

SHACHENBAO

YIXUE YU DULIXUE

沙尘暴 ○ 医学与毒理学

孟紫强 张全喜 杨振华 著

中国环境科学出版社

CHINA'S ENVIRONMENT

WISDOM YOUTH CULTURE

沙尘暴 O 医学与毒理学

中国环境出版社

中国环境出版社

沙尘暴医学与毒理学

孟紫强 张全喜 杨振华 著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

沙尘暴医学与毒理学/孟紫强, 张全喜, 杨振华著. —北京: 中国环境科学出版社, 2012.4

ISBN 978-7-5111-0853-1

I. ①沙… II. ①孟…②张…③杨… III. ①环境医学②环境毒理学 IV. ①R12②R994.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 001355 号

责任编辑 赵惠芬
责任校对 唐丽虹
封面设计 玄石至上

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京东海印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2012 年 4 月第 1 版
印 次 2012 年 4 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 12.5
字 数 180 千字
定 价 35.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前 言

沙尘暴是一种自然现象，在我国 205 B.C.就有记载，它是沙尘天气的一种。沙尘天气包括浮尘、扬沙、沙尘暴及强沙尘暴 4 种天气类型。沙尘暴发源于沙漠及其周边地区，那里自古人烟稀少，这种灾害天气对健康的影响以往很少受到重视。随着人口的增加、环境污染的加剧以及人类活动对地表植被的严重破坏，强沙尘暴发生的频率和影响范围急剧增加。随着沙尘暴强度的升级，其影响越来越向更远的地方传输开来，进入人口密集的城镇，甚至大都市。沙尘暴发生时，巨大的人群暴露在沙尘天气的侵扰之中，从而使沙尘暴对健康的影响成为全社会共同关心的问题，于是研究沙尘暴对健康的影响及防护的意义就越来越重要。为此，自 2002 年开始，依托孟紫强教授主持的国家自然科学基金重点项目“沙尘暴细颗粒物的理化特性及其对人体健康的影响”的资助，我们与北京大学和北京师范大学等专家合作，在我国北方沙尘暴频发区——甘肃省武威市和内蒙古包头市进行了大规模的流行病学调查及沙尘暴细颗粒物理化特性与毒理学效应的研究。研究发现，沙尘暴对人群健康的影响很大，这种影响可分为当日急性效应、短期滞后效应和长期累积效应。

本书主要依据我们连续多年在沙尘暴的发生、传输、理化特征及其医学和毒理学等方面的研究成果，经过总结和升华而成。同

时，本书也对国内外其他实验室和作者的相关研究成果进行了介绍和评述。读者通过本书能够对沙尘暴的发生、传输、理化特征及其医学和毒理学知识有一个全面、深刻的了解，并能够应用这些研究成果去解决有关沙尘暴及其他沙尘天气的健康问题，同时也可以参考这些研究成果为防止沙尘暴的危害制定科学的防护对策。

本书供沙尘暴及浮尘天气、扬沙天气多发地区的居民和有关政府部门工作者阅读，也可供环境科学及其他相关专业本科、专科学生和研究生学习，同时也可供环境保护与环境医学科研工作者及管理人员学习参考。

由于我们的水平和著述时间所限，本书存在疏漏和不足之处在所难免，希望有关专家、老师及广大读者提出宝贵意见。

作者

2011年10月30日

目 录

第一章 沙尘暴的发生与分布.....	1
一、沙尘暴的定义、特征与强度划分.....	1
二、沙尘暴的成因、传输与时空分布.....	2
三、沙尘暴对人类的危害及其防治对策.....	4
第二章 沙尘暴颗粒物的理化特性.....	7
一、沙尘暴颗粒物的理化特性.....	7
二、沙尘暴源地和传输路径对沙尘暴颗粒物化学组成的影响.....	9
三、沙尘暴颗粒物对城市大气环境的影响.....	9
四、农业城市：武威市沙尘暴颗粒物的理化特征.....	10
五、工业城市：包头市沙尘暴颗粒物的理化特征.....	13
六、武威市和包头市沙尘暴 PM _{2.5} 理化特征比较.....	16
第三章 沙尘暴对人群健康的急性效应.....	17
一、沙尘暴多发区气象和大气环境状况.....	17
二、沙尘暴对居民健康的当日急性效应.....	20
三、沙尘暴对小学生健康的当日急性效应.....	27
第四章 沙尘天气对人群健康的短期滞后效应.....	32
一、环境流行病学研究方法.....	32
二、沙尘天气对医院日门诊人数的影响.....	35
三、沙尘天气对医院住院人数的影响.....	64
第五章 沙尘天气对人群健康的长期累积效应.....	94
一、研究地点基本特征.....	95
二、沙尘天气对暴露居民常见疾病患病率的影响.....	96

三、沙尘颗粒物与非典型性尘肺的关系.....	104
第六章 沙尘颗粒物毒理学及对健康影响的毒理机制.....	112
一、沙尘暴 PM _{2.5} 对肺泡巨噬细胞毒性作用的体外研究.....	112
二、沙尘暴 PM _{2.5} 对细胞 DNA 损伤的体内外研究.....	123
三、沙尘暴 PM _{2.5} 对氧化损伤作用的体内研究.....	128
四、沙尘暴 PM _{2.5} 对人血淋巴细胞遗传毒理学效应.....	132
五、沙尘暴 PM _{2.5} 的致突变性 (Ames 试验).....	140
六、沙尘暴 PM _{2.5} 对细胞增殖、细胞周期和信号转导的影响.....	142
七、沙尘暴对健康影响的毒理机制.....	144
第七章 结论与展望.....	147
一、我国沙尘暴的发生状况和特点.....	147
二、沙尘暴对健康影响的类别.....	148
三、沙尘暴对健康的急性影响.....	149
四、沙尘暴对健康的短期滞后影响.....	149
五、沙尘暴对健康的长期累积影响.....	150
六、沙尘颗粒物对健康影响的浓度-效应关系.....	151
七、沙尘细颗粒物的毒理学作用.....	151
八、沙尘天气分级标准问题.....	152
九、对沙尘暴危害健康的预防措施.....	153
参考文献.....	156
附录 孟紫强简历.....	165

第一章 沙尘暴的发生与分布

一、沙尘暴的定义、特征与强度划分

（一）沙尘暴的定义

沙尘暴是沙尘天气之一。沙尘天气是指强风从地面卷起大量尘沙，使空气混浊，水平能见度明显下降的一种天气现象，主要发生在干旱、半干旱及土地沙漠化比较严重的地区。根据中国气象局 2003 年 3 月 1 日实施的新标准，沙尘天气分为浮尘天气、扬沙天气、沙尘暴、强沙尘暴四类。其中，浮尘天气指尘土、细沙均匀地浮游在空中，使水平能见度小于 10 km 的天气现象；扬沙天气指风将地面尘沙吹起，使空气相当混浊，水平能见度在 1~10 km 以内的天气现象；沙尘暴指强风将地面大量尘沙吹起，使空气很混浊，水平能见度小于 1 km 的天气现象；强沙尘暴指大风将地面尘沙吹起，使空气非常混浊，水平能见度小于 0.5 km 的天气现象。

关于沙尘暴天气，不同的国家或地区有不同的名称。中国学者把沙暴（sand storm）和尘暴（dust storm）合起来通称沙尘暴（sand-dust storm），有些国家（如美国）就分开来观测定义（张广兴、李霞，2003）。国际刊物上发表的文章多将沙尘暴写为 dust storm。

（二）沙尘暴的主要特征

浮尘、扬沙、沙尘暴、强沙尘暴天气的共同特点是天空混浊、能见度降低、空气质量恶化。当沙尘暴到来时，强风裹挟沙尘滚滚向前，同时伴随着高空浮尘飘飘、地面扬沙连连，使得沙尘暴与扬沙、浮尘密切联系在一起，常常难以分割。实际上，浮尘、扬沙、沙尘暴除导致空气水平能见度下降程度不同外，三者在其他方面也存在不同之处：浮尘多为远处尘沙经上层气流传播而来，或由于远地或本地产生沙尘暴或扬沙后，尘沙等细

小颗粒浮游空中而形成，出现时远方物体呈土黄色、太阳呈苍白色或淡黄色；扬沙形成机理与沙尘暴相近，它们的动力和热力学机制也基本相同，但扬沙多为本地沙尘被风吹起，影响范围较小；沙尘暴或强沙尘暴传输距离远，影响范围大，出现时天空呈现黄褐或红褐色，能见度急剧下降。有的特强沙尘暴到来时，天空一片黑暗，可达“伸手不见五指”的程度，当地居民称其为“黑风”或“鬼怪”（张广兴、李霞，2003）。

（三）沙尘暴的强度划分

对沙尘暴强度的等级划分，一般采用风速和能见度两个指标，不仅因为这两个指标是目前气象台（站）的常规观测项目，资料记录历史长，应用范围广，易于获取，而且因为能见度差和强风速是沙尘暴的两个最主要致灾因素。表 1-1 为适合我国西北地区沙尘暴天气强度的划分标准（钱正安等，1997），目前多数气象台（站）均采用此标准。

表 1-1 西北地区沙尘暴天气强度的划分标准

强度	瞬间极大风速	最小能见度
特强（黑风暴）	≥10 级或≥25 m/s	0 级（<50m）
强	≥8 级或≥20 m/s	1 级（<200m）
中	6~8 级或≥17 m/s	2 级（200~500m）
弱	4~6 级或≥10 m/s	3 级（500~1 000m）

注：当风力和能见度不协调时，沙尘暴强度的确定方式分两种情况：①凡风速大、能见度也大时，强度以能见度对应级确定，如最大风速为 30m/s、能见度为 100m 时，则确定为强沙尘暴天气；②当风速小、能见度也小时，则从原有风速对应级上升一级强度，如最大风速为 19m/s、能见度为 100m 时，上升一级定为强沙尘暴天气。

二、沙尘暴的成因、传输与时空分布

（一）沙尘暴的成因

沙尘暴的发生是特定的气象和地理条件相结合的产物，其形成必须同时具备以下 3 个条件（王式功等，2000；秦大河，2003）：大风、丰富的沙尘物质及不稳定的空气状态。大风是形成沙尘暴的动力条件，只有具备强而持久的风才能吹起大量的沙尘。丰富的沙尘源是形成沙尘暴的物质基础，沙漠、退化的林草地、无植被覆盖的干松土地、城乡建筑工地的泥沙等都

可能成为沙源。不稳定的空气状态则导致局地热对流猛烈发展，产生强大动力将沙尘卷入高空，从而形成沙尘暴或扬沙天气。

尽管沙尘暴同洪水、地震和火山喷发一样，是大自然万物消长中的一环，有其自身的活动规律。但近代沙尘暴发展趋势剧增，与自然资源被过度开发利用以及不合理的人为活动干扰造成的大面积植被破坏、沙化加剧、水土流失、土壤次生盐渍化等密切相关（Wang et al., 2005），而不能完全归结为是自然风沙活动的结果。可以说，正是人类不合理的经济活动加剧了沙尘暴的强度和频率，或者说沙尘暴是伴随人类活动破坏生态平衡而愈演愈烈的。

（二）沙尘暴的传输

沙尘暴天气过程所产生的沙尘气溶胶微粒在输送过程中不断地沉降、扩散和稀释，但粒径在 $0.5\sim 4.0\ \mu\text{m}$ 的沙尘气溶胶粒子具有远距离输送的能力，可随大气环流输送到较远的地方去，对那里的天气和气候产生影响。例如，中国西北地区的沙尘暴天气过程可将当地的黄沙粒子输送到日本、韩国、中国台湾地区，甚至北太平洋地区，作为该地上空冷却云中凝结核的一部分，起到增加降水的作用。撒哈拉及其周围干旱区的沙尘可由热带东风气流的携带，越过大西洋，输送到美洲大陆；还可通过沙尘暴过程输送沉降到欧洲中部、南部以及德国北部地区等。

我国北方春季的沙尘天气是与冷空气活动产生的大风相伴出现的。与冷空气活动路径相联系，西北地区沙尘暴天气的出现主要有 3 条移动路径，即西北路径（冷空气源于北冰洋冷气团，强冷空气自西西伯利亚向东南经我国北疆、内蒙古西部入侵河西走廊，造成大风沙尘暴，穿过巴丹吉林和腾格里沙漠，然后东移至鄂尔多斯高原）、西方路径（主要发生在塔里木盆地、河西走廊西部、青海省等）、北方路径（从蒙古国经我国内蒙古中部到达宁夏、陕北、华北等地），其中西北路径沙尘暴天气最多，约占总数的 68%，且该路径沙尘暴有移动迅速、强度大、影响范围广、灾害重的特点（李耀辉，2005）。

（三）沙尘暴的时空分布

全世界四大沙尘暴多发区分别位于中亚、北美、中非和澳大利亚，无不与广袤的沙漠联系在一起。我国的沙尘暴属于中亚沙尘暴区的一部分，主要发生在北方干旱半干旱地区，是世界上唯一在中纬度地区发生沙尘暴最多的区域。我国沙尘暴总的特点是西北多于东北地区，平原（或盆地）

多于山区,沙漠及其边缘多于其他地区(李耀辉,2005)。沙源区主要分布在西北地区的巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、塔克拉玛干沙漠、乌兰布和沙漠、黄河河套的毛乌素沙地周围。其中,河西走廊到内蒙古中西部、宁夏干旱区既是我国沙尘暴最主要的源地区,也是受沙尘暴影响最严重的地区。华北北部的广大地区为沙尘暴的扩散影响区。扬沙的影响范围比沙尘暴要广,一直延伸到长江中下游地区。浮尘的影响范围更广,其影响区域一直延伸到四川盆地和南岭北侧。

我国沙尘暴有季节和月份变化的特点(Feng et al., 2002),冬、春季最多,夏季次之,秋季(新疆地区为冬季)最少。按月份来看,4月发生频率最高,3月和5月次之,秋季的9月(新疆为12月或1月份)最低。沙尘暴也具有明显的日变化特征,主要发生在午后到傍晚时段内,占总数的65.4%。在河西走廊中部地区,黑风暴大都出现在中午12时至晚上22时。

三、沙尘暴对人类的危害及其防治对策

(一) 沙尘暴对人类的危害

沙尘暴的危害作用主要表现在以下四方面(秦大河,2003):

(1) 风沙流的吹蚀与磨蚀作用可使肥沃的土壤变得贫瘠、农田及各种农业设施遭到损害,导致农作物减产甚至绝收。

(2) 流沙埋压。沙尘暴所经之处,大量的沙粒沉积,可以流沙的形式掩埋农田、草场、居民区、工矿、铁路、公路等,使当地景观发生变化。

(3) 大风袭击。沙尘暴来势凶猛,伴随超强的风速,产生严重的风蚀现象,是土地沙漠化最重要的因素之一。此外,破坏力巨大的风可以袭击各种工农业设施、拔树毁房、吹翻机动车辆、伤害人畜,还可以中断供电线路、破坏交通和通信设施等。1993年5月5日发生在我国西北地区的特大沙尘暴,使新疆、甘肃、内蒙古、宁夏四省(区)共死亡85人,伤264人,失踪31人,死亡和丢失牲畜12万头,受灾农田和林地达几十万公顷,数以百计的塑料大棚被毁,公路、铁路、供电线路、基础设施等破坏严重,经济损失数亿元。2000年3月中下旬的沙尘暴使内蒙古阿拉善左旗和额济纳旗376眼人畜饮水井被风沙埋没、近千座牲畜棚圈和塑料大棚被破坏、牧民的80万kg饲草被风刮走、8万多亩麦田麦种被吹出,直接经济损失上千万元。

(4) 污染环境。沙尘暴过程使大气中悬浮颗粒物浓度剧增,产生严重的环境污染,既使人体健康受到损害,也影响植物的光合作用。

另外,随着人们对卫星及地面无线电系统使用的持续增长,所用频率也越来越高,沙尘暴对无线电波产生的影响也引起了国内外学者的重视。

然而,也有研究表明(Feng et al., 2002),在遥远的过去,黄土高原由沙尘暴输送的沙粒和土壤堆积而成,夏威夷群岛上最初的土壤来自我国西北地区干旱苍凉的荒原。还有人认为沙尘暴对中和酸雨、减轻温室效应、减缓全球变暖趋势起到一定的积极作用(Bishop et al., 2002; Terada et al., 2002)。

(二) 减少沙尘暴危害的对策

1. 沙尘暴防治措施

(1) 防治沙尘暴必须树立科学的态度、正确的理念,摒弃长期以来在治理沙尘暴上的认识误区,例如:认为沙尘暴就是沙漠里的沙粒给人类造成的危害,防御沙尘暴就是治理沙漠,而没有认识到沙尘暴的主要危害成分不是沙漠里的沙粒,而是来自农田和退化草原的直径小于 100 μm 的微细颗粒;认为治沙就是植树造林,而没有认识到防御沙尘暴最主要的措施是地面植被覆盖;认为“人定胜天”,苛求“人进沙退”,背离了自然规律,虽然局部地区环境有所改善,但整体情况仍在恶化。因此,防治沙尘暴不仅要进行制度创新、技术创新,更要进行人类价值观念的创新。

(2) 建立和完善沙尘天气的动态监测和预警系统,做好天气预报和预警服务,并加强对沙尘暴的科学研究,掌握沙尘暴发生、发展的规律和机制。在沙尘暴低发期和缩小期,抓住有利时机,创造有利于植被生长的环境,增加植被的覆盖度。在沙尘暴高发期和扩大期,及时预报预警,大力普及防灾知识,提高群众防灾意识,做好防护准备工作。

(3) 严格执行《中华人民共和国环境保护法》、《森林法》、《草原法》、《水土保持法》等相关法律法规。在已经沙化的地区,实施生物措施与工程措施相结合,乔木、灌木、草本植物种植相结合。在生态脆弱区实行退耕还林还草和生态环境建设,严禁草场过度放牧。有计划地将西部生态脆弱区分散居住的人口迁移到生态条件较好的地区,用生态移民的办法建立生态无人区,靠自然生态的自我修复功能达到恢复生态的目的。

(4) 防止沙漠戈壁边缘的土地沙化,保护好沙区现有天然植被,封沙封滩,育草育林,建立起遏制沙漠化推进的生态屏障,增加地面覆盖度,扩展沙漠绿洲。

(5) 根据当地降水量、土壤储水量及水资源利用情况,合理安排作物种植,大力推广节水灌溉技术,提高水利用率,严防地下水采用过度、水位下降。

2. 沙尘暴来临时的个人防护

沙尘暴来临时要减少外出、远离沟渠池塘、避开残垣断壁、保护家禽家畜,建筑工人及清洁工人暂停户外作业,儿童迅速回家或找可靠的建筑物躲避等。如因职业或工作需要必须在室外活动时,最好使用防尘、滤尘口罩,或用湿毛巾、纱巾保护眼、耳、口、鼻等。其他保护措施包括戴合适的眼睛,穿戴防尘的手套、鞋袜、衣服,勤洗手脸。一旦发生持续咳嗽、气短、发作性喘憋及胸痛时,应尽快就诊。在沙尘暴多发季节,应多饮水、多吃蔬菜水果等清淡食物,抵抗力较差的老年人、婴幼儿以及患有呼吸道过敏性疾病者在风沙季节更应该注意保健,尽可能远离沙尘。

第二章 沙尘暴颗粒物的理化特性

长期以来,对沙尘暴的化学组成、来源、传输路径以及传输过程中污染颗粒物和矿物颗粒物之间的相互混合作用等问题进行了大量研究。近年来,山西大学孟紫强教授主持的国家自然科学基金重点项目“沙尘暴细颗粒物($PM_{2.5}$)的理化特性及其对人体健康的影响”(2003—2006年),北京大学胡敏教授课题组和北京师范大学庄国顺教授课题组系统地研究了沙尘暴颗粒物的理化特性,取得了一系列重要成果。研究发现,沙尘暴不仅传输了大量的矿物元素,同时还携带了相当量的污染元素和营养元素,对全球的生物地球化学循环和全球环境变化将产生深远影响。研究还发现,沙尘暴颗粒物的理化特性与地区有关。对沙尘颗粒物中离子的特性、污染元素含量的变化规律等也进行了深入探讨。

一、沙尘暴颗粒物的理化特性

庄国顺等分别在内蒙古多伦(北京沙尘暴的源头之一)、陕西榆林(沙尘暴的源头之一)、北京(市区采样点北京师范大学和郊区采样点密云)、青岛和上海6个采样点,同步连续采集总悬浮颗粒物(TSP)、可吸入颗粒物(PM_{10})和 $PM_{2.5}$ 。化学分析发现沙尘暴颗粒物在其长距离传输过程中,既输送比常日颗粒物高达数十倍的矿物元素,同时又输送比常日高几倍甚至十几倍的痕量污染元素。这些污染物部分来自沙尘暴长距离传输过程中矿物颗粒物与沿途污染源排放的污染颗粒物的混合,部分来自沙尘暴入侵气团和北京当地污染气团之间的交汇叠加,证明了沙尘暴带来的大量矿物颗粒物尤其是其中的细粒子有利于污染物的转化和积聚。同时在沙尘暴中检测出高浓度Fe(II),且Fe(II)与硫酸盐正相关,证明了大气和海洋中可能存在的硫铁耦合反馈机制(庄国顺等,2001;孙业乐等,2004)。

庄国顺课题组研究了2002年春季沙尘颗粒物中水溶性组分的特征,证明在亚洲颗粒物长距离传输过程中不同来源和不同传输路径的矿物颗粒物

与污染颗粒物相互混合的普遍存在。随着沙尘强度的增加,水溶性组分的质量分数减少。根据化学特征将沙尘暴颗粒物中的主要水溶性离子分为三组:矿物离子(Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+}), 污染-矿物离子(SO_4^{2-} , Cl^- , K^+)和污染离子(NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- , F^-) (Wang et al., 2005a)。矿物离子和污染离子分别是强沙尘天气和非沙尘时期离子的主要部分,而污染-矿物离子在不同强度的沙尘天气和非沙尘时期都占有一定比例,表明矿物颗粒物和污染颗粒物的混合在沙尘季节(甚至是强沙尘天气)普遍存在,而在中等或者较弱沙尘条件下更显著。强沙尘暴的颗粒物中主要离子的存在形式是 CaCO_3 , 中等或较弱强度沙尘暴下是 CaSO_4 , 非沙尘时是 NH_4NO_3 。沙尘颗粒加速了硫酸盐和硝酸盐的二次转化,其携带的硫酸盐和硝酸盐能够进行更远距离的传输并对全球生物地球化学循环和全球环境产生更加深远的影响。

沙尘天气发生期间大气颗粒物中的主要离子浓度顺序为 $\text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+$, 灰霾天气发生期间,其顺序为 $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+ > \text{Cl}^- > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$ 。沙尘天气发生期间,粗颗粒增加多,灰霾天气发生期间,细颗粒增加多。沙尘天气发生期间,颗粒物碱度高,灰霾天气发生期间,颗粒物酸度高。颗粒物 CaSO_4 的形成及 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4NO_3 的形成分别是沙尘天气和灰霾天气发生期间,硫酸盐和硝酸盐的主要化学形成物,可见沙尘和灰霾颗粒物有助于硫酸盐和硝酸盐的形成。

在远离海洋的北京,即使在沙尘暴发生期间,所采集的TSP、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 颗粒物样品中均可检测到甲基磺酸(MSA),平均检出率达60%,且其浓度显著高于沿海城市或远洋颗粒物中MSA浓度。因此,MSA可能存在陆地源。北京颗粒物中的MSA没有明显的海洋源,陆地源释放的二甲基硫(DMS)和工业废弃物释放的二甲基亚砷(DMSO)可能是MSA的两个主要前体,低压高温气团和长时间辐照有利于MSA的生成,陆地的人为污染可能是北京MSA的重要来源。MSA有无毒理学作用,尚未见文献报道。

元素碳(EC)和有机碳(OC)在不同采样点和不同的季节都是 $\text{PM}_{2.5}$ 的主要成分之一,占 $\text{PM}_{2.5}$ 的15%~48%(何凌燕等,2005)。北京地区 $\text{PM}_{2.5}$ 中OC和EC污染水平显著高于其他城市(如上海、青岛、多伦等)。沙尘不仅导致TSP浓度急剧增加,而且还带来大量的 $\text{PM}_{2.5}$ 。沙尘天气发生期间及其随后的几天,元素碳浓度明显降低,这主要是因为沙尘的稀释效应。有机碳的浓度有所下降,但不是很明显。令人惊奇的是,在沙尘过后的几天, $\text{PM}_{2.5}$ 中地壳元素和元素碳都在下降,但有机碳的百分含量不断上升,这可能是由于沙尘提供了更大的反应表面积,使有机气体的气固转化增加

所致。

二、沙尘暴源地和传输路径对沙尘暴颗粒物化学组成的影响

源区和传输路径是影响沙尘暴化学组成最重要的两个因素。庄国顺等以 Ca/Al 比值作为元素示踪体系来判断沙尘暴的来源。来源于内蒙古中西部沙漠及黄土高原的传输路径可被看做是“污染”路径，沿此路径传输的沙尘颗粒物携带更多的污染元素。这些污染元素可能是来自土壤尘（如 Zn ），或者是沙尘与沿途污染颗粒物的混合（如 As 和 Pb ），或者来自北京本地的“污染”扬尘（如 As 和 Pb ）或者沙尘颗粒表面的反应（Sun et al., 2005）。相反，从蒙古戈壁滩和内蒙古北部沙地传输到北京的沙尘颗粒物中污染元素较少，是相对“清洁”的路径。

张兴赢等（2004）发现北京沙尘暴存在盐湖盐渍土源。单颗粒物分析发现， S 和 Cl 是唯一一对呈显著正相关的元素。 X -射线光电子谱仪（XPS）电子能谱分析发现 S 和 Na 同时在颗粒物表面富集，离子分析表明 SO_4^{2-} 和 Cl^- 呈线性相关。颗粒同时含有 S 、 Cl 和 Na ，且 S 和 Cl 呈显著正相关， Na 相对富集，表明这些颗粒来自沙尘暴途中所经过的干盐湖盐渍土地区。因此，北京沙尘暴颗粒物不仅来自于其源头沙漠，其所经过的包括干盐湖盐渍土的大范围干旱、半干旱地区的表层土也是其主要来源之一。

韩力慧等（2005）提出一种新的元素示踪法，用于估算和区分北京大气颗粒物污染的主要组成矿物颗粒物的外来源和本地源。通过采集、分析具有代表性的、可覆盖全北京所有地区的大量颗粒物、地面扬尘以及外来源代表地区内蒙古多伦等地的表层土，发现颗粒物中元素比值 Mg/Al 是区分北京地区矿物颗粒物本地源与外来源的最佳元素示踪体系。根据元素示踪法，首次估算出北京地区矿物颗粒物中本地源与外来源的相对贡献量。春季外来源占 TSP 的 38%~86%，占 PM_{10} 的 52%~90%，占 $\text{PM}_{2.5}$ 的 59%~93%；冬季外来源占 TSP 的 52%~83%，占 PM_{10} 的 52%~93%，占 $\text{PM}_{2.5}$ 的 7%~79%；而在夏季和秋季，外来源仅占约 20%。冬春季外来源对北京矿物颗粒物的贡献明显高于夏季，沙尘暴发生期间外来源贡献高达 97%，成为北京大气颗粒物的主要来源。

三、沙尘暴颗粒物对城市大气环境的影响

沙尘暴颗粒物对源区城市影响最大，并随着传输距离的增加而减弱。