

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4701.2020.05-10

江西省大气降水水质特征分析及其对地表水环境的影响

吴蓉¹, 廖凯², 邓燕青³, 郑嘉明³, 卢静媛³

(1. 江西省吉安市水文局, 江西 吉安 343000; 2. 江西省宜春水文局, 江西 宜春 336000;
3. 江西省水文局, 江西 南昌 330000)

摘要:对江西省107个大气降水水质监测点采集的418个降水水样进行实验室检测,结合388个江河地表水水质同步监测资料,研究大气降水的主要污染物以及降水水质对地表水水质的影响。从降水pH值、电导率、离子浓度值的分布及其时空分布特征、降水污染类型等方面分析了江西省大气降水化学特性及其对地表水水质的影响。结果表明:江西省大气降水类型主要为硫酸、硝酸混合型污染;主要离子浓度随季度变化明显,除NO₂⁻以外所有离子浓度在第四季度出现一个升高状态,达到全年最高值;pH、电导率、离子浓度数据与降水量有一定关系。通过大气降水和地表水水质进行比对分析,各个离子的大气降水含量与地表水含量之间均没有明显的相关性,说明大气降水对地表水环境无明显影响。

关键词:大气降水;水质;离子特性;地表水;影响分析

中图分类号:X824 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-4701(2020)05-0365-09

0 引言

大气降水是由海洋和陆地蒸发的水蒸气凝结而成,它包括降雨、降雪等各种降水形式,是大气污染物进入地表水体的主要途径^[1]。近年来,人们生活、生产中的燃煤、燃气及燃油量不断增加,导致居住区、工厂等人类活动区排放的废气、粉尘等严重污染了人们生存的大气环境^[2]。空气中的粉尘颗粒物、可溶性的气体随雨水降落至地面,对河道水体造成污染^[3]。本文以2019年江西省大气降水监测资料分析pH值、电导率、主要离子组分特征,并通过与地表水水质比对分析,为积极推行河长制、促进水资源保护、水污染防治、水环境治理等水资源开发利用工作提供技术支撑。

1 基本概况

1.1 水资源状况

江西省境内水系发达,河流纵横,湖泊水库星罗棋

布。全省共有大小河流3700多条(流域面积10km²以上),其中,100km²以上的河流451条。主要河流有赣江、抚河、信江、饶河、修水等五大河流,赣江全长751km,为本省第一大川,水量为长江第二大支流,它自南而北流贯全省。以上河流均汇入鄱阳湖,经湖口注入长江,形成完整的鄱阳湖水系,湖口站以上集雨面积为162225km²,其中,境内面积156977km²,占全省总面积的94%。

2019年,全省地表水资源量2032.67亿m³,比多年均值多31.5%;地下水资源量482.42亿m³,比多年均值多27.0%;水资源总量2051.61亿m³,比多年均值多31.1%。

1.2 降水量情况

江西雨水充沛,水资源丰富。全省多年平均降水量1638mm,居全国第4位。2019年,全省年平均降水量1710.0mm,比2018年多14.9%,比多年均值多4.4%。

1.3 监测站点布设

以江西省现有国家基本水文(位)站为基础,以市、县级城市为重点,兼顾面上分布,满足全省主要降水水

收稿日期:2020-07-05

作者简介:吴蓉(1987-),女,硕士。

2.2 监测项目及方法

大气降水检测参数包括:电导率、pH 值、氟化物、氯化物、亚硝酸盐、硝酸盐、硫酸盐、铵盐、钠、钾、钙、镁等 12 项。检测方法标准如表 1。

3 江西省大气降水化学特性分析

3.1 pH 值分析

3.1.1 pH 值特征分布

江西省 2019 年全年共监测 107 个站点 418 次大气降水水样,pH 值在 4.1~8.6 之间,其中 pH 值最小值 4.1,为 1 月 11 日宜春市袁州区土库站;最大值 8.6,为 7 月 5 日江西省万安县栋背水文站。pH 值频次分布图如图 2。

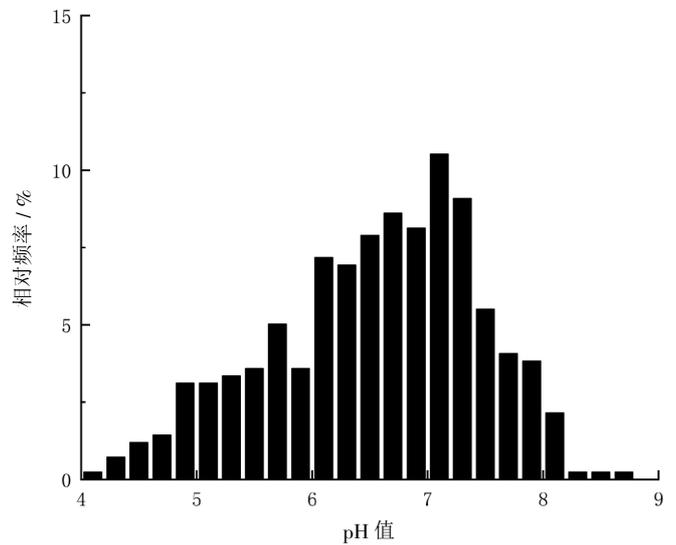


图 2 pH 值频次分布图

表 1 大气降水水质检测参数与方法标准信息表

序号	参数名称	标准编号	标准名称
1	电导率	GB 13580.3-1992	大气降水电导率的测定方法
2	pH 值	GB 13580.4-1992	大气降水 pH 值的测定 电极法
3	氟化物	GB 13580.5-1992	大气降水中氟、氯、亚硝酸盐、硝酸盐,硫酸盐的测定 离子色谱法
		GB 13580.10-1992	大气降水中氟化物的测定 新氟试剂光度法
4	氯化物	GB 13580.5-1992	大气降水中氟、氯、亚硝酸盐、硝酸盐,硫酸盐的测定 离子色谱法
		GB 13580.9-1992	大气降水中氯化物的测定 硫氰酸汞高铁光度法
5	亚硝酸盐	GB 13580.5-1992	大气降水中氟、氯、亚硝酸盐、硝酸盐,硫酸盐的测定 离子色谱法
		GB 13580.7-1992	大气降水中亚硝酸盐测定 N-(1-萘基)-乙二胺光度法
6	硝酸盐	GB 13580.5-1992	大气降水中氟、氯、亚硝酸盐、硝酸盐,硫酸盐的测定 离子色谱法
		GB 13580.8-1992	大气降水中硝酸盐测定
7	硫酸盐	GB 13580.5-1992	大气降水中氟、氯、亚硝酸盐、硝酸盐,硫酸盐的测定 离子色谱法
		GB 13580.6-1992	大气降水中硫酸盐测定
8	铵盐	GB 13580.11-1992	大气降水中铵盐的测定
9	钠	GB 13580.12-1992	大气降水中钠、钾的测定 原子吸收分光光度法
10	钾	GB 13580.12-1992	大气降水中钠、钾的测定 原子吸收分光光度法
11	钙	GB 13580.13-1992	大气降水中钙、镁的测定 原子吸收分光光度法
12	镁	GB 13580.13-1992	大气降水中钙、镁的测定 原子吸收分光光度法

从频次分布图中可以看出,全省大气降水 pH 值分布呈现出一个不对称的单峰型分布,分布高峰位于 7.0 左右。小于 7.0 区域跨度较大,从 7.0 至 4.1 频次呈现递减分布,大于 7.0 区域在 7.0~8.2 之间逐渐递减,8.2~8.6 零星分布。

从值分布频次上看,pH 小于 5.6(酸雨)共 64 次,占比 15.3%,pH 介于 5.6~7.0 之间(中雨)共 343 次,占比 48.8%,pH 大于 7.0(碱雨)共 150 次,占比 35.9%,全省大气降水以中雨、碱雨为主。

3.1.2 pH 值时空分布特征

江西省大气降水酸/碱雨出现区域分布图见图 3,其中分图 a、b、c、d 分别为第一、二、三、四季度分布图。

从图 3(a)中可以看出,全省第一季度大部分地区为中性雨。碱雨主要集中于吉安市、景德镇市等地区。酸雨集中于宜春市、新余市等地区,上饶市、鹰潭市、抚州市等有酸雨零星分布。从图 3(b)中可以看出,全省第二季度大部分地区为中性雨。碱雨主要集中于吉安市,九江市有零星碱雨分布。酸雨集中于抚州市、鹰潭市、

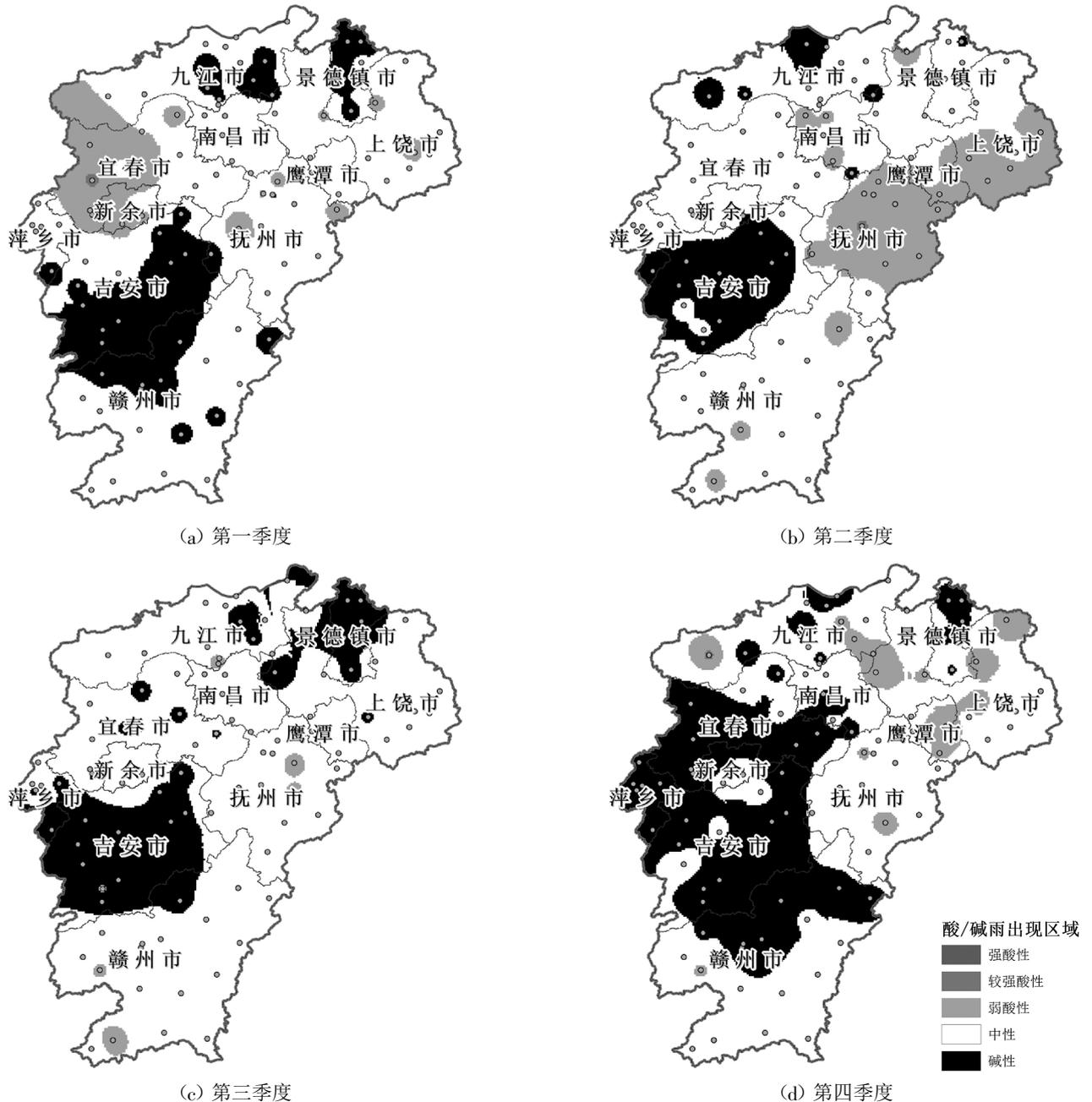


图3 江西省大气降水酸/碱雨出现区域分布图

上饶市等地区,赣州市、南昌市、景德镇市等局部有酸雨零星分布。从图 3(c)中可以看出,全省第三季度大部分地区为中性雨。碱雨主要集中于吉安市、景德镇市,宜春市、上饶市有零星碱雨分布。酸雨区域显著减少,仅抚州市、赣州市局部有酸雨零星分布。从图 3(d)中可以看出,全省第四季度大部分地区为中性雨或碱性雨,碱雨占比有较大的上升。碱雨主要集中于吉安市、宜春市、赣州市,新余市、九江市、南昌市有零星碱雨分布。酸雨区域较少且分布不集中,九江市、鹰潭市、上饶市有少量分布,抚州市、景德镇市有酸雨零星分布。

从整体上看,中性雨分布时间及区域最广,基本在全省各部分地区均有分布,碱性雨主要集中江西中部,北部有零星分布,酸雨有较明显的季节分布特征,第一、二、四季度较多,第三季度显著减少,主要分布于赣西、赣东部地区。

3.2 电导率分析

3.2.1 电导率值特征分布

江西省 2019 年全年共监测 107 个站点 418 次大气降水水样,电导率值在 $3.0\sim 453.0\mu\text{s}/\text{cm}$ 之间,电导率最小值 $3.0\mu\text{s}/\text{cm}$ 出现于 2 月 23 日赣州市崇义县崇义站;最大值 $453\mu\text{s}/\text{cm}$ 出现于 11 月 18 日九江市德安县梓枋站。电导率值各值相对频次分布图见图 4。

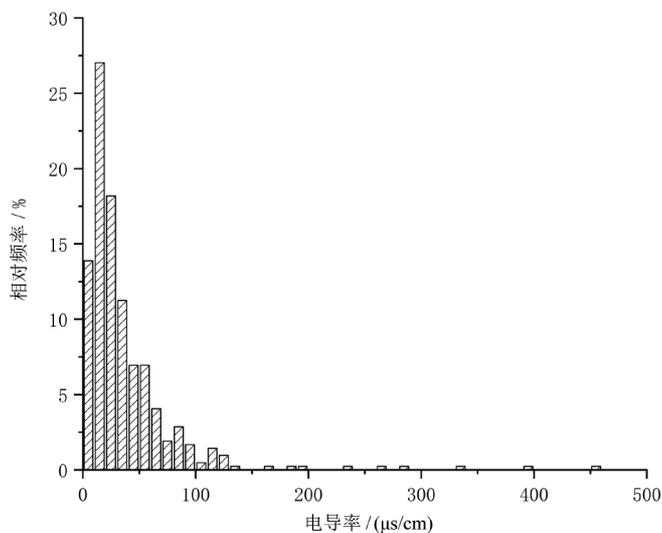


图 4 电导率值频次分布图

从频次分布图中可以看出,全省大气降水电导率值分布呈现出一个极不对称的左窄右宽拖尾单峰型分布,分布高峰位于 $20\mu\text{s}/\text{cm}\sim 30\mu\text{s}/\text{cm}$ 左右,集中分布在 $3.0\mu\text{s}/\text{cm}\sim 100.0\mu\text{s}/\text{cm}$ 区域。大于 $100.0\mu\text{s}/\text{cm}$ 之后零星

分布。

从值分布频次上看,94.7%电导率位于 $3.0\mu\text{s}/\text{cm}\sim 100.0\mu\text{s}/\text{cm}$ 区域,整体处于较低的水平。而电导率是由降水中溶解性的离子组分贡献的,通常从整体上体现了降水中离子总浓度的高低,也间接反映了大气降水内离子总浓度通常处于较低的值。

3.2.2 电导率时空分布特征

2019 年江西省电导率趋势分布图见图 5。赣南及赣中东部大部分地区电导率较小,赣北及赣中中部地区电导率偏大。

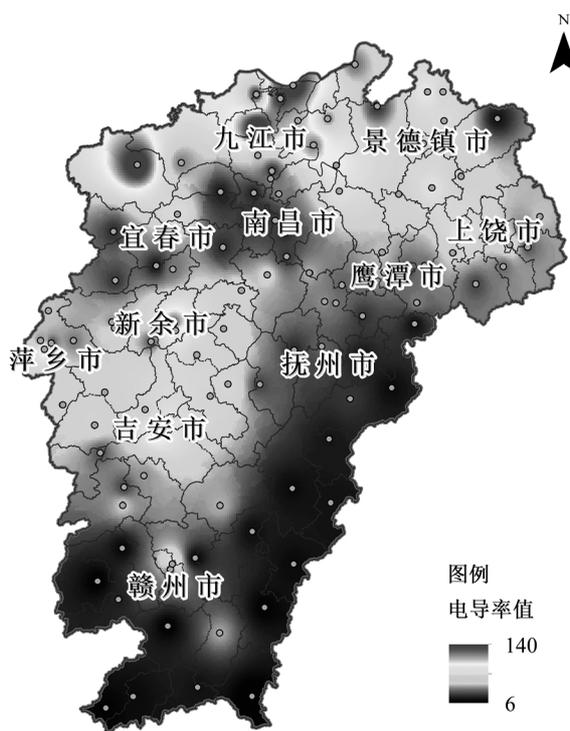


图 5 江西省电导率趋势分布图

3.3 降水主要离子特性分析

3.3.1 降水中主要离子组分值特征分布

对各监测站点全年主要离子的平均浓度进行统计分析^[6],各站点各离子的平均浓度分布范围见图 6。

从图中可以看出,全年大气降水各站点各离子的平均浓度分布差异较大,全年大气降水离子各离子年平均平均值从大到小的顺序为: $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{NH}_4^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{NO}_2^- > \text{F}^-$,其中 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 和 Ca^{2+} 为降水中最主要的三种水溶性离子。从测量值跨度上看, F^- 、 NH_4^+ 值相对稳定,极差不大。其余离子极差较大,平均值常分布于靠近最小值一侧,这通常表明大部分数据位于

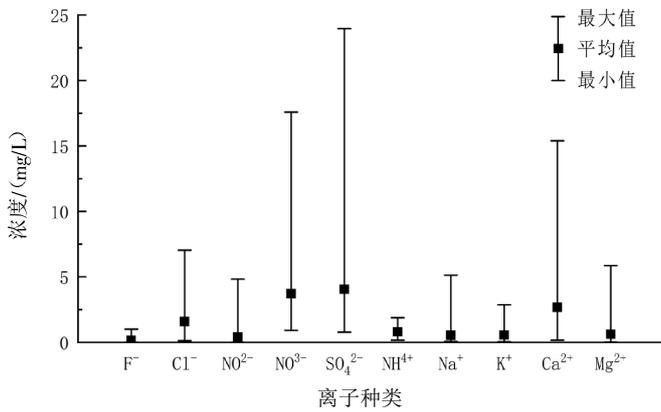


图6 各站点主要离子(平均浓度)分布范围

均值以下区间内。全年数据显示, SO_4^{2-} 年均值为 4.051mg/L, NO_3^- 年均值为 3.706mg/L, Ca^{2+} 年均值为 2.693mg/L, Cl^- 年均值为 1.583mg/L, NH_4^+ 年均值为 0.809mg/L, Mg^{2+} 年均值为 0.629mg/L, K^+ 年均值为 0.548mg/L, Na^+ 年均值为 0.513mg/L, NO_2^- 年均值为 0.406mg/L, F^- 年均值为 0.155mg/L。

对全年所有站点各离子的监测值进行频次排布, 统计得出 2019 年全年数据 20%、40%、80%、90%、95%、100% 数据位于的浓度区间范围, 得表 2 各离子不同频率间浓度范围表。

从表中可得, F^- 的 95% 监测数据位于 0.004~0.313mg/L, SO_4^{2-} 的 95% 监测数据位于 0.010~11.45mg/L, Cl^- 的 95% 监测数据位于 0.010~5.250mg/L, NO_3^- 的 95% 监测数据位于 0.005~9.450mg/L, NO_2^- 的 95% 监测数据

位于 0.002~1.763mg/L, NH_4^+ 的 95% 监测数据位于 0.010~1.950mg/L, K^+ 的 95% 监测数据位于 0.001~2.650mg/L, Na^+ 的 95% 监测数据位于 0.003~2.053mg/L, Ca^{2+} 的 95% 监测数据位于 0.001~9.450mg/L, Mg^{2+} 的 95% 监测数据位于 0.002~2.563mg/L。

3.3.2 降水中离子含量时空分布特征

江西省大气降水中主要离子的平均浓度随季度变化图见图 7。各坐标轴分别为季度、离子种类及浓度^[7]。

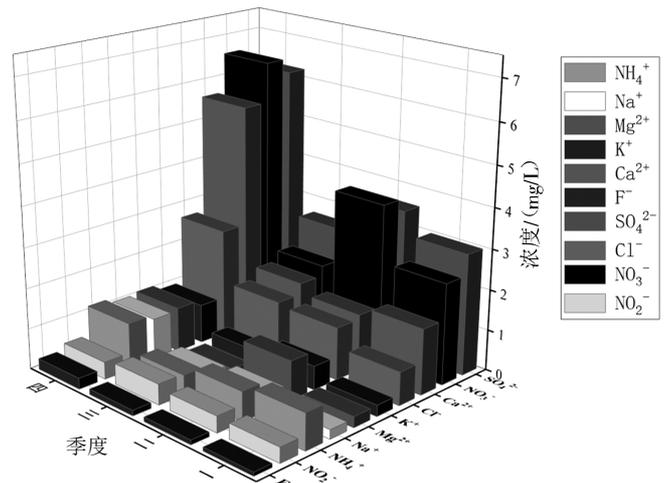


图7 江西省大气降水主要离子浓度随季度变化图

从图中可以发现, 除 NO_2^- 以外所有离子浓度在第四季度出现一个升高状态, 达到全年最高值。大部分离子进入第三季度时有一个下降趋势, 如 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Na^+ 、

表2 各离子不同频率区间浓度范围表

离子种类	20%	40%	80%	90%	95%	100%
F^-	0.004~0.023	0.004~0.078	0.004~0.223	0.004~0.313	0.004~0.418	0.004~3.690
SO_4^{2-}	0.010~1.250	0.010~2.550	0.010~4.850	0.010~7.050	0.010~11.45	0.010~74.20
Cl^-	0.010~0.350	0.010~0.650	0.010~2.150	0.010~3.650	0.010~5.250	0.010~25.58
NO_3^-	0.005~1.050	0.005~1.850	0.005~4.950	0.005~7.850	0.005~9.450	0.005~60.32
NO_2^-	0.002~0.023	0.002~0.058	0.002~0.658	0.002~0.873	0.002~1.763	0.002~8.507
NH_4^+	0.010~0.250	0.010~0.450	0.010~1.150	0.010~1.450	0.010~1.950	0.010~5.795
K^+	0.001~0.100	0.001~0.150	0.001~0.550	0.001~0.850	0.001~2.650	0.001~6.775
Na^+	0.003~0.078	0.003~0.173	0.003~0.553	0.003~1.088	0.003~2.053	0.003~13.84
Ca^{2+}	0.001~0.350	0.001~0.850	0.001~3.150	0.001~5.850	0.001~9.450	0.001~55.28
Mg^{2+}	0.002~0.043	0.002~0.093	0.002~0.343	0.002~0.708	0.002~2.563	0.002~16.39

NH_4^+ 、 Mg^{2+} 和 K^+ 。F⁻和 Cl^- 呈现一年四季离子浓度依次递增的规律，即第四季度>第三季度>第二季度>第一季度。

对全省降水按照 $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 的比值浓度进行污染类型评价^[8]，各点位污染类型见图 8。从图可知，全省大部分地区 $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 的比值范围在 0.5 和 3.0 之间，属于硫酸、硝酸的混合型污染类型；赣北及赣东地区局部点位 $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 的比值范围大于 3，属于燃煤型或者硫酸型；赣北大部分地区 $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 的比值小于 0.5，属于机动车型或硝酸型污染类型。

3.4 pH 值、电导率、离子浓度数据与降水量关系

综合整理 2019 年度江西省大气降水中 107 个站点 418 次大气降水水样电导率、pH 值、离子浓度数据与降水量，点绘关系图如图 9。

从图中可以看出，电导率与离子浓度有着相似的变化规律，在降水强度较小时分布较为宽泛，易出现较大数值，而随着降水强度逐渐加大，整体值波动范围逐渐收束，且呈现一个下降趋势。这应与降水过程有关，降水前期，空气中颗粒物较多，此时的大气降水水样可易携带这些颗粒物而有较大的离子浓度和电导率

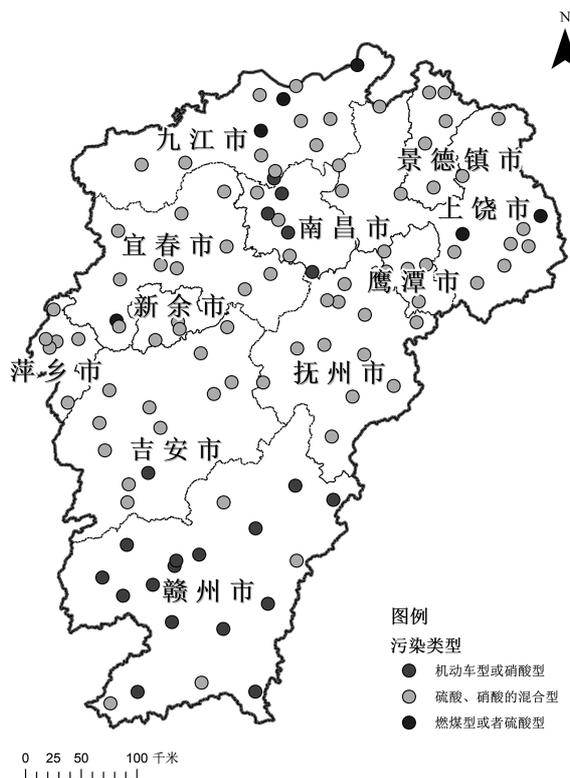


图 8 2019 年度江西省污染类型分布图

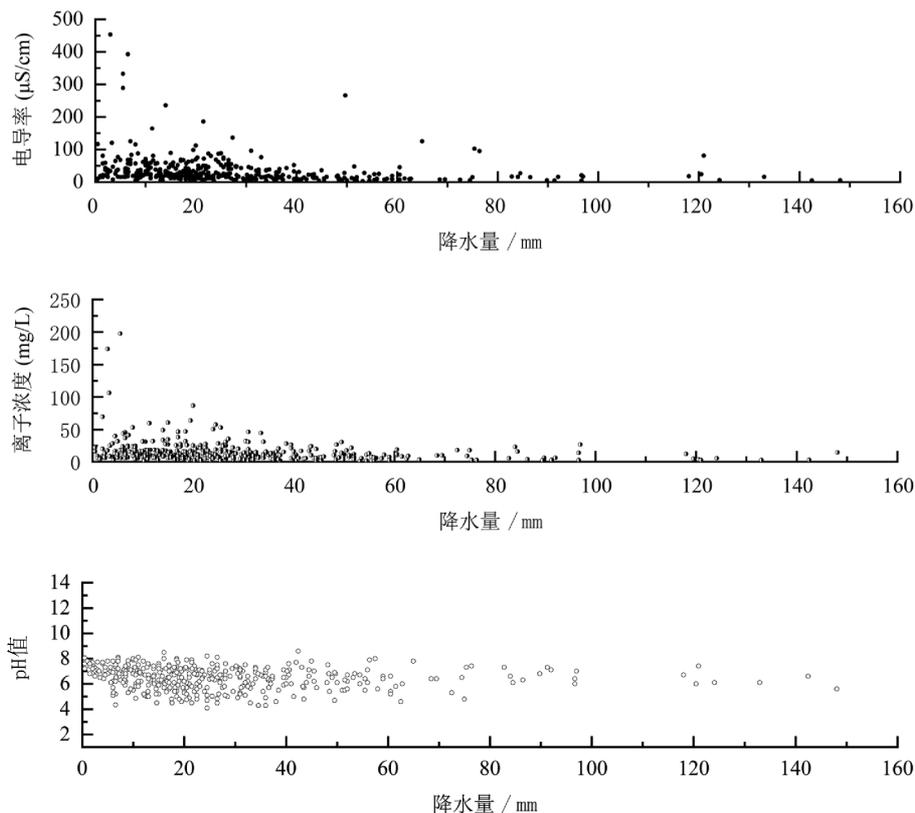


图 9 pH、电导率、离子浓度数据与降水量关系图

值,且不同地区不同时间颗粒物质浓度不一,呈现出较宽泛的波动范围^[12]。而随着降水过程进一步发生,后期空气中颗粒物质较少,从而表现出一个较低的波动范围及较低的电导率与离子浓度。

pH值也表现出一个相似的收束趋势,即随着降水强度增大,pH波动区间也逐渐变窄,且趋势线逐渐逼近6.8~7.0左右,这与降水后期水纯度高呈中性有一定关系^[13]。

4 大气降水对地表水的影响

为了解大气降水对地表水水质的影响,根据大气降水监测站所在位置,就近同步监测附近水功能区地表水,用全年大气降水测定均值和地表水水质进行对比分析^[9-11],如表3。

表3 大气降水与地表水相应污染物指标对比

项目	mg/L				
	pH	$\rho(\text{SO}_4^{2-})$	$\rho(\text{F}^-)$	$\rho(\text{Cl}^-)$	$\rho(\text{NO}_3^-)$
降水水质	6.5	4.14	0.16	1.60	1.38
地表水质	7.2	16.12	0.26	6.95	2.29
质量浓度比率/%	/	25.7	61.5	23.0	60.3

由表3可见,大气降水的除酸度较地表水高以外,其他指标均低于地表水水质浓度;降水中 SO_4^{2-} 、 F^- 、 Cl^- 和 NO_3^- ,与地表水相同指标质量浓度的比率分别为25.7%、61.5%、23.0%和60.3%。

由表4可见降,大气降水与地表水的皮尔逊相关系数在-0.055~0.085之间。其中 NO_3^- 的相关系数最大,

表4 降水与地表水相同离子的皮尔逊相关系数

项目	NH_4^+	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	F^-	Cl^-	NO_2^-	NO_3^-	SO_4^{2-}
相关系数	0.077	0.022	-0.003	0.033	-0.025	-0.055	-0.034	0.085	0.039	-0.033

F^- 的相关系数最小,各个离子的大气降水含量与地表水含量之间均没有明显的相关性,这也间接说明大气降水与地表水中离子的来源不相同。

5 结论与建议

(1)全省全年监测pH值范围为4.1~8.6。中性雨分布时间及区域最广,基本在全省各个部分地区均有分布,碱性雨主要集中在江西中部,北部有零星分布,酸雨有较明显的季节分布特征,第一、二、四季度较多,第三季度显著减少,主要分布于赣西、赣东部地区。

(2)全省大气降水电导率值集中分布于 $3.0\mu\text{s}/\text{cm}$ ~ $140.0\mu\text{s}/\text{cm}$ 区域分布高峰位于 $20\mu\text{s}/\text{cm}$ ~ $30\mu\text{s}/\text{cm}$ 左右,大于 $10.0\mu\text{s}/\text{cm}$ 之后零星分布。

(3)对全省降水离子浓度的分析表明,全省大部分地区 $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 的比值范围在0.5和3.0之间,属于硫酸、硝酸的混合型污染类型;赣北及赣东地区局部点位 $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 的比值范围大于3.0,属于燃煤型或者硫酸型;赣北大部分地区 $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 的比值小于0.5,属于机

动车型或硝酸型污染类型。

(4)从降水离子浓度分析表明, SO_4^{2-} 和 NO_3^- 为降水中最主要的两种水溶性阴离子, Ca^{2+} 和 NH_4^+ 为降水中最主要的两种水溶性阳离子。通常 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 主要来源于煤炭燃烧和汽车尾气排放; Ca^{2+} 和 NH_4^+ 主要是来自建筑工程、街道扬尘和土壤灰尘。

(5)江西省大气降水中主要离子浓度随季度变化明显,除 NO_2^- 以外所有离子浓度在第四季度出现一个升高状态,达到全年最高值。大部分离子进入第三季度时有一个下降趋势,如 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 Mg^{2+} 和 K^+ 。 F^- 和 Cl^- 呈现一年四季离子浓度依次递增的规律,即第四季度>第三季度>第二季度>第一季度。

(6)根据全省全年大气降水测定均值和地表水水质进行对比分析,各个离子的大气降水含量与地表水含量之间均没有明显的相关性。

(7)2019年是我省第二年针对大气降水水质开展监测活动,虽然取得了一定成绩,但是因监测数据积累量较少,无法全面、准确、客观的反映全省范围内大气降水对地表水质的影响。

参考文献:

- [1] 余波, 张伟, 唐访良. 杭州市 2006–2015 年大气降水酸度特征及化学组成分析 [J]. 环境科学与技术, 2018, 41 (4): 98–102.
- [2] 唐蓉, 王体健, 石春娥, 等. 合肥市降水化学组成成分分析[J]. 气象科学, 2012, 32 (04): 459–465.
- [3] 黎彬, 王峰. 上海青浦地区大气降水的化学特征[J]. 中国环境监测, 2016, 32 (05): 24–29.
- [4] 陈魁, 肖致美, 李鹏, 等. 天津市大气降水化学组分变化趋势及来源研究[J]. 环境科学学报, 2015, 35 (04): 956–964.
- [5] 肖红伟, 龙爱民, 谢露华, 等. 中国南海大气降水化学特征[J]. 环境科学, 2014, 35 (02): 475–480.
- [6] 汪少勇, 何晓波, 吴锦奎, 等. 长江源区大气降水化学特征及离子来源[J]. 环境科学, 2019, 40 (10): 4431–4439.
- [7] 孙启斌, 肖红伟, 肖化云, 等. 南昌市大气降水化学特征及来源分析[J]. 环境科学研究, 2017, 30 (12): 1841–1848.
- [8] 王文兴, 许鹏举. 中国大气降水化学研究进展[J]. 化学进展, 2009, 21 (Z1): 266–281.
- [9] 张苗云, 王世杰, 张迎, 等. 金华市大气降水的化学组成特征及来源解析[J]. 中国环境监测, 2007, (06): 86–92.
- [10] 高俊, 郑有飞, 陈书涛. 2007–2008 年南京江北工业区大气降水化学特征[J]. 大气科学学报, 2012, 35 (06): 697–701.
- [11] 孙绣华, 袁思平. 中西部三城市降水化学特征及变化趋势比较分析[J]. 生态环境, 2008, (02): 572–575.
- [12] 郭晓方, 崔阳, 王开扬, 等. 近 3 年太原市夏季降水的化学特征研究[J]. 环境科学, 2015, 36 (02): 388–395.
- [13] 周晓得, 徐志方, 刘文景, 等. 中国西南酸雨区降水化学特征研究进展[J]. 环境科学, 2017, 38 (10): 4438–4446.

编辑: 张绍付

Analysis of water quality characteristics of atmospheric precipitation in Jiangxi province and its influence on surface water

WU Rong¹, Liao Kai², DENG Yanqing³, ZHENG Jiaming³, LU Jingyuan³

(1. Ji'an Municipal Hydrology Bureau of Jiangxi Province, Ji'an 343000, China;

2. Yichun Hydrology Bureau of Jiangxi Province, Yichun 336000, China)

Abstract: Based on 418 water samples collected from 107 precipitation monitoring stations of Jiangxi hydrologic Bureau in 2019, combined with the surface water quality monitoring data of 388 rivers, the temporal and spatial variation of chemical speciality of precipitation which from precipitation pH value, conductivity, ion concentration and its time variation trend, precipitation pollution type, etc. The results show that: the type of precipitation in Jiangxi province is sulfuric acid and nitric acid mixed pollution; the concentration of major ions changed significantly with season beside NO₂ the concentration of all ions increased in the fourth quarter which reaching the highest point of the year, pH value, conductivity, and ion concentration have certain relation with precipitation. Through atmospheric precipitation and surface water quality comparative analysis, there is no obvious correlation between the precipitation content of each ion and the surface water content, which indicates that meteoric precipitation has no obvious influence on surface water environment.

Key words: Atmospheric precipitation; Water quality; Ionic speciality; Surface Water; Impact analysis

翻译: 吴 蓉