动酸雨出现频率波动较小。观象台站和昌平站出现暴雨时,酸雨频率最高,达44.4%和54.6%;上甸子站出现大雨时,酸雨频率最高为51.0%。

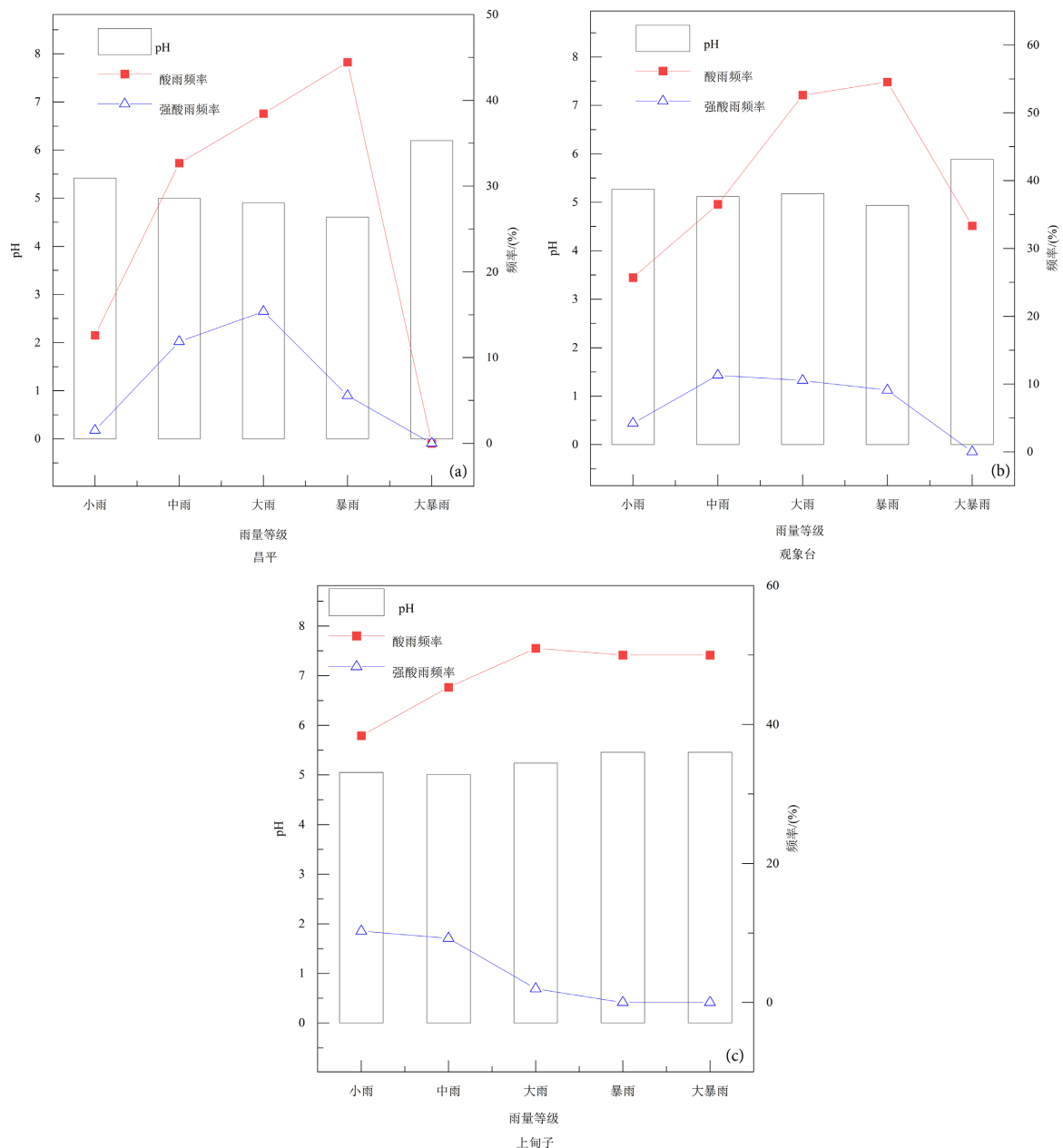


Figure 5. Relationship between precipitation and pH of Changping Station (a), Guanxiangtai Station (b) and Shangdianzi Station (c) from 2010 to 2019

图 5. 2010~2019 年昌平站(a)、观象台站(b)和上甸子站(c)降水量与 pH 值

昌平站和观象台站显示强酸雨出现的频率随降水量变化与其酸雨月变化趋势相似，均为随降水量增加先增加后降低。上甸子站监测出现强酸雨的频率随降水量增加而降低，是区别于酸雨频率随降水量增加而升高的趋势。昌平站和观象台站在中雨和大雨量级下易出现强酸雨，出现频率分别为 11.9% (昌平站中雨)、15.4% (昌平站大雨)、11.3% (观象台中雨)和 10.5% (观象台大雨)；而上甸子站在小雨和中雨量级下易出现强酸雨，出现频率分别为 10.3%和 9.2%。综合来看，北京地区酸雨主要发生在大雨和暴雨的降水过程中，而强酸雨更易出现在大雨以下降水量级中。在 5 个级别的降水量中，出现大雨的天气易出现酸雨天气乃至强酸雨天气[20] [21]。这种情况说明，当地面发生较大的降雨量时，更容易捕获大气中的

气溶胶粒子,也就越能较多地获得酸性离子,从而使降水的 pH 值下降。但降水量级在 100 mm 以上时,由于大暴雨的清刷和稀释作用使酸雨或强酸雨较少发生。由图 4 可知,2010~2019 年期间,昌平站、观象台站和上甸子站 100 mm 以上降水多发生在 7 月份,7 月份的总降水量也是全年各月份中最大的,因此 7 月份的酸雨频率较同季节的 6 月份和 8 月份低。

4. 结论

经过本文研究,得出以下结论:

(1) 2010~2019 年北京市酸雨频率持续降低,3 个观测站(昌平、观象台和上甸子)酸雨频率分别从 41%、39%和 53%降低至 5%、7%和 22%。其中,昌平站酸雨频率下降最多,观象台站次之,说明北京地区局地的降水酸性改变速度较华北区域整体改变速度要快。此外,昌平站 2018 年时酸雨频率为 0,进一步说明北京酸雨问题得到显著改善。

(2) 3 个观测站月降水量变化趋势和降水 pH 值变化趋势存在显著不同。北京地区夏秋两季酸雨污染严重,弱酸雨和强酸雨一般也出现夏秋两季。

(3) 北京地区酸雨主要发生在大雨和暴雨的降水过程中,而强酸雨更易出现在大雨以下(包含大雨)降水量级中。在 5 个级别的降水量中,出现大雨的天气易出现酸雨天气乃至强酸雨天气。

5. 讨论

本研究所得结论,还有值得再讨论的方面。造成降水 pH 值和酸雨频率月、季变化的可能原因是:一方面是北京市夏秋两季光化学反应氧化作用明显,进而加快了酸雨前体物 SO_2 、 NO_2 在大气中的转化速率,增加了两季的降水强度,导致高频率出现酸雨。另外一方面,北京沙尘天气多出现在春季,而沙尘中和土壤颗粒多呈碱性,能够对降水中酸性离子起到中和作用。大气中偏碱性的颗粒对降水酸化具有较强的缓冲能力,从而在一定程度上提高春季降水的 pH 值。未来,可针对北京市出现臭氧浓度较高及沙尘天气结束后,降水 pH 值的改变进一步细化分析。

基金项目

北京市怀柔区科技项目课题“怀柔区酸性降水与大气颗粒关系及其对土壤影响的研究”(NY2019-1)项目资助。

参考文献

- [1] 李晓岚,马雁军,王扬锋,等. 东北城市群大气污染立体观测与研究进展[J]. 气象与环境学报, 2023, 9(3): 140-153.
- [2] Gifford, F.A. (1987) Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, **68**, 1595. <https://doi.org/10.1029/EO068i046p01595-02>
- [3] 徐炜. 模拟酸雨淋溶下粤北土壤离子释放特征及机理研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南农业大学, 2005.
- [4] Duan, F.K., Liu, X.D., Yu, T., et al. (2004) Identification and Estimate of Biomass Burning Contribution to the Urban Aerosol Organic Carbon Concentrations in Beijing. *Atmospheric Environment*, **38**, 1275-1284. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.11.037>
- [5] 刘俐,周友亚,宋存义,等. 模拟酸雨淋溶下红壤中盐基离子释放及缓冲机制研究[J]. 环境科学研究, 2008, 21(2): 49-55.
- [6] Sun, J., Zhang, M. and Liu, T. (2001) Spatial and Temporal Characteristics of Dust Storms in China and Its Surrounding Regions, 1960-1999: Relations to Source Area and Climate. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, **106**, 10325-10333. <https://doi.org/10.1029/2000JD900665>
- [7] 蒲维维,张小玲,徐敬,等. 北京地区酸雨特征及影响因素[J]. 应用气象学报, 2010, 21(4): 464-472.
- [8] 侯青,赵艳霞. 北京市酸雨变化趋势及成因分析[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(2): 118-125.

- [9] 乔晓燕, 尹佳莉, 李林, 等. 2003-2015 年北京市观象台酸雨特征及长期趋势分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2018, 12(4): 52-57.
- [10] 张琛, 倪志伟, 姜婷. 基于 WPTMM 的 PM_{2.5} 与气象条件关系的联合多重分形分析[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(8): 2166-2176.
- [11] 赵艳霞, 侯青. 1993-2006 年中国区域酸雨变化特征及成因分析[J]. 气象学报, 2008, 66(6): 1032-1042.
- [12] 蒲维维, 于波, 赵秀娟, 等. 北京地区酸雨的天气影响因素及降水化学特征分析[J]. 气象科学, 2012, 32(5): 565-572.
- [13] 李云婷, 程念亮, 张大伟, 等. 2013 年北京市不同方位 PM_{2.5} 背景浓度研究[J]. 环境科学, 2015, 36(12): 4331-4339.
- [14] 马丽君, 孙根年, 马彦如, 等. 50 年来北京旅游气候舒适度变化分析[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(10): 161-166.
- [15] 曹广真, 侯鹏, 毛显强. 北京市城市化对地表温度时空特征的影响[J]. 气象, 2010, 36(3): 19-26.
- [16] 马永欢, 鹿琳琳, 肖达, 等. 基于局地气候分区的城市热环境分析——以北京市为例[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2022, 58(6): 901-909.
- [17] 石树兰, 屈东东, 高强, 等. 北京市不同流域典型降雨时空格局分析与应用[J]. 中国防汛抗旱, 2024(3): 1-12.
- [18] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 19117-2017. 酸雨观测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [19] 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——气溶胶影响的探讨[J]. 中国科学院研究生院学报, 2007, 24(5): 667-673.
- [20] 李倩, 杨旭, 马梁臣, 等. 长春市酸雨变化特征及其影响因素分析[J]. 气象与环境学报, 2017, 33(4): 48-55.
- [21] Li, L., Li, H., Peng, L., *et al.* (2020) Characterization of Precipitation in the Background of Atmospheric Pollutants Reduction in Guilin: Temporal Variation and Source Apportionment. *Journal of Environmental Sciences*, **98**, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.03.029>