

文章编号:1000-694X(2003)04-0408-07

# 中国西北沙尘源区与日本沉降区大气气溶胶 粒子理化特征及对比

刘明哲<sup>1</sup>, 魏文寿<sup>1</sup>, 周宏飞<sup>1</sup>, Sadayo Yabuki<sup>2</sup>

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆乌鲁木齐 830011; 2. The Institute of Physical and Chemical Research, Wako Saitama 351 - 0198, Japan)

**摘要:** 无论有无沙尘暴, 低层大气气溶胶粒子浓度几乎不随高度变化。在沙尘源区, 大气气溶胶粒子主要来源于地面沙尘, 沙尘暴发生时气溶胶粒子的浓度大增, 浓度峰值向粗粒径范围移动; 在沙尘沉降区日本, 当浮尘期时气溶胶粒子有地面沙尘和工业排放物两个来源, 形成双峰型分布, 当非浮尘期时气溶胶粒子主要是工业排放物来源, 在  $< 2.1 \mu\text{m}$  细粒径范围形成一个峰值。水溶性成分也不相同, 沙尘源区粒子以  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  等沙尘来源离子为主, 在  $3.3 \sim 4.7 \mu\text{m}$  形成浓度峰值; 沙尘沉降区以  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$  等工业来源离子为主, 在  $< 2.1 \mu\text{m}$  形成峰值。沙尘源区气溶胶粒子水不溶相都表现出 K、Na 元素亏损的特征, 说明其气溶胶粒子是上部陆壳经过 K、Na 大陆化学风化的产物。

**关键词:** 气溶胶粒子; 地面沙尘; 工业排放物; 成分

**中图分类号:** P402      **文献标识码:** A

中国西北地区是我国沙尘暴发生次数频繁、发生强度最大的地区, 特别是塔里木盆地的塔克拉玛干沙漠和从巴丹吉林沙漠东部经腾格里沙漠至毛乌素沙地这两个区域是中国沙尘暴集中的地区, 也是亚洲大气沙尘的主要源区之一<sup>[1]</sup>。近年来发生的大沙尘暴源地均位于中国西北地区的新疆、甘肃和内蒙的干燥沙漠或戈壁地带<sup>[2]</sup>。这些地区的沙尘暴以春季最为多发, 约占全年总数的 1/2, 夏季次之, 秋季最少。这些沙尘暴不仅横扫我国华北地区, 甚至远征数千公里, 沉降在遥远的北太平洋<sup>[3]</sup>。据研究, 由这些地区起源的沙尘既对全球气候有影响, 又对全球化学物质的循环有重要意义<sup>[4]</sup>。根据 IPCC1995 年出版的报告, 在全球尺度的辐射平衡中, 大气气溶胶中的矿物质颗粒持续的时间和空间、粒子的物理化学性质是变率最大, 也是最难确定的部分, 这导致全球辐射研究和气候预测的不准确<sup>[5]</sup>。据 Zhuang 等人的研究, 来自亚洲源区的沙尘, 约有一半最后被输送到遥远的北太平洋, 并为大洋表层提供可溶解于表层海水, 从而可供生物吸收的营养元素铁, 引起了某些海区生产力的大幅度上升<sup>[6]</sup>。但总的来说, 目前世界上对亚洲源区沙尘所做的物理化学特征方面的研究也不多, 取得成果的更少。

为了对以上这些问题有更好的了解, 2001 年开

始了一项针对亚洲沙尘源区的国际性的中日合作研究。我们在亚洲主要沙尘源区的塔里木盆地和腾格里沙漠分别设立了大气气溶胶粒子采样器, 日本埼玉县和光市作为沙尘沉降区也设立了气溶胶粒子收集器作为对比。采集样品包括总悬浮颗粒物(TSP)和粒径分级样品。本文就沙尘源区和沉降区这一年来收集的大气气溶胶粒子样品所做的测量、实验、分析结果, 研究了各地气溶胶粒子的物理化学特征, 旨在探讨: 沙尘源区和沉降区气溶胶粒子的物理化学特征及其差异; 沙尘源区与沉降区气溶胶粒子的来源是否有不同, 原因是什么; 各地气溶胶粒子经历的化学风化。

## 1 采样

使用日本 SIBATA 公司生产的安得森型小流量气溶胶粒子粒度分级采样器(Sibata An200)。此种分级采样器流速恒定, 粒度分级精确, 气溶胶采样和粒度分级一次性完成, 是目前世界上较为先进的气溶胶采样器。采样器共分为 9 层, 由下而上粒度分级为  $0 \sim 0.43$ ,  $0.43 \sim 0.65$ ,  $0.65 \sim 1.01$ ,  $1.01 \sim 2.1$ ,  $2.1 \sim 3.3$ ,  $3.3 \sim 4.7$ ,  $4.7 \sim 7.0$ ,  $7.0 \sim 11.0$  以及  $> 11.0 \mu\text{m}$ , 除了最下面两层使用石英滤膜外, 以上 7 层使用聚四氟乙烯树脂滤膜。滤膜直径 80 mm。采

收稿日期: 2002-02-22; 改回日期: 2002-05-21

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-305)

作者简介: 刘明哲(1970—), 男(汉族), 新疆博乐人, 助理研究员, 主要从事荒漠环境及气溶胶研究。E-mail: liumingzhe@westj.net

样时气流流量设定为  $28.3 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 。总颗粒物使用日本 SIBATA 公司生产的大流量气溶胶采样器采集 (Sibata, HV1000F), 此种总颗粒物采样器采用微机自动控制气体流量, 因此气体体积测量非常精确; 采样时气流流量设定为  $1000 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ , 流速大, 保证了气溶胶中各粒级的颗粒都能够被完全采集, 是目前世界上最先进的总颗粒物采样器。采样地点共设立了 4 个, 其中沙尘源区 3 个: 和田是塔里木盆地的沙尘暴中心<sup>[7]</sup>, 因此和田策勒县设一个, 位于中科院策勒治沙研究站, 距离和田策勒县 5 km, 地理坐标  $37^{\circ}01' \text{ N}, 80^{\circ}44' \text{ E}$ , 采样器设置在一个两层楼的顶上, 高 7 m; 塔克拉玛干沙漠北缘一个, 位于中科院阿克苏水平衡实验站, 距离阿克苏市 80 km, 地理坐标  $40^{\circ}37' \text{ N}, 80^{\circ}44' \text{ E}$ , 采样器设在一个气象观测塔上, 分两层设置, 分别放在 7 m 和 17 m 高度; 腾格里沙漠东缘一个, 位于中科院沙坡头沙漠试验研究站, 距离宁夏中卫市 6 km, 地理坐标  $37^{\circ}27' \text{ N}, 105^{\circ}01' \text{ E}$ , 采样器设在高 4 m 的屋顶上。沙尘沉降区设了一个, 位于日本埼玉县和光市市区日本理化研究所院内, 采样器放在一个高 20 m 的楼顶上。从 2001 年 3 月开始采集气溶胶粒子样品, 3~6 月沙尘暴频繁期每月采集样品两次, 其它月份每月采集一次。

## 2 分析测试

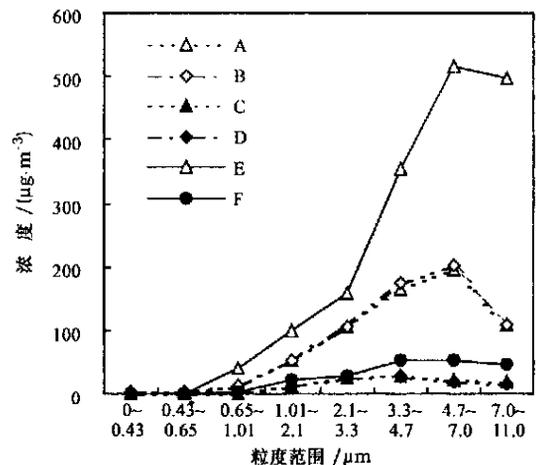
样品采集后立即称重, 测量仪器使用日本精密电子天平, 精确度达到  $0.00001 \text{ g}$ , 称重后样品立即被放于清洁的聚乙烯封口袋中。所有操作过程均进行严格控制, 排除了一切可能的人为污染。

化学分析和测试主要在日本理化所进行。每次取滤膜的四分之一就足够测试样品的水溶性离子含量和水不溶相成分。分析过程如下: 首先把样品放入去离子纯水中, 进行 20 min 超声波振荡, 使样品中的水溶性成分充分溶解, 然后对水溶液进行离子浓度分析。  $\text{NH}_4^+$  离子浓度用靛酚法测定, 其它阳离子和  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、和  $\text{SO}_4^{2-}$  等离子浓度用离子色谱分析法测定 (Dionex 2020i)。去除水溶性离子后剩余的水不溶相成分被放入装有  $\text{HF}-\text{HClO}_4-\text{HNO}_3$  组成的混合酸的高压釜 (由聚四氟乙烯材料制成) 中, 然后拧紧容器, 并加热到  $220^\circ\text{C}$ , 使水不溶相样品完全分解, 然后用感应耦合等离子体原子发射分光光度计 (Nippon Jarrel-Ash ICAP-575 和 Seiko SP7000A) 测量 Na、Mg、Al、K、Ca 和 Fe 等主要元素的含量。所有样品的分析测量都在高洁净度的实验环境中按规范进行。

## 3 结果与讨论

### 3.1 气溶胶粒子的质量浓度粒径分布

在 2001 年, 我们在 4 个采样点上都收集了许多气溶胶样品, 有沙尘暴期间的, 也有非沙尘暴时期的, 为了显示的清楚, 选用了各采样点有代表性且时间相近的 4 次采样数据的平均值用来作图。由于安得森采样器最上层的粒径范围是  $> 11 \mu\text{m}$ , 其上限不能确定, 不具有可比性, 并且根据钱宁等的研究, 粒径  $> 11 \mu\text{m}$  的气溶胶粒子在大气中停留时间很短, 只有 1~8 h, 运动距离也很有限, 最大只有 50 km, 飘扬高度在 800 m 以下<sup>[8]</sup>, 对于研究大范围气溶胶的影响意义不大, 因此舍弃不用。各采样点  $0.0 \sim 11.0 \mu\text{m}$  分级粒径如图 1、图 2。

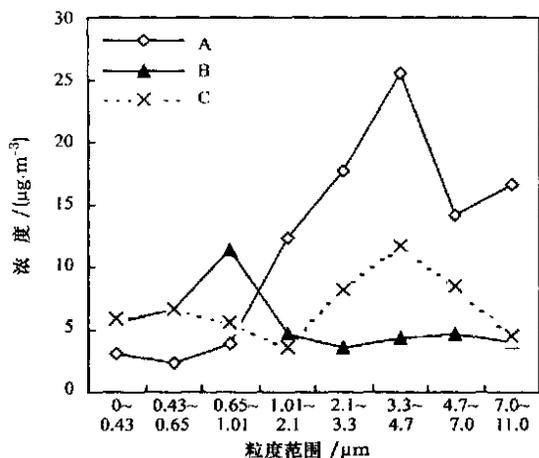


A. 阿克苏 7 m 高度沙尘暴期间; B. 阿克苏 17 m 高度沙尘暴期间; C. 阿克苏 7 m 高度非沙尘暴期间; D. 阿克苏 17 m 高度非沙尘暴期间; E. 策勒沙尘暴期间; F. 策勒非沙尘暴期间

图 1 阿克苏、策勒沙尘暴与非沙尘暴期间气溶胶浓度的粒径分布

Fig. 1 Granularity distribution of aerosol particles when with dust-storm or without dust-storm in Aksu and Qira of Xinjiang

由图 1 可以清楚地看到阿克苏沙尘暴与非沙尘暴期间 7 m 和 17 m 高度的气溶胶粒子的粒径分布。在沙尘暴期间大气气溶胶粒子质量总浓度是非沙尘暴期间的 6 倍, 其中  $4.7 \sim 7.0 \mu\text{m}$  粒径范围粒子的浓度在两个时期的差别更是高达 20 倍。并且在沙尘暴时期最高浓度峰值位于  $4.7 \sim 7.0 \mu\text{m}$  粒径范围, 而非沙尘暴时期最高浓度却在  $3.3 \sim 4.7 \mu\text{m}$  粒径范围, 也就是说在非沙尘暴时期浓度峰值有向细



A. 沙坡头非沙尘暴期; B. 日本埼玉县非浮尘期;  
C. 日本埼玉县浮尘期

图2 沙坡头采样点非沙尘暴期与日本采样点浮尘期和非浮尘期大气气溶胶质量浓度的粒径分布

Fig. 2 Granularity distribution of aerosol particles when without dust-storm in Shapotou of China and with "Kosa" or without "Kosa" in Wako of Japan

粒径转移的趋势。无论是沙尘暴期还是非沙尘暴期,7 m 高度与 17 m 高度气溶胶粒子的总浓度、各不同粒径范围的粒子浓度及粒径分布和非浮尘期大气气溶胶质量浓度的粒径分布特征都惊人地相似,差别非常小,这说明在 7~17 m 的高差范围内,大气气溶胶及其性质没有什么不同。在低层大气 10 m 的高差不足以产生大气气溶胶的分异与分层。

从图 1 观察策勒采样点,发现其在沙尘暴期间的气溶胶粒子的粒径分布曲线基本上是单峰上扬的,粒径越大的粒子,浓度也就越高,最高值区域位于 4.7~11.0 μm 粒径范围。同是在沙尘暴期间,策勒采样点的气溶胶浓度比阿克苏的要高得多,0~11.0 μm 粒径范围的总浓度是阿克苏采样点的 2.5 倍,达 1 669 μg·m<sup>-3</sup>,并且粒径越大,浓度差别也越大,这可能是策勒采样点距离塔克拉玛干沙漠比阿克苏更近、更接近沙尘源地,并且风速也更大的缘故;非沙尘暴期间,策勒采样点大气气溶胶粒子浓度粒径分布显示出一个峰值,位于 3.3~4.7 μm 粒径范围,这与阿克苏采样点非沙尘暴期间的粒径分布特征是一致的。

由于沙坡头采样点的仪器安装较晚,没有采集到沙尘暴时期的样品,只能作非沙尘暴期间的气溶胶粒子的粒径分布图(见图 2)。从图 2 可以看出,在非沙尘暴期间,沙坡头气溶胶粒子浓度的粒径分布曲线为单峰型,在 3.3~4.7 μm 粒径范围有一个明显的峰值,这一特征与阿克苏、策勒在非沙尘暴期间气溶胶粒子浓度的粒径分布特征一致。

日本埼玉县和光市采样点由于远离沙尘源地,没有所谓的沙尘暴,只是在春季大气中有少许浮尘,日本人称其为“Kosa”<sup>[9]</sup>,因此把日本埼玉县分为浮尘期和非浮尘期。如图 2 所示,与沙尘源地采样点不同,在浮尘期气溶胶粒子的粒径分布是双峰型:一个峰位于 3.3~4.7 μm 粒径范围,这与阿克苏、策勒、沙坡头非沙尘暴期的波峰位置相似;另一个峰在 0.65~1.01 μm 粒径范围,两个峰以 2.1 μm 为分界;在非浮尘期,气溶胶粒子的粒径分布曲线只有一个峰,这个峰位于 0.65~1.01 μm 粒径范围。这个分布于 0.65~1.01 μm 的波峰特征是阿克苏、策勒和沙坡头采样点所没有的。根据后面所做的化学分析,浮尘期和非浮尘期在 0.65~1.01 μm 粒径范围的这个波峰的水溶性成分分布特征是相同的,其粒子中水溶性盐的比例很高,溶解于水中形成如 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 等离子,说明这个峰的粒子主要是由工厂排放的工业污染物形成;浮尘期的 3.3~4.7 μm 粒径范围的波峰却与此不同,水溶性盐的比例很低,其中又以 Ca<sup>2+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 离子为主,说明这个峰的离子主要来源于地面沙尘。日本浮尘期气溶胶粒子的双峰型粒径分布特征显示出此时气溶胶粒子有地面沙尘和工业排放物两个来源。

根据以上分析,我们发现:沙尘暴期间与非沙尘暴期间大气气溶胶粒子浓度及粒径分布特征差别很大。在沙尘暴期间,气溶胶粗颗粒物所占比重远远高于非沙尘暴时期,如阿克苏采样点,沙尘暴时期 3.3~11.0 μm 粒径范围粒子浓度是 483.3 μg·m<sup>-3</sup>,是非沙尘暴时期同粒径范围粒子浓度 67.5 μg·m<sup>-3</sup> 的 7 倍。而 0~3.3 μm 粒径范围沙尘暴时期只是非沙尘暴期间气溶胶粒子浓度的 3.7 倍。这说明沙尘暴发生时大气气溶胶粒子浓度在全部粒径范围都有增加,但粗颗粒物范围的增幅远远大于细颗粒物范围的增幅。阿克苏、策勒、沙坡头等不同沙尘源地非沙尘暴期间具有相同的粒径分布特征,都是单峰型分布,最高峰值都在 3.3~4.7 μm 粒径范围,这说明,这种峰值处于 3.3~4.7 μm 的单峰型分布特征是非沙尘暴时期气溶胶粒子的基本分布特征,不易发生改变。为什么会表现出这种特点,原因并不清楚,尚需进一步研究。日本埼玉县大气气溶胶粒子分布特征与阿克苏、策勒、沙坡头等沙尘源地不同,它的气溶胶粒子有地面沙尘和工业排放物两个来源。在春季浮尘期,两个来源的粒子共同作用,形成双峰型粒径分布特征,两者以 2.1 μm 为分

界;在非浮尘期,陆地起源的矿物粒子减少,只有工业排放物集中在 $<2.1\ \mu\text{m}$ 粒径范围,在 $0.43\sim 1.01\ \mu\text{m}$ 处成单峰。

### 3.2 气溶胶粒子的水溶性离子

#### 3.2.1 相对含量

气溶胶粒子的水溶性成分主要有 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 等阴阳离子。阳离子中以 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 含量最高,阴离子中以 $\text{SO}_4^{2-}$ 和 $\text{NO}_3^-$ 含量较高。由此推知水溶性盐主要是硫酸钙、氯化钠、硫酸铵或硝酸铵等。日本埼玉县的样品中水溶性离子的相对含量最高,达到气溶胶粒子总质量的35%,其次为沙坡头,达17%,策勒水溶性离子相对含量较低,只占粒子总量的6.4%。特别是 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 和 $\text{NH}_4^+$ 离子,不同采样点的相对含量差别很大,日本埼玉县和光市气溶胶粒子中这3种离子相对含量最高,达到总质量的31.7%,策勒的相对含量最低,只占2.4%; $\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 离子在各采样点样品中的相对含量相差不大,数值也比较小。

总的来说,气溶胶中工业排放物来源的粒子比重越大,水溶性成分的相对含量也就越高。这是由于工业排放物形成的粒子中硫酸盐、硝酸盐、胺盐是主要组成成分,而这些物质很容易溶解于水的缘故。阿克苏、策勒等地工业化程度很低,几乎没有工业排放物,又距离东部工业发达地区较远,因此 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 和 $\text{NH}_4^+$ 离子在其大气气溶胶粒子中的相对含量很少,而地面沙尘来源的 $\text{Ca}^{2+}$ 离子相对含量却较高。可以说, $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 和 $\text{NH}_4^+$ 这3种离子含量的多少充分反映了采样点受工业排放物污染的程度。

#### 3.2.2 绝对含量

图3和图4表明了阿克苏采样点非沙尘暴期间和日本埼玉县和光市浮尘期主要水溶性成分在不同粒径范围的绝对浓度分布特征。由图中可看出,各主要水溶性离子浓度在阿克苏和日本埼玉县具有不同的粒径分布特点:阿克苏样品中 $\text{SO}_4^{2-}$ 离子浓度的粒径分布曲线紧随 $\text{Ca}^{2+}$ 离子的分布曲线,显示这两种离子具有很高的相关性,说明在粒子样品中,它们是以硫酸钙的形式存在。相似地, $\text{Na}^+$ 和 $\text{Cl}^-$ 离子也有类似的特征,显示出阿克苏气溶胶粒子中有一定量的盐岩存在。在阿克苏气溶胶粒子中,各种水溶性离子都在 $3.3\sim 4.7\ \mu\text{m}$ 粒径范围有一个峰值,而在 $0.65\sim 1.01\ \mu\text{m}$ 粒径范围离子浓度却很小,没有峰;日本埼玉县的离子分布特征与阿克苏完

全不同, $\text{Ca}^{2+}$ 离子的含量很低, $\text{SO}_4^{2-}$ 离子的含量却很高, $\text{SO}_4^{2-}$ 离子浓度的粒径分布曲线完全没有跟随 $\text{Ca}^{2+}$ 离子的分布曲线,这说明日本埼玉县的 $\text{SO}_4^{2-}$ 离子和 $\text{Ca}^{2+}$ 离子没有相关性,在气溶胶粒子中它们不是以硫酸钙的形式存在。埼玉县样品中 $<2.1\ \mu\text{m}$ 细颗粒的质量浓度很低,其离子浓度却不低,尤其是 $\text{SO}_4^{2-}$ 和 $\text{NH}_4^+$ 离子的浓度,在 $0.65\sim 1.01\ \mu\text{m}$ 粒径范围含量最高,形成峰值,而在 $>2.1\ \mu\text{m}$ 的粗粒径范围含量很低,没有峰值,这些都与阿克苏明显不同,这说明日本埼玉县和光市大气气溶胶粒子中水溶性离子与阿克苏采样点具有不同的性质。由于工业污染离子易于在细颗粒上富集<sup>[10]</sup>,以上特征显示出气溶胶粒子不同的来源。阿克苏水溶性离子主

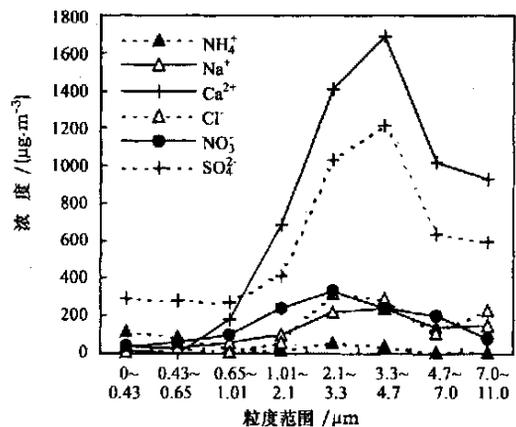


图3 阿克苏采样点非沙尘暴期水溶性离子含量粒径分布特征

Fig. 3 Granularity distribution of soluble aerosol components when without dust-storm in Aksu of Xinjiang

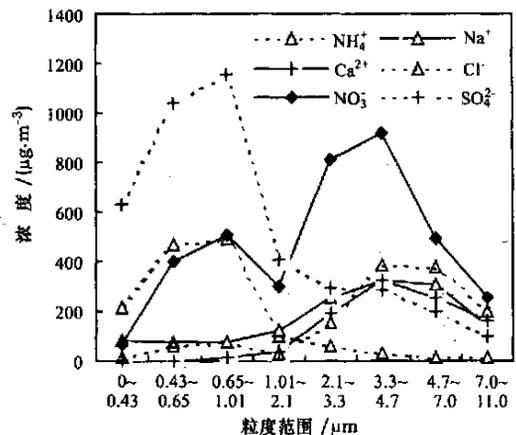


图4 日本埼玉非浮尘期水溶性离子含量粒径分布特征

Fig. 4 Granularity distribution of soluble aerosol components when without "Kosa" in Wako of Japan

要来源于地面沙尘,水溶盐主要是硫酸钙、盐岩等,离子浓度高峰位于 $3.3 \sim 4.7 \mu\text{m}$ 粒径范围。日本埼玉县水溶性离子的来源既有地面沙尘,又有工业污染排放物,从而形成两个峰值区:一个集中在 $0.65 \sim 1.01 \mu\text{m}$ 粒径范围,代表工业污染排放来源,以硫酸铵、硝酸铵或硫酸的形式存在于气溶胶中;另一个峰位于 $3.3 \sim 4.7 \mu\text{m}$ 粒径范围,代表地面沙尘来源,主要由硫酸钙、岩盐等组成。这两个峰规则地以 $2.1 \mu\text{m}$ 粒径为分界。我们知道, $\text{Ca}^{2+}$ 离子只能是地面沙尘起源<sup>[11]</sup>,没有工业性排放物来源,因此只集中在 $>2.1 \mu\text{m}$ 粒径范围,且在 $3.3 \sim 4.7 \mu\text{m}$ 粒径范围形成峰值。

造成日本埼玉县气溶胶粒子浓度及水溶性离子含量特征与沙尘源区不同的原因:一是由于日本是工业化程度很高的国家;二是日本埼玉县和光市采样点设在市区的内部,工业污染相对较重。在非浮尘期,由沙尘源区运送来的地面起源的浮尘较少,大气气溶胶粒子中工业污染物占据了明显的比例,并且工业污染物粒子的粒径大小比较一致,从而在工业污染物集中的 $<2.1 \mu\text{m}$ 粒径范围形成单峰,粒子质量浓度及水溶性离子浓度呈现单峰型分布特征。在春季浮尘期,亚洲沙尘源区扬沙,沙尘暴频繁发生,一部分沙尘随着大气运动来到日本,此时大气气溶胶粒子中既有沙尘源区来的地面起源的矿物粒子,又有工业起源的污染物粒子,从而形成双峰型粒径分布特征: $0.65 \sim 1.01 \mu\text{m}$ 粒径范围的峰由工业污染物形成, $3.3 \sim 4.7 \mu\text{m}$ 粒径范围的峰由沙尘源区地面沙尘起源的矿物粒子所形成。

使用以上得出的结论,观察沙坡头的水溶性离子的粒径分布,令人惊讶地发现,沙坡头的水溶性离子,特别是 $\text{SO}_4^{2-}$ 和 $\text{NH}_4^+$ 离子在 $<2.1 \mu\text{m}$ 范围具有较高的含量,这充分证明沙坡头的大气气溶胶中也有一定量的工业排放物来源的粒子,只不过所占比重较少而已。这说明,沙坡头采样点受工业化的影响比阿克苏和策勒要严重。这也许是由于沙坡头比塔克拉玛干沙漠更靠近东部工业发达地区的缘故。

因此,水溶性离子的粒径分布特征可以充分指示气溶胶粒子的来源,如果 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 等阴阳离子在 $>2.1 \mu\text{m}$ 粒径范围形成单峰型分布,说明此处受工业污染影响很小,大气气溶胶粒子主要来源于地面沙尘;如果这些阴阳离子只是在 $<2.1 \mu\text{m}$ 粒径范围形成单峰,则说明此处工业污染严重,大气气溶胶粒子主要来源于工业排放物;如果这些离子在粗粒径和细粒径分别形成峰值,则说明

大气气溶胶粒子有地面沙尘和工业排放物两个来源。

结合前面气溶胶粒子的质量浓度粒径分布特征一节中对日本埼玉大气气溶胶粒子的粒径分布特征所做的分析,可以发现,无论是物理粒径分析还是化学分析,都指出大气气溶胶粒子可以有两种来源:地面沙尘和工业排放物。工业排放物来源的粒子和粒子中的水溶性离子都主要集中在 $<2.1 \mu\text{m}$ 细粒径范围,在 $0.65 \sim 1.01 \mu\text{m}$ 粒径范围形成峰值,粒子主要由硫酸铵、硝酸铵、硫酸等水溶性成分组成;地面沙尘来源的粒子和粒子中的水溶性成分都主要集中在 $>2.1 \mu\text{m}$ 粒径范围,粒子主要由水不溶性成分组成,水溶性成分含量较少。在沙尘源区,气溶胶粒子的主要来源是地面沙尘,工业排放物来源的很少。在沙尘沉降区,例如日本,当浮尘期时,气溶胶粒子既有地面沙尘来源,也有工业排放物来源;非浮尘期时,气溶胶粒子的主要来源是工业排放物,从地面沙尘来源的较少。

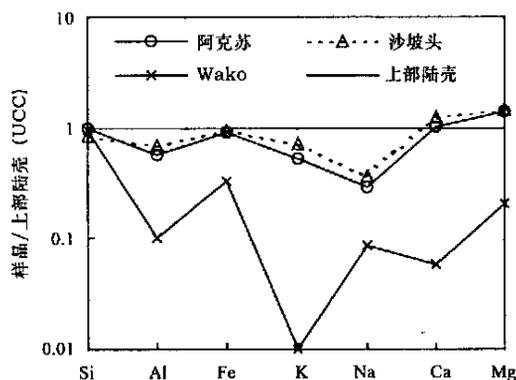


图5 三地气溶胶水不溶相主要元素的UCC标准化值比较

Fig. 5 The UCC standardized values of main water-insoluble aerosol elements in the three sampling sites

### 3.3 气溶胶粒子的水不溶相

气溶胶粒子中的水溶性成分一般只占总量的10%~20%,最多的,如日本埼玉县气溶胶粒子水溶性成分也只占到35%左右,另外的很大一部分是水不溶相物质。根据阿克苏、沙坡头、日本埼玉县非浮尘期3地气溶胶粒子的水不溶相主要元素含量的分析结果,与上部陆壳(UCC)的主要元素<sup>[12]</sup>进行对比,作出图5。图5中表明,日本埼玉县气溶胶粒子水不溶相主要元素的分布特征与UCC相比相差很大,这说明埼玉县非浮尘期气溶胶粒子的主要来源

是非陆源性的,而阿克苏、沙坡头气溶胶粒子水不溶相主要元素分布特征与上部陆壳差别不大,两地的UCC标准化值分布曲线围绕着上部陆壳线上下浮动,这充分说明了阿克苏与沙坡头气溶胶粒子主要是上部陆壳来源的。从图5还可以发现,阿克苏与沙坡头两地水不溶相都表现为K、Na元素含量亏损的特征,K的标准化值变化范围为0.53~0.7,Na的标准化值变化范围为0.28~0.36,K、Na含量明显偏离上部陆壳的平均含量,这表明气溶胶粒子已经经历了K、Na阶段的大陆化学风化。气溶胶粒子是上部陆壳经过一段时间的大陆化学风化以后的产物。

值得注意的是,阿克苏与沙坡头这两个沙尘源地尽管在地域上相距很远,但这两地的大气气溶胶粒子中水不溶相主要元素含量分布特征令人惊讶地相似,从图5中可以看到,两条分布曲线紧紧相随。这说明,在亚洲沙尘源地,大气气溶胶粒子主要元素含量没有地域性差异。这也许和亚洲沙尘源地虽然地域广阔,但具有相似的气候条件有关。

## 4 结论

通过对在沙尘源区阿克苏、策勒、沙坡头和沙尘沉降区日本埼玉县采集到的沙尘暴期间与非沙尘暴期间的大气气溶胶粒子样品所做的理化分析,得到了一些比较有意义的认识:

(1) 在沙尘源区,无论是沙尘暴时期还是非沙尘暴时期,低层大气气溶胶粒子的浓度随高度的变化都不明显。7 m高度与17 m高度相比,大气气溶胶粒子的总浓度和分级的各粒径范围的浓度都没有差别,所绘的粒径特征分布曲线极其相似。

(2) 在沙尘源区,沙尘暴期间的大气气溶胶粒子的浓度峰值与非沙尘暴期间相比有向粗粒径移动的趋势。

(3) 非沙尘暴期间,沙尘源区的3个采样点大气气溶胶粒子的浓度具有非常一致的粒径分布特征,都表现为单峰型分布,峰值都位于3.3~4.7  $\mu\text{m}$ 粒径范围。

(4) 气溶胶粒子的浓度分布特征和粒子中水溶性成分的分布特征可以用来判别大气气溶胶粒子的来源。工业排放物粒子及水溶性成分主要集中在 $>2.1 \mu\text{m}$ 粒径范围,地面沙尘起源的粒子及水溶性成分主要分布在 $<2.1 \mu\text{m}$ 粒径范围。如果其分布只有一个峰,峰值区位于 $>2.1 \mu\text{m}$ 粒径范围,则表示气溶胶粒子主要来源于地面沙尘;峰值区位于

$<2.1 \mu\text{m}$ 粒径范围,则表示气溶胶粒子主要来源于工业排放物;如果在 $>2.1 \mu\text{m}$ 和 $<2.1 \mu\text{m}$ 粒径范围各有一个峰值,则表示气溶胶粒子有陆地和工业排放物两个来源。

(5) 沙尘源区与沉降区相比,大气气溶胶粒子的浓度分布特征及气溶胶粒子中的水溶性粒子的浓度分布特征、组成成分都有明显的不同,这说明两地气溶胶粒子的来源并不相同。沙尘源区阿克苏、策勒、沙坡头气溶胶粒子主要来源于地面沙尘,其中沙坡头气溶胶粒子的水溶性成分在细粒径范围有较高含量说明其受工业排放物影响较大;沙尘沉降区日本埼玉县的情况比较复杂,在春季浮尘期,气溶胶粒子有两个来源:地面沙尘和工业排放物;非浮尘期,气溶胶粒子主要是工业排放物一个来源。

(6) 亚洲沙尘源地各采样点的气溶胶粒子水不溶相各主要元素含量非常相似,这反映了它们具有相似的气候条件。

(7) 沙尘源区各采样点气溶胶粒子水不溶相元素含量都表现出K、Na元素亏损的特征,这充分表明了沙尘源地气溶胶粒子都已经经历了K、Na阶段的化学风化,是上部陆壳经过K、Na大陆化学风化后的产物。

## 参考文献 (References):

- [1] 王涛,陈广庭,钱正安,等. 中国北方沙尘暴现状及对策[J]. 中国沙漠,2001, 21(4): 322-327.
- [2] 张宁,黄维,陆荫,等. 沙尘暴降落在甘肃的沉降状况研究[J]. 中国沙漠,1998, 18(1): 32-37.
- [3] 陈广庭. 近50年北京的沙尘天气及治理对策[J]. 中国沙漠,2001, 21(4): 402-407.
- [4] Langger J, Rodhe H. A global three-dimensional model of the tropospheric Sulfur cycle[J]. *Atmos. Chem.*, 1991, 13: 225-263.
- [5] IPCC: IPCC Second Assessment Report: Climate Change [R]. Geneva: IPCC, 1995. 64.
- [6] Zhuang G, Yi Z, Duce R A, et al. Link between Iron and Sulfur cycles suggested by detection of Iron (II) in remote marine aerosols[J]. *Nature*, 1992, 355(6360): 537-539.
- [7] 郑新江,徐建芬,罗敬宁,等. 利用风云-1C气象卫星监测南疆沙尘暴研究[J]. 中国沙漠,2000, 20(3): 286-288.
- [8] 夏训诚,杨根生,等. 中国西北地区沙尘暴灾害及防治[M]. 北京:中国环境科学出版社,1996. 40-45.
- [9] Iwasaka Y. Transport of Asian dust (Kosa) particle: Importance of weak Kosa events on the geochemical cycle of soil particles[J]. *Tellus*, 40B: 494-503.
- [10] 牛生杰,章澄昌. 贺兰山地区春季沙尘气溶胶的化学组分和高集因子分析[J]. 中国沙漠,2000, 20(3): 264-268.
- [11] Nesbitt H W, Markovics G, Price R C. Chemical process affect-

ing alkalis and alkaline earths during continental weathering[J]. [12] Taylor S R, McLennan S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution[M]. London: Blackwell, 1985. 277. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1980, 44: 1695 - 1666.

## Physiochemical Properties of Atmospheric Aerosol Particles over Sand-dust Source Areas and Sedimentary Areas in Asia

LIU Ming-zhe<sup>1</sup>, WEI Wei-shou<sup>1</sup>, ZHOU Hong-fei<sup>1</sup>, Sadao Yabuki<sup>2</sup>

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 2. The Institute of Physical and Chemical Research, Wako Saitama 351 - 0198, Japan)

**Abstract**: Over the sand-dust source areas in northwestern China, the concentration and the granularity distribution of atmospheric aerosols don't change with height whether during dust-storm or no dust-storm periods. When dust-storms break out sand-dusts on the underlying surface are intensively blew into air and the peak value of the concentration of atmospheric aerosols shifts towards coarser particles. Over Wako of Japan, a sand-dust sedimentary area, the curves of concentration distribution of atmospheric aerosol particles are bimodal during Kosa but unimodal during no Kosa. The former reflects that the atmospheric aerosol particles come from two sources: the continental deposit and the local industrial discharge, and the latter reflects that the atmospheric aerosol particles only come from the local industrial discharge. The water-soluble components of the atmospheric aerosol particles over the sand-dust source areas are predominated by  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$ , but over the sand-dust sedimentary area by  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{NO}_3^-$ . The water-insoluble components of the atmospheric aerosol particles over the sand-dust source areas are deficient in K and Na, which reveals that the aerosol particles over the sand-dust source areas have undergone the chemical weathering of K, Na stages, this weathering had occurred before forming the atmospheric aerosol particles.

**Key words**: aerosol particles; sand-dust sources; industrial discharge; components