

大气中碳酸盐的碳同位素分析及其来源指示意义

曹军骥^① 王亚强^① 张小曳^① 李顺诚^② 何健辉^② 曹蕴宁^① 李杨^①

(^①中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075; ^②香港理工大学环境科技及管理研究中心, 香港. E-mail: cao@loess.llqg.ac.cn)

摘要 建立了 Kiel 碳酸盐装置 III 和 MAT 252 气体质谱仪联机测量大气中微量碳酸盐样品碳同位素组成的测试方法, 并应用这一方法对 2002 年 3~4 月在西安采集的正常和沙尘暴大气样品中碳酸盐碳同位素组成进行了测定. 结果表明, 基于我国西北沙漠-黄土-古土壤体系中碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 的演化原理, 对比两种不同天气下碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 值可以推知其来源和成因特征, 即沙尘暴大气碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 约为 $-1.4\% \sim -4.2\%$, 主要与粉尘源区风成砂物质有关; 而正常天气下碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 约为 $-7.5\% \sim -9.3\%$, 主要与局地地表土细粒子释放有关. 对 3 月 20 日在西安采集的沙尘暴样品与源区沙漠物质以及下风区气溶胶样品的碳酸盐稳定碳同位素的对比分析表明, 大气碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 在长距离输送中变化不明显, 因此它是一个比碳酸盐含量更好的指示来源物质的指标, 可为确定沙尘暴源区提供一个新的示踪工具.

关键词 气溶胶 碳酸盐 碳同位素 粉尘来源

大气气溶胶作为全球气候变化的重要驱动因子之一, 已成为当前国际全球变化研究的热点问题之一^[1]. 近年来, 大气中的风成粉尘对酸雨的中和、以及对全球太阳辐射平衡产生的影响越来越受到科学家的关注^[2,3]. 由于其碱性特征, 碳酸盐容易吸收大气中的二氧化硫(SO_2)和氮氧化物(NO_x)气体, 并在其表面加速 SO_2 和 NO_x 气体转化为硫酸和硝酸; 另外, 它在大气中也直接与硫酸、硝酸和其他有机酸(如乙酸等)颗粒进行着多种均相和非均相的化学反应^[4]. 此外, 从西北粉尘源区扬起的大量粉尘粒子随着行星西风在北半球大气中输送, 落入到中国近海、日本海、西北太平洋乃至东北太平洋, 从而增加表层海水的碱性, 改变其酸碱平衡, 促进海水吸收大气中的 CO_2 . 这一现象从日本海海洋沉积物恢复的古环境记录中得到证实, 碳酸盐在海水和雨水中扮演的“碱泵”和“生物泵”角色对末次冰期气候的 CO_2 减少有重要的贡献^[5]. 由于碳酸盐在陆地、大气和海洋子系统中扮演着不同的角色, 它的存在诱发了全球气候系统中“碳酸盐之谜”^[6].

尽管环境大气中的碳酸盐通常含量很低, 为 $n \times 100 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ^[7]至 $3 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ^[8], 但在我国北方大气, 特别是沙尘暴大气中含量尤为偏高, 达到总悬浮颗粒物质量的 15%^[9](其绝对浓度不清楚). 当前国际上有关大气碳酸盐的研究非常少, 这些研究主要集中在碳酸盐气溶胶质量浓度的化学测量^[7,10]和光学测量^[11], 有关碳酸盐稳定碳同位素测定及其指示意义的研究报道更少见. 由于不同成因和来源的碳酸盐

在同位素上存在差异^[12-14], 因此有可能利用碳酸盐中碳同位素的变化判别其来源及成因特征. 本文报道了气溶胶样品中碳酸盐的碳同位素分析方法, 并尝试性提出 $\delta^{13}\text{C}$ 对粉尘来源的指示意义.

1 气溶胶样品采集与分析

于 2002 年 3~4 月, 在西安设立采样站点(约高 16 m), 采集正常和沙尘暴天气下的气溶胶样品, 对两种典型天气下的样品进行了对比分析. 采用便携式气溶胶采样仪(Airmetrics, USA)采集了 $\text{PM}_{2.5}$ (指大气中空气动力学粒径小于 $2.5 \mu\text{m}$ 的悬浮颗粒物)样品, 采样时间为 8~24 h 不等(表 1). 仪器工作流量为 $5 \text{L} \cdot \text{min}^{-1}$, 采样滤纸为直径 47 mm 的石英滤纸(Whatman, UK), 滤纸使用前在 900°C 灼烧 3 h 以除去可能的碳酸盐污染, 其过程见文献[15].

样品在中国科学院地球环境研究所灵敏度为 $1 \mu\text{g}$ 的电子天平(Mettler M3, Switzerland)上称重, 获得了样品的质量浓度(表 1). 在香港理工大学采用 DRI Model 2001 热光碳分析仪(Thermal/Optical Carbon Analyzer, USA)分析了滤纸上的碳酸盐, 流程见文献[7], 获得了样品中碳酸盐碳(C)的浓度, 再用一个因子 5 直接换算为碳酸盐(CO_3^{2-})的质量浓度.

2 碳同位素测量

2.1 气溶胶样品量的确定

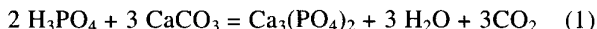
碳酸盐的碳同位素分析已广泛应用于深海沉积物、土壤、珊瑚和石笋的研究中^[16]. 本文应用地学中碳酸盐分析的经典方法——McCrea 法^[17], 采用我所

表1 西安正常和沙尘暴天气下大气 PM_{2.5} 样品对比

序号	样品类型	采样时间/月-日-时	PM _{2.5} 浓度/ $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	碳酸盐浓度 ^{a)} / $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	碳酸盐占 PM _{2.5} /%	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$
1	沙尘暴(DS)	03-20 08:00	350.4	52.5	15.0	-1.4
2	沙尘暴(DS)	03-20 16:00	268.4	27.6	10.3	-2.6
3	沙尘暴(DS)	03-21 24:00	352.8	44.4	12.6	-2.8
4	沙尘暴(DS)	04-14 8:00	847.8	131.7	15.5	-3.4
5	沙尘暴(DS)	04-14 14.5:00	686.9	96.9	14.1	-4.2
6	正常(Normal)	03-23 24:00	307.5	24.0	7.8	-7.5
7	正常(Normal)	04-09 24:00	212.4	10.0	4.7	-8.3
8	正常(Normal)	04-11 24:00	204.0	27.4	13.4	-6.9
9	正常(Normal)	04-12 24:00	213.9	31.4	14.7	-9.3
10	正常(Normal)	04-13 24:00	208.8	21.2	10.2	-9.2

a) 碳酸盐的质量以 CaCO₃ 表示

新近购置的 Kiel 碳酸盐装置 III(Thermo finnigan, germany)和 MAT 252 气体质谱仪(Thermo finnigan, germany), 联机在线分析气溶胶样品中微量碳酸盐的碳同位素。采用 100%的磷酸法测量滤纸上的碳酸盐(以 CaCO₃ 表示), 其基本反应式是:



上述反应须在磷酸过量的条件下进行, 以保证反应完全, 避免同位素分馏。MAT 252 质谱仪测量生成的 CO₂ 气体压力在(400~800) × 10⁵ μPa 为最佳, 太多或太少均对测量结果有影响。因此, 通过试验由碳酸盐含量确定了 1~3 cm² 的滤纸为合适的样量, 滴入 10~15 滴磷酸进行反应。

2.2 CO₂ 制备

滤纸剪碎后置入反应管中, 在 70℃ 下焙烧约 1 h。反应管的真空达到标准后(150 × 10⁵ μPa 以下), 滴酸管向其中滴磷酸与碳酸盐反应。在 70℃ 下恒温反应 600 s, 然后 90 s 除去杂质气体。用液氮在 -170℃ 下将反应释放出来的 CO₂ 转移到冷阱中, 通过气体凝点的差别, 除去反应过程中生成的杂质气体, 纯化 CO₂, 再加热冷阱将其中的 CO₂ 完全释放出来并转移到另一冷阱中, 将 CO₂ 全部抽入离子源中进行 C 同位素分析。

2.3 质谱测定

纯化的 CO₂ 样品在 MAT-252 上完成碳同位素比值的测定。样品同位素组成的差异由 δ 值来表示:

$$\delta_{\text{样品}} = (R_{\text{样品}}/R_{\text{标准}} - 1) \times 1000\text{‰}, \quad (2)$$

式中 R_{样品} 为样品的同位素比值, 即 ¹³C/¹²C, R_{标准} 为标准样品的同位素比值。δ¹³C 采用 PDB 标准, 仪器分析精度为 ±0.1‰。以上实验均在地球环境研究所稳定同位素实验室完成。

3 结果与讨论

2002 年 3 月 20 日和 4 月 14 日西安地区出现了两次沙尘暴天气。5 天后向气团轨迹分析(NOAA

HYSPLIT model)结果表明(图 1), 3 月 20 日的沙尘暴起源于中亚地区, 经过新疆地区传入西安, 而后向东输送并横扫了下风区的 18 个省市。这次沙尘暴对北京的影响在 Sugimoto^[18]的观测、对韩国 Chongwon-Chongju 的影响在 Chung^[19]的观测中讨论了。4 月 14 日的沙尘暴起源于塔克拉玛干沙漠地区, 粉尘云沿青藏高原北缘进入西安。这次沙尘暴事件在距离西安 600 km 的榆林镇北台气溶胶观测站也观测到^[20]沙尘暴期间西安大气中 PM_{2.5} 和碳酸盐的质量浓度均出现高值(表 1)。3 月 20 日的 PM_{2.5} 达到 350 μg · m⁻³, 而同一天在北京观测到的 TSP(总悬浮颗粒物)高达 11000 μg · m⁻³ [18], 23 日在韩国 Chongwon-Chongju 的大气中检测到的 PM_{2.5} 也达到了 331 μg · m⁻³ [19]。而 4 月 14 日采集的 8 h 样品中 PM_{2.5} 则达到了 847.8 μg · m⁻³, 3 和 4 号数据的平均值(即 14 日日均值)为 767.4 μg · m⁻³, 它是美国国家大气环境质量标准(NAAQS)PM_{2.5} 日均值(65 μg · m⁻³)的约 12 倍(我国目前尚无 PM_{2.5} 国家标准), 表明了沙尘暴对大气环境影响的严重程度。同日在榆林镇北台站点观测到的 TSP 也高达 4650 μg · m⁻³ [20]。

伴随着高载荷的粉尘, 尘暴大气中的碳酸盐也相当高, 日均值达到了 40.1~114.3 μg · m⁻³。两次沙

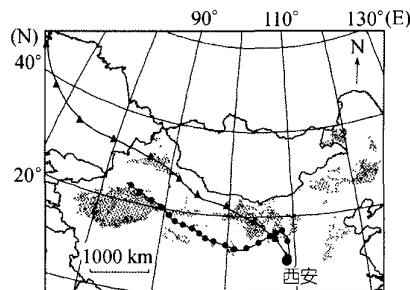


图 1 2002 年 3 月 20 日和 4 月 14 日西安的两次沙尘暴天气 5 天后向气团轨迹分析结果(高度为 1.5 km)

尘暴大气中碳酸盐在 PM_{2.5} 粒子中所占的质量百分比为 10.3%~15.5%，平均为 13.5%，这与黄土高原洛川黄土中碳酸盐的 11.1% 接近^[12]。表明粉尘从西北源区以风力方式搬运到黄土高原时大气中所携带的碳酸盐含量就很高，即在粉尘堆积形成黄土之前大气粉尘中碎屑碳酸盐含量已很高，导致黄土中原生碳酸盐含量高，这与文启忠等人^[12]的推测是一致的。我们在西北沙尘源区采集了表土样品并分析了其中碳酸盐含量，其中塔克拉玛干沙漠表土样品中的碳酸盐含量为 11.8%^[14]，与我们的测量值也很接近。由于大气中碳酸盐的测量很少，沙尘暴天气下的碳酸盐测量更少。在 3 月 20 日沙尘暴发生后，日本科学家在韩国的 Kosan 站点也观测到此次沙尘事件并测量了其中的碳酸盐含量，TSP 中碳酸盐碳的含量为 6.3 μg · m⁻³^[1]，相当于碳酸盐(以碳酸钙计算)的 53.5 μg · m⁻³，这与测量值接近。

对比沙尘暴与正常天气下碳酸盐的百分含量可知(表 1)，尽管正常天气下碳酸盐的百分含量变化较大，但两者相差不是十分明显。有学者提出视气溶胶中碳酸盐碳含量增高(大于 1%)(相当于 8.3%的碳酸盐)为沙尘暴发生的标志^[9]，由上述对比可知，仅凭大气中碳酸盐百分含量的升高作为判断沙尘暴发生的指标^[6]是不准确的。事实上，每年冬半年即使没有沙尘暴发生，亚洲粉尘在近地面层经过我国向东南方向的输送从未停止，由于碳酸盐在由源区释放的粉尘中含量基本确定，在沉降区观测到粉尘不论其质量浓度多少，其中碳酸盐的百分含量变化不大，除非在粉尘输送过程中与酸性的其他类气溶胶发生了明显的化学反应。图 2 给出了 10 个样品碳酸盐碳同位素的分布图，并与黄土高原黄土-古土壤以及现代粉尘源区表土样品进行了对比，以解释不同天气类型大气中碳酸盐的可能来源。研究已证明^[14]，不同粒级的表土样品中碳酸盐的 δ¹³C 值基本一致，表明风蚀时粒度的分选并不影响源区物质的同位素特征；另外，黄土高原洛川和环县剖面黄土中不同粒径样品碳酸盐中碳同位素虽有差别，但大部分的样品其粗(> 45 μm)细(< 2 μm)颗粒物质的 δ¹³C 值差别小于 -2‰^[21]。此外，1998 年 3 月 18 日和 4 月 16 日以及 2000 年 4 月 13 日在西安采集了 3 套沙尘暴分粒级样品，样品中碳酸盐在 PM_{2.5} 和 TSP 粒径中的碳同位素差别都小于 -2‰(未发表数据)，这属于正常的变动范

围。因此本次采集的 PM_{2.5} 样品的同位素数据可以与表土全岩样品进行良好对比。

从图 2 可以看出，沙尘暴和正常天气样品的碳酸盐碳同位素具有明显不同的特征，即沙尘暴样品中的碳酸盐碳同位素分布范围为 -1.4‰ ~ -4.2‰，而正常样品的范围为 -7.5‰ ~ -9.3‰。如图 1 所示，3 月 20 日沙尘暴输送时经过巴丹吉林沙漠、河西走廊戈壁、腾格里沙漠和乌兰布和沙漠。这些粉尘源区表土碳酸盐的碳同位素分别为 -0.2‰，-1.7‰，-2.6‰ 和 -2.7‰(图 2)，与我们的观测数据(表 1)比较接近。此外，3 月 20 日的沙尘暴输送至韩国 Kosan 站点后，日本科学家采集了沙尘气溶胶样品并获得了一个碳酸盐的碳同位素数据，碳酸盐的 δ¹³C 值为 -1.4‰^[1]，与我们的数据(表 1 中 1 号样品)一致。这表明碳酸盐颗粒的碳同位素在长距离的输送中不会发生同位素分馏，因而其 δ¹³C 值可以作为来源物质的示踪指标。

与黄土-古土壤样品相比，沙尘暴样品的 δ¹³C 与黄土样品 δ¹³C(-4.2‰)接近，而正常天气样品的 δ¹³C 与古土壤 δ¹³C(-7.9‰)和西安表土 δ¹³C(-7.6‰)接近。黄土中碳酸盐碳同位素演化的基本原理^[9]是：黄土碳酸盐的初始物质主要是原生碳酸盐，其 δ¹³C 值都大于或近于零，它们在形成黄土过程中大多数被溶解，转变为次生碳酸盐；在形成次生碳酸盐过程中，其碳同位素组成主要由土壤中 CO₂ 气体的 δ¹³C 值所决定，

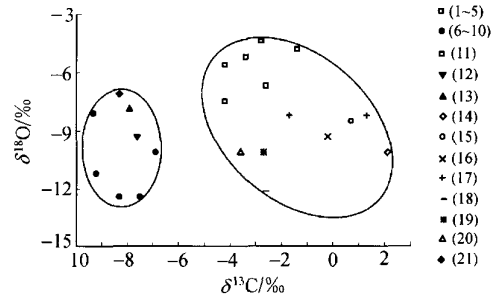


图 2 沙尘暴和正常天气样品中碳酸盐的碳同位素与黄土高原黄土-古土壤以及现代粉尘源区表土样品的对比
1~10 号对应表 1 中的 1~10 号样品，11 号为黄土样品^[13](Loess)，12 号为西安现代地表的黑垆土样品^[12](Soil)，13 号为古土壤样品^[13](Paleosoil)，14 号为库姆塔格沙漠样品^[14](KMTG)，15 号为塔克拉玛干沙漠样品^[14](TKLMG)，16 号为巴丹吉林沙漠样品^[14](BDJL)，17 号为河西走廊戈壁样品^[14](HXZL)，18 号为腾格里沙漠样品^[14](TGL)，19 号为乌兰布和沙漠样品^[14](WLBH)，20 号为毛乌素沙漠样品^[14](MWS)，21 号为内蒙古中部干草原地区表土样品^[14](NM)

1) Kawamura K, Kobayashi M, Tsubonuma N, et al. Organic and inorganic compositions of marine aerosols from East Asia: seasonal variations of water-soluble dicarboxylic acids, major ions, total carbon and nitrogen, and stable C and N isotopic composition

在不断与土壤 PCO_2 的交换过程中, ^{13}C 值就变得相对亏损. 因此, 在黄土-古土壤剖面中黄土(L_1)碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -4.2% , 而古土壤(S_1)变得更负(-7.9%), 西安现代表土在黑垆土(S_0)的基础上由于人为活动的改造, 其 ^{13}C 值也相对亏损(-7.6%). 黄土剖面中碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 已被用作一种古气候变化的指标, 即当 $\delta^{13}\text{C}$ 更负时, 对应时段为气候比较暖湿, 生物活动频繁的古环境状况, 反之亦然^[12]. 由此, 已获得的气候干燥的现代沙漠源区风成砂碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 范围为 $-3.6\% \sim 2.1\%$ (图 2), 而相比之下, 黄土高原地区气候温暖湿润, 次生碳酸盐易于形成, 导致黄土高原表土中碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 明显低于沙漠源区, 约为 $-7\% \sim -8\%$. 这一现象也在北方不同类型地表表土的碳酸盐碳同位素的差别中得到体现. 研究结果表明: 中国粉尘源区表土碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 值在空间上随着年降水量的增加而逐渐偏负(图 2)^[14]. 例如位于内蒙古中部干草原地区表土样品碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -8.3% (图 2).

由于碳酸盐的同位素在输送过程中不发生显著的同位素分馏, 沙尘暴样品中碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 值与粉尘源区地表的现代风成砂中碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 值非常接近, 而正常天气下地表表土自然释放的细粒子进入大气中, 使碳酸盐气溶胶的 ^{13}C 变得相对亏损(-9.7%), 与沙尘暴大气有明显区别. 由此, 可以根据某一观测点环境大气碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 值的大小推知其主导来源, 如果 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏低(如 -9%), 可以认为它主要来自与降水丰富、人为活动较强烈的沙化土地、草原退化土地、局地扬尘有关, 如果 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏高(如 -3%), 可以认为西北沙漠源区物质占主导贡献. 因此, 大气碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 可能为解决当前沙尘暴研究中争论不清的沙尘源区判定提供了一个颇为有效的示踪工具.

4 结论

以上分析表明, 联合 Kiel 碳酸盐装置 III 和 MAT 252 质谱仪可以有效的测量大气气溶胶中碳酸盐的碳同位素组成. 相比于碳酸盐的含量特征, 不同天气下碳酸盐的碳同位素组成有显著的变化: 沙尘暴发生期间的粉尘碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 值($-2.9 \pm 1.0\%$)显著高于正常气候条件下的大气粉尘($-8.2 \pm 1.0\%$), 这表明粉尘碳同位素组成对指示粉尘物源具有很好的的潜力, 有可能为探讨粉尘与黄土堆积、古气候演化的联系提供新的研究视角, 具有一定的应用前景.

致谢 本工作受国家自然科学基金(批准号: 40205018)及国家重点基础研究发展规划项目(2001CCB00100)资助.

参 考 文 献

- Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change 2001: The Scientific Basis. 5. Aerosols, their Direct and Indirect Effects. London: Cambridge University Press, 2001. 289 ~ 348
- Sequeira R. On the large-scale impact of arid dust on precipitation chemistry of the continental Northern hemisphere. *Atmospheric Environment*, 1993, 27A: 1553 ~ 1565
- Jacobson M Z. Global direct radiative forcing due to multicomponent anthropogenic and natural aerosols. *Journal of Geophysical Research*, 2001, 106: 1551 ~ 1568
- Dentener F J, Carmichael G R, Zhang Y, et al. The role of mineral aerosols as a reactive surface in the global troposphere. *Journal of Geophysical Research*, 1996, 101: 22869 ~ 22889
- Oba T, Pedersen T F. Paleoclimatic significance of eolian carbonates supplied to the Japan Sea during the last glacial maximum. *Paleoceanography*, 1999, 14: 34 ~ 41
- Elderfield H. Carbonate Mysteries. *Science*, 2002, 296: 1618 ~ 1620
- Chow J C, Watson J G. $\text{PM}_{2.5}$ carbonate concentrations at regionally representative Interagency Monitoring of Protected Visual Environment sites. *Journal of Geophysical Research*, 2002, 107: ICC6-1 ~ ICC6-9 doi: 10.1029/2001JD000574
- Zappoli S, Andracchio A, Fuzzi S, et al. Inorganic, organic and macromolecular components of fine aerosol in different areas of Europe in relation to their water solubility. *Atmospheric Environment*, 1999, 33: 2733 ~ 2743
- 张焯, 董旭辉. 碳酸盐碳测定在沙尘暴源地识别中的应用. *中国环境监测*, 2002, 18(2): 11 ~ 15
- Clarke A G, Karani G N. Characterization of the carbonate content of atmospheric aerosols. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 1992, 14: 119 ~ 128
- Esteve V, Rius J, Ochando L E, et al. Quantitative X-ray diffraction phase analysis of coarse airborne particulate collected by cascade impactor sampling. *Atmospheric Environment*, 1997, 31: 3963 ~ 3967
- 文启忠. 中国黄土地球化学. 北京: 科学出版社, 1989. 115 ~ 158
- 李春园, 王先彬, 文启彬, 等. 黄土沉积物中碳酸盐的碳、氧同位素组成特征与古气候. *中国科学, B 辑*, 1995, 25(3): 318 ~ 323
- 王亚强, 曹军骥, 张小曳, 等. 中国粉尘源区表土碳酸盐含量与碳氧同位素组成特征. *海洋地质与第四纪地质*, 2004, 24(1): 113 ~ 117
- Cao J J, Lee S C, Ho K F, et al. Characteristics of Carbonaceous Aerosol in Pearl River Delta Region, China during 2001 Winter Period. *Atmospheric Environment*, 2003, 37: 1451 ~ 1460
- Cerling T E. The stable isotopic composition of modern soil carbonate and its relationship to climate. *Earth and Planetary Science Letters*, 1984, 71: 229 ~ 240
- McCrea M. The isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale. *Journal of Chemical Physics*, 1950, 18: 849~857
- Sugimoto N, Uno I, Nishikawa M, et al. Record heavy Asian dust in Beijing in 2002: observations and model analysis of recent events. *Geophysical Research Letter*, 2003, 30: 1640, doi: 10.1029/2002GL016349
- Chung Y S, Kim H S, Dulama J, et al. On heavy dustfall observed with explosive sandstorms in Chongwon-Chongju, Korea in 2002. *Atmospheric Environment*, 2003, 37: 3425 ~ 3433
- Alfaro S C, Gomes L, Rajot J L, et al. Chemical and optical characterization of aerosols measured in spring 2002 at the ACE-Asia supersite, Zhenbeitai, China. *Journal of Geophysical Research*, 2003, 108: 8641, doi:10.1029/2002JD003214
- 盛雪芬, 陈骏, 杨杰东, 等. 不同粒径黄土-古土壤中碳酸盐碳氧稳定同位素组成及其古环境意义. *地球化学*, 2002, 31: 105~112

(2004-01-02 收稿, 2004-05-08 收修改稿)