

## 沙尘天气对呼吸系统疾病的影响及其机制

马艳良 何叔斌

2010 年 3 月底,刚刚送走了寒冬的北京又黄沙漫卷,全市平均能见度仅为 1000 m 左右,市区空气可吸入颗粒物浓度持续 5 d 超过 1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,空气质量达到污染最高级——五级重度污染,这就是在我国各地肆虐的沙尘天气。沙尘天气分为浮尘、扬沙及沙尘暴三类,其中沙尘暴是指强风将地面大量沙尘吹起,水平能见度 < 1 km 的天气现象。早在北魏年间就有关于沙尘暴的详细记载,近 50 年来由于过度开发导致生态环境破坏,土地沙漠化严重,沙尘天气的频率与强度愈演愈烈。沙尘天气除了对城市交通及农业造成严重危害外,对人体健康也有不利影响,呼吸系统首当其冲。

### 一、沙尘的主要成分

沙尘中主要的有害成分为其携带的颗粒物,一次沙尘暴中就有千万吨沙尘从撒哈拉沙漠转运到英国<sup>[1]</sup>。沙尘期间大气中总悬浮颗粒物(total suspended particulate, TSP)浓度明显增加,如 1998 年 4 月 27 日甘肃河西扬沙天气导致兰州 TSP 浓度值较当月平均值增加 1 倍(分别为 1.536  $\text{mg}/\text{m}^3$  和 0.875  $\text{mg}/\text{m}^3$ )<sup>[2]</sup>。不同颗粒直径对健康的影响不同,只有直径 < 0.1 mm 的颗粒才能以悬浮方式远距离运输,而与人类健康密切相关的是直径  $\leq 10 \mu\text{m}$  的颗粒(particulate matter with particle size below 10 microns,  $\text{PM}_{10}$ ),直径  $\leq 2.5 \mu\text{m}$  的颗粒( $\text{PM}_{2.5}$ )为可吸入颗粒,一旦吸入可沉积于直径 2~4  $\mu\text{m}$  的小气道内,造成长久损害<sup>[3]</sup>,对呼吸系统危害最大。北京 2000 年 4 月沙尘袭击时  $\text{PM}_{10}$  浓度达到 1.5  $\text{mg}/\text{m}^3$ ,为非沙尘天气时的 5~10 倍, $\text{PM}_{2.5}$  浓度也升高至 0.23  $\text{mg}/\text{m}^3$ <sup>[4]</sup>。沙尘天气来临时台湾室外空气中  $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$  浓度分别增加了 68.3% 及 70%,与此同时室内  $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$  浓度分别增加了 2.9 倍及 2.8 倍。室外  $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$  浓度差别较大(分别为 118  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  和 75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),而室内  $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$  浓度则差别很小(分别为 47  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  和 46  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )<sup>[5]</sup>,说明沙尘天气不仅影响室外空气,对室内空气影响更大。

沙尘起源及气象条件不同,其沙尘颗粒的成分也不同。较大颗粒(2.5~10  $\mu\text{m}$ )以来自地表的多种矿物质成分为主,如 Al、Fe、K、Mg、S、P、Ti 及 Na 等;较小的颗粒(<2.5  $\mu\text{m}$ )中还携带有许多人工污染物,如石油燃放尾气及除草剂等化学物质<sup>[3]</sup>。2002 年 3 月北京发生沙尘暴时大气中主要地壳源元素 Ca、Al、Fe、Mg、Na 及 Ti 等高达平日的 30~58 倍,污染元素 Zn、Cu、Pb、As、Cd 及 S 比平时高出几倍至近十倍。这些污染物部分来自于沙尘暴长距离传输过程

中矿物气溶胶与沿途污染源排放的污染气溶胶的混合。沙尘暴的细粒子有利于污染物的转化和积聚, $\text{PM}_{2.5}$  中吸附的污染物占 TSP 所吸附污染物的 45%~69%。在沙尘颗粒物中吸附较多的金属颗粒,后者在自由基生成反应中起关键作用<sup>[6]</sup>。除了这些无机成分外,沙尘颗粒还会携带病毒、细菌及真菌等有机成分。美国弗吉尼亚州遭受来自非洲的沙尘袭击时,空气样本中可培养出 171 种细菌及 78 种真菌,微生物数量较无沙尘天气增加 2~8 倍<sup>[7]</sup>。亚洲沙尘暴袭击韩国时,空气样本中可分离出芽孢杆菌、放线菌、假单胞菌及窄食单胞菌等致病菌<sup>[8]</sup>,最常分离到的真菌为镰刀菌、曲霉及青霉<sup>[9]</sup>。文献报道取自沙尘天气的空气样本中担孢子、青霉及曲霉孢子及少见真菌如黑孢子菌、节菱孢属等孢子浓度较正常天气增加了 2~12 倍,且其浓度与  $\text{PM}_{10}$  浓度呈明显正相关<sup>[10]</sup>。

### 二、沙尘对呼吸系统的影响

沙尘颗粒的直接刺激可引起咽痛、咳嗽及流涕等症状,其中细小颗粒可携带重金属、硫酸盐、有机物及病毒等进入呼吸道和肺部。呼吸系统疾病的门诊率、入院率和病死率均随空气中  $\text{PM}_{10}$  的浓度增加而增加。沙尘暴出现的当天及此后的 1~2 d 内呼吸系统疾病门诊量明显增加;呼吸系统疾病门诊量与  $\text{PM}_{10}$  浓度呈正相关(Pearson 相关系数为 0.388,  $P < 0.01$ )<sup>[11]</sup>。黄玉霞和王宝鉴<sup>[2]</sup>分析发现兰州市沙尘暴发生频率与呼吸道疾病发病人数呈正相关。甘肃民勤的调查结果表明,沙尘天气发生后 3 d,呼吸系统疾病的住院率增加,男性及女性的 RR 值分别为 1.14(95% CI 为 1.01~1.29)和 1.18(95% CI 为 1.00~1.41)<sup>[12]</sup>。在其他受沙尘影响的地区,如我国台湾、韩国首尔及加拿大等地的研究结果也证实沙尘天气增加呼吸系统疾病患者的住院率。但加利福尼亚州一项研究结果表明,沙尘天气与呼吸系统疾病相关住院率增加无显著相关,可能与沙尘颗粒浓度较低及持续时间较短有关<sup>[13]</sup>,也有研究结果证实沙尘天气导致呼吸系统疾病相关的病死率增加<sup>[14-15]</sup>。

沙尘天气发生时呼吸道感染的发生率明显增加,甘肃民勤县沙尘暴发生后第 4 天,男性上呼吸道感染的发生率增加(RR 值为 1.28, 95% CI 为 1.04~1.59),第 5 天男性肺炎的发生率增加(RR 值为 1.17, 95% CI 为 1.00~1.38)<sup>[12]</sup>。美国华盛顿地区发生沙尘暴的 2 d 中支气管炎的急诊量增加了 3.5%,鼻窦炎的急诊量增加了 4.5%<sup>[16]</sup>。

除了呼吸系统感染性疾病外,沙尘天气还容易导致过敏性疾病如过敏性鼻炎、支气管哮喘患者(简称哮喘)的病情加重。我国台湾学者的研究结果表明, $\text{PM}_{10}$  浓度每增加 28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,哮喘患者的人院率增加 4.48%(95% CI 为 0.71%~

8.38%)<sup>[17]</sup>。西印度群岛的回顾性研究结果表明,儿童哮喘的入院率与沙尘天气呈正相关,空气能见度为 7 km 的沙尘天气时日均住院人数为 9 人,而无沙尘天气(空气能见度为 16 km)时日均住院人数为 8 人<sup>[18]</sup>,沙尘天气与哮喘患者的病情有关<sup>[19]</sup>,PM<sub>10</sub> 浓度增加与哮喘患者的峰流速(peak expiratory flow rate, PEFR)变异率增加(>20%)、平均 PEFR 下降及夜间症状增加显著相关( $P < 0.05$ ),与支气管舒张剂应用及白天症状无明显相关。沙尘天气与哮喘患者病死率的相关性较弱<sup>[15]</sup>。哮喘患儿的 PEFR 随 PM<sub>10</sub> 浓度增加而显著下降,而非哮喘儿童的 PEFR 则无显著差异,PM<sub>10</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 颗粒中吸附的金属元素含量增加与儿童肺功能下降显著相关<sup>[20]</sup>。包头市的研究结果表明,沙尘天气时大气中颗粒物的浓度与普通学龄儿童的 PEFR 值呈负相关,存在短期急性效应,在大气颗粒物浓度升高之后的 3 d 内儿童的肺功能均受颗粒物的影响,特别是在滞后 1 d 时效应最为明显。PM<sub>2.5</sub> 的效应比 PM<sub>10</sub> 更为显著,在控制了 NO<sub>2</sub> 和 SO<sub>2</sub> 浓度后,PM<sub>2.5</sub> 浓度每增加 10 μg/m<sup>3</sup>,儿童在沙尘天气 1 d 后的 PEFR 日均值就降低 0.25 L/min(95% CI 为 -0.310 至 -0.179 L/min),而 PM<sub>10</sub> 浓度每增加 10 μg/m<sup>3</sup>,1 d 后的 PEFR 日均值就降低 0.12 L/min(95% CI 为 -0.156 至 -0.087 L/min)<sup>[21]</sup>。

除了这些急性损害以外,长期慢性接触沙尘还可导致非职业性尘肺。沙尘中游离二氧化硅含量越高,导致尘肺的能力越强。在我国沙尘天气多发的甘肃民勤县采用多阶段随机抽样法调查 1500 余名未接触过职业性沙尘的 18 岁以上农民,非职业性尘肺(或沙尘尘肺)的患病率为 5.33%<sup>[22]</sup>;位于喜马拉雅 3000~4500 m 的 Ladakh 干旱沙漠地区没有矿产和工厂,但沙尘暴频发,大气颗粒物中游离二氧化硅的比例高达 60%~70%,流行病学调查结果显示该区沙漠尘肺的发生率为 2.0%~45.3%<sup>[23]</sup>,因此,沙尘天气对呼吸系统影响不容忽视。

### 三、沙尘颗粒的致病机制

越来越多的学者关注沙尘颗粒的致病机制,沙尘颗粒及其附着的水溶性成分和有机成分均可诱发全身及局部的炎症反应,肺动脉高压大鼠吸入沙尘颗粒后, BALF 中白细胞总数及中性粒细胞比例明显增加,同时 BALF 中乳酸脱氢酶及白细胞介素(Interleukin, IL)-6 水平显著增加,且增加幅度与剂量呈正相关<sup>[24]</sup>。

PM<sub>2.5</sub> 提取物具有诱变及致癌的遗传毒性<sup>[25]</sup>,在体外短期实验即可见其致突变作用。沙尘暴中 PM<sub>2.5</sub> 及其有机提取物均可使淋巴细胞微核率显著增高,核分裂指数显著下降,且存在剂量-效应关系。低浓度的沙尘暴细颗粒物可引起大鼠肺细胞 DNA 损伤,浓度越大损伤越明显<sup>[26]</sup>。

沙尘颗粒影响肺泡巨噬细胞(alveolar macrophage, AM)的功能及寿命,动物实验结果表明沙尘天气时收集到的 PM<sub>2.5</sub> 可影响 AM 的吞噬功能<sup>[27]</sup>,诱导 AM 分泌一氧化氮、IL-8 及肿瘤坏死因子-α 等炎性因子<sup>[28]</sup>。沙尘颗粒物吸附较多的金属,具有产生活性氧的能力,导致氧化损伤,使 AM 存

活率下降<sup>[29]</sup>。PM<sub>2.5</sub> 中的水溶性成分还可导致大鼠 AM 脂质过氧化作用增强,抗氧化能力减弱,细胞膜表层和膜脂疏水区流动性降低,抑制质膜 Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>-ATP 酶和 Ca<sup>2+</sup>-Mg<sup>2+</sup>-ATP 酶活性,使胞质内乳酸脱氢酶渗漏到细胞外<sup>[30]</sup>。

沙尘颗粒也影响到肺成纤维细胞的增殖及功能。沙尘全颗粒在 60~150 mg/L 范围内对人肺脏成纤维细胞有明显的细胞毒性,且随着剂量的增加毒性也明显增强;沙尘无机提取物在 12.6~21.0 mg/L 时出现明显的细胞毒性,同样毒性随剂量增加而增大,沙尘有机提取物未见明显的细胞毒性。沙尘 PM<sub>2.5</sub> 中的不同组分对人成纤维细胞细胞间隙连接通讯均有显著的抑制作用,且抑制作用随剂量增高而增加,其中有机提取物的抑制作用最强,其次为全颗粒,再次为无机提取物<sup>[31]</sup>。沙尘 PM<sub>2.5</sub> 对肺成纤维细胞的增殖呈双相作用,在低浓度时促进其增殖,而在较高浓度时则转为抑制<sup>[32]</sup>。

沙尘颗粒还可显著促进卵清蛋白诱导的气道变应性炎症,导致气道内聚集的嗜酸性粒细胞及中性粒细胞增多,气道上皮杯状细胞增殖, BALF 中 IL-5,嗜酸细胞活化趋化因子浓度增加,特异性 IgE 及 IgG 生成增加,而经加热去除了所吸附的微生物、硫酸盐等有害物质的沙尘颗粒仅对气道炎症有轻微影响<sup>[33]</sup>。

综上所述,沙尘颗粒不同成分通过不同的作用机制影响机体细胞的功能,其中无机成分主要通过致突变及氧化抗氧化失衡直接损伤细胞,而有机成分则主要影响细胞功能,促进机体炎症反应。

### 四、沙尘危害的预防

减少沙尘对健康损害的最主要的途径就是避免接触。在沙尘天气时应尽量减少户外活动,在室内关闭门窗。研究表明沙尘天气时细小颗粒会通过空调的过滤系统进入室内,导致室内/室外 PM<sub>2.5</sub> 浓度比增高,而在空调关闭时室内颗粒物浓度则显著下降,因此沙尘天气时应尽量避免使用空调,加装空调预过滤装置或压缩空气净化系统也可显著降低室内颗粒浓度<sup>[5]</sup>。如需出门应当加强自我防护措施,预防呼吸系统疾病较为有效的措施就是佩戴口罩,普通的纱布口罩或医用口罩并不能过滤细小的粉尘,必须选择有防尘作用的专用口罩。还应注意必须使口罩与面部紧密贴合,才能起到有效的防护作用。沙尘归根结底是人类盲目追求经济发展对大自然肆意开发的恶果,每个人都应当从小事做起,善待环境,保护自然,才能真正让我们远离沙尘,畅快呼吸。

### 参 考 文 献

- [1] Mattson JO, Nilsen J. The transport of Saharan dust to southern Europe: a scenario. *J Arid Environments*, 1996, 32:111-119.
- [2] 黄玉霞, 王宝鉴. 兰州市呼吸道疾病与沙尘天气关系的分析. *甘肃气象*, 2001, 19: 41-44.
- [3] Schwartz J, Norris G, Larson T, et al. Episodes of high coarse particle concentrations are not associated with increased mortality. *Environ Health Perspect*, 1999, 107:339-342.
- [4] Xie S, Yu T, Zhang Y, et al. Characteristics of PM10, SO<sub>2</sub>, NO(x) and O<sub>3</sub> in ambient air during the dust storm period in Beijing. *Sci Total Environ*, 2005, 345:153-164.

[5] Kuo HW, Shen HY. Indoor and outdoor PM2.5 and PM10 concentrations in the air during a dust storm. *Building and Environment*, 2010, 45, 610-614.

[6] 孙业乐, 庄国顺, 袁惠, 等. 2002 年北京特大沙尘暴的理化特性及其组分来源分析. *科学通报*, 2004, 49:340-346.

[7] Griffin, DW, Kellogg CA, Garrison VH, et al. Atmospheric microbiology in the northern Caribbean during African dust events. *Aerobiologia*, 2003, 19:143-157.

[8] Lee S, Choi B, Yi SM, et al. Characterization of microbial community during Asian dust events in Korea. *Sci Total Environ*, 2009, 407:5308-5314.

[9] Yeo HG, Kim JH. SPM and fungal spores in the ambient air of west Korea during the Asian dust (yellow sand) period. *Atmospheric Environment*, 2002, 36:5437-5442.

[10] Wu PC, Tsai JC, Li FC, et al. Increased levels of ambient fungal spores in Taiwan are associated with dust events from China. *Atmospheric Environment*, 2004, 38:4879-4886.

[11] 陈晓燕, 牛静萍, 丁国武, 等. 沙尘暴对呼吸系统疾病的影响. *环境与健康杂志*, 2007, 24:63-65.

[12] Meng ZQ, Lu B. Dust events as a risk factor for daily hospitalization for respiratory and cardiovascular diseases in Minqin, China. *Atmospheric Environment*, 2007, 41: 7048-7058.

[13] Bennett CM, McKendry IG, Kelly S, et al. Impact of the 1998 Gobi dust event on hospital admissions in the Lower Fraser Valley, British Columbia. *Sci Total Environ*, 2006, 366:918-925.

[14] Chen YS, Sheen PC, Chen ER, et al. Effects of Asian dust storm events on daily mortality in Taipei, Taiwan. *Environ Res*, 2004, 95:151-155.

[15] Kwon HJ, Cho SH, Chun Y, et al. Effects of the Asian dust events on daily mortality in Seoul, Korea. *Environ Res*, 2002, 90:1-5.

[16] Hefflin BJ, Jalaludin B, McClure E, et al. Surveillance for dust storms and respiratory diseases in Washington State, 1991. *Arch Environ Health*, 1994, 49:170-174.

[17] Bell ML, Levy JK, Lin Z. The effect of sandstorms and air pollution on cause-specific hospital admissions in Taipei, Taiwan. *Occup Environ Med*, 2008, 65:104-111.

[18] Gyan K, Henry W, Lacaille S, et al. African dust clouds are associated with increased paediatric asthma accident and emergency admissions on the Caribbean island of Trinidad. *Int J Biometeorol*, 2005, 49:371-376.

[19] Park JW, Lim YH, Kyung SY, et al. Effects of ambient particulate matter on peak expiratory flow rates and respiratory symptoms of asthmatics during Asian dust periods in Korea. *Respirology*, 2005, 10:470-476.

[20] Hong YC, Pan XC, Kim SY, et al. Asian Dust Storm and pulmonary function of school children in Seoul. *Sci Total Environ*, 2010, 408:754-759.

[21] 叶晓芳, KIM DS, 张翼翔, 等. 沙尘天气大气颗粒物对学龄儿童最大呼气流速的影响. *环境与健康杂志*, 2008, 25:571-574.

[22] 孟紫强, 杨振华, 潘竞界, 等. 沙尘天气多发区民勤县发现多例非职业性尘肺病. *生态毒理学报*, 2008, 3:337-342.

[23] Norboo T, Saiyed HN, Anchuk PT, et al. Mini review of high altitude health problems in Ladakh. *Biomed Pharmacother*, 2004, 58:220-225.

[24] Lei YC, Chan CC, Wang PY, et al. Effects of Asian dust event particles on inflammation markers in peripheral blood and bronchoalveolar lavage in pulmonary hypertensive rats. *Environ Res*, 2004, 95:71-76.

[25] 魏爱丽, 孟紫强, 牛瑞芳. 沙尘暴细颗粒物对外周血淋巴细胞微核形成的影响. *环境科学学报*, 2006, 26:509-514.

[26] 徐大琴, 牛静萍, 万学中, 等. 沙尘暴细颗粒物致大鼠肺细胞 DNA 损伤研究. *环境与健康杂志*, 2008, 25:67-68.

[27] 黄雪莲, 金昱, 郭新彪, 等. 沙尘暴 PM2.5、PM10 对大鼠肺泡巨噬细胞吞噬功能的影响. *卫生研究*, 2004, 33:154-157.

[28] 黄雪莲, 金昱, 郭新彪, 等. 沙尘暴 PM2.5、PM10 对大鼠肺泡巨噬细胞炎性因子分泌的影响. *环境与健康杂志*, 2004, 21:38-40.

[29] 耿红, 孟紫强, 张全喜. 沙尘暴细颗粒物对大鼠肺泡巨噬细胞钙水平和脂质过氧化物的影响. *环境科学学报*, 2005, 25:845-850.

[30] 耿红, 孟紫强, 张全喜. 沙尘暴 PM2.5 水溶性和有机成分对巨噬细胞的损伤. *中国环境科学*, 2006, 26:20-24.

[31] 王菲菲, 郑灿军, 郭新彪. 沙尘与非沙尘 PM2.5 对人肺成纤维细胞存活率及细胞间通讯的影响. *卫生研究*, 2006, 35:26-30.

[32] Deng F, Guo X, Liu H, et al. Effects of dust storm PM2.5 on cell proliferation and cell cycle in human lung fibroblasts. *Toxicol In Vitro*, 2007, 21:632-638.

[33] Ichinose T, Yoshida S, Hiyoshi K, et al. The effects of microbial materials adhered to Asian sand dust on allergic lung inflammation. *Arch Environ Contam Toxicol*, 2008, 55:348-357.

(收稿日期:2010-05-26)

(本文编辑:李文慧)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

## 本刊 2011 年杂志订阅清单

2011 年《中华结核和呼吸杂志》订阅清单 (复印有效)

订户姓名	手机号码	订户详细地址	邮编	发票抬头
订阅全年	170 元/套	套数:	应付金额	
分期订阅	16 元/期 全年 12 期	订阅哪期:	应付金额	
		每期册数:		
是否挂号	不需要	挂号费(元):	合计金额 (元)	
	需要			

注:订阅全年订购数量单位为“套”,全年 12 期,订购数量写 1,即订阅了 1 期到 12 期各 1 册