

文章编号: 1004-4965(2007)06-0664-05

1991~2004年不同环流背景下南宁市降水 化学成分变化特征的研究

郑凤琴¹, 孙崇智², 谢宏斌³

(1. 广西区气象台, 广西 南宁 530022; 2. 广西区气象局, 广西 南宁 530022; 3. 南宁市环境监测站, 广西 南宁 530012)

摘 要: 利用1991~2004年广西南宁市降水化学成分资料, 结合NCEP/NCAR再分析资料, 分析了不同大气环流背景下南宁市降水化学成分的变化特征。结果表明, 南宁市的酸雨属硫酸型, 酸雨的形成与大气环流密切相关, 影响南宁市酸雨的大气环流主要是高空槽锋面, 其次是高压后部和热带气旋, 受高空槽锋面特别是东路冷空气影响时, 出现酸雨的频率最高, pH值最小, 雨水中 SO_4^{2-} 明显增多, 热带气旋降水时, 雨水酸度最轻, 离子浓度甚至比高空槽锋面影响低2~3倍。

关 键 词: 大气环流; 降水化学; 雨水酸度分布

中图分类号: P426.61.2

文献标识码: A

1 引 言

酸雨是人类社会目前面临的最引人注目的重大环境问题之一。南宁市地处我国的酸雨控制区, 虽然“九五”期间加大了大气污染防治, 尤其是加大二氧化硫污染控制的力度, 实现了二氧化硫排放总量大规模削减, 并控制在国家和广西壮族自治区下达的污染物总量控制指标之内, 南宁市降水pH值的年均值呈缓慢上升的趋势, 但酸雨频率一直居高不下, 说明酸雨对南宁市的危害并没有得到改善。

秦鹏等^[1]根据广东省气象部门所属4个酸雨监测站10多年的资料, 研究了广东省降水pH值、酸雨频率的时空分布特征及其影响因素; 董蕙青等^[2]根据广西主要城市降水pH值的观测资料和气象资料, 分析了影响广西酸雨的大气环流特征, 林长城等^[3-4]研究了不同气象条件以及春季TSP对降水酸度、酸雨出现率的影响; 雷恒池等^[5]以1985~1993年航测资料为基础, 研究了不同降水天气系统对我国云化学特征的影响。然而, 究竟在不同大气环流背景下, 降水化学成分有何变化, 这就是本文所要探讨的问题。本

文利用1991~2004年南宁市降水pH值、电导率和离子化学成分资料, 结合NCEP/NCAR再分析资料, 研究了不同大气环流系统对南宁市降水化学特征的影响, 旨在为制定南宁市酸雨综合防治对策提供客观依据。

2 资料来源与分析方法

2.1 资料来源

酸雨资料由南宁市环保部门提供, 包括设置在南宁市区内3个酸雨监测点(环境监测站、青山站和民族学院站)的1991~2004年监测的降水pH值、电导率和各种阴阳离子成分的监测资料。为了提高资料的可比性, 所分析的降水个例都是同一过程的监测信息。

2.2 分析方法

分别采用氢离子浓度雨量加权方法、降水离子浓度体积加权方法^[6]分析本地降水pH均值、降水离子成分的变化特征, 在此基础上主要从不同大气环流背景场入手分析其对南宁市降水化学成分的影响。

收稿日期: 2006-07-24; 修订日期: 2006-12-28

基金项目: 广西青年基金项目(桂科青 0728035); 广西科学研究与技术开发项目(桂科攻 0322022-5)共同资助

作者简介: 郑凤琴, 女, 广东省人, 工程师, 硕士, 主要从事城市环境气象研究和预报工作, 电话: 0771-5890412。e-mail:

zhengfengq@sohu.com

响。

3 南宁市酸雨特征分析

南宁市地处低纬度,南近热带海洋,受海洋气候的调节,形成了温暖潮湿、降水充沛的气候特点。年平均降水量为 1 309.7 mm,降水量季节变化很大,4~9 月降水强度大且集中了全年降水量的 80%左右,称为南宁市的汛期,其中 4~6 月为前汛期,7~9 月为后汛期;10~12 月干旱少雨,1~3 月降水特点为强度均匀且持续时间长,多为绵绵细雨。

3.1 降水 pH 值、频率和电导率

表 1 给出了广西南宁市 1991~2004 年各年度的酸雨监测结果,2002 年是南宁市酸雨由强到弱的转折点,2002 年以来南宁酸雨频率都在 40%以下,明显低于 1990 年代,而降水 pH 值是稳中有升,但年平均值仍低于 5.6,且在 5.0 左右,这说明南宁市的酸雨仍是比较严重的。

表 1 南宁市酸雨状况年度变化

年份	pH 值	酸雨频率/%	强酸雨频率/%	年份	pH 值	酸雨频率/%	强酸雨频率/%
1991	5.34	25.6	5.3	1998	4.82	76.8	19.8
1992	5.13	56.4	5.5	1999	5.07	56.1	7.4
1993	4.74	52.6	15.8	2000	4.78	61.8	19.1
1994	4.87	66.1	10.3	2001	4.81	75.3	17.3
1995	4.47	61.8	8.2	2002	5.17	38.6	9.0
1996	4.83	43.4	12.7	2003	5.16	35.0	4.3
1997	4.89	53.8	10.9	2004	4.91	35.5	10.6

由图1可知,南宁市降水的pH值冬半年小于夏半年,尤其在2~3月达到最小,最小值达到4.5左右,出现在3月,在7~8月达到最大,最大值达6.0左右,出现在7月。这种变化规律与南宁市降水量的分布规律完全一致。而酸雨频率则反之,冬半年大于夏半年,最大值为89.5%,出现在2月,最小值为45.2%,出现在7月。将南宁市14年的降水量和降水电导率资料按月分布形式进行统计,由图2可见降水电导率的月变化规律比较明显。月平均最高为2月份达27.75 μS/cm,随后逐月降低至7、8月份为7.18~9.81 μS/cm之后又逐月回升,高低值相差超过20 μS/cm。从南宁市多年的降水量分布来看,7、8月份是全年降雨最集中的月份,由于降雨量大,冲刷大气后,降水中的可溶性物质的含量较少,因而降水电导率也就低,大气污染比较轻。每年的1、2月份是南宁的低温阴雨期,降水量很小,而根据本地的实际情况,秋季和冬季大气中各类物质的含量较高,当出

现降雨时,降水冲刷大气捕获大气中的各类物质,提高降雨中各类物质含量,增大降水电导率。上述分析表明,南宁市酸雨的污染程度,冬半年大于夏半年。

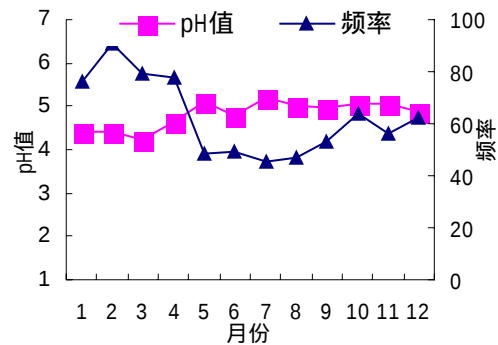


图 1 南宁市酸雨月际变化

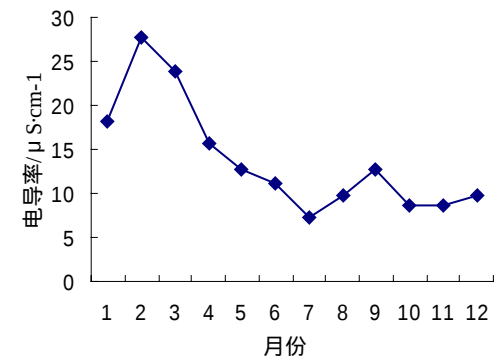


图 2 南宁市降水电导率月际变化

3.2 降水化学成分分析

降水中各种阴阳离子的相互作用直接对降水酸度产生影响,降水化学成分分析反映了大气化学背景值的变化,可与pH值变化相互印证。由表2的分析结果可知,冬度和春季降水中的 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 浓度比

表2 降水离子成份季度变化情况 单位: μmol/L。

项 目	SO_4^{2-}	NO_3^-	F^-	Cl^-	NH_4^+	Ca^{2+}
冬季	230.2	32.5	25.8	38.8	100.3	131.8
春季	177.1	33.8	18.2	45.1	134.3	103.7
夏季	99.1	22.9	9.7	20.5	58.6	46.9
秋季	90.2	16.5	11.3	18.1	60.6	55.4
平均	106.7	15.32	14.14	19.06	60.18	55.89
项 目	Mg^{2+}	Na^+	K^+	总阴离子	总阳离子	阴/阳离子比例
冬季	12.9	40.5	23.9	327.3	309.4	1.06
春季	14.9	20.2	13.0	274.2	286.1	0.96
夏季	3.4	12.8	5.2	152.2	126.9	1.20
秋季	4.8	11.4	3.1	136.1	135.3	1.01
平均	5.23	12.67	7.79	155.2	141.8	1.09

夏季、秋季的要高许多,这与前面分析得出的结论:南宁市酸雨的污染程度冬半年大于夏半年较一致。 $[\text{SO}_4^{2-}]/[\text{NO}_3^-]$ 平均值为6.96,在4个季度中硫酸根均为降水阴离子的首要成份,占降水总阴离子的68.7%,其次为 Cl^- 、 NO_3^- 、 F^- ;而除冬季外,各季度的阳离子首要成份是铵根离子,占降水总阳离子的42.5%,其次是 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 。上述分析表明,南宁市的酸雨属硫酸型,这与我国降水的基本类型是一致的。

4 不同大气环流对降水化学成分的影响分析

南宁市地处东亚季风气候区,影响南宁的大气环流主要是季风环流。夏半年盛行偏南风,高温、高湿、多雨。冬半年盛行偏北风,低温、干燥、少雨^[7]。冬半年(10~3月)主要受锋面、切变线和高空槽的影响,夏半年特别是7~9月多由热带辐合带、热带气旋带来的降水。下面从不同的大气环流分析其对酸雨的影响。

4.1 高空槽锋面型

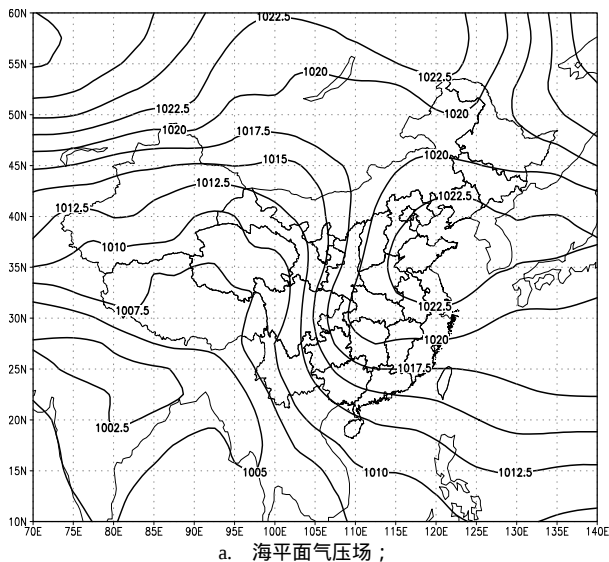
该类型的天气除盛夏冷空气较弱、影响较小外,其他季节冷空气均可南下影响南宁市,并造成降水。统计分析发现,南宁市酸雨的出现与冷空气南下影响广西的路径有密切关系。

一般情况下,影响广西的冷空气路径主要有3条,即东路、中路、西路。东路冷空气影响与南宁市酸雨的出现关系最密切,pH值最小的个例也出现在这种类型中。东路冷空气是指北方冷空气进入我国后,从河套地区以东沿115°E附近南下,经两湖盆地东部地区至湘桂铁路沿线侵入广西。该类冷空气强度较弱,东北气流与强度相当的西南风暖湿气流相对峙时,容易造成明显的降水。该类型的大气环流模型特点是,我国中纬度环流较平直,不断有小槽东移,南支槽较活跃,西风槽后西北气流与南支槽前西南气流交绥于广西上空,地面则是东北气流与偏南气流交绥于华南沿海(图3)。

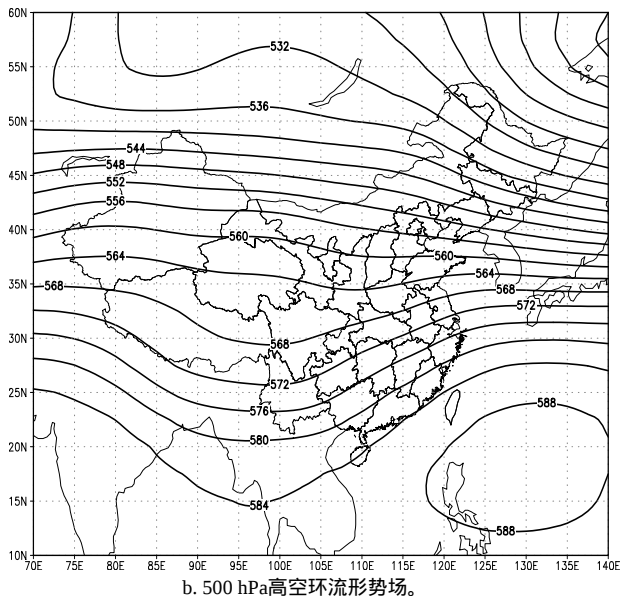
中路冷空气影响与南宁市酸雨的出现关系仅次于东路冷空气。中路冷空气一般是指北方冷空气主力进入我国后,从河套地区沿110°E附近南下,经华中、两湖盆地、黔东南和桂东影响南宁市(图4),该类冷空气南下时,风力较大,多伴有降水。

上述两种冷空气影响模式的特点是,地面冷高压脊从华北经两湖盆地伸入广西,冷空气到达前,

整个广西吹偏南风,低层暖湿而带有酸性的气流沿着冷高压脊向北辐合上升,当气流抬升、气温下降至凝结温度时,便形成酸性降水。主要辐合区在桂北、桂中一带。在偏北气流引导下,酸雨南移影响南宁市。



a. 海平面气压场;



b. 500 hPa高空环流形势场。

图3 高空槽锋面影响型:东路冷空气

西路冷空气影响与南宁市酸雨出现的关系不密切。西路冷空气是指北方冷空气主力进入我国后,从河套以西经青藏高原,进入四川盆地、云贵高原南下影响广西。此类系统南下时具有强度强、风力大、降水时间短等特点,这时南宁市出现酸雨的几率很小,pH值也较大。

4.2 高压后部影响型

高压后部影响型的天气系统配置为,南支高空槽位于孟加拉湾附近,或无槽线,广西高空处于副热带

高压的西南边缘，地面处于出海高压后部，无锋面在广西。该天气类型的流场特点是，广西境内高低层都是偏南或西南风，可带来充沛的水汽，但由于是单一的偏南气流影响，水汽的辐合上升条件较差，一般难以造成大范围的降水。该类型降水的酸性及酸雨频率都弱于高空槽锋面型，可能是由于该类型天气形势下南宁盛行偏南或西南风，南宁上游偏南或西南方向的地区大气污染物浓度相对较低^[8]，而且中低层逆温弱于高空槽锋面型，有利于污染物的垂直扩散。

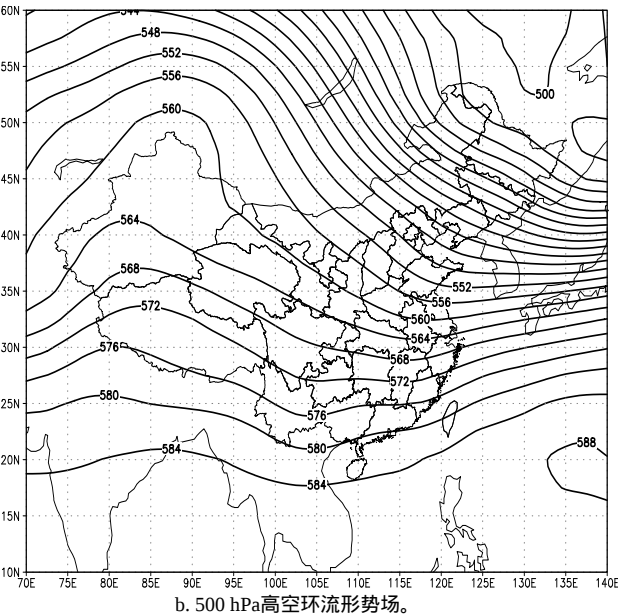
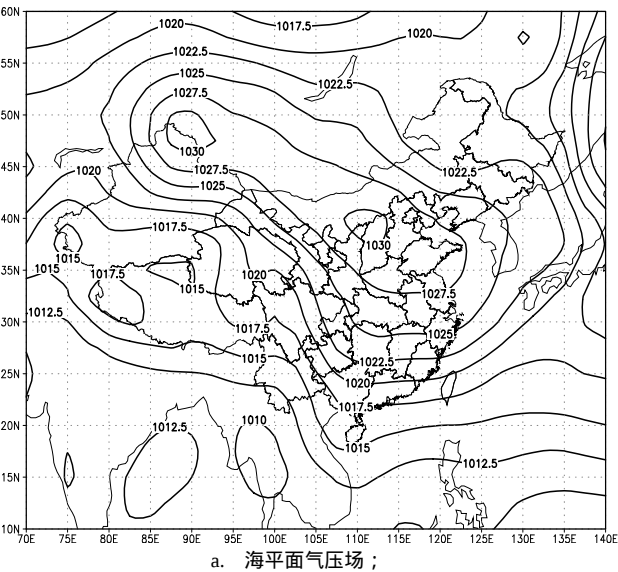


图4 高空槽锋面影响 型：中路冷空气

4.3 热带气旋影响型

7 ~ 9月是广西的后汛期，西太平洋副热带高压明显增强、北抬西伸。在赤道辐合线附近或副热带高

压南侧，常有热带低压生成，有的会发展成台风，它在副热带高压南侧偏东气流引导下，向偏西或偏西北方向移动影响南宁，造成后汛期降水。表3统计了2001 ~ 2003年影响南宁市台风降雨的pH值，可见受台风或热带气旋的影响，南宁市出现酸雨的几率很小，降水pH值也基本上在6.0以上。

表3 2001 ~ 2003 年影响南宁市的台风降雨的化学成分

台风编号	0103	0104	0107	0110	0114
影响日期	6.30 ~ 7.2	7.6 ~ 7.8	7.25 ~ 7.27	8.10 ~ 8.11	8.31 ~ 9.3
pH值	6.20	6.71	6.87	5.62	5.41
台风编号	0116	0214	0218	0220	0307
影响日期	9.18 ~ 9.20	8.19 ~ 8.20	9.12 ~ 9.14	9.26 ~ 9.29	7.24 ~ 7.26
pH值	5.85	6.57	5.32	6.54	5.65
台风编号	0308	0312	0313		
影响日期	7.22 ~ 7.24	8.26 ~ 8.27	9.2 ~ 9.3		
pH值	5.68	6.06	5.90		

注：影响日期为起止的“月.日”。

4.4 不同天气类型南宁市降水化学成分特征

一个地区污染物的排放量和排放源的位置在一定时段内可认为是不变的，然而在不同的降水天气条件下，污染物的空间分布和传输方向是不同的，降水的化学特征也有很大的差异。下面我们分析上述高空槽锋面、高压后部和热带气旋共三种不同降水天气形势对南宁市降水化学的影响。

由表4可见，南宁市降水化学受天气系统影响很大，锋面降水时，不仅雨水酸，离子浓度也高。当南宁地区受高空槽锋面影响时，雨水中SO₄²⁻明显增多，降水离子浓度甚至比热带气旋影响时高2 ~ 3倍。特别是受东路冷空气影响时，南宁市盛行东北气流，东北气流与强度相当的南支槽前西南暖湿气流相对峙时，有利于工业排放的污染物以及输送过来的以桂林-柳州-南宁为连线的重工业区“湘桂走廊”的^[9]污染物在大气中堆积，引起空气中污染物浓度增加。大气中SO₂等污染物在上升、下沉气流的作用下，经过复杂的化学反应生成硫酸盐、硝酸盐等。而热带气旋影响造成降水时，降水气团主要来自海上，雨水基本上不酸。例如2002年8月19日14号热带风暴“黄蜂”在湛江沿海登陆后，风暴中心进入广西东南部，19 ~ 20日风暴快速向西北方向移动。受该风暴影响，广西普降大雨，风暴中心经过的地区有4 ~ 6级东到东南风。此次过程南宁市的降雨pH值为6.54，SO₄²⁻浓度为70.22 μmol/L，阳离子以Ca²⁺为主，略高于NH₄⁺。热带气旋影响特点是风速较大，加之降水上游桂东

南和沿海地区工业污染较小,所以该类型天气对南宁市的酸雨影响不大。

表 4 不同类型天气降水的化学成分特征 单位: $\mu\text{mol/L}$ 。

降水类型	pH 值	SO_4^{2-}	NO_3^-	$\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}/\sum^-$
东路冷空气	4.53	202.62	18.60	11.01	0.63
高空槽锋面					
中路冷空气	4.94	193.40	50.36	3.84	0.44
西路冷空气	5.95	110.20	40.56	1.72	0.51
高压后部	5.66	151.32	65.21	2.32	0.54
热带气旋	6.12	91.47	11.86	7.71	0.50
降水类型	NH_4^+	Ca^{2+}	$\text{NH}_4^+/\text{Ca}^{2+}$	$\text{NH}_4^+/\sum^+$	
东路冷空气	65.82	31.62	2.08	0.54	
高空槽锋面					
中路冷空气	161.10	28.96	5.56	0.68	
西路冷空气	75.03	26.41	2.84	0.35	
高压后部	50.05	31.41	1.59	0.41	
热带气旋	47.26	73.91	0.64	0.39	

5 小 结

(1) 根据南宁市 1991 ~ 2004 年降水化学资料的分析表明,南宁市降水酸化程度从 2002 年以后逐年有所减轻,但降水年均 pH 值仍在 5.0 左右,这说明南宁市的酸雨污染形势依然相当严峻。

(2) 南宁市的酸雨属硫酸型,酸雨在冬春两季频率较高, pH 值较小,夏秋两季则频率较低, pH 值较大。

(3) 南宁市酸雨的形成与大气环流密切相关。影响南宁市酸雨的大气环流主要是高空槽锋面,其次是高压后部和热带气旋。受高空槽锋面特别是东路冷空气影响时,出现酸雨的频率最高, pH 值最小,雨水中 SO_4^{2-} 明显增多,热带气旋降水时,雨水酸度最轻,离子浓度甚至比高空槽锋面影响低 2 ~ 3 倍。

参 考 文 献:

- [1] 秦鹏, 杜尧东, 刘锦奎, 等. 广东省酸雨分布特征及其影响因素[J]. 热带气象学报, 2006, 22(3): 297-300.
- [2] 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.
- [3] 林长城, 林祥明, 邹燕, 等. 福州气象条件与酸雨的关系研究[J]. 热带气象学报, 2005, 21(3): 330-336.
- [4] 林长城, 肖辉, 赵卫红, 等. 福建高山、重点城市春季 TSP 对降水酸度的影响[J]. 热带气象学报, 2006, 22(4): 405-410.
- [5] 雷恒池, 吴玉霞, 肖辉, 等. 不同天气系统下我国云雨水化学特征的研究[J]. 高原气象, 2001, 20(2): 127-131.
- [6] 王文兴, 丁国安. 中国降水酸度和离子浓度的时空分布[J]. 环境科学研究, 1997, 10(2): 1-7.
- [7] 蒙远文, 蒋伯仁, 韦相轩, 等. 广西天气及其预报[M]. 北京: 气象出版社, 1989: 3.
- [8] 陈志远. 中国酸雨研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997: 4.
- [9] 齐立文. 两广大陆地区酸雨的时空分布规律和化学特点[J]. 气象, 1995, 19(11): 8-12.

STUDY ON CHEMICAL CONSTITUTION CHARACTERISTICS OF RAINWATER UNDER DIFFERENT ATMOSPHERIC CIRCULATION OVER NANNING CITY DURING 1991 ~ 2004

ZHENG Feng-qin¹, SUN Chong-zhi², XIE Hong-bin³

(1. Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022, China;

2. Guangxi Meteorological Bureau, Nanning 530022, China;

3. Nanning Environmental Monitoring Station, Nanning 530012, China)

Abstract: Based on the precipitation ionic constitution and NCEP/NCAR reanalysis data from 1991 to 2004, the chemical constitution characteristics of rainwater over Nanning in Guangxi was analyzed. The results indicate that the rainwater is of the type of sulfate. The formation of rainwater is related with atmospheric circulation — high-level troughs, the rear part of high pressures and tropical cyclones. When it is influenced by the rain-bearing system of an east-route cold air, the value of pH is the lowest and the ion concentration of sulfate radical increase to a very high level. When it is influenced by tropical cyclone systems, the acidity of rainwater is the least and the ion concentration is also 2 ~ 3 times lower than that of high-level trough.

Key words: atmospheric circulation; rainwater chemistry; rainwater acidity distribution