

中国大气颗粒物污染与致癌研究进展

吴静¹, 宋晓明², 刘硕², 吴荣山², 黄薇²

1. 中国疾病预防控制中心慢性非传染性疾病预防控制中心, 北京 102206

2. 北京大学公共卫生学院劳动卫生与环境卫生学系, 北京 100191

摘要 室外空气污染和污染空气中的颗粒物是一类致癌物, 而近年中国的大气颗粒物污染仍然维持在较高浓度水平。通过综述中国近年大气颗粒物污染现状和开展的颗粒物致癌机制研究, 分析中国研究中颗粒物有关实验动物致癌性的证据和颗粒物致癌的人群流行病学线索, 阐述大气颗粒物与癌症的关系, 提出中国亟需开展相关研究。

关键词 空气污染; 颗粒物; 肺癌

2013年10月, 世界卫生组织(WHO)下属国际癌症研究机构(IARC)发布报告, 将室外空气污染和污染空气中的颗粒物(particulate matter, PM)划分为人类一类致癌物^[1-3]。该项评估报告充分考虑了全球范围人类癌症流行病学研究、动物致癌实验及致癌机理研究方面的充分证据, 认为长时间暴露于颗粒物和大气污染能够增加罹患肺癌的风险。这项评估报告中来自中国的研究证据还极其有限, 而且由于中国颗粒物浓度水平及化学组分与已有研究存在较大差异, 人群的年龄结构及遗传等影响因素也存在较大不同, 导致中国的大气颗粒物相关的癌症风险尚无法依据此项报告进行推导。以下拟就现有的中国大气颗粒物污染与癌症的相关研究, 从污染水平、致癌机制和研究证据等几个角度, 进行综述分析。

1 大气颗粒物污染现状

伴随着快速城市化和工业化进程, 中国近年的大气污染物呈现复合性的特征。以煤为主的能源结构未

发生根本性变化, 煤烟型污染作为主要污染类型长期存在, 可吸入颗粒物(空气动力学直径小于等于10 μm, PM₁₀)的污染问题虽然有所减轻, 但远未得到从污染源头有效控制的全面解决。与此同时, 随着汽车尾气和工业燃烧排放的增加, 一些城市群区域细颗粒物(空气动力学直径小于等于2.5 μm, PM_{2.5})的浓度在不断增加, 进一步加剧了区域性大气污染, 并且影响范围日趋扩大。

在2012年, 国家环境保护部正式将PM_{2.5}纳入监测范围之前, 中国环境空气中PM_{2.5}年平均浓度数据十分有限。在国内进行的有关PM_{2.5}暴露的死亡归因风险研究^[4-6]中, 研究期间的PM_{2.5}年平均浓度从54~177 μg/m³不等, 但均高于中国现行《GB 3095—2012 环境空气质量标准》中对PM_{2.5}年平均浓度的规定, 暨PM_{2.5}的年均值不超过35 μg/m³, 更远高于WHO空气质量指南中提出的年平均浓度限值(10 μg/m³)。

2013年起, 京津冀、长三角、珠三角等重点区域及直辖市、省会城市和计划单列市共74个城市开始按照《GB3095—2012 环境空气质量标准》开展监测, 大气颗

收稿日期: 2018-07-10; 修回日期: 2018-08-10

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC1302601)

作者简介: 吴静, 研究员, 研究方向为慢性病防治与社区卫生, 电子信箱: wujingcdc@163.com; 黄薇(通信作者), 研究员, 研究方向为大气污染的环境流行病学, 电子信箱: whuang@bjmu.edu.cn

引用格式: 吴静, 宋晓明, 刘硕, 等. 中国大气颗粒物污染与致癌研究进展[J]. 科技导报, 2018, 36(15): 32-38; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.15.004

粒物的年均浓度如表1所示^[7-11]。结果显示,虽然PM₁₀和PM_{2.5}的年均浓度逐年有所下降,但这74个城市的年均浓度仍高于国家标准。2016年,全国338个地级以上城市全部开展空气质量新标准监测^[10]。监测结果显示,有84个城市环境空气质量达到国家二级标准,占24.9%;254个城市环境空气质量超标,占75.1%。PM₁₀和PM_{2.5}的年均浓度分别为82(22~436)和47(12~158) μg/m³,分别超过国家二级标准0.17和0.34倍。

表1 2013—2017年中国74个城市大气颗粒物年均浓度
Table 1 Annual average concentrations of ambient particulate matters in 74 Chinese cities (2013—2017)

年份	PM ₁₀ /(μg·m ⁻³)		PM _{2.5} /(μg·m ⁻³)	
	均值	范围	均值	范围
2013	118	47~305	72	26~160
2014	105	42~233	64	23~130
2015	93	40~174	55	22~107
2016	85	39~164	50	21~99
2017	80	37~154	47	20~86

如今,中国的大气颗粒物污染已经对人们的日常生活产生了直接影响。2015年,全国共有24个省(区、市)280个地级以上城市编制重污染天气应急预案,仅京津冀地区就发布重污染天气预警154次^[9](2014年为60余次^[8])。可见,大气颗粒物污染日益成为制约中国经济、社会可持续发展的一个重要环境因素。

2 大气颗粒物致癌机制的探讨

空气污染具有复杂的化学组成。大气颗粒物中的某些单一成分,如苯并[a]芘(BAP)等,本身就是人类一类致癌物,这使得探讨大气颗粒物的致癌机制变得十分困难。目前对于空气污染致癌机制尚处于假说阶段,如遗传毒性假说、氧化应激与炎性反应假说等。

2.1 遗传毒性

在中国进行的人群研究及体外细胞研究中,均可观察到空气污染导致的遗传毒性。

在人群研究中,通过比较在空气污染程度不同的3个城市中流产妇女绒毛膜的染色体畸变频率,发现重度污染和中度污染的城市中,多倍体、三倍体和染色体结构异常发生率显著高于轻度污染的城市^[12]。此外,城市居民的微核数量高于农村居民^[13]。对不同职业人群进行研究,也可发现一些空气污染遗传毒性的证据,

如:路面交警的血液淋巴细胞中DNA损伤发生率显著高于办公室警员^[14-15];微核数量和姐妹染色单体交换(sister chromatid exchange, SCE)频率均高于办公室警员^[16-17]。行驶于重度污染的隧道中的公交车上的司机或售票员比工作环境相对洁净的人员具有更高的微核数量和姐妹染色单体交换频率^[18]。

在中国开展的实验动物以及体外培养的动物和人类细胞研究也发现,空气中的颗粒物提取物能够引起细胞遗传学异常,并呈剂量相关性增加^[19-22]。如颗粒物可使小鼠和体外培养的人类淋巴细胞的染色体畸变率增加,颗粒物的有机提取物使小鼠骨髓和人淋巴细胞中的微核率增加。

此外值得注意的是,根据一个为IARC评估提供的包括174篇文献中2375项观察数据的数据库显示,上海某工业区的空气颗粒物提取物的致突变性较强,每立方米空气颗粒物提取物可引起鼠伤寒沙门菌TA98菌株中出现超过2500个回复突变体,导致高致突变性的原因之一可能是煤气厂周边的环境空气中高浓度颗粒物(高达1.3 mg/m³)^[23]。

以上这些人类遗传标记物研究结果均能够直接证明室外空气污染可造成遗传物质损伤,进而可能增加癌症风险。

2.2 氧化应激与炎性反应

在空气污染中的颗粒物对健康影响的过程中,氧化应激和颗粒物导致的机体炎性反应均可能是重要的途径。

在北京奥运会期间进行的一项人群研究^[24-25]中,选择了125名健康志愿者,在奥运前、中、后期进行随访,分别监测多种反映机体系统炎症、氧化应激水平的生物指标水平,探讨其是否与空气污染水平的变化有关。结果发现:与奥运前比较,奥运期间的生物标志物的浓度有了明显的下降(4.5%~72.5%不等);而在奥运结束后,这些指标又有了明显的上升(48%~360%不等),且污染物浓度的变化与生物标志物水平的变化一致,说明大气污染的暴露可以导致健康个体肺部和全身炎性和氧化应激水平上升等,显示在大气污染物导致人体健康损害的过程中,氧化应激与炎性反应是其中可能的途径。

在实验动物研究中,PM_{2.5}染毒可导致实验动物出现不同程度的肺间质和肺泡腔内炎性细胞浸润、中性粒细胞数量增加、肺泡间隔略增厚等病理学改变;其引

起的机体持续炎症损伤程度随着剂量和暴露时间的增加而增加,PM_{2.5}引起的细胞因子网络紊乱可加重免疫系统的损伤。究其原因,可能是PM_{2.5}进入靶细胞后,产生炎症因子进入血液,导致氧化应激反应,加快肺部疾病的发展进程或导致出现其他器官的损伤;也可能生成过量自由基或活性氧,破坏线粒体及细胞结构,最终产生细胞损伤。此外,由于颗粒物的刺激,可导致肺泡巨噬细胞释放出细胞因子和前炎症因子,而前炎症因子又可进一步刺激纤维母细胞、肺上皮细胞,促进其分泌细胞因子和黏附因子,进而引起各种炎症细胞聚集^[26-27]。

3 大气颗粒物有关实验动物致癌性的证据

目前,仅有少数研究将实验动物直接暴露于室外空气污染,并观察癌症的发生率,但这些研究均不是在中国开展的。

检索文献可发现中国曾进行大气颗粒物对实验动物的二阶段皮肤致癌实验^[27]。研究过程中,将不同地区不同粒径的颗粒物溶于丙酮后滴于小鼠背部去毛处,连续2天,同时设置对照组;第2周后开始滴肿瘤促进剂,每周2次,持续26周。结果发现,来自不同地区(北京、太原和宣威)的不同粒径颗粒物样品均有致癌性,且粒径越小致癌性越强。但该研究进行的年限较早,研究的细节报告并不充分。

4 中国大气颗粒物致癌的人群流行病学线索

2013年IARC将室外空气污染和污染空气中的颗粒物划分为人类一类致癌物的报告中,回顾分析了在欧洲、北美洲和亚洲进行的200多项流行病学研究,共

涉及数百万研究对象。其中,一项关于10个欧洲国家的肺癌发生的合并分析^[28]和一项美国的大型肺癌队列研究^[29]对最终评估结果的影响最大。

在IARC评估中,仅有一项来自中国的流行病学研究^[30]能够被纳入分析,该研究为在1991—2000年开展的包括158666名研究对象的中国高血压前瞻调查队列。研究者从队列中选择了居住在31个城市市区的70947名成人进行室外大气污染与死亡率关系的探讨,在历时10年的随访期间,共出现了624例肺癌死亡。研究者进一步通过31个城市的103个国家固定环境监测站点,获得了1991—2000年间总悬浮颗粒物(TSP)的年均浓度数据。研究发现,在校正可能的混杂因素(包括吸烟、教育程度、职业等)的影响后,TSP浓度每增加10 μg/m³,引起的肺癌相对危险值为1.01(95%可信区间:1.00~1.02)。研究进一步采用换算系数,将TSP浓度换算成PM_{2.5}浓度,粗略估算出PM_{2.5}浓度每增加10 μg/m³,引起的肺癌相对危险值为1.03(95%可信区间:1.00~1.07)。该研究得出的PM_{2.5}肺癌相对危险度远低于IARC报告中所引用的其他研究,推测可能是因为在高污染水平暴露下,中国城市居民的暴露-反应关系曲线趋于平坦,暨对污染浓度变化的敏感性下降。该研究的主要不足之处在于人群PM_{2.5}暴露水平由TSP浓度换算得出,具有相当大的不确定性,进而导致中国PM_{2.5}暴露的肺癌风险水平可能存在低估。

此外,中国在20世纪还陆续开展了多项空气污染与肺癌的流行病学研究,但均缺乏严格的队列设计,并且环境空气质量监测和人群暴露评估的方法也极为有限,因此大多数研究仅能够对大气污染物与肺癌发病/死亡率进行较为粗略的相关和回归分析,但同样可以提供中国大气颗粒物致癌的人群流行病学线索(表2)。

表2 中国空气污染与肺癌关系的流行病学研究

Table 2 Chinese epidemiology studies on relationship between air pollution and lung cancer

城市	年份	污染物	主要结论
北京等26城市 ^[31]	1976—1979	飘尘	污染程度与居民肺癌死亡率增加存在正相关
沈阳等 ^[32-33]	1992	总悬浮颗粒物	肺癌有随污染加剧而增长的趋势
上海 ^[34]	1983—1988	未明确具体污染物	肺癌发生过程中,大气污染与吸烟存在协同作用
成都 ^[35]	1980—1988	总悬浮颗粒物	肺癌调整死亡率城区(污染严重地区)比郊区增加4.7倍
青岛 ^[36]	1985—1992	飘尘、降尘、SO ₂ 等	大气污染状况变化对肺癌发病和死亡的影响,存在3~4年的潜隐过程
南宁 ^[37]	1991—2002	总悬浮颗粒物、降尘、SO ₂ 等	大气污染严重程度与肺癌死亡率存在相关关系
广州 ^[38]	1954—2006	灰霾	肺癌发生率随空气污染事件的增长而增加;大气颗粒物可能是中国人群肺癌发病的主要危险因素之一

20世纪70年代,中国学者曾经在北京、上海、天津、沈阳、广州等26个城市约5000万人口范围内进行了城市大气污染与居民死亡情况的调查,研究大气中飘尘浓度与居民主要恶性肿瘤死亡率等的关系,这项调查非常有限的公开的发表成果显示,在大气污染程度相对比较严重的市区,居民肺癌死亡率高于对照区,大气污染程度与居民肺癌死亡率增加存在正相关,但公开的研究数据十分有限,无法进行进一步评估^[31]。

在东北地区进行了多项关于空气污染与肺癌的生态学研究 and 病例对照研究^[32-33],结果显示肺癌的发生率有随污染加剧而增长的趋势;在控制了吸烟、室内污染指数等因素后,居住在有烟街区的居民肺癌发病风险较清洁区增高30%,冶金等重工业厂矿200 m内居民罹患肺癌的风险随居住年限延长而升高,居住20年以上者危险可增加70%。

在其他地区进行的研究中也发现,大气污染越严重的地区肺癌的死亡率越高^[34-37]。上海地区进行的研究结果^[34]发现,在不吸烟人群中,市区、近郊和远郊的肺癌标化死亡率比值未呈现暴露效应关系;但在吸烟人群中,肺癌标化死亡率比值男性市区最高(2.02),近郊其次(1.57),远郊最低(1.11);提示在肺癌的发生过程中,大气污染与吸烟存在协同作用。成都^[35]、青岛^[36]、南宁^[37]等地进行的研究也都呈现类似的结果。

此外,通过对广州1954—2006年52年间的灰霾测量数据(灰霾在一定程度上与PM_{2.5}浓度呈正相关关系)、肺癌发生率及死亡率、吸烟率和气象资料进行统计分析,发现肺癌发生率随空气污染事件的增长而增加;在考虑7年滞后期的情况下,肺癌死亡率和气溶胶浓度的相关系数高达0.97,也可说明大气颗粒物可能是中国人群肺癌发病的主要危险因素之一^[38]。

5 结论

IARC的报告认为,长时间暴露于颗粒物和大气污染能够增加罹患肺癌的风险,且这一结论适用于全球所有地区。但支持这一结论的空气污染致癌风险研究,多是在PM_{2.5}年平均浓度为10~30 μg/m³的地区开展的,因此仅代表了全球空气污染水平较低的区域的健康风险。与发达国家相比,中国空气颗粒物污染浓度水平较高、颗粒物的组成成分差异较大;此外,中国居民对空气污染的易感性由于受到年龄结构、遗传差异

等因素影响与国外居民也存在差异,因此国外的研究结果对于中国居民大气污染长期暴露的健康风险还有待研究进一步评估。研究表明,中国多个城市的大气颗粒物提取物具有一定的遗传毒性。颗粒物对健康影响的过程中,氧化应激和颗粒物导致的机体炎性反应也可能是重要的途径。但由于颗粒物复杂的化学组成,目前颗粒物致癌机制研究仍处于假说阶段。今后,使用新兴的毒理基因组学和表观基因组学技术,以分子流行病学研究、遗传标志物研究和传统流行病学研究相结合,将能有助于推动颗粒物致癌机制研究。

根据世界卫生组织最新发布的《全球空气污染及疾病负担评估》^[39],2012年,中国可归因于大气污染的死亡高达1032833例。中国已有的流行病学证据也支持大气污染与肺癌死亡率直接的相关关系,但同一种污染物与肺癌的关系在不同的研究中存在着较大的差别,这可能与各地的大气污染水平与组成、污染与健康数据的准确性、研究方法是否一致等有关。因此,为更合理地保护居民的身体健康,亟需进行大规模高质量的前瞻性队列研究,以进一步确证大气污染与肺癌的暴露反应关系。

总之,为更好地保护人体健康,中国亟需通过开展相关研究,确证大气颗粒物与癌症的关系。但进一步开展研究的同时,首先应刻不容缓采取一系列措施和行动来减轻中国的大气污染、降低健康风险。

参考文献(References)

- [1] Loomis D, Grosse Y, Lauby-Secretan B, et al. The carcinogenicity of outdoor air pollution[J]. *The Lancet Oncology*, 2013, 14(13): 1262-1263.
- [2] IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Outdoor air pollution/ IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans[R]. Geneva Switzerland: WHO Press, 2016.
- [3] Loomis Dana, 黄薇, 陈国胜. 国际癌症研究机构IARC对中国室外空气污染致癌性的分析[J]. *癌症*, 2014, 33(4): 189-196. Loomis Dana, Huang Wei, Chen Guosheng. The International Agency for Research on Cancer (IARC) evaluation of the carcinogenicity of outdoor air pollution: focus on China[J]. *Chinese Journal of Cancer*, 2014, 33(4): 189-196.
- [4] Huang W, Cao J, Tao Y, et al. Seasonal variation of chemical species associated with short-term mortality effects of PM_{2.5} in Xi'an, a central city in China[J]. *American Journal of Epidemiology*, 2012, 175(6): 556-566.

- [5] Tao Y, Huang W, Huang X, et al. Estimated acute effects of ambient ozone and nitrogen dioxide on mortality in the Pearl River Delta of southern China[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2012, 120(3): 393–398.
- [6] Yang C, Peng X, Huang W, et al. A time-stratified case-cross-over study of fine particulate matter air pollution and mortality in Guangzhou, China[J]. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 2012, 85(5): 579–585.
- [7] 中华人民共和国环境保护部. 2013年中国环境状况公报[R/OL]. [2014-05-27]. <http://www.zhb.gov.cn/hjzl/zghjzkgb/lnzghjzkgb/201605/P020160526564151497131.pdf>.
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. China's environmental statements in 2013[R/OL]. [2014-05-27]. <http://www.zhb.gov.cn/hjzl/zghjzkgb/lnzghjzkgb/201605/P020160526564151497131.pdf>.
- [8] 中华人民共和国环境保护部. 2014年中国环境状况公报[R/OL]. [2015-05-29]. <http://www.zhb.gov.cn/hjzl/zghjzkgb/lnzghjzkgb/201605/P020160526564730573906.pdf>.
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. China's environmental statements in 2014[R/OL]. [2015-05-29]. <http://www.zhb.gov.cn/hjzl/zghjzkgb/lnzghjzkgb/201605/P020160526564730573906.pdf>.
- [9] 中华人民共和国环境保护部. 2015年中国环境状况公报[R/OL]. [2016-06-01]. <http://www.zhb.gov.cn/hjzl/zghjzkgb/lnzghjzkgb/201606/P020160602333160471955.pdf>.
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. China's environmental statements in 2015[R/OL]. [2016-06-01]. <http://www.zhb.gov.cn/hjzl/zghjzkgb/lnzghjzkgb/201606/P020160602333160471955.pdf>.
- [10] 中华人民共和国环境保护部. 2016年中国环境状况公报[R/OL]. [2017-06-05]. <http://www.zhb.gov.cn/hjzl/zghjzkgb/lnzghjzkgb/201706/P020170605833655914077.pdf>.
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. China's environmental statements in 2016[R/OL]. [2017-06-05]. <http://www.zhb.gov.cn/hjzl/zghjzkgb/lnzghjzkgb/201706/P020170605833655914077.pdf>.
- [11] 中华人民共和国生态环境部. 2017年中国生态环境状况公报[R/OL]. [2018-05-31]. <http://www.zhb.gov.cn/hjzl/zghjzkgb/lnzghjzkgb/201805/P020180531534645032372.pdf>.
Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. China's ecological environmental statements in 2017[R/OL]. [2018-05-31]. <http://www.zhb.gov.cn/hjzl/zghjzkgb/lnzghjzkgb/201805/P020180531534645032372.pdf>.
- [12] 崔应琦, 嵇小迎, 陈春明, 等. 大气因子对人胚绒毛膜致突变性的研究[J]. *癌变. 畸变. 突变*, 1991, 3(4): 6–10.
Cui Yingqi, Ji Xiaoying, Chen Chunming, et al. Study on mutagenicity of atmospheric factor on human[J]. *Carcinogenesis, Teratogenesis & Mutagenesis*, 1991, 3(4): 6–10.
- [13] Ishikawa H, Tian Y, Piao F, et al. Genotoxic damage in female residents exposed to environmental air pollution in Shenyang city, China[J]. *Cancer Letters*, 2006, 240(1): 29–35.
- [14] 朱昌洪, 林大庆, 江朝强, 等. 广州市交通警察淋巴细胞DNA损伤的研究[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2003, 21(1): 41–44.
Zhu Changqi, Lin Daqing, Jiang Chaoqiang, et al. Study on DNA damage of lymphocytes in traffic police in Guangzhou [J]. *Chinese Journal of Industrial Hygiene and Occupational Diseases*, 2003, 21(1): 41–44.
- [15] 徐春雨, 徐东群, 常君瑞, 等. 环境空气污染对交通警察血清氧化应激指标的影响[J]. *环境与健康杂志*, 2009, 26(9): 774–777.
Xu Chunyu, Xu Dongqun, Chang Junrui, et al. Effects of environmental air pollution on serum oxidative stress in traffic police[J]. *Journal of Environment and Health*, 2009, 26(9): 774–777.
- [16] Zhao X, Niu J, Wang Y, et al. Genotoxicity and chronic health effects of automobile exhaust: a study on the traffic policemen in the city of Lanzhou[J]. *Mutation Research*, 1998, 415(3): 185–190.
- [17] 白玉萍, 李君, 范雪云, 等. 某市交通废气污染对交警染色体损伤作用[J]. *癌变. 畸变. 突变*, 2005, 17(4): 250–254.
Bai Yuping, Li Jun, Fan Xueyun, et al. Effects of traffic exhaust pollution on injury to traffic police[J]. *Carcinogenesis, Teratogenesis & Mutagenesis*, 2005, 17(4): 250–254.
- [18] 彭宝成, 叶舜华. 越江隧道线公交车司机和售票员细胞遗传学效应调查[J]. *中国工业医学杂志*, 1995, 8(6): 334–336.
Peng Baocheng, Ye Shunhua. Investigation on cytogenetic effects of bus drivers and conductor in tunnel[J]. *Chinese Journal of Industrial Medicine*, 1995, 8(6): 334–336.
- [19] 丁国武, 王文军, 王晓云. 兰州市不同地区大气悬浮颗粒物的遗传毒性研究[J]. *兰州医学院学报*, 1999, 25(1): 17–20.
Ding Guowu, Wang Wenjun, Wang Xiaoyun. Genetic toxicity of atmospheric suspended particulates in different areas of Lanzhou City[J]. *Journal of Lanzhou Medical College*, 1999, 25(1): 17–20.
- [20] 谈明光, 吴元芳, 邵松生, 等. 上海市打浦路隧道内空气悬浮颗粒物的分析及其诱发的人体外周血淋巴细胞染色体畸变效应[J]. *微量元素与健康研究*, 2002, 19(2): 51–54.
Tan Mingguang, Wu Yuanfang, Shao Songsheng, et al. Analysis of airborne particulate matter in Dapu Road Tunnel of Shanghai and its effects on chromosomal abnormality of human peripheral blood lymphocytes[J]. *Studies of Trace Elements and Health*, 2002, 19(2): 51–54.
- [21] 张雪梅, 张雪怡, 张志, 等. 大气颗粒有机提取物的染色体损伤作用研究[J]. *环境与健康杂志*, 2002, 19(3): 200–201.
Zhang Xuemei, Zhang Xueyi, Zhang Zhi, et al. Study on chro-

- mosomal damage effect of atmospheric particulate organic extracts[J]. *Journal of Environment and Health*, 2002, 19(3): 200-201.
- [22] 赵晓红, 王勋陵, 牛静萍, 等. 兰州市交通要道颗粒物污染状况及其致突变活性的研究[J]. *环境科学学报*, 2001, 21(4): 444-447.
- Zhao Xiaohong, Wang Xunling, Niu Jingping, et al. Study on the pollution status and mutagenicity of particulate matter in Lanzhou City[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2001, 21(4): 444-447.
- [23] 朱惠刚, 赵启宇, 蒋颂辉. 大气颗粒的致突变性研究[J]. *上海环境科学*, 1991, 10(6): 10-14.
- Zhu Hui gang, Zhao Qiyu, Jiang Songhui. Study on mutagenicity of atmospheric particles[J]. *Shanghai Environmental Science*, 1991, 10(6): 10-14.
- [24] Huang W, Wang G F, Lu S E, et al. Inflammatory and oxidative stress responses of healthy young adults to changes in air quality during the Beijing Olympics[J]. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2012, 186(11): 1150-1159.
- [25] Rich D, Kipen H, Huang W, et al. Association between changes in air pollution levels during the Beijing Olympics and biomarkers of inflammation and thrombosis in healthy young adults[J]. *The Journal of the American Medical Association*, 2012, 307(19): 2068-2078.
- [26] 史云洁, 王沛, 马姗姗, 等. 大气细颗粒物对实验动物氧化应激及炎症反应研究进展[J]. *中国公共卫生*, 2017, 33(1): 35-38.
- Shi Yunjie, Wang Pei, Ma Shanjie, et al. Research progress in atmospheric fine particles (PM_{2.5}) induced oxidative stress and inflammatory reaction in experimental animals[J]. *Chinese Journal of Public Health*, 2017, 33(1): 35-38.
- [27] 关迺源, 郭海恩, 潘翠琴, 等. 大气中不同粒径颗粒提取物的动物皮肤致癌试验[J]. *中华预防医学杂志*, 1990, 24(1): 9-12.
- Guan Naiyuan, Guo Haien, Pan Cuiqin, et al. Skin carcinogenesis test of granules with different particle size in the atmosphere[J]. *Chinese Journal of Preventive Medicine*, 1990, 24(1): 9-12.
- [28] Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R, et al. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE)[J]. *Lancet Oncology*, 2013, 14(9): 813-822.
- [29] Krewski D, Jerrett M, Burnett R T, et al. Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality[R]. *Research Reports: Health Effects Institute*, 2009.
- [30] Cao J, Yang C X, Li J X, et al. Association between long-term exposure to outdoor air pollution and mortality in China: a cohort study[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, 186(2/3): 1594-1600.
- [31] 何兴舟, 曹守仁, 陆宝玉, 等. 我国二十六城市大气污染与居民死亡情况调查[J]. *医学研究杂志*, 1987(7): 224-225.
- He Xingzhou, Cao Shouren, Lu Baoyu, et al. Investigation on air pollution and residents' death in twenty-six cities in China[J]. *Journal of Medical Research*, 1987(7): 224-225.
- [32] 徐肇翊, Brown L M, 潘国伟, 等. 中国北方城市肺癌与生活方式及环境污染的关系[J]. *肿瘤*, 1996, 16(4): 506-508.
- Xu Zhaochong, Brown Linda M, Pan Guowei, et al. Relationship between lung cancer and lifestyle and environmental pollution in northern China[J]. *Cancer*, 1996, 16(4): 506-508.
- [33] 徐肇翊, 刘允清, 俞大乾, 等. 沈阳市大气污染对死亡率的影响[J]. *中国公共卫生学报*, 1996, 15(1): 61-64.
- Xu Zhaochong, Liu Yunqing, Yu Daqian, et al. The impact of air pollution on mortality in Shenyang[J]. *Chinese Journal of Public Health*, 1996, 15(1): 61-64.
- [34] 邓杰, 高玉堂, 汪钟贤, 等. 吸烟、大气污染与肺癌的关系: 上海市 21 万成人居民的前瞻性研究[J]. *肿瘤*, 1992, 12(6): 258-260.
- Deng Jie, Gao Yutang, Wang Zhongxian, et al. The relationship between air pollution and lung cancer: A prospective study of 21 million adult residents in Shanghai[J]. *Cancer*, 1992, 12(6): 258-260.
- [35] 王鉴清, 罗大玉, 付文昭, 等. 成都市大气污染与居民健康关系的研究[J]. *环境与健康杂志*, 1989, 6(2): 1-4.
- Wang Jianqing, Luo Dayu, Fu Wenzhao, et al. Study on the relationship between air pollution and residents' health in Chengdu[J]. *Journal of Environment and Health*, 1989, 6(2): 1-4.
- [36] 贺秀林, 张慈心, 苗志敏, 等. 青岛市区大气污染与肺癌发病率和死亡率的相关关系研究[J]. *医学综述*, 1995, 1(6): 279-281.
- He Xiulin, Zhang Cixin, Miao Zhimin, et al. Study on the relationship between air pollution and lung cancer incidence and mortality in Qingdao urban area[J]. *Medical Recapitulate*, 1995, 1(6): 279-281.
- [37] 黄文珊, 胡衡生, 刘航, 等. 南宁城市大气污染与肺癌关系的研究[J]. *中国公共卫生*, 2004, 20(5): 582-583.
- Huang Wenshan, Hu Hengsheng, Liu Hang, et al. Study on the relationship between urban air pollution and lung cancer in Nanning[J]. *Chinese Journal of Public Health*, 2004, 20(5): 582-583.
- [38] Tie X, Wu D, Brasseur G. Lung cancer mortality and exposure to atmospheric aerosol particles in Guangzhou, China[J]. *Atmospheric Environment*, 2009, 43(14): 2375-2377.
- [39] World Health Organization. *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*[R]. Geneva Switzerland: WHO Press, 2016.

Research progress on ambient particulate matter pollution and carcinogenesis in China

WU Jing¹, SONG Xiaoming², LIU Shuo², WU Rongshan², HUANG Wei²

1. National Center for Chronic and Non-communicable Disease Control and Prevention, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 102206, China

2. Department of Occupational and Environmental Health Sciences, School of Public Health, Peking University, Beijing 100191, China

Abstract In recent years the concentration of ambient air particulate matter (PM) has remained high in China; however the International Agency for Research on Cancer (IARC) has classified that the outdoor air pollution and the particulate matter in outdoor air pollution are carcinogenic to humans. This article summarizes the current situation of PM pollution in China and reviews the research progress on the mechanism of PM carcinogenesis and the evidences given by China's toxicologic studies and epidemiological studies on PM carcinogenicity in the past decades. The article suggests that China should urgently conduct researches to confirm the relationship between PM and cancers and that a series of actions should be taken to alleviate China's air pollution.

Keywords air pollution; particulate matter; lung cancer ●



(责任编辑 田恬)