

《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 细颗粒物(PM_{2.5}) 标准值解读

阚海东

近期,细颗粒物 (particle matter $\leq 2.5 \mu\text{m}$ in aerodynamic diameter, PM_{2.5}) 污染对人体健康的影响及其纳入我国《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 引起了社会广泛关注。关注的问题主要包括:我国 PM_{2.5} 污染水平、PM_{2.5} 对人体健康的影响及 PM_{2.5} 环境空气质量标准值的科学制定等。笔者拟对此进行回顾和展望。

一、有限的监测数据表明我国 PM_{2.5} 污染比较严重 尽管中国在全国范围尚未开展对 PM_{2.5} 的监测,但个别城市监测数据表明,我国 PM_{2.5} 污染比较严重。2006—2010 年,北京、上海、广州、西安和沈阳 5 个城市的 PM_{2.5} 年平均浓度从 $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 至 $182 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 不等,是 WHO《全球空气质量指南》年平均指导值 ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 的 5~18 倍,也是美国环境保护署 (EPA) PM_{2.5} 年平均标准值 ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 的 4~12 倍^[1-6]。

国外研究间接说明我国 PM_{2.5} 污染严重。有研究者采用美国航空航天总署 (NASA) 卫星气溶胶厚度 (aerosol optical depth, AOD) 反演地面 PM_{2.5} 浓度,发现我国四大城市群 (京津唐、长江三角洲、珠江三角洲、成渝) 2001—2006 年期间 PM_{2.5} 年平均浓度均超过 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 而欧美发达国家则普遍低于 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ^[7]。WHO 在 2011 年 9 月公布了其首个空气质量数据库,以可吸入颗粒物 (particle matter $\leq 10 \mu\text{m}$ in aerodynamic diameter, PM₁₀) 计,我国空气质量最好的海口市在全球 1082 个城市中仅排第 814 位,这间接反映了我国主要城市 PM_{2.5} 污染水平较高。

二、PM_{2.5} 的健康危害已得到科学界的公认

PM_{2.5} 被科学界公认为大气环境中健康危害最

大的污染物。PM_{2.5} 粒径小、比表面积大、组成复杂,易于富集空气中的有毒有害物质,随呼吸进入体内,甚至透过血气屏障进入循环系统,导致呼吸系统 (包括肺癌) 和心血管系统疾病^[8]。

发达国家通过前瞻性队列研究已确证了 PM_{2.5} 与健康危害的因果关系^[8]。前瞻性队列研究是目前国际上公认的评价 PM_{2.5} 对人群健康影响最为理想的方法。自 20 世纪 70 年代以来,欧美发达国家相继开展了“哈佛六城市研究” (8000 名研究对象,随访 19 年) 和“美国癌症研究协会 (ACS) 研究” (50 万名研究对象,随访 16 年) 等前瞻性队列研究,确证了 PM_{2.5} 对居民心肺系统死亡的影响^[9-10]。WHO、EPA、欧洲联盟 (简称欧盟) 和世界银行对于 PM_{2.5} 的标准制修订、健康风险评估和经济损失评估均基于这两个经典研究。

我国关于 PM_{2.5} 对健康影响的研究结果与发达国家基本一致。我国已有 PM_{2.5} 与健康相关性的生态学研究 and 干预研究,但缺乏对制订标准最为有用的前瞻性队列研究。在生态学研究方面,Zhang 等^[11] 1993—1997 年在广州、武汉、兰州、重庆等城市开展的横断面调查发现,PM_{2.5} 与儿童慢性呼吸系统疾病患病率和肺功能下降呈线性正相关关系,PM_{2.5} 的影响远大于二氧化硫 (SO₂)、二氧化氮 (NO₂)。北京、上海、广州、西安和沈阳等城市开展的时间序列研究认为,PM_{2.5} 暴露可增加我国城市居民的死亡和发病风险;组分分析发现,我国 PM_{2.5} 中健康危害大的成分来自于化石燃料燃烧^[1-6,12]。在干预研究方面,奥运期间开展的干预研究发现,北京大气 PM_{2.5} 浓度从奥运前的 $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 下降到奥运期间的 $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右,期间北京市居民哮喘发病风险下降了 50%^[13],各种亚临床健康指标 (如肺功能、心律变异性等) 也有明显改善^[14]。

研究提示,我国现阶段 PM_{2.5} 单位浓度的急性健康危害低于发达国家^[1]。但随着我国大气污染类型的转变 (PM_{2.5} 将更多来自于机动车尾气)、污染物浓度的降低和居民年龄结构老龄化,未来我国 PM_{2.5}

DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2012.05.004

基金项目:国家环境保护公益项目 (201209008);国家重点基础研究发展计划 (973 计划) (2011CB503802)

作者单位:200032 上海,复旦大学公共卫生学院 公共卫生安全教育部重点实验室 全球环境变化研究所

通信作者:阚海东,Email:haidongkan@gmail.com

单位浓度的健康危害应与发达国家接近。事实上, 分区域看, 我国发达地区(如广州) $\text{PM}_{2.5}$ 的暴露-反应关系正在接近发达国家水平, 例如: $\text{PM}_{2.5}$ 每增加 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 广州居民死亡率增加 0.9% ^[6], 美国为 1.2% ^[8], 而地处西北的西安仅增加 0.1% ^[1]。

三、我国制订 $\text{PM}_{2.5}$ 标准需要关注的问题

国际上 $\text{PM}_{2.5}$ 标准(或指导值)的制订综合考虑了其对人体健康影响的可接受风险和环境管理的可达性。例如, $\text{PM}_{2.5}$ 年平均标准的制订是基于慢性健康效应的前瞻性队列研究。WHO 在 ACS 队列研究的基础上提出了 $\text{PM}_{2.5}$ 年平均指导值(air quality guideline, AQG)和过渡时期目标值(interim target, IT)。WHO 推荐 $\text{PM}_{2.5}$ 年均 AQG 在 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 是因为 ACS 研究观察到的对死亡产生明显影响的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度范围的下限约为 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。WHO 考虑到部分国家不能一步到位使用 AQG, 也根据 ACS 提供的暴露-反应系数($\text{PM}_{2.5}$ 每增加 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 居民长期死亡风险增加 6%)和可接受的健康风险, 建议了 3 个 IT 值供各国决策者根据国情自行选用。IT-1 ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 对应于 ACS 研究中最高的浓度均值, IT-1 相比 AQG 会增加约 15% 的死亡风险; IT-2 ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 相比 IT-1 可使死亡风险降低约 6% ; IT-3 ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 接近于 ACS 研究中 $\text{PM}_{2.5}$ 平均浓度, 相比 IT-2 可降低约 6% 的死亡风险。

我国当前尚缺少自主制订 $\text{PM}_{2.5}$ 标准的技术储备, 暂可采用 WHO 建议的 IT-1 作为标准。技术储备不足体现在: 第一, 我国尚无针对 $\text{PM}_{2.5}$ 的系统监测, $\text{PM}_{2.5}$ 在大气环境中的基线数据不明; 第二, 尽管我国已有研究证实了 $\text{PM}_{2.5}$ 对国民健康的危害, 但缺少类似于 ACS 的前瞻性队列研究, 无法像 ACS 一样提供对健康产生明显影响的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度范围下限及对应的健康风险。

但是, 基于 ACS 研究的指导值和过渡时期目标值应用于我国也存在局限性: 首先, 我国 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度水平远高于 ACS 研究, 其暴露-反应关系不宜直接应用于我国, 高浓度下人群的暴露-反应曲线往往趋向平坦, 这个现象在最新的国外流行病学研究中已经被证实; 第二, 我国 $\text{PM}_{2.5}$ 成分与美国存在较大差异, 导致我国 $\text{PM}_{2.5}$ 的健康危害与 ACS 研究可能有所不同; 第三, 我国居民对 $\text{PM}_{2.5}$ 的易感性(年龄结构、遗传差异等)也与 ACS 研究存在一定差异, 如欧美国高齡老年人口较多, 其大气 $\text{PM}_{2.5}$ 污染的易感人群比例也高于我国。

我国可分区域、分阶段实施 $\text{PM}_{2.5}$ 标准。此前发

现, 我国 $\text{PM}_{2.5}$ 污染健康危害的区域特征较为明显, 东南沿海发达城市 $\text{PM}_{2.5}$ 单位浓度的健康危害较大^[6], 西北地区较低^[1]。这反映了我国不同地区 $\text{PM}_{2.5}$ 成分、浓度和当地居民对 $\text{PM}_{2.5}$ 敏感度的差异。因此, 我国可分区域、分阶段实施 $\text{PM}_{2.5}$ 标准。部分重点污染控制和社会经济状况允许的地区(如京津冀、长江三角洲、珠江三角洲和成渝城市群)可提前实施 $\text{PM}_{2.5}$ 标准。

四、展望

首先, 我国宜尽快执行大气 $\text{PM}_{2.5}$ 质量标准, 并将其纳入常规监测体系。基于大气 $\text{PM}_{2.5}$ 对健康影响的科学认识和研究进展, WHO、美国、欧盟及部分发展中国家已相继制定了 $\text{PM}_{2.5}$ 质量标准。在兼顾经济发展要求、当前 $\text{PM}_{2.5}$ 水平和保护居民健康需要的基础上, 我国宜尽早执行 $\text{PM}_{2.5}$ 的环境空气质量标准, 并将 $\text{PM}_{2.5}$ 纳入常规环境监测体系内。

第二, 建议“十三五”期间启动我国大气污染健康影响的前瞻性队列专项研究。根据《环境空气质量标准》(GB3095-2012), “十三五”期间我国能把 $\text{PM}_{2.5}$ 纳入常规环境监测。因此, 统筹考虑环保部门环境监测网络、卫生部门健康登记系统, 我国完全有条件开展自己的 $\text{PM}_{2.5}$ 前瞻性队列研究。队列研究得到的环境污染水平、人群暴露模式和水平、可接受健康风险水平和健康风险的区域差异, 不仅可为我国未来制、修订 $\text{PM}_{2.5}$ 质量标准提供最重要的科学依据, 还可为加强环境风险管理、开展污染的健康经济损失评估及总量控制政策的成本-效益分析提供重要的基础信息。

第三, 我国需加强对 $\text{PM}_{2.5}$ 健康危害的基础研究。有必要以 $\text{PM}_{2.5}$ 与人体交互作用为核心, 围绕我国 $\text{PM}_{2.5}$ 健康危害的区域特征和作用机制这一关键, 加强相关基础研究。例如, 采用先进的环境采样和分析仪器, 对 $\text{PM}_{2.5}$ 进行详细的物理、化学表征的基础上, 开展流行病学和毒理学研究, 获得 $\text{PM}_{2.5}$ 物理、化学特征及其健康影响的深入认识。

第四, 加强对我国环境污染(包括 $\text{PM}_{2.5}$)健康风险沟通的研究和能力培养。我国各级部门已逐渐基于风险, 开展环境管理工作, 但多侧重于技术层面的风险防范和发生污染后的应急处理, 缺少公众的参与和沟通。与发达国家成熟体系相比, 我国相关部门在风险沟通的理论和能力培养方面尚有欠缺。未来需加强对环境污染健康风险沟通的基本理论、策略、方法和效果评估的研究, 制定相关法规, 设置专门沟通机构, 从而真正起到维护社会稳定的作用。

参 考 文 献

- [1] Cao J, Xu H, Xu Q, et al. Fine particulate matter constituents and cardiopulmonary mortality in a heavily polluted Chinese city. *Environ Health Perspect*, 2012, 120(3): 373-378.
- [2] Chen R, Li Y, Ma Y, et al. Coarse particles and mortality in three Chinese cities: the China Air Pollution and Health Effects Study (CAPES). *Sci Total Environ*, 2011, 409(23): 4934-4938.
- [3] Guo Y, Jia Y, Pan X, et al. The association between fine particulate air pollution and hospital emergency room visits for cardiovascular diseases in Beijing, China. *Sci Total Environ*, 2009, 407(17): 4826-4830.
- [4] Kan H, London SJ, Chen G, et al. Differentiating the effects of fine and coarse particles on daily mortality in Shanghai, China. *Environ Int*, 2007, 33(3): 376-384.
- [5] Ma Y, Chen R, Pan G, et al. Fine particulate air pollution and daily mortality in Shenyang, China. *Sci Total Environ*, 2011, 409(13): 2473-2477.
- [6] Yang C, Peng X, Huang W, et al. A time-stratified case-crossover study of fine particulate matter air pollution and mortality in Guangzhou, China. *Int Arch Occup Environ Health*, 2011, In press.
- [7] van Donkelaar A, Martin RV, Brauer M, et al. Global estimates of ambient fine particulate matter concentrations from satellite-based aerosol optical depth: development and application. *Environ Health Perspect*, 2010, 118(6): 847-855.
- [8] Pope CA 3rd, Dockery DW. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *J Air Waste Manag Assoc*, 2006, 56(6): 709-742.
- [9] Dockery DW, Pope CA 3rd, Xu X, et al. An association between air pollution and mortality in six U. S. cities. *N Engl J Med*, 1993, 329(24): 1753-1759.
- [10] Pope CA 3rd, Burnett RT, Thun MJ, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA*, 2002, 287(9): 1132-1141.
- [11] Zhang JJ, Hu W, Wei F, et al. Children's respiratory morbidity prevalence in relation to air pollution in four Chinese cities. *Environ Health Perspect*, 2002, 110(9): 961-967.
- [12] Wu S, Deng F, Niu J, et al. Exposures to PM_{2.5} components and heart rate variability in taxi drivers around the Beijing 2008 Olympic Games. *Sci Total Environ*, 2011, 409(13): 2478-2485.
- [13] Li Y, Wang W, Kan H, et al. Air quality and outpatient visits for asthma in adults during the 2008 Summer Olympic Games in Beijing. *Sci Total Environ*, 2010, 408(5): 1226-1227.
- [14] Wu S, Deng F, Niu J, et al. Association of heart rate variability in taxi drivers with marked changes in particulate air pollution in Beijing in 2008. *Environ Health Perspect*, 2010, 118(1): 87-91.

(收稿日期:2012-02-13)

(本文编辑:李敬文)

· 文献速览 ·

美国 50 年间职业相关体力活动的变化趋势及其与肥胖的相关性

Church TS, Thomas DM, Tudor-Locke C, et al. Trends over 5 decades in U. S. occupation - related physical activity and their associations with obesity. *PLoS one*, 2011, 6(5): e19657.

迄今为止,肥胖的流行病学原因尚无较满意的解释,缺乏纵向的人群研究资料。该研究分析了 1960 年以来的 50 年间,美国人群职业活动水平的变化趋势及其与体重的相关性。该研究利用美国劳工统计局的私营行业统计数据,计算了职业活动的能量消耗,并从美国全国健康与营养调查(NHANES)的结果中获取人群的体重数据。分析发现,20 世纪 60 年代初期美国私营行业的工作岗位中,约 50% 需要中等以上强度的身体活动,而 2010 年该比例已不足 20%。经估算,自 1960 年以来,男性或女性日均职业劳动的能量消耗已经下降了超过 100 kcal(注:1 kcal = 4.12 kJ)。能量平衡模型藉此预测了 40~50 岁人群的体重,并与 1960 年以来调查时间相近的每次 NHANES 结果相比较。例如,与

1960—1962 年间相比,2003—2006 年男性职业活动的能量消耗下降了 142 kcal,以 1960—1962 年的男性平均体重为基础体重(76.9 kg),估计所减少的日均 142 kcal 能量消耗导致平均体重增加到了 89.7 kg,接近于 2003—2006 年 NHANES 所调查的的男性平均体重(91.8 kg)。对女性的分析也得到了类似的结果。该研究因而得出结论认为,过去 50 年以来,估计美国人群日均职业活动所产生的能量消耗下降了 100 kcal 以上,而这种下降导致了无性别差异的体重增加。

(陈晓荣 中国疾病预防控制中心慢性非传染性疾病
预防控制中心)