

## 亚洲沙尘源区砂质土壤同位素特征分析

覃伟民<sup>1</sup>, 袁中新<sup>1</sup>, 刘丛强<sup>2</sup>

(1. 中山大学环境工程研究所, 台湾 高雄 80424; 2. 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002)

**摘要:**为探讨亚洲沙源地可能经风卷扬后, 透过大气长程传输的  $PM_{2.5-10}$  沙尘微粒同位素特征, 于 2004 年 3~4 月及 2005 年 9 月期间在内蒙古自治区的腾格里沙漠、毛乌素沙漠、浑善达克沙地、科尔沁沙地采集到 17 个代表性土壤样本, 并依地理位置将腾格里沙漠、毛乌素沙漠划分为西区; 而将浑善达克沙地、科尔沁沙地划分为东区, 再藉由风力再悬浮法将沙尘重新悬浮于空气中, 并以双粒径分道采样器进行悬浮微粒采样. 采集主要影响下风区域的  $PM_{2.5-10}$  沙尘样本, 以 Nu Plasma 型液离子源质谱仪进行  $^{87}Sr/^{86}Sr$  比值特征分析, 初步建立沙源地中沙尘微粒  $PM_{2.5-10}$  的源谱特性, 并配合沙源地化学指纹特征与 Sr 同位素的影响变化, 进行相关性分析探讨. 研究结果表明, 东、西两区沙尘微粒  $PM_{2.5-10}$  的 Sr 与 Ca 含量具有良好的正相关性. 此外, 东、西区两地沙漠地的 Sr 同位素特征具有显著差异, 其中西区毛乌素沙漠的沙尘样本变异量最大; 而东区浑善达克沙地及科尔沁沙地的沙尘样本具有相似的 Sr 同位素表土特征, 两地的变异量皆最小, 就地理位置而言, 推测两处沙地的形成可能与邻近的山脉有关.

**关键词:** 亚洲沙尘源区;  $PM_{2.5-10}$  悬浮微粒; Sr 同位素; 沙尘源谱

**中图分类号:** X513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-606X(2009)S2-0101-06

### 1 前言

近年来亚洲沙尘对于下风区域影响日益增加, 强度与规模对下风区域的影响更是受到全球的关注, 造成此现象的发生与中国北方沙源地人为活动及产业结构的开发有关<sup>[1,2]</sup>. 区域气候变化所导致降雨量的降低<sup>[3]</sup>及人为开发造成大范围土地沙漠化, 间接影响沙尘对于下风区侵袭的频率. 每逢冬末春初是亚洲沙尘暴的多发季节, 在传输的过程中, 大量的沙漠及黄土沙尘微粒经过自然化学风化及混和人为排放污染的结果, 改变了沙源地本质的物化特性<sup>[4]</sup>, 增加了源解析示踪技术的困难度. 早期对于北方沙尘的研究多以物化特征的源谱建立为主, Nishikawa 等<sup>[5]</sup>采用黄土和沙漠 2 个表土样品探讨亚洲沙尘的标准参考元素, 并测量主要和微量元素、矿物组成等特征. 此外, 也有针对沙源地微米级粒径的沙尘进行探讨, 袁中新等<sup>[6]</sup>针对北方内蒙古自治区土壤及沙尘进行悬浮微粒  $PM_{2.5}$  及  $PM_{2.5-10}$  的再悬浮采样, 并分析其水溶性离子成份、碳成份、金属元素成份建立沙尘化学指纹特征.

近年, 地质科学的同位素示踪技术广泛应用于沙尘源谱的建立, 由于沙尘的形成与其邻近周围的山脉和基底岩石的风化侵蚀有关, 其岩石和矿物的成因及生成年代不同, 其中 Sr 同位素组成被发现有明显的差异, 并且在风化迁移的过程中很少被改变<sup>[7-10]</sup>, 因此, Sr 同位素在沙尘风化演变中被视为一种良好的示踪剂. 杨杰东等<sup>[11]</sup>曾系统采集了中国 10 个主要沙漠或沙地(塔克拉玛

干沙漠、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、柴达木沙漠、毛乌素沙漠、库布齐沙漠、古尔班通古特沙漠、浑善达克沙地、科尔沁沙地、呼伦贝尔沙地)样品, 并以粒径小于  $75\ \mu m$  的沙尘表土进行 Sr-Nd 同位素特征研究. 相关研究亦曾针对不同粒径的沙尘进行探讨. 饶文波等<sup>[12]</sup>测试了灵台黄土剖面不同粒度组分(全岩、 $>45\ \mu m$ 、 $28\sim 45\ \mu m$ 、 $2\sim 28\ \mu m$ 、 $<2\ \mu m$ )及其酸不溶物中的  $^{87}Sr/^{86}Sr$  比值和段家坡剖面不同粒度组分中  $\epsilon_{Nd(0)}$  值, 详细探讨北方风尘 Sr-Nd 同位素组成变化的影响因素. 整体而言, 探讨沙尘悬浮微粒中  $PM_{2.5}$  及  $PM_{2.5-10}$  同位素特征的相关研究极为稀少.

本研究于 2004 年 3~4 月及 2005 年 9 月期间在内蒙古自治区中腾格里沙漠、毛乌素沙漠、浑善达克沙地、科尔沁沙地所采集的地表土壤样本, 将其重新悬浮于空气中, 同时以双粒径分道采样器(Dichotomous Sampler)进行悬浮微粒的采样. 根据 Yuan 等<sup>[13]</sup>研究结果发现, 沙尘暴来临时将会造成下风区域悬浮微粒中  $PM_{2.5-10}$  值大幅升高, 本研究针对粒径范围介于  $2.5\sim 10\ \mu m$  的沙源样本进行 Sr 同位素分析, 建立沙源地  $^{87}Sr/^{86}Sr$  比值特征, 以提供下风处沙尘微粒指纹鉴定的良好依据, 并将其与化学成份的间的影响变化加以探讨.

### 2 研究方法

#### 2.1 土壤及沙尘采样

于 2004 年 3~4 月及 2005 年 9 月期间在内蒙古自治区的腾格里沙漠、毛乌素沙漠、浑善达克沙地、科尔沁

收稿日期: 2008-12-19, 修回日期: 2009-06-10

作者简介: 覃伟民(1985-), 男, 台湾省高雄市人, 硕士研究生, 主要研究方向为沙尘暴的传输与示踪, E-mail: larc331098@hotmail.com.

沙地(图 1)进行表土沙尘的采样, 并将四大沙漠地区划为东区、西区两个区块.

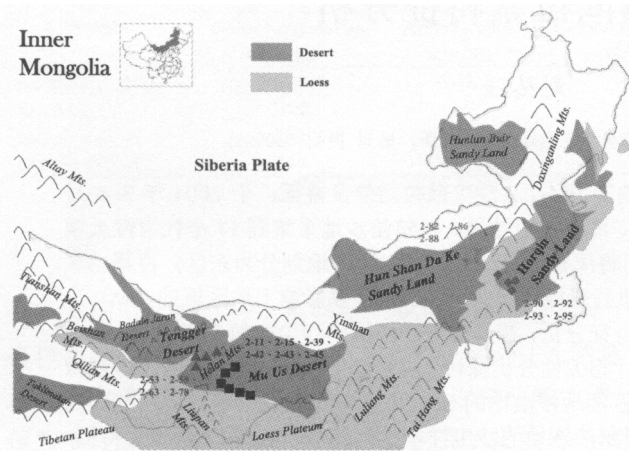


图 1 内蒙古自治区东区、西区土壤采样区域位置图  
Fig.1 East and west soil sampling sites in Inner Mongolia

东部采样区位于阴山山脉东段的科尔沁沙地和浑善达克沙地, 全长约 400 km 左右, 海拔高度介于 583~1316 m, 沙地边缘地区地貌较为多样, 包括沙丘、草原、丘陵、湖泊. 西部采样区位于贺兰山两侧的内蒙古自治区西部地区, 分别为阿拉善左旗境内的腾格里沙

漠及黄河东岸的毛乌素沙漠, 全长约 500 km 左右, 海拔高度介于 1192~1466 m, 其中腾格里沙漠边缘地区大小砾石遍布, 而毛乌素沙漠附近多为退耕农地及草原. 本研究采用沿线采样法进行土壤采样<sup>[14]</sup>, 采集地表约 5~10 cm 的土壤, 每个样本重量约 1 kg 左右. 将土壤样本盛入采样袋(21 cm×31 cm<sup>2</sup>)中, 并纪录采样地点的土地利用状况(如沙地、草地、退化林地、退耕农地等); 每个土壤样本均加以编号, 再以卫星定位仪(VENTURE GPS, 精度 5~10 m)量测并纪录其经纬度及海拔高度(表 1). 将所采集的土壤样本携回实验室(台湾中山大学环境工程研究所空气污染实验室), 以干粉产生器(Powder Atomizer)于自行设计的再悬浮室(Resuspension Chamber)内将土壤样本重新悬浮于空气中, 并以双粒径分道采样器(Dichotomous Sampler)进行悬浮微粒的采样, 采样滤纸的直径为 47 mm, 材质为石英滤纸. 再悬浮室系以透明亚克力材质制作, 高 2 m, 长宽分别为 1 m, 双粒径分道采样器置放于再悬浮室的下方, 用以采集悬浮于空气中的微粒, 其中粒径大于 10 μm 的微粒会沉降于再悬浮室下方, 并收集 PM<sub>2.5</sub> 及 PM<sub>2.5-10</sub> 的沙尘微粒, 详见图 2.

表 1 沙尘源地不同采样区的地理特性描述

Table 1 Geographic properties of dust source regions at different sampling sites

Sampling site	Sample number	Altitude (m)	Latitude	Longitude	Geographic description
East	n=7	584~1316	116°41'41.5" E	43°03'27.8" N	Locating at Horqin Sandy Land and Hun Shan Da Ke Sandy Land with variable properties nearby, including sand hill, grassland and lake.
			119°02'09.5" E	43°28'37.8" N	
West	n=10	1192~1466	115°21'47.0" E	38°13'19.4" N	Locating at Tengger Desert and Mu Us Desert, where the Tengger Desert was composed of gravel and Mu Us Desert was full of discarded farmland and grassland.
			116°53'38.4" E	39°06'45.8" N	

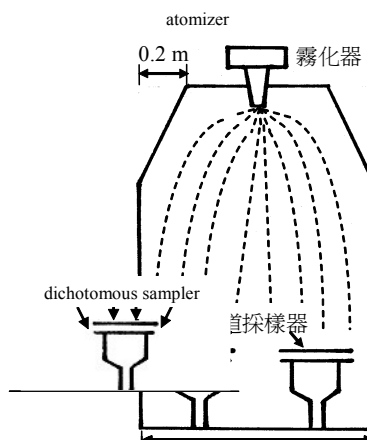


图 2 土壤样本再悬浮室示意图  
Fig.2 Resuspension chamber of soil samples

提取消化程序完成后的酸溶相溶液, 并透过阳离子交换树脂进行 Sr<sup>2+</sup>分离, 此阳离子交换分离技术主要用

于碱金属、碱土金属、稀土元素(REE)及部分三价元素的分离, 透过适当的酸液淋洗能使树脂再生使用. 最终得到含有 Sr<sup>2+</sup>的酸溶相溶液后即可进行 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 比值分析. 本研究 Sr 同位素分析方法系采用仪器型号为英国 Nu Instrument Ltd.生产的 Nu Plasma 型液离子源质谱仪. 本次实验中 NBS987 标准样品测定值为 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr=0.710251±36(标准化值 <sup>86</sup>Sr/<sup>88</sup>Sr=0.1194).

### 2.2 Sr 同位素测定样品的处理方法

同位素测定样品的标准程序(SOP)在近 30 年已趋于完善, 本研究方法系参考“中国地质矿产行业标准-同位素地质样品分析方法”<sup>[15]</sup>. 样品的前处理过程中, 首先将双粒径分道采样器所采集的 PM<sub>2.5-10</sub> 石英滤纸进行消化(HNO<sub>3</sub>-HF-HCl). 进行消化前, 每种酸必须经由酸纯化系统制备. 实验中消化过程中所使用器皿皆为 Teflon 材质. 样品处理流程如图 3 所示.

### 3 结果与讨论

#### 3.1 主要地壳元素 Sr 与 Ca 的相关性探讨

由图 4 的结果发现，内蒙古东、西两区的沙尘微粒中 PM<sub>2.5-10</sub> 的 Sr 与 Ca 含量具有良好的正相关性，此现象与 Yokoo 等<sup>[16]</sup>于 2001 年在中国北方所采集的全样本土壤透过醋酸(HOAc)溶解碳酸盐成份所获得的结果一致。研究结果表明，醋酸能将大部份样本中的碳酸盐溶解，使得主要分布于此类含 Ca 碳酸盐矿物中的 Sr 一并溶出<sup>[17]</sup>。此外，推测本研究中采取的再悬浮沙尘微粒的粒度很可能富集此类含 Ca 的碳酸盐类(Sr 含量亦相对富集)，显示自然风化的结果将导致细粒径沙尘组成结构多以碳酸盐类的化合物存在，由王亚强等<sup>[18]</sup>研究北方沙尘源区沙尘粒度与碳酸盐的含量结果中得到证实(图 5)。

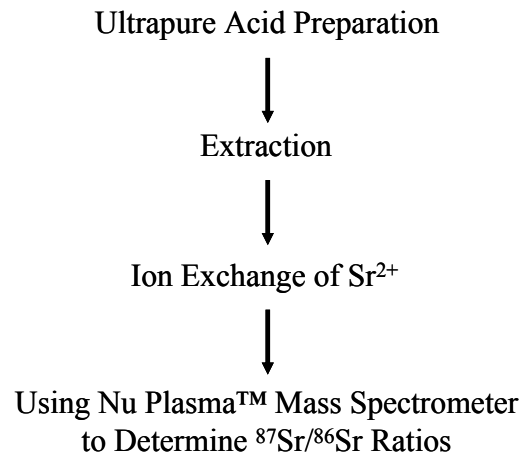


图 3 Sr 同位素测定标准程序

Fig.3 Standard operation procedure of Sr isotopes determination

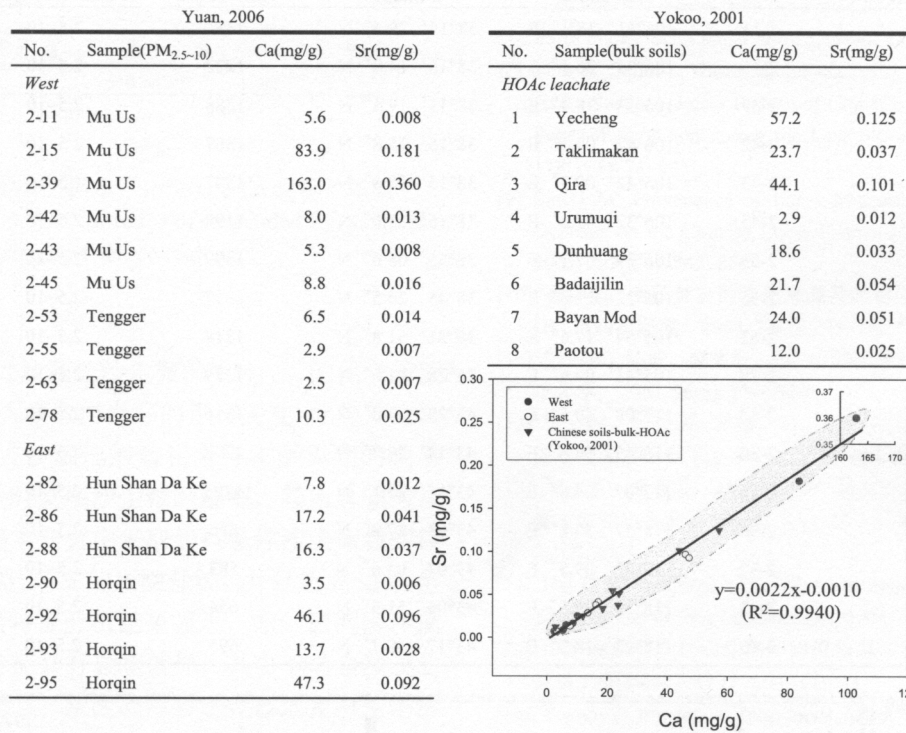


图 4 中国北方沙源地沙尘微粒<sup>[6]</sup>与酸溶相全样<sup>[16]</sup>中 Sr 与 Ca 含量关系图

Fig.4 Correlation of Sr and Ca contents of resuspended soil particles at Asian dust source regions in northern China and the acid-soluble minerals of bulk soils

#### 3.2 Sr 同位素组成特征探讨

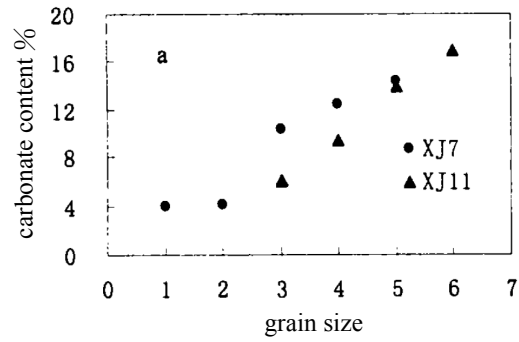
由表 2 沙源地 Sr 同位素 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 比值分析结果得知，毛乌素沙漠 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 比值范围为 0.7120~0.7209、腾格里沙漠为 0.7138~0.7158、浑善达克沙地为 0.7122~0.7133、科尔沁沙地为 0.7115~0.7133。

图 6 结果表明，东、西区两地沙漠表土同位素特性颇具差异性，就族群样本的变异量而言，西区样本的 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 比值变异量大于东区，其中毛乌素沙漠样本变

异最大[标准差(SD)=0.00350]，其次为腾格里沙漠(SD=0.00108)，而浑善达克沙地及科尔沁沙地样本变异量最小，SD 分别为 0.00051 及 0.00086。就 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 比值平均而言，东、西区两区同位素特征显著不同，呈现西区比值平均大于东区的现象。此外，沙源地的形成似乎具有相似的近源性，按地理位置而言，东、西两区的沙源形成可能与邻近的山脉有关，例如东区浑善达克沙地及科尔沁沙地 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 比值平均分别为 0.71277 及

0.71274, 两者比值趋近相同, 而虽然西区沙漠的变异较大, 但  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值平均明显异于东区(毛乌素沙漠及腾格里沙漠  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值平均分别为 0.71517 及 0.71478), 突显两地沙漠形成的沙源不同.

由图 7 所示, 针对东、西两区沙源地 17 个再悬浮沙尘微粒样本而言, Ca 含量与  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值特征的相关性甚低( $R^2=0.3050$ ). 若分别检视不同沙源地再悬浮沙尘微粒样本则可发现相关性都有明显的提高, 其中浑善达克沙地 Ca 含量与  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值特征具有最高的相关性( $R^2=0.9878$ ), 其次为科尔沁沙地( $R^2=0.8021$ )及腾格里沙漠( $R^2=0.7782$ ), 毛乌素沙漠则呈现相关性最低者( $R^2=0.3989$ ).



Size 1: 250~125 μm 2: 125~100 μm 3: 100~80 μm  
4: 80~63 μm 5: 63~40 μm

图 5 不同粒径样品中碳酸盐含量组成<sup>[18]</sup>  
Fig.5 Carbonate content of different size samples<sup>[18]</sup>

表 2 内蒙古沙源地表土再悬浮沙尘同位素分析结果  
Table 2  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios of resuspended soil samples in Inner Mongolia

Sample No.	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Particle size (μm)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	
Mu Us Desert	2-11	106°51' 18.3" E	38°14' 29.4" N	1354	2.5~10	0.71747
	2-15	106°33' 26.1" E	38°16' 14.8" N	1222	2.5~10	0.71253
	2-39	106°53' 38.4" E	38°13' 19.4" N	1388	2.5~10	0.71477
	2-42	106°42' 09.3" E	38°16' 25.8" N	1307	2.5~10	0.72090
	2-43	106°42' 09.3" E	38°16' 25.8" N	1307	2.5~10	0.71198
	2-45	106°32' 07.3" E	38°16' 33.0" N	1192	2.5~10	0.71276
Tengger Desert	2-53	105°39' 07.1" E	38°55' 08.0" N	1399	2.5~10	0.71384
	2-55	105°22' 22.8" E	38°45' 24.5" N	1317	2.5~10	0.71385
	2-63	105°54' 17.6" E	38°21' 51.8" N	1314	2.5~10	0.71567
	2-78	105°41' 09.6" E	38°28' 01.0" N	1379	2.5~10	0.71577
	2-82	117°08' 40.5" E	43°28' 37.8" N	1316	2.5~10	0.71224
Hun Shan Da Ke Sandy Land	2-86	116°45' 54.6" E	43°13' 24.7" N	1278	2.5~10	0.71326
	2-88	117°07' 54.6" E	43°17' 23.1" N	1293	2.5~10	0.71280
	2-90	118°57' 33.8" E	43°03' 27.8" N	636	2.5~10	0.71148
Horqin Sandy Land	2-92	119°02' 09.5" E	43°07' 04.6" N	583	2.5~10	0.71332
	2-93	118°58' 29.5" E	43°06' 51.5" N	654	2.5~10	0.71327
	2-95	118°23' 14.3" E	43°17' 48.7" N	695	2.5~10	0.71289

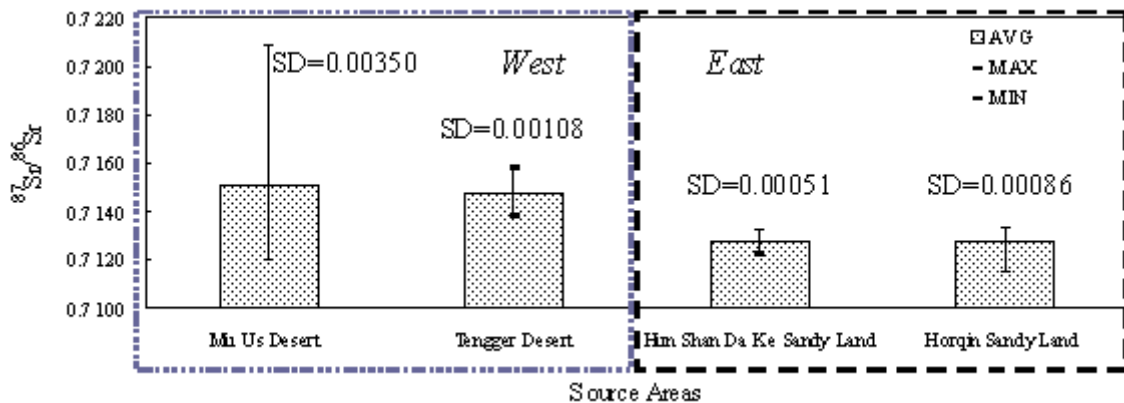


图 6 内蒙古沙源地表土样本的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值统计分析图  
Fig.6 Statistical analysis of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios of resuspended soil samples in Inner Mongolia

整体而言, 针对所有 17 个沙尘样本检视两种相关性比较方式(图 4 和 7)可发现, Ca 含量与  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值特征的相关性( $R^2=0.3050$ )结果明显低于 Ca 与 Sr 含量相关性( $R^2=0.9940$ )所分析的结果, 推测影响两者相关性显著差异的因素为,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值特征变化的结果主要系取决于化学风化和成壤作用后来自源岩所反映出的信息, 对于 Ca 含量的多寡则无显著关系。

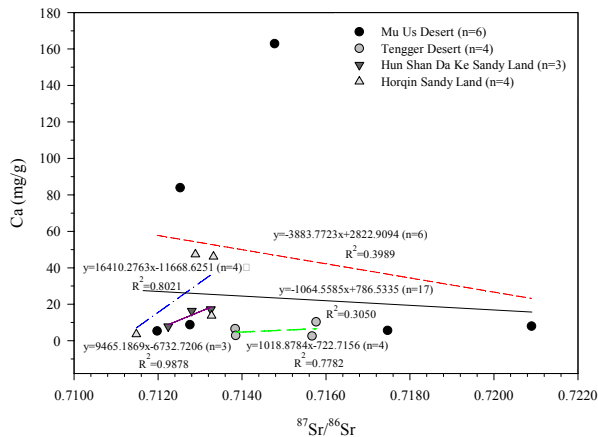


图 7 内蒙古沙源地表土样本  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  与 Ca 含量关系图  
Fig.7 Ca content and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios of suspended soil samples at different Asian dust source regions

## 4 结论

东、西区两处沙源地沙尘微粒  $\text{PM}_{2.5-10}$  的化学指纹中, Ca 与 Sr 金属含量取得良好的正相关性, 此与 Yokoo 等<sup>[16]</sup>研究中国北方沙源地酸溶相全样本所得到的结果一致。此外, 有研究发现沙尘粒级越细, 其所含碳酸盐的量越高<sup>[18]</sup>, 推测本研究中采取的再悬浮沙尘微粒的粒级很可能富集此类含 Ca 的碳酸盐类, 并且造成 Sr 含量相对富集。同位素特征分析结果显示, 东、西两区沙漠地的 Sr 同位素特征具有显著差异, 其中毛乌素沙漠的沙尘样本变异量最大。东区的浑善达克沙地及科尔沁沙地具有相似的 Sr 同位素表土特征, 两地的变异量皆最小, 按地理位置推测两处沙地的形成可能与邻近的山脉有关。相关性分析沙尘 17 个样本的结果表明, Ca 含量与  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值特征的相关性远低于比较 Sr 含量的相关性结果, 推测其主要因素为 Sr 同位素特征的结果系取决于化学风化和成壤作用后来自源岩所反映出的信息,

对于 Ca 含量的影响并不显著。

## 参考文献:

- [1] 阎德仁, 张化珍. 内蒙古沙漠化土地现状、成因与防治 [J]. 内蒙古林业科技, 2001, 2: 37-40.
- [2] 王涛, 朱震达. 中国北方沙漠化的若干问题 [J]. 第四纪研究, 2001, 21(1): 56-65.
- [3] 史培军, 严平, 袁艺. 中国土壤风蚀研究的现状与展望 [A]. 第十二届国际水土保持会议论文集 [C]. 2002.
- [4] 覃伟民, 刘乙琦, 袁中新. 亚洲沙尘传输过程中人为及自然源气胶微粒贡献率消长解析 [A]. 第六届海峡两岸沙尘暴及环境治理学术研讨会论文集[C]. 2008.
- [5] Nishikawa M, Quan H, Morita M. Preparation and Evaluation of Certified Reference Materials for Asian Mineral Dust [J]. Global Environ. Res., 2000, 4: 103-113.
- [6] 袁中新, 林志逢, 刘乙琦, 等. 内蒙古自治区土壤及沙尘指纹特征的比较分析 [A]. 第四届海峡两岸沙尘暴及环境治理研讨会论文集 [C]. 2006.
- [7] Liu C Q, Masuda A, Okada A, et al. Isotope Geochemistry of Quaternary Deposits from the Arid Lands in the Northern China [J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1994, 127(1-4): 25-38.
- [8] Jahn B, Gallet S, Han J M. Geochemistry of the Xining, Xifeng and Jixian Sections, Loess Plateau of China: Eolian Dust Provenance and Paleosol Evolution during the Last 140 ks [J]. Chem. Geol., 2001, 178(1-4): 71-94.
- [9] Sun J M. Provenance of Loess Material and Formation of Loess Deposits on the Chinese Loess Plateau [J]. Earth Planet. Sci. Lett., 2002, 203(3/4): 845-859.
- [10] 孙继敏. 中国黄土的物质来源及其粉尘的产生机制与搬运过程 [J]. 第四纪研究, 2004, 24(2): 175-183.
- [11] 杨杰东, 陈骏, 饶文波, 等. 中国沙漠的同位素分区特征 [J]. 地球化学, 2007, 36(5): 516-524.
- [12] 饶文波, 杨杰东, 陈骏, 等. 北方风尘中 Sr-Nd 同位素组成变化的影响因素探讨 [J]. 第四纪研究, 2005, 25(4): 531-532.
- [13] 袁中新, 邵承宗, 陈敏宗, 等. 澎湖群岛悬浮微粒物化特征及其受大陆沙尘暴的影响研究 [A]. 第十届国际气胶科技研讨会论文集[C]. 2003.
- [14] Hai C X. Sampling of Soil/Sand in the Season of Spring at North Yin-Shan for Various Land-use [R]. 2004.
- [15] 中国地质矿产行业标准—同位素地质样品分析方法 [S]. DZ/T 0184.1-0184.22, 1997.
- [16] Yokoo Y, Nakano T, Nishikawa M, et al. The Importance of Sr Isotopic Composition as an Indicator of Acid-soluble Minerals in Arid Soils in China [J]. Water, Air, Soil Pollut., 2001, 130: 763-768.
- [17] 张西营, 马海州, 谭红兵. Sr 的地球化学指示意义及其应用 [J]. 盐湖研究, 2002, 10(3): 38-44.
- [18] 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 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004, 24(1): 113-117.

## Isotopic Characteristics of Asian Dust Source Regions of Deserts and Sandy Lands

CHIN Wei-Min<sup>1</sup>, YUAN Chung-Shin<sup>1</sup>, LIU Cong-qiang<sup>2</sup>

*(1. Institute of Environmental Engineering, Sun Yat-Sen University, Kaohsiung, Taiwan 80424, China;*

*2. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550002, China)*

**Abstract:** The isotopic characteristics of PM<sub>2.5-10</sub> from Asian dust source regions by long-range transportation were investigated. During the spring of 2004, 17 soil samples were collected at various land surfaces in Inner Mongolia, Tengger Desert, Mu Us Desert, Hun Shan Da Ke Sandy Land, and Horqin Sandy Land. According to the geographic locations, Tengger Desert and Mu Us Desert were classified as west sites, Hun Shan Da Ke Sandy Land and Horqin Sandy Land as east sites. Soil samples were resuspended inside a resuspension chamber and then collected by a dichotomous sampler. This study focused on PM<sub>2.5-10</sub> particles that mainly influence the downwind regions. A multiple-collector inductively coupled plasma mass spectrometer was used to determine the isotopic characteristics of <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr ratio. The chemical compositions of dust source regions with its Sr isotopic composition were compared to investigate the variation of Sr isotopic characteristics. Experimental results showed that a positive correlation was observed between Sr and Ca contents of PM<sub>2.5-10</sub>. Additionally, the Sr isotopic characteristics between the east and the west sites were significantly different. However, there was no significant difference between Hun Shan Da Ke Sandy Land and Horqin Sandy Land. The above results indicated that the soils of the two sandy lands come from the same nearby mountains.

**Key words:** Asian dust source regions; PM<sub>2.5-10</sub> particles; Sr isotope; source profile