

大气污染与主要癌症相关性研究进展

杨之洵 曾红梅 郑荣寿 夏昌发 张思维 陈万青

100021 北京, 国家癌症中心/中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院全国肿瘤防治研究办公室

通信作者: 陈万青, Email: chenwq@cicams.ac.cn

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2018.04.029

【摘要】 大气污染是癌症明确的危险因素, 对人类的健康构成严重威胁。本文介绍了大气污染的组成成分和 WHO 与我国的空气质量标准, 并总结了国内外对于大气污染与肺癌、乳腺癌和膀胱癌等主要癌症的关联性的最新研究。

【关键词】 大气污染; 肺肿瘤; 乳腺肿瘤; 膀胱肿瘤; 流行病学

基金项目: 科技基础性工作专项(2014FY121100)

Progress of research on the association between air pollution and prevalence of major cancers

Yang Zhixun, Zeng Hongmei, Zheng Rongshou, Xia Changfa, Zhang Siwei, Chen Wanqing

National Office for Cancer Prevention and Control, National Cancer Center/Cancer Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100021, China

Corresponding author: Chen Wanqing, Email: chenwq@cicams.ac.cn

【Abstract】 Being an undisputed risk factor of cancer, air pollution is posing a huge threat to the health on human beings. In this article, we introduced the composition of air pollution, and the standards on air quality which was set by both World Health Organization and the Chinese government. We also summarized the most recent research findings on the association between air pollution and the risk of lung, breast, bladder and other major cancers.

【Key words】 Air pollution; Lung cancer; Breast cancer; Bladder cancer; Epidemiology

Fund program: National Science and Technology Basic Research Special Foundation of China (2014FY121100)

癌症是危害人类健康最主要的慢性非传染性疾病。全球 2012 年新发癌症病例 1 410 万, 其中肺癌 180 万, 占有新发癌症病例的 13%, 既是全球男性最多发的癌种, 也是全球男性和发达国家女性癌症死因的首位^[1]。我国 2013 年新发癌症病例 368 万, 死亡病例 223 万。肺癌既是我国居民最多发的癌症, 也是首要的肿瘤死因^[2]。据估计 2015 年肺癌仍会排在我国癌症发病率和死亡率的第一位^[3]。除了公认的吸烟以外, 大气污染也是肺癌的危险因素。2013 年国际癌症研究机构(IARC)正式将室外大气污染列为一级致癌物^[4]。本文旨在总结国内外学者对于大气污染与肺癌等主要癌症发病或死亡关系的最新研究进展, 为后续研究提供依据, 为癌症防治提供参考。

1. 大气污染的主要成分: 大气污染物主要包括细颗粒物(PM_{2.5})、可吸入颗粒物(PM₁₀)、二氧化硫(SO₂)、氮氧化物(NO_x)、二氧化氮(NO₂)、一氧化碳(CO)和臭氧(O₃)等^[4]。PM_{2.5}因粒径小、表面积大、易于富集空气中的有毒有害物质, 并可随呼吸进入肺部或血液循环, 是大气环境中化学组成最复杂、危害最大的污染物之一, 也是引起雾霾的主要因素。我国于 2012 年 2 月发布并从 2016 年 1 月开始实施的《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)第三次修订版第一次将 PM_{2.5}

纳入环境大气污染物基本项目, 并规定了 PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO 和 O₃ 等污染物的浓度限值^[5]。

2. 大气污染的疾病负担: 由于人口老龄化和中低收入国家空气质量的恶化, 过去 25 年间大气污染导致的全球疾病负担呈上升趋势。2013 年全球 PM_{2.5} 浓度较 1990 年增长了 20.4%, 且有约 87% 的人口生活在 PM_{2.5} 浓度高于 WHO 准则值(日均值 25 μg/m³)的地区^[6]。全球疾病负担研究(GBD)结果表明 2015 年 PM_{2.5} 排在全球死亡危险因素第五位, 因暴露于 PM_{2.5} 死亡的人数从 1990 年的 350 万增长到 420 万人, 占全球死亡的 7.6%, 其中我国归因于 PM_{2.5} 的死亡有 110 万^[7]。

伴随过去 30 年我国经济的飞速发展, 空气质量迅速下降。1990—2010 年我国大气污染导致的肺癌死亡人数从 5.5 万增长至 14.0 万, 涨幅达 154.5%^[8]。Liu 等^[9]研究表明, 2013 年我国 83% 的人口生活在超过《环境空气质量标准》规定的 PM_{2.5} 浓度限值的地区, PM_{2.5} 造成了 137 万死亡, 其中 13 万为肺癌。如果达到 WHO 的空气质量的准则值, 则归因全死因死亡率可降低 83%。

3. 大气污染与肺癌:

(1) 大气污染与肺癌的发病: Hart 等^[10]对 4 666 名荷兰居民随访 17.3 年, 发现 NO₂ 每增加 30 μg/m³, PM_{2.5} 每增加 10 μg/m³,

肺癌发病的风险比(*HR*)及95%*CI*分别为1.29(1.08~1.54)和1.17(0.93~1.47)。一项意大利的研究表明,燃煤火电站附近居民中>75岁女性的肺癌发病率随苯、NO₂、PM₁₀和SO₂浓度的增加而增加,而在男性和<75岁的女性中未发现这一规律^[11]。加拿大学者同样证实了苯(*OR*=1.84,95%*CI*:1.26~2.68)和NO₂(*OR*=1.59,95%*CI*:1.19~2.12)与肺癌发病的关联^[12]。

Tomczak等^[13]对近9万1980—1985年加入队列的加拿大女性随访至2004年,发现PM_{2.5}每升高10 μg/m³肺癌的发病风险随之增加(*HR*=1.34,95%*CI*:1.10~1.65)。另一项加拿大的研究发现肺癌的发病与PM_{2.5}(*OR*=1.29,95%*CI*:0.95~1.76)和NO₂(*OR*=1.11,95%*CI*:1.00~1.24)关联较强,和O₃(*OR*=1.09,95%*CI*:0.85~1.39)关联较弱^[14]。

一项针对美国妇女的研究表明,PM_{2.5}和PM₁₀的增加(10 μg/m³)与肺癌发病关联较弱,*HR*值(95%*CI*)分别为1.06(0.91~1.25)和1.04(0.95~1.14)。但在从未吸烟或戒烟已10年的人群中,PM_{2.5}(*HR*=1.37,95%*CI*:1.06~1.77)和PM₁₀(*HR*=1.15,95%*CI*:1.00~1.32)的关联均有所增强^[15]。

Raaschou-Nielsen等^[16]分析了欧洲地区9个国家17个队列研究的数据,发现即便是低于欧盟规定的浓度限值的颗粒物暴露也可以增加肺癌的发病风险。PM₁₀每增加10 μg/m³,PM_{2.5}每增加5 μg/m³肺癌发病的*HR*值(95%*CI*)分别为1.22(1.03~1.45)和1.18(0.96~1.46)。该研究未发现NO_x与肺癌发病的关联。

Guo等^[17]分析了我国1990—2009年间75个肿瘤登记处的数据,发现PM_{2.5}每增加10 μg/m³、O₃每增加10 ppb肺癌发病的*RR*值分别为1.074(95%*CI*:1.060~1.089)和1.087(95%*CI*:1.079~1.095)。女性、城镇居民和老年人比男性、农村居民和年轻人更易受空气污染的影响。

Hamra等^[18]对北美地区、欧洲地区、中国、日本和新西兰的18项研究进行了Meta分析,发现PM_{2.5}和PM₁₀每增加10 μg/m³,肺癌的发病或死亡的*RR*分别为1.09(95%*CI*:1.04~1.14)和1.08(95%*CI*:1.00~1.17)。其另一项Meta分析表明NO₂和NO_x每增加10 μg/m³,肺癌的发病或死亡风险分别增加4%(95%*CI*:1%~8%)和3%(95%*CI*:1%~5%)^[19]。

(2)大气污染与肺癌的死亡:Heinrich等^[20]对4752名德国女性随访18年,发现长期暴露于PM₁₀与NO₂会增加全死因死亡率,其中仅PM₁₀(*HR*=1.84,95%*CI*:1.23~2.74)与肺癌死亡存在关联。一项日本的研究则指出了NO₂与肺癌死亡的关联(*HR*=1.20,95%*CI*:1.03~1.40)^[21]。荷兰学者同样发现PM₁₀和NO₂均与肺癌死亡有关(*HR*=1.26和*HR*=1.10)^[22]。Cesaroni等^[23]对在罗马居住至少5年的>30岁居民进行了随访。9年间肺癌死亡占全部死亡的8%。在校正性别、婚姻状况、出生地、文化程度、职业和社会经济因素后,该研究提示肺癌的死亡随着PM_{2.5}和NO₂浓度的增加而增加。

美国加利福尼亚州一项7万人的队列研究发现PM_{2.5}、NO₂和O₃均可增加全死因死亡,但仅NO₂与肺癌死亡存在有统计学意义的正相关关系,提示了交通来源的污染对健康的危害^[24]。Katanoda等^[25]对6万日本人随访了9年,在校正吸

烟等混杂因素后不仅发现了PM_{2.5}和NO₂与肺癌死亡之间的关系,还发现随着SO₂的升高(10 μg/m³),肺癌死亡风险增加(*HR*=1.26,95%*CI*:1.07~1.48)。

Cao等^[26]对我国70947人进行了10余年的随访,期间有8319例死亡,其中因肺癌死亡624人。研究发现总悬浮颗粒物(TSP)、SO₂和NO_x每增加10 μg/m³,肺癌死亡率分别增加1.1%(95%*CI*:−0.1%~2.3%)、4.2%(95%*CI*:2.3%~6.2%)和2.7%(95%*CI*:−0.9%~6.5%)。提示了SO₂与肺癌死亡存在正相关。这是一个有关大气污染与肺癌关联的前瞻性队列研究。

Wong等^[27]对6万多名中国香港地区市民随访10余年,发现PM_{2.5}的改变(每增加10 μg/m³)与男性肺癌死亡有关(*HR*=1.36,95%*CI*:1.05~1.77),与女性肺癌死亡无关(*HR*=0.99,95%*CI*:0.77~1.27)。Guo等^[28]分析了我国1990—2009年间75个肿瘤登记点的数据,发现PM_{2.5}每增加10 μg/m³,全人群、男性和女性肺癌死亡的*RR*值分别为1.08(95%*CI*:1.07~1.09),1.07(95%*CI*:1.05~1.08)和1.12(95%*CI*:1.10~1.14)。该研究发现,相比于男性和年轻人,PM_{2.5}对女性和>75岁人群的肺癌死亡影响更大。

Fang等^[29]发现在2013年我国经济最发达的74座城市中有103万死亡与PM_{2.5}有关,占该年所有上报死亡的32%,归因全死因死亡率为190/10万,其中肺癌的归因死亡率为20/10万。如果这些城市能够达到WHO规定的空气质量准则值(PM_{2.5}日平均25 μg/m³),归因全死因死亡率可下降95%。此外,该研究还提示了在我国PM_{2.5}对健康的威胁程度不亚于吸烟。

Chen等^[30]研究发现PM₁₀每增长10 μg/m³,肺癌死亡风险随模型的不同增加3.4%~6.0%或4.0%~13.6%。SO₂每增加10 μg/m³,肺癌死亡风险随模型的不同增加1.0%~2.5%或0.8%~6.7%。该研究未发现NO₂的暴露和肺癌死亡的关联。鉴于NO₂是交通相关污染物,SO₂是柴油和工业排放相关污染物,该研究证明了在机动车数量激增的中国,煤炭依赖性的能源消耗依旧是影响健康的重要因素。

(3)大气污染与肺癌的病理分型:肺癌的病理类型有小细胞肺癌和非小细胞肺癌,其中非小细胞肺癌由多种亚型组成,主要是鳞状细胞癌、腺癌和大细胞癌3种。目前我国学者尚无有关大气污染对肺癌各亚型的发生发展影响的研究。

Gharibvand等^[31]的研究表明,PM_{2.5}每增加10 μg/m³腺癌的发生风险增加31%(95%*CI*:0.87~1.97)。当局限于每天至少有1h户外活动的对象时关联得到增强(*HR*=1.55,95%*CI*:1.05~2.30)。Tomczak等^[13]同样发现了PM_{2.5}与腺癌之间的统计学关联——PM_{2.5}每增加10 μg/m³,腺癌发病的*HR*值为1.44(95%*CI*:1.06~1.97)。小细胞肺癌与鳞状细胞癌的*HR*值分别为1.53(95%*CI*:0.93~2.53)与1.28(95%*CI*:0.74~2.23)。同样在加拿大人群中进行的另一项研究则未发现除NO₂与腺癌的正相关外的其他污染物与病理亚型的关联^[14]。

两项Meta分析同样发现PM_{2.5}和PM₁₀与腺癌的发生有关,而与鳞状细胞癌无关^[16,18]。PM_{2.5}、PM₁₀与腺癌的*RR*值分别为1.40(95%*CI*:1.07~1.83)和1.29(95%*CI*:1.02~1.63)^[18]。

4. 大气污染与其他癌症:除肺癌外,乳腺癌和泌尿系统癌症与大气污染的关联也得到了国内外学者的关注。Wei等^[32]的研究发现,CO、NO_x、SO₂和挥发性有机物与乳腺癌的发病正相关,相关系数分别为0.82、0.89、0.71和0.68,而PM₁₀与乳腺癌的发病无统计学关联。Chen和Bina^[33]发现美国9个州的白人妇女1973—1999年的乳腺癌发病率变化趋势与已知的乳腺癌危险因素的变化趋势不同,但与该地区20年前的NO_x排放量变化趋势基本一致($R^2=0.8418$)。提示了NO_x与乳腺癌发病的关联。一项中国香港地区的研究发现了PM_{2.5}与乳腺癌死亡的关联($HR=1.80, 95\%CI: 1.26 \sim 2.55$)^[27]。

Andersen等^[34]和Reding等^[35]分别对2万丹麦女性和近5万美国女性随访多年,均未发现PM_{2.5}、PM₁₀和NO₂与乳腺癌发病的关联。但不同ER/PR亚型的发生发展与NO₂的关联不同。暴露于NO₂者的ER+/PR+型乳腺癌的RR值为1.10(95%CI: 1.02~1.19),而ER-/PR-型的RR值为0.92(95%CI: 0.77~1.09)^[35]。

Turner等^[36]对62万人随访了22年,发现PM_{2.5}与肾癌和膀胱癌的死亡均正相关。然而Collarile等^[11]仅在≥75岁的女性中发现了苯和NO₂与膀胱癌的发病有关。Pedersen等^[37]利用1985—2005年间在欧洲地区8个国家进行的15项队列研究的数据进行Meta分析,未发现PM_{2.5}($HR=0.86, 95\%CI: 0.63 \sim 1.18$)和NO₂($HR=0.98, 95\%CI: 0.89 \sim 1.08$)与膀胱癌发病的关联。

丹麦的一项病例对照研究还发现了急性骨髓性白血病发病与NO₂($OR=1.20, 95\%CI: 1.04 \sim 1.38$)及NO_x($OR=1.31, 95\%CI: 1.02 \sim 1.68$)的关联^[38]。此外也有研究指出了PM_{2.5}与上消化道癌^[27]和子宫肌瘤^[39]发病的关联,以及NO₂与结直肠癌死亡的关联^[36]。

5. 小结:日益加重的大气污染给我国乃至全球造成了严重的疾病负担^[7]。PM_{2.5}作为大气污染最主要的组成成分之一,对我国居民健康的危害程度已经不亚于吸烟^[29]。肺癌是与大气污染关系最密切的癌症。目前大气污染与肺癌的相关性研究主要由发达国家开展,其结论固然对中国有借鉴意义,但因为污染的严重程度、人群易感性、人口结构的不同以及大气污染组分的差异,国外研究结果在我国的适用性值得商榷。PM_{2.5}、PM₁₀和NO₂是被国外学者纳入研究次数最多的污染物,也被多项研究证明了与肺癌的相关性^[10-13, 16, 20, 22-24]。我国现有的流行病学研究证据表明,PM_{2.5}、O₃、SO₂和PM₁₀的暴露与我国居民肺癌风险呈正相关^[17, 26-28, 30]。在肺癌的病理亚型中,腺癌被证明与PM_{2.5}和PM₁₀等污染物的关联最密切^[13, 16, 18, 31]。除肺癌以外,也有研究表明大气污染与乳腺癌和膀胱癌有关^[11, 27, 32-33],但也有研究否认此关联^[34-35, 37]。关于白血病、消化系统肿瘤和子宫肌瘤与大气污染关联的研究数量较少,亟需更多有说服力的证据。

6. 展望:针对大气污染,我国已采取包括升级汽车和汽油、升级产煤和燃煤技术、将重工业工厂迁离市区、加快太阳能利用的研究、建立大气污染的实时监测和预警系统等在内的多项措施。这些措施都可以有效减少污染物的释放或减

轻其对人群的危害。我国目前处于经济快速增长和转型时期,不同地区大气污染的成因不同,但以燃煤、汽车尾气排放、工业化学物质释放、农业废弃物燃烧和建筑扬尘等为主。气态污染物与颗粒物同时存在是我国大气污染的特点。许多气态污染物可以吸附于颗粒物并与之形成复杂多样的化学反应,不仅改变了气态污染物的分布,还改变了颗粒物的化学组成,增加了追溯污染源的难度。

相比于发达国家,我国有关大气污染与癌症,特别是非肺癌的其他癌症的相关性的流行病学研究数量较少,且尚无精细到肺癌各病理亚型的研究。作为大气污染最为严重的国家之一,为进一步明确大气污染对我国居民健康的危害和与癌症的关联,基于大人群的癌症监测与广覆盖的空气质量检测,以及以此为基础的流行病学研究亟需展开。

利益冲突 无

参 考 文 献

- [1] Torre LA, Bray F, Siegel RL, et al. Global cancer statistics, 2012 [J]. CA Cancer J Clin, 2015, 65 (2) : 87-108. DOI: 10.3322/caac.21262.
- [2] Chen WQ, Zheng RS, Zhang SW, et al. Cancer incidence and mortality in China, 2013 [J]. Cancer Lett, 2017, 401: 63-71. DOI: 10.1016/j.canlet.2017.04.024.
- [3] Chen WQ, Zheng RS, Baade PD, et al. Cancer statistics in China, 2015 [J]. CA Cancer J Clin, 2016, 66 (2) : 115-132. DOI: 10.3322/caac.21338.
- [4] Loomis D, Grosse Y, Lauby-Secretan B, et al. The carcinogenicity of outdoor air pollution [J]. Lancet Oncol, 2013, 14 (13) : 1262-1263. DOI: 10.1016/S1470-2045(13)70487-X.
- [5] 环境空气质量标准 [EB/OL]. (2012-03-25) [2017-09-25]. http://kjs.mep.gov.cn/hjbhbz/bzwb/dqjhjhb/dqjhjzlbz/201203/t20120302_224165.htm.
- [6] A mbient air quality standard [EB/OL]. (2012-03-25) [2017-09-25]. http://kjs.mep.gov.cn/hjbhbz/bzwb/dqjhjhb/dqjhjzlbz/201203/t20120302_224165.htm.
- [7] Brauer M, Freedman G, Frostad J, et al. Ambient air pollution exposure estimation for the global burden of disease 2013 [J]. Environ Sci Technol, 2016, 50 (1) : 79-88. DOI: 10.1021/acs.est.5b03709.
- [8] Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015 [J]. Lancet, 2017, 389 (10082) : 1907-1918. DOI: 10.1016/s0140-6736(17)30505-6.
- [9] 刘世炜,周脉耕,王黎君,等. 1990年与2010年中国归因于室外空气污染的疾病负担分析 [J]. 中华预防医学杂志, 2015, 49 (4) : 327-333. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2015.04.016.
- [10] Liu SW, Zhou MG, Wang LJ, et al. Burden of disease attributable to ambient particulate matter pollution in 1990 and 2010 in China [J]. Chin J Prev Med, 2015, 49 (4) : 327-333. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2015.04.016.
- [11] Liu J, Han YQ, Tang X, et al. Estimating adult mortality attributable to PM_{2.5} exposure in China with assimilated PM_{2.5} concentrations based on a ground monitoring network [J]. Sci Total Environ, 2016, 568: 1253-1262. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.05.165.
- [12] Hart JE, Spiegelman D, Beelen R, et al. Long-term ambient residential traffic-related exposures and measurement error-

- adjusted risk of incident lung cancer in the netherlands cohort study on diet and cancer[J]. *Environ Health Perspect*, 2015, 123(9):860–866. DOI:10.1289/ehp.1408762.
- [11] Collarile P, Bidoli E, Barbone F, et al. Residence in proximity of a coal-oil-fired thermal power plant and risk of lung and bladder cancer in north-eastern Italy. A population-based study: 1995–2009 [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2017, 14(8): E860. DOI:10.3390/ijerph14080860.
- [12] Villeneuve PJ, Jerrett M, Brenner D, et al. A case-control study of long-term exposure to ambient volatile organic compounds and lung cancer in Toronto, Ontario, Canada [J]. *Am J Epidemiol*, 2014, 179(4):443–451. DOI:10.1093/aje/kwt289.
- [13] Tomczak A, Miller AB, Weichenthal SA, et al. Long-term exposure to fine particulate matter air pollution and the risk of lung cancer among participants of the Canadian National Breast Screening Study [J]. *Int J Cancer*, 2016, 139(9): 1958–1966. DOI:10.1002/ijc.30255.
- [14] Hystad P, Demers PA, Johnson KC, et al. Long-term residential exposure to air pollution and lung cancer risk [J]. *Epidemiology*, 2013, 24(5):762–772. DOI:10.1097/EDE.0b013e3182949ae7.
- [15] Puett RC, Hart JE, Yanosky JD, et al. Particulate matter air pollution exposure, distance to road, and incident lung cancer in the nurses' health study cohort [J]. *Environ Health Perspect*, 2014, 122(9):926–932. DOI:10.1289/ehp.1307490.
- [16] 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 Oncol*, 2013, 14(9): 813822. DOI:10.1016/s1470-2045(13)70279-1.
- [17] Guo YM, Zeng HM, Zheng RS, et al. The association between lung cancer incidence and ambient air pollution in China: A spatiotemporal analysis [J]. *Environ Res*, 2016, 144: 60–65. DOI:10.1016/j.envres.2015.11.004.
- [18] Hamra GB, Guha N, Cohen A, et al. Outdoor particulate matter exposure and lung cancer: a systematic review and Meta-analysis [J]. *Environ Health Perspect*, 2014, 122(9): 906–911. DOI:10.1289/ehp.1408092.
- [19] Hamra GB, Laden F, Cohen AJ, et al. Lung cancer and exposure to nitrogen dioxide and traffic: a systematic review and Meta-analysis [J]. *Environ Health Perspect*, 2015, 123(11): 1107–1112. DOI:10.1289/ehp.1408882.
- [20] Heinrich J, Thiering E, Rzehak P, et al. Long-term exposure to NO₂ and PM₁₀ and all-cause and cause-specific mortality in a prospective cohort of women [J]. *Occup Environ Med*, 2013, 70(3):179–186. DOI:10.1136/oemed-2012-100876.
- [21] Yorifuji T, Kashima S, Tsuda T, et al. Long-term exposure to traffic-related air pollution and the risk of death from hemorrhagic stroke and lung cancer in Shizuoka, Japan [J]. *Sci Total Environ*, 2013, 443:397–402. DOI:10.1016/j.scitotenv.2012.10.088.
- [22] Fischer PH, Marra M, Ameling CB, et al. Air Pollution and Mortality in Seven Million Adults: The Dutch Environmental Longitudinal Study (DUELS) [J]. *Environ Health Perspect*, 2015, 123(7):697–704. DOI:10.1289/ehp.1408254.
- [23] Cesaroni G, Badaloni C, Gariazzo C, et al. Long-term exposure to urban air pollution and mortality in a cohort of more than a million adults in Rome [J]. *Environ Health Perspect*, 2013, 121(3):324–331. DOI:10.1289/ehp.1205862.
- [24] Jerrett M, Burnett RT, Beckerman BS, et al. Spatial analysis of air pollution and mortality in California [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2013, 188(5): 593–599. DOI:10.1164/rccm.201303-0609OC.
- [25] Katanoda K, Sobue T, Satoh H, et al. An association between long-term exposure to ambient air pollution and mortality from lung cancer and respiratory diseases in Japan [J]. *J Epidemiol*, 2011, 21(2):132–143. DOI:10.2188/jea.JE20100098.
- [26] Cao J, Yang CX, Li JX, et al. Association between long-term exposure to outdoor air pollution and mortality in China: a cohort study [J]. *J Hazard Mater*, 2011, 186(2/3): 1594–1600. DOI:10.1016/j.jhazmat.2010.12.036.
- [27] Wong CM, Tsang H, Lai HK, et al. Cancer Mortality Risks from Long-term Exposure to Ambient Fine Particle [J]. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*, 2016, 25(5): 839–845. DOI:10.1158/1055-9965.epi-15-0626.
- [28] Guo YM, Zeng HM, Zheng RS, et al. The burden of lung cancer mortality attributable to fine particles in China [J]. *Sci Total Environ*, 2017, 579: 1460–1466. DOI:10.1016/j.scitotenv.2016.11.147.
- [29] Fang D, Wang Q, Li H, et al. Mortality effects assessment of ambient PM_{2.5} pollution in the 74 leading cities of China [J]. *Sci Total Environ*, 2016, 569–570: 1545–1552. DOI:10.1016/j.scitotenv.2016.06.248.
- [30] Chen X, Zhang LW, Huang JJ, et al. Long-term exposure to urban air pollution and lung cancer mortality: A 12-year cohort study in Northern China [J]. *Sci Total Environ*, 2016, 571: 855–861. DOI:10.1016/j.scitotenv.2016.07.064.
- [31] Gharibvand L, Lawrence BW, Shavlik D, et al. The association between ambient fine particulate matter and incident adenocarcinoma subtype of lung cancer [J]. *Environ Health*, 2017, 16(1):71. DOI:10.1186/s12940-017-0268-7.
- [32] Wei YD, Davis J, Bina WF. Ambient air pollution is associated with the increased incidence of breast cancer in US [J]. *Int J Environ Health Res*, 2012, 22(1): 12–21. DOI:10.1080/09603123.2011.588321.
- [33] Chen F, Bina WF. Correlation of white female breast cancer incidence trends with nitrogen dioxide emission levels and motor vehicle density patterns [J]. *Breast Cancer Res Treatm*, 2012, 132(1):327–333. DOI:10.1007/s10549-011-1861-z.
- [34] Andersen ZJ, Ravnskjaer L, Andersen KK, et al. Long-term Exposure to Fine Particulate Matter and Breast Cancer Incidence in the Danish Nurse Cohort Study [J]. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*, 2017, 26(3): 428–430. DOI:10.1158/1055-9965.epi-16-0578.
- [35] Reding KW, Young MT, Szpiro AA, et al. Breast cancer risk in relation to ambient air pollution exposure at residences in the sister study cohort [J]. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*, 2015, 24(12):1907–1909. DOI:10.1158/1055-9965.epi-15-0787.
- [36] Turner MC, Krewski D, Diver WR, et al. Ambient air pollution and cancer mortality in the cancer prevention study II [J]. *Environ Health Perspect*, 2017, 125(8): 087013. DOI:10.1289/ehp1249.
- [37] Pedersen M, Stafoggia M, Weinmayr G, et al. Is there an association between ambient air pollution and bladder cancer incidence? Analysis of 15 European cohorts [J]. *Electroanalysis*, 2016, 28(11):2644. DOI:10.1016/j.euf.2016.11.008.
- [38] Raaschou-Nielsen O, Ketzler M, Harbo PA, et al. Traffic-related air pollution and risk for leukaemia of an adult population [J]. *Int J Cancer*, 2016, 138(5):1111–1117. DOI:10.1002/ijc.29867.
- [39] Mahalingaiah S, Hart JE, Laden F, et al. Air pollution and risk of uterine leiomyomata [J]. *Epidemiology*, 2014, 25(5): 682–688. DOI:10.1097/ede.0000000000000126.

(收稿日期:2017-10-09)

(本文编辑:王岚)