

中国和日本降水化学特性的 分析比较

黄美元

植田洋匡

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029) (日本九州大学应用力学研究所)

刘帅仁

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

提 要

本文对中国33个站、日本29个站及美国9个站的降水化学资料进行了分析比较。结果表明, 中、日、美三国的降水化学特性有很大不同。三国都有酸雨, 但以美国的 $\overline{\text{pH}}$ 值最低。雨水中离子总浓度以中国为最高, 其中 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 和 Ca^{2+} 的浓度特别高。日本雨水中 Cl^- 和 Na^+ 的浓度很高。 NO_3^- 在美国雨水中最高。从雨水中离子结构组成和几种重要参量的比值分析表明, 中国雨水中的离子浓度受陆地源影响很大, 而影响日本雨水中离子浓度最大因素是海洋。在美国以工业交通污染的影响相对最大。文中还对中、日两国不同地区的降水化学特性进行了分析和讨论。

关键词: 中国; 日本; 降水化学; 资料分析; 酸雨。

一、引 言

酸沉降是当今世界上一个重大环境问题, 引起了世界各国的注意。酸雨是一种区域性的现象, 它不受国界的限制, 国与国之间以至各大洲之间都会有相互影响。但酸雨的形成和蔓延却受污染源的分布、地理环境和气象条件的制约。有的地区有酸雨, 有的地区则没有。有酸雨的地区, 其降水化学特性也不尽相同, 即降水化学特性也有其局地性。多年来各国都致力于研究本国的酸雨及其降水化学特性^[1-7, 10-15], 近年来已开始重视研究边远地区、海洋上的降水化学和比较各国、各地区之间降水化学的差异^[8, 9, 16-19]。

中国从80年代开始建立降水化学监测站网, 积累了宝贵的资料, 在文献[4]中提供了1985—1986年中国27个站降水化学的平均资料, 并作了初步的分析。日本于1986—1987年进行了全国性的酸雨观测调查, 在文献[12]中公布了部分资料, 并进行了有益的分析, 这些文章都对中日降水化学的各自特点有所论述, 是很有意义的。本文利用这些资料, 从对比分析中日两国降水化学特性的角度作进一步的研究, 为了比较, 我们还部分利用了美国降水化学资料。

本文所利用的资料来源分别是: 中国各地的降水化学资料, 来自文献[4—8]共33个

1990年11月5日收到, 1991年7月22日收到修改稿。

站的资料, 观测年代绝大部分为 1985—1986 年, 个别资料来自 1983、1984 年的观测. 日本的资料来源于《日本第一次酸性雨调查结果》^[13]. 该报告中提供了日本 29 个站 1986—1987 年的观测结果. 关于美国的降水化学资料可以查到很多, 但由于在本文中不作为重点, 为了方便起见, 从文献[4]中取了 7 个站的资料. 应该指出, 中、日、美三国降水化学观测的体制和方法是有不同的, 观测年代也不尽相同, 但是采样的基本原则和离子分析方法大体上是相同的, 所利用的资料大部分都是 1—2 年的平均值, 应该说这些资料是有一定代表性的. 所以分析比较这些资料是可以提供一些规律性的认识.

二、分析和结果

1. 中国、日本和美国降水化学平均特性的比较

表 1 给出了中国、日本和美国降水中各种离子的平均浓度 $\bar{X}$ 及其变异系数(离差 / 平均值, $\zeta = \frac{S}{\bar{X}}$), 也列出了三个国家间各种离子浓度的比值. 从表 1 可以看到, pH 值在美国平均为 4.31, 日本为 4.74, 中国为 4.83, 都为酸雨, 美国两水最酸, 但变异系数中国最大, 为 0.17. 中国各地雨水 pH 差别较大, 北方基本无酸雨, 大连雨水 pH 值达 7.13, 而南方有些地方 pH 很低, 如重庆雨水 $\overline{\text{pH}}$ 为 4.21, 反映出在中国污染源的低空排放, 地形和气象条件复杂, 局地影响相当大. 美、日的变异系数分别为 0.08 和 0.04, 日本最小, 这可能与日本国土面积较小, 东西宽度小有关, 局地差别较小. 阴阳离子总浓度三国也有明显差别, 以中国为 1, 则中、日、美之间对于阴离子的比例为 1:0.75:0.50, 阳离子为 1:0.49:0.31, 阴阳总离子浓度的比例为 1:0.60:0.39, 可见中国最高, 美国最低, 日本处于中间, 应该指出中国资料中阴阳离子总浓度不平衡, 阳离子浓度高, 其原因是 CO_3^{2-} , F^- 等有相当大的贡献, 而这些离子没有列入表中. 对比表 1

表 1 中、日、美降水化学组分平均值($\mu\text{eq/L}$)

	pH	H ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	$\Sigma(-)$	$\Sigma(+)$	$\Sigma(+)+\Sigma(-)$
$\bar{X}$	4.83	14.8	166.7	23.9	46.4	100.7	155.4	36.1	22.7	32.6	237.0	362.5	599.5
中国(33) $\zeta = \frac{S}{\bar{X}}$	0.17		0.66	0.67	1.00	0.43	0.93	0.85	1.51	0.81	0.56	0.65	
$\bar{X}$	4.74	18.2	55.0	15.5	107.6	21.7	25.9	21.3	4.6	85.7	178.1	179.2	357.2
日本(29) ζ	0.04		0.36	0.50	0.83	0.56	0.66	0.76	1.15	0.79	0.57	0.52	
$\bar{X}$	4.31	49.0	63.6	32.3	22.9	21.6	14.3	8.0	3.7	17.3	118.8	113.9	232.7
美国(7) ζ	0.08		0.47	0.64	0.56	0.62	0.43	0.42	0.73	0.63	0.42	0.31	
日本 / 美国		0.37	0.86	0.48	4.70	1.01	1.81	2.66	1.24	4.95	1.50	1.57	1.54
日本 / 中国		1.23	0.33	0.65	2.32	0.22	0.17	0.59	0.20	2.63	0.75	0.49	0.60
美国 / 中国		3.31	0.38	1.35	0.49	0.21	0.09	0.22	0.16	0.53	0.50	0.31	0.39

中各种离子浓度可以看到, 中国雨水中有三种离子浓度特别高, 即 SO_4^{2-} , NH_4^+ 和 Ca^{2+} , 大约比美国和日本分别高出 3 倍、5 倍和 6—10 倍, 说明在中国 SO_2 , NH_3 和土壤粒子的污染严重, 日本雨水中 Cl^- 和 Na^+ 浓度特别高, Cl^- 比中、美分别高 2.3 倍和 4.7 倍, Na^+ 分别高出 2.6 和 5.0 倍, 说明日本降水化学成分受海盐影响较大, 雨水中 NO_3^- 浓度在美国最高, 比中、日分别高出 1.4 和 2.1 倍, 反映美国 NO_x 污染相对更严重, 在美国降水中 Mg^{2+} 和 K^+ 浓度最低。

上面是平均情况, 各国不同地区降水中离子浓度都有变化, 变异系数大多在 0.5 以上, 在中国各种离子浓度的变异系数最大, 大部分在 0.6 以上, 最大为 1.51, 在中国变异系数最大的三种离子是 K^+ , Cl^- 和 Ca^{2+} , 在日本是 K^+ , Cl^- 和 Na^+ , 在美国是 K^+ , NO_3^- 和 Na^+ , K^+ 是共同的变化最大的离子成分, 变异系数最小的三种组分, 在中、日、美分别为 NH_4^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- ; SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ ; Mg^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , 其中 SO_4^{2-} 都是变化较小的, 在变异系数最大最小的 6 种离子中, 中、日两国各有 5 种离子是相同的。

2. 中国和日本不同地区降水化学特性

由于一个国家工业分布、地形、气候、生态环境的不均匀性, 因此就一个国家来说, 各地的降水化学特性有很大不同, 因此应该分别不同类型地区加以分析研究, 我们首先从地理位置进行分区, 如图 1 所示, 中国分 7 个区域, 日本分 5 个区域, 图上也给出了降水化学监测站的位置。

中国分东北、华北、西北、华东、两广、川黔几部分, 另外对东部沿海地区又单独统计, 其结果列于表 2, 为了比较, 也列出了两个背景站普陀和黄山的资料, 可以看到在中国北方, 按平均值来说, 雨水不酸, pH 值均在 6 以上, 南方有酸雨, pH 值平均在 4.2—5.0, 川黔地区雨水最酸, 其他南方地区 pH 在 5.0 左右, 两个在南方的背景站雨水不酸, 看来基本上不受工业污染影响, 平均来说, 中国

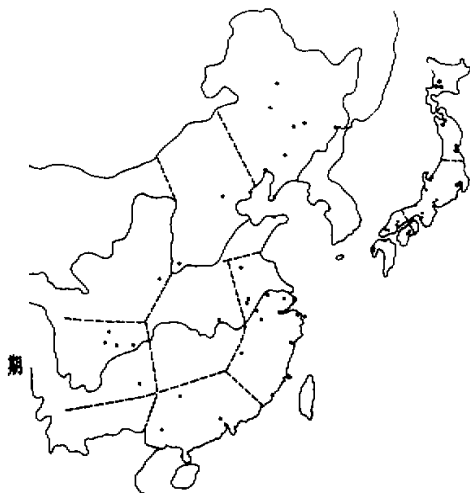


图 1 中国和日本降水化学监测站及其分区

圆点为监测站位置, 虚线为分区界线

北方城市的降水中各种离子(H^+ 除外)和离子总浓度都高于南方城市, 其中突出的是: Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} 和 Na^+ 都大 2—4 倍, SO_4^{2-} 大 1.3 倍, 阴离子总浓度大 1.4 倍, 阳离子总浓度大 1.9 倍, 西北雨水中 Ca^{2+} , NH_4^+ 和 SO_4^{2-} 浓度特别高, 东北雨水中 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 也很高, 表明中国北方的风沙、尘土和燃煤污染很严重, 川黔雨水中 SO_4^{2-} 浓度在中国是最高的, 这与那里使用高含硫量的煤及不利于扩散输送的地形、气象条件有关, 那里的 Ca^{2+} 和 NH_4^+ 的浓度也较高, 比其它南方地区都高, 华东地区有两个特点: 一是 NO_3^- 浓度全国最高, 这与那里人口密集、工业交通发达有关, 另外那里 Ca^{2+}

等阳离子浓度较低, 风沙、尘土影响较小, 东部沿海和两广地区各种离子浓度都较低, 但是比背景站黄山降水中的离子浓度仍然高许多, 黄山海拔 1500 m, 污染很少, 可以提供低空的降水化学背景值. 普陀站的降水中, 海盐成分(Cl^- , Na^+ , Mg^{++} 等)影响很大, Ca^{++} 浓度也不低.

表 2 中国不同地区降水中离子浓度($\mu\text{eq/L}$)

中国不同地区	pH	H^+	SO_4^-	NO_3^-	Cl^-	NH_4^+	Ca^{++}	Mg^{++}	K^+	Na^+	$\Sigma(-)$	$\Sigma(+)$
东北 (7)	6.01	0.99	220.9	27.1	79.2	95.6	268.8	101.3	42.9	61.3	327.2	570.9
华北 (4)	6.51	0.31	152.3	21.5	62.8	111.5	153.3	20.2	38.2	31.6	236.6	355.1
西北 (1)	6.14	0.72	280.6	31.8	33.8	165.8	567.4	43.4	18.2	41.5	346.2	837.2
中国北方 (12)	6.13	0.75	198.6	25.3	69.9	106.6	253.9	69.2	39.3	49.8	293.8	519.6
华东 (12)	4.91	12.18	122.8	42.0	32.0	89.0	85.2	12.6	10.1	19.9	196.8	229.0
两广 (3)	4.95	11.26	134.7	18.9	33.5	65.4	92.5	11.3	18.8	33.2	187.1	232.5
川黔 (5)	4.25	55.81	282.3	31.8	34.6	126.3	149.4	31.3	16.7	26.0	348.7	405.5
东部沿海 (5)	4.93	11.70	116.8	25.1	34.8	70.5	77.9	13.5	11.9	23.8	176.7	209.3
中国南方 (21)	4.64	23.07	148.4	23.1	33.0	97.3	99.1	17.2	13.2	22.8	204.5	272.7
普陀	5.66	2.19	50.3	2.2	410.0	30.5	88.2	78.8	30.4	226.8	462.5	456.9
黄山	6.33	0.47	14.5	1.0	14.7	18.6	13.5	1.8	9.0	13.3	30.2	56.7
北方 / 南方		0.03	1.33	1.10	1.51	1.10	2.56	4.02	2.98	2.18	1.44	1.91

对于日本, 根据地理位置(见图 1)分北部、中部和南部, 另外对靠近日本海的西海岸和靠近太平洋的东海岸以及屋久岛又单独进行了统计, 结果见表 3. 从雨水酸度来说, 日本各地都有酸雨, 而且酸度差别不大, pH 值在 4.7—4.9, 北部的 pH 值最大, 降水中的离子浓度以北部最大, 由南向北逐渐增加, 北部比南部的离子总浓度要大 2 倍, 增加最多的是 Ca^{++} 和 K^+ , 北部大 3 倍以上, 其次是 Cl^- , Na^+ 和 Mg^{++} . 日本西海岸降水中离子浓度与北部比较接近, 东、西海岸的 pH 值差不多, 但在西海岸的降水中总的阴阳离子浓度比东海岸大 2 倍, 其中主要是海盐成分增加十分显著, 如 Cl^- 和 Na^+ , 西海岸比东海岸大 4 倍以上, Mg^{++} 和 K^+ 也大 3 倍, 西海岸受海洋影响很大, 甚至比屋久岛影响还大, 东海岸雨水中 NO_3^- 浓度最大, 这里有大城市, 人口较多, 污染较重, 在屋久岛上降水中 NO_3^- , NH_4^+ 和 Ca^{++} 的浓度比其它地区都低, 反映该岛雨水受工业污染和陆地源的影响最小.

中国东部沿海与日本的东海岸比较来看, 中国东部沿海雨水中 Ca^{++} , NH_4^+ 和 SO_4^- 的浓度明显高, 其它离子浓度相差不大.

我们就降水中 9 种离子浓度分别对中国和日本按最近距离进行了聚类分析, 结果表明, 中国降水化学特性大体上可以分成四类(见表 4): 第一类为北方型, 以锦州、沈阳、大连和西安为代表, 这类降水呈碱性, pH=6.1—7.1, 离子总浓度很高, 在 $1000\mu\text{eq/L}$ 以上, 其中碱性离子(如 Ca^{++})浓度特别高, 占阳离子的 60% 以上, 第二类为川黔型, 以重庆、贵阳、内江为代表, 这类降水呈强酸性, 离子总浓度也较高, 其中 SO_4^- 占阴离子总浓度的 80% 以上, 第三类为长江三角洲型, 以上海、南京、合肥、宁波为代表, 降水呈弱酸性, pH 在 5.0 左右, 离子浓度中等程度, 第四类范围较大, 包括桂、闽、赣

浙部分地区, 以南宁、桂林、吉安、厦门、温州为代表, 降水呈酸性, 各种离子浓度常常在全国是最低的, $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 和 $\text{NH}_4^+/\text{Ca}^{++}$ 比值均高于其它三类降水, 聚类分析与按地理位置分类的结果大体上比较接近, 但不完全相同, 例如北京更接近于长江三角洲类, 吉林的延吉更接近于桂闽浙类, 第三和第四类在地理位置上有交叉。

表3 日本不同地区降水中离子浓度($\mu\text{eq/L}$)

日本不同地区	pH	H^+	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	NH_4^+	Ca^{++}	Mg^{++}	K^+	Na^+	$\Sigma(-)$	$\Sigma(+)$
北部(7)	4.91	12.3	73.1	19.5	167.6	30.0	55.2	30.3	9.5	122.6	260.2	259.9
中部(12)	4.73	18.6	61.7	22.3	96.6	30.6	32.8	19.7	3.8	73.9	180.6	179.4
南部(10)	4.73	18.6	43.5	11.0	68.7	15.6	15.4	14.8	3.1	59.6	123.2	127.1
东海岸(8)	4.78	16.6	49.4	24.2	41.4	32.8	29.4	9.0	2.1	28.3	115.0	118.2
西海岸(6)	4.75	17.8	69.8	15.8	164.2	26.1	26.9	32.8	6.1	137.0	249.8	246.7
屋久岛(2)	4.70	20.0	43.1	9.5	129.3	8.3	10.4	26.2	3.8	113.9	181.9	182.6
北部/南部		0.66	1.68	1.77	2.44	1.92	3.58	2.05	3.06	2.06	2.11	2.05
东海岸/西海岸		0.93	0.71	1.53	0.25	1.26	1.09	0.27	0.34	0.21	0.46	0.48

表4 中国降水化学特性分类

类 型	代表性的地点	pH	$\frac{\Sigma(+)+\Sigma(-)}{(\mu\text{eq/L})}$	$\frac{\text{Ca}^{++}}{\Sigma(+)}$	$\frac{\text{SO}_4^{2-}}{\Sigma(-)}$	$\frac{\text{NO}_3^-}{\text{SO}_4^{2-}}$	$\frac{\text{NH}_4^+}{\text{Ca}^{++}}$
北 方	沈阳、锦州、西安、大连	6.1—7.1	>1000	0.60	0.77	0.12	0.34
川 黔	重庆、贵阳、内江	3.9—4.4	700—1000	0.35	0.85	0.09	0.90
长江三角洲	上海、南京、合肥、宁波	~ 5.0	420—600	0.43	0.73	0.13	0.78
桂闽浙	南宁、桂林、吉安、厦门、温州	4.7—5.0	150—400	0.32	0.66	0.21	1.13

表5 日本降水化学特性分类

类 型	代表性地点	pH	$\frac{\Sigma(+)+\Sigma(-)}{(\mu\text{eq/L})}$	$\frac{\text{Ca}^{++}}{\Sigma(+)}$	$\frac{\text{Na}^+}{\Sigma(+)}$	$\frac{\text{SO}_4^{2-}}{\Sigma(-)}$	$\frac{\text{Cl}^-}{\Sigma(-)}$	$\frac{\text{NO}_3^-}{\text{SO}_4^{2-}}$
西海岸	石川、富山	4.6—4.9	400—500	0.10	0.54	0.29	0.64	0.23
东海岸北部	宫城、东京	4.7—5.1	300—400	0.34	0.21	0.40	0.37	0.56
东海岸中部	京都、名古屋、大阪、高知	4.5—4.9	120—300	0.21	0.34	0.38	0.48	0.36

日本各地降水化学特性之间的差别明显小于中国, 按聚类分析大体上可分成三类(见表5), 即西海岸型, 以富山、石川为代表, pH在4.6—4.9, 离子总浓度最大, 其中以 Cl^- , Na^+ , K^+ , Mg^{++} 浓度最大为特点, 海洋影响最为明显, 第二类为东海岸中北部型, 以宫城和东京为代表, 离子浓度为中等程度, 其中以 NO_3^- , NH_4^+ 和 Ca^{++} 的浓度在日本为最高, 第三类为东海岸中南部型, 以京都、名古屋、大阪和高知为代表, 这些地方雨水相对酸一些, 但离子总浓度最低, 除个别地方外, 一般在120—300 $\mu\text{eq/L}$, 其中以 SO_4^{2-} 和 NH_4^+ 为最低, 札幌和青森的降水有些特殊, 按离子总浓度和海盐成分来说, 它们接近富山和石川, 但按 Ca^{++} 浓度来说它们接近宫城。

从聚类分析来看, 中国南宁与日本名古屋的降水化学特性比较接近.

3. 离子组成结构的比较

离子组成结构见图 2. 就一个国家的平均值来说, 阴离子中 SO_4^{2-} , NO_3^- 和 Cl^- 之间的比例是这样: 在日本大体上为 3:1:6, 在中国为 7:1:2, 而在美国则为 5:3:2. 日本降水中 Cl^- 的比例很大, 中国降水中 SO_4^{2-} 比例最大, 而在美国降水中 NO_3^- 的比例比其它两国都高. 就阳离子中 H^+ : NH_4^+ : Ca^{++} : Na^+ 而言, 在日本为 12:14:17:57; 在中国为 5:33:51:11; 在美国为 48:21:14:17. 可见 H^+ 在美国降水中比例最大, 反映工业污染严重. 在中国 Ca^{++} 和 NH_4^+ 的比例最高, 陆地源的污染影响最大. 日本和美国雨水中 Ca^{++} 所占的比例很接近, 都不大. 在日本雨水中 Na^+ 所占比例最高, 比其它两国高很多, 反映受海洋影响极大.

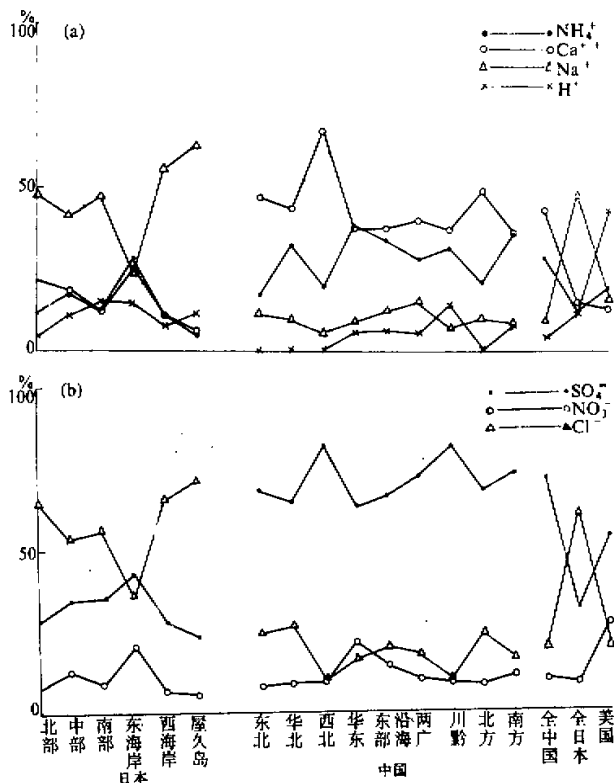


图 2 中国和日本降水阴、阳离子组成结构

(a) 为阳离子组成结构, (b) 为阴离子组成结构

再来看看不同地区降水中离子组成结构. 在日本的北、中、南三地区的阴离子组成结构基本相同, 阳离子组成结构的差别也不大. 主要是在北部 H^+ 比例最小, 只占 4.7%, 向南比例逐渐提高, 而 Ca^{++} 在北部最大, 占 21%, 向南逐渐减小, 到南部为 12%. 日本

东西海岸降水中离子组成结构差别较大, 东海岸雨水中 SO_4^{2-} 比例最大, 占 43%, 它和 NO_3^- 所占比例都比西海岸大, 其中 SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ 和 Ca^{2+} 在日本各地区中所占比例最高, 西海岸雨水中 Cl^- 的比例很大, 占阴离子的 66%, 阳离子中除 Na^+ 所占比例(55%)明显大以外, 其它离子都是东海岸的比例高于西海岸, 也说明西海岸雨水受海洋影响很大, 它与屋久岛和中国的海岛普陀雨水中的离子结构组成相仿。

在中国各地区雨水中阴离子都以 SO_4^{2-} 所占比例最大, 一般占 60%—80%, 西北和川黔占 81%, 华东最低, 也占 62%, NO_3^- 以华东地区最高, 占 21%, 其它地区都在 10% 以下, Cl^- 在华北所占比例最大, 为 26.5%, 其中非海盐成分占了 44%, 看来这地区有一定程度的氯污染, 在东北降水中 Cl^- 在阴离子中的比例也较大, 占 24.2%, 阳离子中中国各地区以 Ca^{2+} 和 NH_4^+ 所占比例最大, 两者之和占阳离子总数的 60%—80%, 在日本只占 20%—50%, 美国为 32%, 其中 Ca^{2+} 在西北降水中占的比例最大, 达 68%, 反映那里受风沙、黄土影响严重, NH_4^+ 在华东为最大, 占 49%, Mg^{2+} 以东北最高(18%), K^+ 在华北比例最大, 占 11%, 在东北 NH_4^+ 占的比例最小, 只有 17%, 但比日本大部分地区仍然高, 在中国 H^+ 在阳离子中所占比例很小, 在北方都在 10% 以下, 最高比例在川黔, 但也只有 14%, 比美国(43%)小很多。

4. 几种参量的比较

图 3 给出了中国、日本各地区四种参量的比值, 也给出了美国的情况, 先来分析一

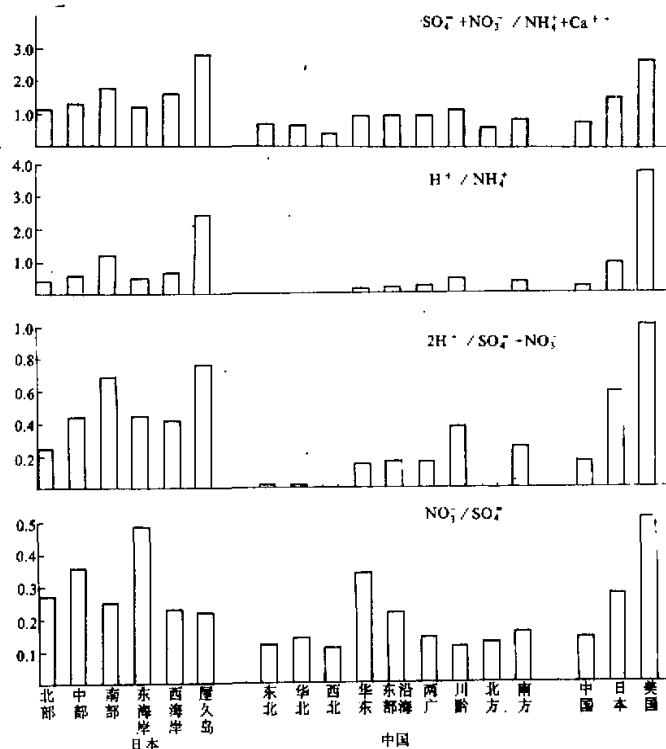


图 3 中国和日本各地区降水中几种离子参量的比值

下降水中酸的性质, $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 的比值一定程度上反映了硝酸和硫酸的相对贡献. 这比值在中国很小, 平均为 0.14, 雨水中硫酸成分占主要. 在日本平均为 0.28, 比中国大 2 倍, 但仍以硫酸为主. 在美国平均值为 0.51, 硝酸的贡献较大.

对于日本, 比值 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 在中部和东海岸最大, 相应达到 0.36 和 0.49, 后者已接近美国的情况. 西海岸和屋久岛最低, 为 0.22—0.23. 在中国, 该比值最高在华东和东部沿海, 分别为 0.32 和 0.22. 这里也是工业发达、人口密集地区. 在西北和川黔该比值最小, 只有 0.11. 在两个背景站黄山和普陀, 该比值非常小, 只有 0.05 左右, 反映 NO_x 污染极小.

比值 $2\text{H}^+/\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$ 和 H^+/NH_4^+ 称部分酸度和相对酸度, 反映酸和盐的相对比例. 这两个比值在中国都很小, 只有 0.16 和 0.15. 在川黔最高, 分别为 0.36 和 0.44. 在北方接近于零, 说明那里的 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 几乎都来自盐类物质, 硝酸和硫酸的成分很少. 日本的比值比中国高, 平均为 0.58 和 0.92. 其中以日本南部和屋久岛为最高, 达到 0.66 和 1.19, 0.76 和 2.41, 这些地方酸的影响增大. 在日本北部这两个比值最小, 分别为 0.27 和 0.41, 接近中国降水中的情况. 美国降水则是另一种类型, 这两个比值特别高, 达到 1.02 和 3.68. 也就是说美国雨水中的 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 大部分来自硫酸和硝酸, 土壤粒子和 NH_3 的影响很小.

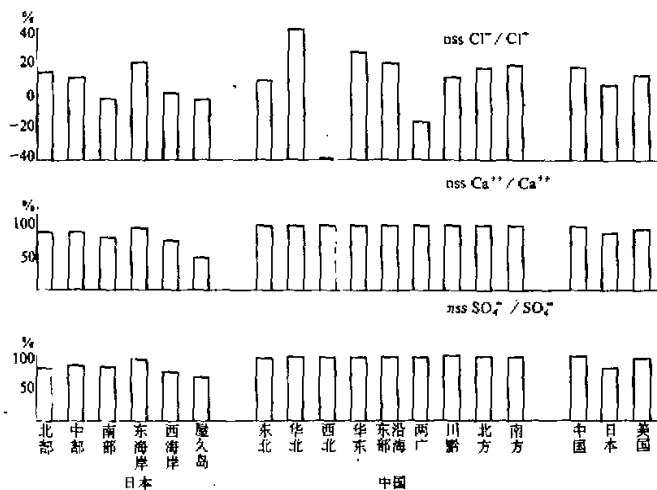


图 4 中国和日本各地区降水中 SO_4^{2-} , Ca^{2+} 和 Cl^- 的非海盐成分所占的比例

比值 $\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+ + \text{Ca}^{2+} (\text{Mg}^{2+})$, 反映了降水中影响酸度的主要阴阳离子的比例. 可以看到, 在中国此比值一般都小于 1, 特别在北方其值在 0.4—0.7 之间, 表明酸度不大. 在日本此比值在 1.1—2.8 之间, 平均为 1.48. 在美国此值平均为 2.67. 曾经作图分析过, 此比值与 pH 值有反相关趋势, 即 pH 值高时此比值低, 反之亦然, 但由于影响雨水酸度的因素多种多样, 雨水中离子组分测量不全等, 两者的相关程度并不很大.

雨水中的非海盐成分 (以 nss 表示) 是根据海水中各种离子的比例, 并以 Na^+ 为基

础计算所得. 图 4 给出了中国和日本各地区雨水中 SO_4^{2-} , Ca^{++} 和 Cl^- 的非海盐成分所占的比例. 可以看到, 在中国各地雨水中的 SO_4^{2-} 和 Ca^{++} 几乎全部来自非海盐, 在日本这比例低一些, 对于 SO_4^{2-} 来说非海盐成分平均占 82%, 在日本东海岸最高达 93%, 在屋久岛和西海岸则较低, 为 68%—76%, 海洋对这二地的 SO_4^{2-} 有相当的贡献. 在中国普陀, 海洋的贡献更大, 其比例为 46%. 日本雨水中 $\text{nss Ca}^{++}/\text{Ca}^{++}$ 的比值较高, 一般约 90%. 在美国雨水中 SO_4^{2-} 和 Ca^{++} 也几乎都来自非海盐. Cl^- 的情况则相反, 非海盐成分占的比例很小, 在日本平均为 7%, 在中国为 18%, 在美国为 12%, 即 Cl^- 基本上来自海盐. 中国有几个地区较特别, 如华北非海盐的 Cl^- 占了 41%, 在西北 Na^+ 有超量(与海水中 Cl^-/Na^+ 比例相比较).

5. 不同来源对雨水中离子组成的影响

影响雨水中离子组成的主要来源可分为三种, 一是工业交通的污染, 雨水中反映这种污染的离子主要是 H^+ , SO_4^{2-} 和 NO_3^- . 二是陆地源, 包括被风括起的土壤、尘埃和沙粒, 以及动植物过程释放的物质. 反映这类源的雨水中的离子主要是 Ca^{++} , NH_4^+ , SO_4^{2-} , 其次可能有其它金属离子, 如 Mg^{++} , K^+ , Fe^{+++} , Mn^{++} 等. 三是海洋源, 主要是海盐成分, 反映在雨水中的离子主要是 Cl^- 和 Na^+ , 当然还有 Mg^{++} , K^+ , SO_4^{2-} 等. 所以比较几种典型离子的比例, 一定程度上能反映不同源对雨水化学成分的相对贡献. 我们选择了 H^+ , Ca^{++} 和 Na^+ 三者的相对百分比作为衡量三种源的相对重要性. 表 6 给出了中国、日本和美国的分析结果, 可以看到中、日、美雨水中源的影响很不同. 在中国影响降水离子组成主要是陆地源, 占 77%, 海洋也有影响(16%), 工业污染影响相对较小(7%). 在日本海洋源的影响是最大的, 占 65%. 工业污染和陆地源的影响相当(15% 和 20%). 在美国是另一种情况, 那里工业交通影响很大, 占 61%, 其它两种影响各占 20% 左右. 在中国北方陆地源影响平均占 83%, 而在西北高达 93%, 工业污染影响相对很小. 在中国南方陆地影响占 68%, 工业污染和海洋影响各占 16%. 陆地源影响最小, 工业污染影响最大. 在川黔, 分别占 65% 和 24%. 海洋影响最大在两广(24%)和东部沿海(21%). 在日本自南向北陆地源影响加大, 从 17% 增大到 29%, 而工业影响减小(20% → 7%), 日本东、西海岸雨水中离子来源有不同. 在东海岸工业污染和陆地源的影响比西海岸大, 也是日本最大的地区, 分别为 22% 和 40%. 海洋影响最大的显然在岛屿(屋久岛)和西海岸(分别为 78% 和 75%).

表 6 不同源对降水离子组成的相对影响(%)

	工业交通污染影响 (H^+)	陆地源影响 (Ca^{++})	海洋源影响 (Na^+)
中 国	7	77	16
日 本	15	20	65
美 国	61	18	21

我们对中、日降水中各种离子组分及纬度、雨量等参数进行了相互之间相关系数的计算, 并相应作了聚类分析, 结果见图 5. 从图 5a 可以看到, 日本降水中 Cl^- , Mg^{++} , Na^+ , K^+ 之间相关系数很大, 很大程度上可视为同一来源, 即都来自海盐. SO_4^{2-} 与这

些海盐成分也有较大相关,而且这些离子对阴阳离子总浓度贡献很大. 降水中 Ca^{++} 的浓度与纬度有一定相关, 纬度高则 Ca^{++} 浓度大. H^+ 不与某种离子直接相关, 而是多种酸碱性离子综合作用的结果. 从图 5b 中看到, 中国降水中 Ca^{++} , SO_4^{--} 和 NO_3^- 之间以及 K^+ 与 Na^+ 之间比较相关, 而 Cl^- , Na^+ , Mg^{++} 各有不同来源. Ca^{++} 对 $\Sigma(+)$, SO_4^{--} 对 $\Sigma(-)$ 均为主要贡献者. H^+ 与空气中 SO_2 浓度相关较大, 反映了 SO_2 是影响雨水中 H^+ 浓度的一个主要因素. Cl^- 与 TSP 较为相关, 表明飘尘是降水中 Cl^- 的一个重要来源.

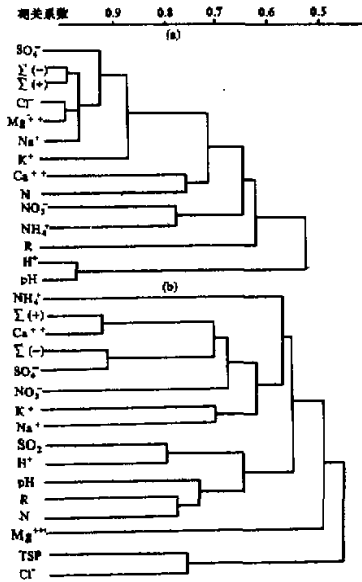


图 5 中国和日本降水中离子组分及有关参数的聚类分析

(a) 为日本, (b) 为中国

图中 N 表示纬度, R 表示年降雨量

三、结 论

1. 中国、日本和美国三国降水化学特性有很大不同. 三国都有酸雨, 但 pH 值在美国最低, 其次为日本. 雨水中离子总浓度以中国为最高, 分别比日本和美国高 1.3 倍和 2.5 倍. 在中国雨水中以 SO_4^{--} , Ca^{++} 和 NH_4^+ 的浓度特别高, 比其它两国高 3—10 倍. 日本雨水中 Cl^- 和 Na^+ 浓度很高, 比另两国高 2—5 倍. 美国雨水中 NO_3^- 浓度较高, 比中、日两国高 1.4 倍和 2.1 倍.

2. 从雨水中离子结构组成、各种离子参量的比值和不同来源对离子浓度相对影响的分析表明; 中国雨水中的离子浓度受陆地源影响很大, 相对影响占到 77%; 影响日本雨水离子浓度的最大因素是海洋, 约占 65%; 在美国工业交通污染占主要影响, 约达 61%.

3. 中国各地降水化学特性有较大差别. 北方基本上没有酸雨, pH 值一般在 6.1—7.1. 南方 pH 值一般在 4.2—5.4. 北方雨水中多种离子浓度比南方大, 其中突出的是 Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , 大约大 2—4 倍, SO_4^{--} 大 1.3 倍, 离子总浓度大 1.4—1.9 倍. 从阴阳离子组成结构来分析, 阴离子中虽然南、北方均以 SO_4^{--} 为主, 但在西北和川黔更突出, 比例高达 81%. 阳离子中北方以 Ca^{++} 所占的比例最大, 也以西北为冠, 但在南方 NH_4^+ 和 Ca^{++} 相当, 并列比例最大, 以华东地区的 NH_4^+ 占的比例最高. 从影响雨水中离子浓度的因素来说, 虽然在中国各地都以陆地源为最大, 但程度有差别, 北方最大, 川黔最小. 川黔、华东地区的工业污染影响不可忽视, 两广受海洋影响相对大一些.

4. 日本各地雨水化学特性也有不同. 北部 pH 值高一些, 由北向南, 多种离子浓度逐渐减小, 减小最显著的是 Cl^- 和 Na^+ . 在日本除了海洋影响最大外, 南部的工业污染影响相对比例增大, 北部的陆地源影响较大. 日本东、西海岸之间有较大差别, 西海岸离子总浓度高, 受海洋影响大, Cl^- 和 Na^+ 的浓度比东海岸大 4—5 倍. 东海岸有大工业城市, 人口密集, 工业交通污染影响比例增大, NO_3^- 浓度比西海岸大 1.5 倍.

5. 分析表明, 中国和美国雨水中的 SO_4^{2-} 和 Ca^{++} 几乎全部来自非海盐洋源, 在日本有些不同, SO_4^{2-} 中仍有 20% 来自海盐, Ca^{++} 中约有 10% 来自海盐, Cl^- 的来源基本上都是海盐, 但在中国仍有 10% — 20% 并非来自海盐。

致谢: 本研究得到了日本科学技术厅的资助, 日本国立公害研究所提供了研究方便, 特此致谢。

参 考 文 献

- [1] 西南酸雨研究课题组, 1984, 重庆和贵阳地区酸雨状况和分析, 酸雨, 1, 1 — 7.
- [2] 黄美元等, 1988, 重庆地区云水和雨水酸度及其化学组成的观测分析, 大气科学, 12(4), 389 — 395.
- [3] 魏复盛等, 1989, 我国降水酸度和化学组成的时空分布特征, 酸雨文集, 中国环境科学出版社, 203 — 207.
- [4] 王瑞斌等, 1989, 我国南北方降水化学组分的某些特征研究, 酸雨文集, 中国环境科学出版社, 227 — 239.
- [5] 李洪珍, 1989, 我国酸雨的区域化研究, 酸雨文集, 中国环境科学出版社, 208 — 216.
- [6] 陈攀江等, 1989, 四川省酸雨现状及发展趋势, 酸雨文集, 中国环境科学出版社, 250 — 264.
- [7] 全文哲等, 1989, 广州地区酸雨现状的研究, 酸雨文集, 中国环境科学出版社, 265 — 275.
- [8] 程春明等, 1989, 我国大气降水化学背景值研究, 酸雨文集, 中国环境科学出版社, 217 — 226.
- [9] 熊际翎等, 1987, 贵州省梵净山大气和降水背景考察, 大气环境, 2(1), 23 — 28.
- [10] 玉置元刚, 1985, 日本酸性雨水化学成分, 环境技术, 14(2), 2 — 16.
- [11] 大喜多敏一, 1987, 酸性雨, 日本气象学会出版, 26 — 36.
- [12] 原宏、北村守次、村野健太郎、太原真由美、森淳子等, 1989, 日本酸性雨的全国状况, 第 30 回大气污染学会讲演要旨集, 301 — 306.
- [13] 日本环境厅, 1989, 第 1 次酸性雨对策调查结果, 环境厅发表资料.
- [14] Bowersox, V. C. and de Pena, R. G., 1980, Analysis of precipitation chemistry at a central Pennsylvania site, *J. Geophys. Res.*, **85**, 5614 — 5620.
- [15] Nagamoto, C. T. et al., 1983, Acid clouds and precipitation in Eastern Colorado, *Atmos. Environ.*, **17**, 1073 — 1082.
- [16] Galloway, J. N. et al., 1982, The composition of precipitation in remote areas of the world, *J. Geophys. Res.*, **87**, 8771 — 8786.
- [17] Church, T. M. et al., 1982, The chemistry of western Atlantic precipitation at the Mid-Atlantic coast and on Bermuda, *J. Geophys. Res.*, **87**, 11013 — 11018.
- [18] Galloway, J. N. et al., 1987, Acid rain: China, United States and a remote area, *Sciences*, **236**, 1559 — 1562.
- [19] Likes, G. E. et al., 1987, Chemistry of precipitation from a remote, terrestrial site in Australia, 1987, *J. Geophys. Res.*, **92**, 13299 — 13314.

Comparison and Analysis of the Chemical Characteristics of Precipitation in China and Japan

Huang Meiyuan Liu Shuairan

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Hiromasa Ueda

(Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, Japan)

Abstract

Based on the chemical analysis of precipitation obtained on 33 stations in China, 29 stations

in Japan and 9 stations in the USA, the chemical characteristics of precipitation in China, Japan and USA are analyzed and compared. It is shown that the chemical features of precipitation in these countries are quite different. There are acid rain in all these three countries, but the lowest pH value is found in the USA. The total ion concentration of rain water in China is the highest, among which the concentrations of SO_4^{2-} , NH_4^+ and Ca^{2+} are especially high. The Cl^- and Na^+ concentrations of rain water in Japan are extraordinarily high. NO_3^- concentration of rain water in the USA is the highest. Analysis of the structure of ion components and various ratios of ions indicates that the influence of land sources on ion concentrations of rain water in China is significant, while influence of sea sources on ion concentrations of rain water is the largest in Japan, and influence of the industry pollution on ion concentrations of rain water is the largest in USA. In this paper the chemical characteristics of precipitation in different regions of China and Japan are also discussed and analyzed.

Key words: China; Japan; Precipitation chemistry; Data analysis; Acid rain.

《大气科学》收取发表费及稿件处理费的通知

按照中国科学院(92)出字33号文“关于印发《中国科学院科技期刊收取发表费暂行办法》的通知”的精神,经所领导和刊物主编同意,《大气科学》决定对在本刊上刊登的论著性文章收取发表费,并对来稿收取稿件处理费。采取这一措施,目的是为了适应科研工作发展的需要,推动科技期刊工作的进一步发展,促进国内外学术交流,增强科技期刊本身的活力和应变能力,积极改善办刊条件,以便不断提高期刊质量,发挥更大的社会效益。

《大气科学》收取发表费的范围仅限于有各种自然科学基金资助的以及属单位研究成果的论著性文章,评论性、综述性的文章不在收取之列;对纯属个人的研究成果文章也不收取发表费。发表费由作者所在单位从科研经费中支付,如单位支付确有困难,可申请减免或采取其他变通办法。收取发表费后,稿酬将适当有所增加。对免于支付发表费的论著性文章的作者,可不付或少付稿酬。《大气科学》英文版上选用的文章,不再另行收取英文版发表费。

收取的发表费将用于弥补办刊经费的不足,增加审稿费、稿费和改善办刊条件(如期刊管理、编排手段现代化设备的购置,出版增刊等),不得挪作与期刊工作无关之用。

收取发表费按文章正式刊出后的版面(包括图、表、中英文提要及参考文献)计算,具体标准另定。

今后凡投寄本刊的稿件,除不需经评审的消息性报道及编辑部特约组稿以外,其余(包括评论性、综述性文章)均需在投稿的同时缴付稿件处理费50元;对纯属个人的研究成果以及其他无经费来源的文章可减为40元。稿件处理费将用于支付审稿费及邮寄费用。

《大气科学》编辑部在收到上述费用后,将给作者开出正式财务收据。

收取发表费及稿件处理费的办法自1993年1月1日起施行,即从1993年第1期上刊出的文章起收取发表费;自1993年1月1日起收到的稿件收取稿件处理费。