第10卷第1期 2005 年 3 月

气候与环境研究 Climatic and Environmental Research

Vol. 10 No. 1 Mar. 2005

东亚地区降水离子成分时空分布及其特征分析

叶小峰^{1,2} 王自发² 安俊岭² 松田秀和³ 朱 彬¹ 陈万隆¹

1 南京信息工程大学应用气象系,南京 210044

2 中国科学院大气物理研究所竺可桢-南森国际研究中心,北京 100029

3 日本酸雨研究中心,日本新泻

摘 要 利用东亚酸沉降监测网 (EANET) 观测资料,对 2001 年东亚地区降水成分的时空分布特征进行了 分析,通过与过去的观测进行对比,揭示东亚各地酸雨分布情况及降水化学特性差异,为东亚酸沉降长距离输 送模式比较计划提供前期分析资料。分析结果表明:(1)东亚地区降水化学成分表现出明显的地域特征,滨海 地区的日本降水含量中 Na⁺、Cl⁻分别为 219、208 μmol・L⁻¹居东亚地区之首,而中国西北地区 Ca²⁺、NO₅、 NH₄⁺、SO₄²⁻、Mg²⁺、K⁺含量最高各为 755、168、260、768、59.3、53.6 μmol・L⁻¹;降水酸度主要受阳离 子 Ca²⁺、NH⁺和阴离子 SO₄²⁻、NO₅ 的影响。(2)东亚地区降水化学成分季节变化明显,除部分源自人为或 工业排放源影响外(如北部地区冬季取暖),东亚地区气候呈季节变化也是影响的主要因子之一。春季沙尘源 区沙尘、扬沙频繁,其上空存在较强的西风带,在天气系统冷锋影响下,沙尘粒子易随大风扬起而由锋前强烈 抬升气流输送到对流层中层,在高空西风急流作用下输送到下游地区。(3)东亚地区酸雨区降水与以往主要以 硫酸型酸雨为主的降水性质不同,除中国西南工业欠发达地区仍为硫酸型外,其他酸雨区均为硫酸和硝酸混合 型。表征酸雨类型的特征参量[SO₄²⁻]/[NO₅]的比值在中国西南地区为 3~5,东南和华南地区为 0.5~3; 其他各国均在 0.5~3之间。

关键词 东亚地区 降水 离子成分 时空分布 特征分析

文章编号 1006-9585 (2005) 01-0115-09 **中图分类号** P426.62⁺1 **文献标识码** A

Analysis of the Spatial-Temporal Distribution and Ion Features of Components of Precipitation in East Asia

YE Xiao-Feng^{1,2}, WANG Zi-Fa², AN Jun-Ling²

Kazabide MATSUDA³, ZHU Bin¹, and CHEN Wan-Long¹

- 1 Department of Applied Meteorology of Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044
- 2 The Nansen-Zhu International Research Centre, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sci
 - ences, Beijing 100029
- 3 Institute of Acid Rain, Niigata, Japan

Abstract By means of the observational data (2001) from EANET, the analysis of the spatial-temporal distribution characteristic of components from precipitation over East Asia was performed. Compared with the historical data, the acids rain distribution and it chemical characteristic differences were revealed in East Asia. These provided the Model Inter-comparison Study of Lang-Range Transport and Acid Deposition in East Asia with the pre-analyzed

- **收稿日期** 2004-07-15 收到, 2005-01-24 收到修定稿
- 资助项目 中科院百人计划项目"沙尘输送及其气候环境影响"部分资助

作者简介 叶小峰,男,1968年出生,工程师,主要从事大气物理和大气环境的研究。E-mail: yexiaofeng8@hotmail.com

.

气候与环境研究

Climatic and E	Environmental	Research
----------------	---------------	----------

data. The results show as follows: (1) There exist significant differences in regional characteristics of the chemical components from rainfall over East Asia. Such as Japan surrounded by sea, the concentrations of Na⁺ and Cl⁻ in rainfall are up to 219 and 208 μ mol • L⁻¹ respectively, which lie in the first albums in East Asia. Whereas the highest concentrations of Ca²⁺, NO₃⁻, NH₄⁺, SO₄²⁻, Mg²⁺, K⁺ in Northwest of China are up to 755, 168, 260, 768, 59.3 and 53.6 μ mol • L⁻¹ respectively, the main factors that impact on precipitation acidity derive from Ca²⁺, NH4⁺ and SO₄²⁻, NO³. (2) There exist great variations with the seasonal changes in the chemical components from precipitation over East Asia. In addition to the influence of anthropogenic and industrial emissions (e. g., winter heating in cold north regions), the seasonal change of climate over East Asia is also one of main influential factors. For example, blowing dust is frequent in source regions in spring. Over where exist a strong westerly belt, the dusts are easily blown by strong wind under the impacts of the cold front and transmitted to the middle of troposphere, and then transported to the down regions under the influence of westerly jet. (3) There exist obvious variations between precipitation containing the mixture of sulfate and nitrate today and that containing sulfate in East Asia. With the exception of southwest region in China, in which the industry is underdeveloped and the rainfall is still sulfate type. The ratio of SO₄²⁻ to NO₃⁻ that stands for the type of acid rain ranges from 3 to 5 in southwest region, 0.5 to 3 in the southeast and south regions of China, the others range from 0.5 to 3.

Key words East Asia, precipitation, ion components, spatial-temporal distribution, feature analysis

1 引言

亚洲人口的增长和经济的快速发展加剧了化 石燃料能源的消耗,预计到 2015 年亚洲的能耗量 将增至世界总能耗的 30%^[1],自化石燃料成为主 要能源以来,温室气体和空气污染物的排放(如 硫、氦氧化物和微粒)急剧增加,这将影响大范 围地区^[2],其中酸雨对水生和陆生生态系统的危 害就是一个例证。因此,加强研究这一地区降水 酸化过程是很有必要的。

近 20 年来,对东亚降水化学成分的研究已取 得很多成果,如:通过比较中国、美国东部和南 半球边远地区降水化学成分,发现中国降水中硫 的含量高于其边远地区 7~130 倍^[3];北京地区降 水化学成份中 Ca²⁺浓度值异常高的原因主要是受 当地环境影响^[4]; Dokiya 等^[5] 研究了太平洋 等^[8]和王自发等^[9]揭示了酸雨的基本特征,得到 一些规律性认识: 雨水酸度与雨滴微物理特性有 关,一般是小雨滴酸度较大;雨水酸化与污染源 的方位和距离以及天气和外来输送有关。然而这 些研究在某种程度上均存在一定的局限性,如: 大部分研究侧重于降水酸化物 SO₂ 以及降水化学 成分浓度的研究,其中有些研究虽然较全面地分 析降水化学特性及其来源和影响程度,但由于缺 乏规范统一的区域观测资料,并且以前东亚地区 降水化学的特性研究,大多数仅选择较典型的中 国、日本,不能够准确反应东亚地区的降水化学 特性。因此,在以上研究的基础上,本文利用东 亚酸沉降长距离输送模式的东亚酸沉降监测网 (EANET) 2001 的年观测资料(覆盖东亚 10 个国 家)^[10~12],进行降水成分时空分布及其化学特性 分析,以揭示东亚各地酸雨分布情况及降水化学。 特性的差异,为东亚酸沉降长距离输送模式比较

Hachijo和 Amami 岛屿的降水,得出北太平洋湿 沉降中 nssSO²⁻和 nssCa²⁺(nss: 非海盐)受到 来自亚洲大陆的硫和钙传输影响的结论; Fujita 和 Takahashi^[6]采用轨迹和稳定同位素分析方法对 日本附近海洋降水化学成分进行了研究,认为冬 季湿沉降中硫离子含量高于夏季是因为季风造成 亚洲大陆硫长距离输送。这些研究基本摸清了降 水酸化物质 SO₂及其长距离传输的过程。我国也 对酸雨做了大范围的研究,如: An 等^[7]、杨东贞 计划提供前期分析资料。

2 分析区域及东亚酸沉降监测网概 况

分析区域限于东亚地区,参考区域范围为 (5°S~60°N,75~160°E);参与筹建东亚酸雨监 测网(EANET)的国家有10个,即亚洲东北地 区的中国、日本、蒙古、韩国、俄罗斯以及亚洲

117 Analysis of the Spatial-Temporal Distribution and Ion Features of Components of Precipitation in East Asia No. 1



1期

东南地区的印尼、马来西亚、菲律宾、泰国、越 南。监测网共有 41 个观测站 (其中含 16 个边远) 站,9个郊区站和15个城区站)分布在52°N~ 6°S, 即覆盖上述 10 个国家辽阔的东亚地区。除承 担部分其他任务外 (如污染物浓度测量等),所有 测站均从事酸雨监测业务。分析区域如图1所示。

降水化学成分的地理分布特征 3

为便于分析,将所研究的范围按不同地区分 类划分为:内陆地区 (蒙古、俄罗斯),中国(西 南地区、西北地区、东南地区、华南地区), 韩国, 东部海滨地区(日本、日本南部海域),中南亚半 岛地区 (越南、泰国),东南亚地区 (菲律宾、印 尼、马来西亚)。根据所得资料进行加权平均处理 后得出如图 2 所示表征东亚不同区域降水离子年 均浓度的分布特征。

降水化学成分阳离子 Na⁺、Ca²⁺、K⁺、 3.1 Mg²⁺、NH⁺的地理分布特征

Fig. 2 Geographical distribution chart of irons concentration in East Asia. SWC the southwestern China, NWC the northwestern China, SEC the southeastern China, SC the southern China, CRSA the central region of South Asia, ERSA the east region of South Asia, SRSJ the sea region of the south Japan (a) Ca^{2+} , NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} ; (b) K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Cl⁻

于 9 μmol • L⁻¹,为最低;蒙古与东南亚地区相 近,为31.2 μmol·L⁻¹,其他地区则在10~20 μ mol·L⁻¹区间变化。(3)除中国的西北和西南 地区 K⁺含量(图 2b)高外(其中最高中心值为 53.6 μmol • L⁻¹位于西北地区),其他地区均小于 10 μmol·L⁻¹。(4) NH₄⁺浓度(图 2a) 高的地区 包括中国的西北地区和西南地区,高值中心为260 μ mol·L⁻¹位于中国的西北地区;日本含量最低为 4.6 μmol • L⁻¹; 其他地区则在 25~50 μmol • L⁻¹ 之间。(5) Mg²⁺浓度(图 2b) 的最高值区位于中 国西北地区,为 59.3 μmol • L⁻¹; 日本及其南部 海域以及东南亚地区在 10~20 μmol・L⁻¹之间变 动;其他地区均在低于 10 μmol • L⁻¹的范围内。 降水化学成分阴离子 Cl⁻、SO₄⁻、NO₃⁻的地 3.2 理分布特征 经分析比较可以得知:(1) Cl⁻浓度(图 2b) 的高值区位于日本及其南部海域和中国西北地区,

(1) Na⁺浓度(图 2b) 高值区位于日本及其 南部海域、中国西北地区和东南亚地区,其中最 高中心值为 219 μmol • L⁻¹位于日本; 而低于 15 μ mol·L⁻¹的低值区位于中国西南和东南地区、 俄罗斯、蒙古、中南亚地区; 韩国和中国华南地 区在 25~45 μmol • L⁻¹ 区间波动。(2) 中国西北 和西南两地区 Ca²⁺浓度(图 2a)含量高且超出其 他国家, 尤其是西北地区为 755 μmol • L⁻¹, 表 现最为明显;而日本及其南部海域和韩国含量低

与	促	与	环	谙	研	容	
- U	医		- 1	児	1W	フレ	

<u>v</u> 1	ス -	_	-1	ってい	11	7u
Climatic	and	Env	ironn	nenta	l Re	search

10 卷 Vol. 10

其中高值中心位于日本,为 208 μmol • L⁻¹; 俄 罗斯、蒙古和中南亚地区为低值区,其中俄罗斯。 最低,为5.3 μmol·L⁻¹;其他地区则在 32~60 μ mol·L⁻¹间。(2)中国西北地区和西南地区为 SO²-(图 2a) 高值区,其中最高中心值为 768 μ mol·L⁻¹位于西北地区,远高于东亚其他各地 区; 日本南部海域、中南亚地区、俄罗斯、蒙古 和中国华南地区为低值区;其他地区变动范围则 在 20~40 µmol · L⁻¹间。(3) NO₃ (图 2a) 峰值 区出现在中国西北地区为 168 μmol · L⁻¹,其值 远高于东亚其他各地区;低值区位于日本南部海 域为 5.1 μmol • L⁻¹; 其他各地区含量约在 10~ 50 μ mol·L⁻¹间。

形成的 NH₃易挥发到大气中,缓和了酸性作用, 从而降低了雨水酸度15。虽然北方降水未被酸 化,但是诸离子含量过高,仍对生态环境构成严 重危害。日本降水中 Na⁺、Cl⁻含量远高于东南亚 滨海地区,主要原因是受到海洋源的影响,因为 与南海区相比东海海域 Na⁺、Cl⁻ 含量高, 这主 要是由于两个海域盐度分布不同造成的。海洋表 面盐度的分布从副热带海区分别向两侧的高纬度 和低纬度递减,日本西海岸降水与东海海域相 似^[16]。而内陆地区蒙古 Ca²⁺ 及中国西北地区 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^- 离子含量均高,主要原 因是由于其为沙尘源区或为沙尘路径之地,沙尘 粒子中主要含有 Ca²⁺、SO²⁻、Na⁺、Cl⁻ 等离 子^[17](其中 SO²⁻主要是源于人为污染)。另外降 水中的 NO₃ 离子一部分主要源于人为或工业污染 源排放的 NO_x和尘埃,还有相当部分的 NO₃ 则可 能来自空气放电产生的 NO_x^[18]。

3.3 降水化学成分各种离子地理分布的分析

综合上述分析,降水化学成分各离子含量随 地理位置变化明显,如东部滨海地区的日本及其 南部海域降水中 Na⁺、Cl⁻含量居东亚地区之首, 而中国西北地区 Ca²⁺、SO₄²⁻、NO₃⁻、NH₄⁺、 Mg²⁺、K⁺含量最高,降水酸度主要受阳离子 Ca^{2+} 、NH⁺和阴离子 SO²⁻₄、NO⁻₃ 的影响。为何 我国西北地区诸离子以及酸根离子明显高于东亚 其他地区却未成为酸雨区, 而南方地区却容易成 为酸雨区,究其原因大致如此:其一中国独特的 土壤地质结构,即北方偏碱性,南方偏酸性。这 主要归因于我国降水中的主要碱性物质为 Ca²⁺、 Mg²⁺、NH⁺4化合物,它们主要来自土壤,土壤中 碱金属 Ca、Na 等含量由南至北逐渐递增, 尤其 是过淮河和秦岭后迅速增加^[13,14]。从而导致了我 国酸雨区发生在土壤碱性含量低的南方地区。其 二,年均降水量与降水酸性有一定的关系,2001 年东亚地区各地年均降水量分别为: (1) 中国: 西北地区 214.0 mm, 西南地区 730.9 mm, 东南 2 388.7 mm, 华南 2 280 mm; (2) 东部海滨地 区: 日本陆地 1 545.3 mm, 其南部海域 1 965.7 mm, 韩国 1 184.1 mm; (3) 内陆地区: 蒙古 127.2 mm, 俄罗斯 427.1 mm; (4) 中南亚半岛 地区(泰国、越南)1600.0 mm,东南亚地区 (菲律宾,印尼,马来西亚)2059.6 mm。一般说 来我国酸雨区主要集中在年降雨量大于 800 mm 的区域,重酸雨区在降水大于1200 mm的区域。 降雨量大的南方地区植被好,土壤颗粒不易进入。 大气,而北方植被自然条件差,土壤中各种途径

降水化学成分的时间分布特征 4

上节分析了降水化学成分的地理分布,得出 不同区域降水化学成分浓度差异较大,下面主要 研究东亚地区降水化学成分的季节变化。在现有 的东亚酸沉降监测网 (EANET) 月加权平均资料 的基础上,以3~5月加权平均浓度作为春季降水 的各化学成分平均浓度,依此得到夏季、秋季、 冬季降水的各化学成分平均浓度,如图3。

降水化学成分阳离子 Na⁺、K⁺、Ca²⁺、 4.1 NH_4^+ 、 Mg^{2+} 的季节变化

Na²⁺ (图 3a) 的季节变化最为显著区位于日 本及其南部海域和中国西北地区。冬春季日本高 值中心分别为 432.7 和 269.9 µmol·L⁻¹;中国西 北地区降水含量中的变化趋势为春季>夏季>秋 季>冬季,其中春季含量高于日本南部海域,秋 季高值区则位于日本及其南部海域,最高值在南 部海域为 449.3 μmol • L⁻¹; 夏季日本南部海域 和中国西北地区含量变化明显;韩国冬春季变化 大于夏秋季,东南亚地区春夏季大于秋冬季,表 现也较明显;其他地区四季变化则不明显。K⁺ (图 3b)季节变化总体趋势不很明显,除中国西 南、西北和东南地区春夏冬季以及东南亚地区春 季明显些外(如夏季中国西南和西北地区含量较)

No. 1 Analysis of the Spatial-Temporal Distribution and Ion Features of Components of Precipitation in East Asia 119



罗 S 蒙 S 西 S 西 S 东 S 牟 S 街 S 南 S 南 S 南 S 南 S 南 S 南 S 南 S 南 S 南	罗 S 蒙 S 西 S 西 S 东 S 牟 S 有 S 南 S 南 S 南 S 南 S 南 S 南 S 南 S 南 S 南
日 水、水、水、水、水、水、水、水、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、	日本が、「「「「「」」」で、「「」」」で、「「」」」で、「」」で、「」」、「」」、「」

图 3 东亚地区降水离子浓度季节变化示意图。

Fig. 3 seasonal variation chart of ions concentration of rainfall in East Asia. SWC the southwestern China, NWC the northwestorn China, SEC the southeastern China, SC the southern China, CRSA the central region of South Asia, ERSA the east region of South Asia, SRSJ the sea region of the south Japan

(a) Na^+ ; (b) K^+ ; (c) Ca^{2+} ; (d) NH_4^+ ; (e) Mg^{2+} ; (f) Cl^- ; (g) SO_4^{2-} ; (h) NO_3^-

1期

气候与环境研究

Vol. 10	Climatic and Environmental Research		
也地区值大致在 20~50 季则位于日本东南部海 京王其他	低为 12 µmol • L ⁻¹ ,其 µmol • L ⁻¹ 区间变化; 域为 156 7 mol • L ⁻¹	,以西南地区 8 μ mol·L ⁻¹ 表现更为明显);春 明显区位于中国西北地区和东南亚地区,分别	高, 季明 <u></u>
局了 <u>英</u> 他 牧 ዓ 亚 地 丘, 及韩国。而四季变化不	域为 150.7 μmor · L , 如中国西南和西北地区	39 和 27 μ mol·L·; 秋孕则位于四角地区为 2 μ mol·L ⁻¹ 。其他地区均在 20 μ mol·L ⁻¹ 左	刃 39 39.2
古国以及中南亚地区。]显区,春季位于中国西	明显地区有俄罗斯、雾 SO₄→(图 3g)季节变化	变化。Ca ²⁺ (图 3c)季节变化显著区位于中国 北地区,且春季>夏季>秋季>冬季,分别为	右变⁄ 西北:
变化最明显区域是中国 冬季在中国西北、西南	北和西南以及韩国,其□ 西北为 658 µmol•L ⁻¹ ;	7.2、460.3、267.1、206.4 μmol・L ⁻¹ ;而西 地区和东南沿海地区却是冬季>春季>秋季>	597.2 南地
北地区最明显为 675国西北地区和西南地区,	和东南地区,其中以ī μmol·L ⁻¹ ;夏季位于中	季;但东南沿海地区和华南地区春夏季含量低 化不明显;除此之外还存在其他较明显的地区,	夏季 变化
$2 \mu \text{mol} \cdot L^{-1}$ 最为明显; 西南地区。西中国西南	其中以中国西北地区 322 秋季则主要在中国西北3	蒙古国春夏秋季、韩国春季和东南亚夏季;其	如蒙
为明显。其他地区则四	地区 165.7 μ mol·L ⁻¹	明显区位于中国西南地区和西北地区,其中变	化明
(图 3h) 季节	李少变化或不明显。NO	最明显为西南地区冬季 377.5 μmol・L ⁻¹ 和秋	化最

10卷

季 173.3 μmol · L⁻¹,以及西北地区春季 199.4 µmol • L⁻¹和夏季 153.4 µmol • L⁻¹; 另外变化较 为明显的有蒙古国秋季和韩国春冬季;东南亚地 区四季大致相同为 50 μmol·L⁻¹,变化平稳;而 日本南部海域含量最低季节变化不明显。Mg²⁺ (图 3e) 春季含量高的地区覆盖中国西北地区、东 南亚地区、日本,韩国,其中最高值中心出现在 中国西北地区为44.7 μmol·L⁻¹,最低位于中国 东南地区,其他地区大致在 5~10 μmol • L⁻¹间 变化; 夏季高值区则在中国西北地区和日本南部海 域,其中中国西北地区变化明显为 34.1 μmol • L⁻¹, 其他地区则在 0~10 μmol • L⁻¹间波动; 秋季日 本南部海域和中国西北地区含量高,其中高值中 心位于日本南部海域为 48.6 μmol • L⁻¹, 日本和 中国东南地区相近约为 12 μmol·L⁻¹,其他地区 则在 5~10 μmol • L⁻¹间波动;冬季高值区位于 日本及其南部海域以及中国西南、西北和东南地 区,而日本最高为 44 µmol・L⁻¹,其他地区在 $5 \sim 10 \ \mu mol \cdot L^{-1}$ 间呈小波动变化。

区,春季位于韩国和中国西北、西南和东南地区, 而中国西北地区 110.7 μmol • L⁻¹ 为最高, 日本 和东南亚地区相近约 32 μmol·L⁻¹; 夏季位于中 国西北和西南地区以及东南亚地区,其中变化最 明显区为中国西北地区 136.5 μmol • L⁻¹; 秋季 位于中国、蒙古、东南亚地区,其中中国东南地 区最高为 75 μmol • L⁻¹; 冬季则出现在中国西 南、西北、东南和华南地区以及韩国,而以中国 西南地区 96.8 μmol • L⁻¹最为明显。其他地区四 季则大致在 20 μmol • L⁻¹内波动。

概而言之, 东亚地区各离子随季节变化明显。 除部分源自人为或工业排放源影响外(如北部地 区冬季取暖),东亚地区气候呈季节变化也是影响 的主要因子之一。如:(1)春季北部地区是多风 季节,此季节沙尘源区沙土松散,有利扬沙,因 而沙尘源区沙尘扬沙频繁; (2) 春季沙尘源区上 空存在较强的西风带,在天气系统冷锋影响下, 沙尘粒子易随大风扬起而由锋前强烈抬升气流输 送到对流层中层, 在高空西风急流作用下输送到

4.2 降水化学成分阴离子 CI^- 、 SO_4^- 、 NO_3^- 季节 变化特征

由图 3f 可见, Cl⁻ 含量随季节变化异常明显 的地区位于日本,如冬春季分别为437.9和296.8 μmol·L⁻¹,其中冬季较明显区有日本南部海域、 韩国以及中国西南、东南和西北地区; 春季较明 显区有日本及其南部海域、韩国和中国西北地区; 秋季明显区位于日本及其南部海域,其中最明显。 区南部海域为 486.3 μmol • L⁻¹, 中南亚地区最

下游地区。

东亚地区降水主要酸化离子含量 5 的变化趋势

东亚地区降水离子含量随着工业结构的调整。 已发生变化。我国环保总局 2003 年环境公报所 示:酸雨区域分布格局基本不变,降水年均 pH 值小于 5.6 的城市主要分布在长江以南、青藏高

No. 1 Analysis of the Spatial-Temporal Distribution and Ion Features of Components of Precipitation in East Asia 121

原以东地区和四川盆地;华东、华南、华中和西 南地区降水酸度强,酸雨频率高,为酸雨污染严 重的中心区域;同时酸雨面积近年来有进一步扩 大态势。依据以往研究^[19],中国、日本、美国降 水化学组分对比分析结果表明:虽然三国均有酸 雨,但成分各不相同。日本降水中 Na⁺和 Cl⁻浓 度很大,主要是海盐成分,占65%;而在美国交 通工业影响很大,H⁺浓度占 61%;中国降水中 SO_4^- 、 Ca^{2+} 和 NH₄⁺浓度很高,主要受陆地源影 响,占77%。中国各地降水酸度和化学组分也存 在明显差异,长江以南有严重酸雨,北方一般无 酸雨但雨水中离子浓度高,其中 Ca²⁺、Mg²⁺、和 Na⁺比南方高 2~4 倍, SO²-高 1.3 倍。在中国 SO²⁻是主要阴离子,西北和川黔地区所占比例高 达 81%, Ca²⁺和 NH₄⁺在北方的阳离子中比例很 高,西北雨水中 Ca²⁺ 浓度最大, 而华东地区降水 离子中 NH₄⁺浓度较高。酸雨形成是大气中发生 的错综复杂的物理和化学过程,其主要因素是 SO₂和 NO_x在大气或水滴中转化为硫酸和硝酸所 致。过去我国这两种酸占酸雨总量的 90%,且硝 酸含量不及硫酸的 1/10,因此我国的酸雨为硫酸 型,又因其主要是大气中 SO₂ 造成的,也称之为 煤烟型酸雨, 燃煤排放 SO₂是酸性降水的主要致 酸物^[20]。 通过对比分析发现,现今东亚降水成分中其 他离子浓度基本和往年相近,但是 NO₃[−]离子含 量比例逐年增加。根据文献^[21]将表征降水酸性强 度 P (pH 值) 划分为 4 档, 分别表示为: 碱性 $P_1 \ge 5.6$, 轻度酸性 5.0 $\le P_2 < 5.6$, 酸性 4.5 \le $P_3 < 5.0,$ 强酸性 $P_4 \leq 4.5$; 并将酸雨类型的特征 参量 A = [SO₄⁻] / [NO₃⁻] 划分为 3 档,分别 为: 硝酸型或燃油型 A₁≤0.5, 混合型 0.5<A₂< 3.0, 硫酸型或燃煤型 $A_3 \ge 3$ 。计算结果如下(图 4 和图 5): (1) 中国: 西南、东南以及华南地区 降水均已酸化,其中西南地区的降水表现为强酸 性,其酸雨为硫酸型(燃煤型),东南和华南地区 为混和型,尤其是西北地区,其降水虽未被酸化, 但污染程度极其严重。(2) 东部海滨地区: 日本 降水显示为酸性,其南部海域呈轻度酸性,均为 混合型; 韩国雨水酸化, 属混和型。(3) 内陆地 区:蒙古国降水未被酸化;俄罗斯降水为轻度酸





图 5 东亚地区各地酸雨分型 [SO4-] / [NO3-] 示意图 Fig. 5 Classified types [SO4-] / [NO3-] chart of acid rains in East Asia

性,属混合型。(4)中南亚半岛地区(泰国、越南)雨水均呈轻度酸性,属混合型;东南亚地区(菲律宾、印尼、马来西亚)降水均呈轻度酸性,属混合型。这表明除中国西南工业欠发达地区仍为硫酸型外,东亚其他酸雨区均为硫酸和硝酸混合型。[SO²⁻]/[NO³]比值,往年中国在5~10之间^[22],日本约为3.2^[23],韩国约为2.3^[24];现今中国西南地区在3~5之间,东南和华南地区在0.5~3之间,日本为1.5,韩国为0.99。

6 结论

(1) 东亚地区降水化学成分表现出明显的地 域特征,东部滨海地区的日本及其南部海域降水 中Na⁺、Cl⁻含量居东亚地区之首,而中国西北

1期

与	促	L H	环	谙	研	容	
L.	一次		- P P	児	ገሥ	プレ	

Climatic and Environmental Research

地区 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^{-} 、 NH_4^+ 、 Mg^{2+} 、 K^+ 含量最高。降水酸度主要受阳离子 Ca^{2+} 、 NH_4^+ 和阴离子 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 的影响。

(2)东亚地区降水化学成分季节变化明显。 除部分源自人为或工业排放源影响外(如北部地 区冬季取暖),东亚地区气候呈季节变化也是影响 的主要因子之一。如:春季沙尘源区沙尘扬沙频 繁,其上空存在较强的西风带,在天气系统冷锋 影响下,沙尘粒子易随大风扬起而由锋前强烈抬 升气流输送到对流层中层,在高空西风急流作用 下输送到下游地区。

(3)随着东亚地区工业的迅速崛起,其降水 化学特性已发生质的变化,除中国西南工业欠发 达地区仍为硫酸型外,降水酸化由以往的硫酸型 转为硫酸和硝酸混合型。 Cheng X J. Simulations of monthly mean nitrate concentrations in precipitation over East Asia. Atmospheric Environment, 2002, 36: 4195~4171

[8] 杨东贞,周怀刚,张忠华,等.中国区域空气污染本地站的降水化学特征.应用气象学报,2002,13(4):430~ 439

> Yang Dongzhen, Zhou Huangang, Zhang Zhonghua et al. Chemical characteristics of precipitation in region air pollution background stations of China. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 2002, 13 (4): 430~ 439

[9] 王自发,黄美元,高会旺,等.关于我国和东亚酸性物质 输送研究 II: 硫化物浓度空间分布特征及季节变化.大气 科学,1998,22(5):689~700

> Wang Zifa, Huang Meiyuan, Gao Huiwang et al. Studies on transport of acid substance in China and East Asia. part

不足之处:由于东亚地区监测网在一些地区 布点太少(如在中国、蒙古国、俄罗斯等地),在 某些地方数据资料缺乏代表性,难免出现一定的 偏差,有待数值模拟的进一步解释。

参考文献

- Shah J, Nagpal T, Johnson T, Amann M, Carmichael G,
 Foell W, Green C, Hettelingh J P, Hordijk L, Li J, Peng
 C, Pu Y, Ranankutty R, Streets D. Integrated assessment
 model for acid rain in Asia: Policy implications and results
 of rains-Asia model, Annual Review of Energy and Environment, 2000, 25: 339~375
- [2] Streets DG, Carmichael GR, Amann M, Arndt RL. Energy consumption and acid deposition in northern Asia, Ambio, 1999, 28: 135~143
- [3] Galloway J N, Zhao D, Xinng J, Likens G E. Acid rain:
 China, United States, and remote area. Science, 1987,
 236: 1559~1562

- II: spatial distribution of sulfur and its seasonal variation. Scientia Atmospherica Sinica (in Chinese), 1998, 22 (5): $689 \sim 700$
- [10] Ichikawa Y, Amann M, Carmichael G R. Conference report. Atmos. Environ., 2001, 35: 4527~4529
- [11] Carmichael G R, Hayami H, Calori G, Uno I, Cho S Y, Engardt M, Kim S B, Ikeda Y, Amann M. Model Intercomparison study of long range transport and sulfur deposition in East Asia (MICS~Asia). Water, Air, Soil Poll., 2001, 130: 51~62
- [12] Carmichael G R, Calori G, Hayami H, Uno I, Cho S Y, Engardt M, Kim S B, IKeda Y, Woo J H, Ueda H, Amann M. The MICS-Asia study: model inter-comparison of long range transport and sulfur deposition in East Asia. Atmos. Environ., 2002, 36: 175~199
- [13] 王文兴,岳燕珍,张婉华,等.影响我国降水酸性因素的研究.中国环境科学,1993,13(6):401~407
 Wang Wenxing, Yue Yanzhen, Zhang Wanhua, et al. Study on factors related to acidity of rain water in China. China Environmental Science (in Chinese), 1993, 13(6): 401~407
- [14] 王文兴. 中国酸雨成因研究. 中国环境科学, 1994, 14 (5): 323~329
- [4] Weng J H. Study on acidic deposition in Beijing. Water
 Quality Research, 1993, 88: 5343~5352
- [5] Dokiya Y, Miyakoshi N, Hirooka t, Yamashita J, Ishikawa, S, Ohya M, Suguya J. Long range transport of sulfur compounds over the western North Pacific: Deposition samples obtained on islands. Journal of Meteorological Society of Japan, 1995, 73: 873~881
- [6] Fujita S, Takahashi A. Acidic deposition in the East Asia; design of the cooperative monitoring network for chemistry of precipitation. *CRIEPI Rep.* 1994, No. T3091, 35
 [7] An Junling, Ueda H, Wang Z F, Matsuda K, Kajino M,
- Wang Wenxing. Study on the origin of acid rain formation in China. *China Environmental Science* (in Chinese), 1994, **14** (5): 323~329
- [15] 冯砚青.中国酸雨现状和自然成因综述及防治对策研究. 云南地理环境研究,2004,16(1):25~28

Feng Yanqing. Summary of acid rain status, causes of natural formation and counter measures research in China. Yunnan Geographic Environment Research (in Chinese), 2004, 16 (1): $25\sim28$

[16] 吴玉霞, 沈志来, 黄美元. 东海海域春季降水的化学特征. 环境科学学报, 1998, **18**(4): 362~366

No. 1 Analysis of the Spatial-Temporal Distribution and Ion Features of Components of Precipitation in East Asia 123

Wu Yuxia, Shen Zhilai, Huang Meiyuan. Chemical character of spring precipitation over the East Sea Region. Acta Scientiae Circumstiae (in Chinese), 1998, **18** (4); 362~366

- [17] 刘明哲,魏文寿,高卫东,等.沙尘源区和沉降区气溶胶 粒子的理化特征.干旱区地理,2003,26(4):334~339 Liu Mingzhe, Wei Wenshou, Gao Weidong, et al. Physiochemical properties of the atmospheric aerosol particles over the sand-dust source areas and sedimentary areas. Arid Land Geography (in Chinese), 2003, 26(4): 334~339
- [18] 杨昂,孙波,赵其国.中国酸雨分布、成因及其对土壤的 影响.土壤,1999,31(1):13~18

Yang Ang, Sun Bo, Zhao Qiguo. Distribution and mechanic of acid rain and its influence to soil. *Soil* (in Chinese), 1999, **31** (1): 13~18

[19] 黄美元,沈志来,洪延超.半个世纪的云雾、降水和人工 影响天气研究进展.大气科学,2003,**27**(4):536~551 报,1998,25 (2):206~210

Hua Rimao, Li Xiangqiong. Advance of research of acid rain in China. Journal of Anhui Agriculture University (in Chinese), 1998, 25 (2): $206\sim210$

- [21] 程新金,黄美元. 降水化学特性的一种分类分析方法. 气候与环境研究, 1998, 3 (1): 82~88
 Cheng Xinjin, Huang Meiyuan. A classification method to analyze the chemical characteristics of precipitation. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1998, 3 (1): 82~88
- [22] 任仁.中国酸雨的过去、现在和将来.北京工业大学学报, 1997, 23 (3): 128~132

Ren Ren. On acid rain in China: past, present and its future. Journal of Beijing Polytechnic University (in Chinese), 1997, 23 (3): 128~132

[23] Hiroshi H. Acid deposition chemistry in Asia Europe and

Huang Meiyuan, Shen Zhilai, Hong Yanchao. Advance of research on cloud and precipitation weather modification in the latest half century. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27** (4): 536~551

[20] 花日茂,李湘琼.我国酸雨的研究进展.安徽农业大学学

America. Progress in Nuclear Energy, 1998, 32: 331~ 338

[24] Lee K B, Hong H S, Lee S D. Chemical composition of precipitation and wet deposition of major ions on Korea peninsula. *Atmospheric Environment*, 2000, **34**: 563~575

.

.

