

我国室内外空气污染所致主要慢性疾病的死亡和疾病负担研究进展

余林玲¹ 龙品品¹ 陈卫红¹ 邬堂春²

¹华中科技大学同济医学院公共卫生学院劳动卫生与环境卫生学系/环境与健康教育部重点实验室, 武汉 430030; ²华中科技大学同济医学院, 武汉 430030

余林玲和龙品品对本文有同等贡献

通信作者: 陈卫红, Email: wchen@mails.tjmu.edu.cn; 邬堂春, Email: wut@mails.tjmu.edu.cn

【摘要】 空气污染导致包括慢性非传染性疾病(慢性病)在内的健康风险日益受到关注, 随着工业化及城镇化进程加速, 空气污染物排放增加, 与慢性病关联已成为研究热点。心血管疾病、癌症、糖尿病和慢性呼吸系统疾病 4 种慢性病是我国主要的慢性病, 其导致的死亡数约占总死亡人数的 86.6%, 慢性病的防控特别是病因预防是关乎国民健康的重大公共卫生问题。本文综述了近期室内外空气污染与总死亡以及 4 种主要慢性病的死亡和疾病负担的研究现状, 提出降低空气污染所致慢性病负担的建议, 为我国修订空气质量标准提供理论依据。

【关键词】 空气污染; 心血管疾病; 癌症; 糖尿病; 慢性呼吸系统疾病

基金项目: 中国工程院 2022 年重大战略研究与咨询项目(2022-XBZD-18-04)

Progress in research of deaths and disease burden of major chronic diseases caused by indoor and outdoor air pollution in China

Yu Linling¹, Long Pinpin¹, Chen Weihong¹, Wu Tangchun²

¹Department of Occupational and Environmental Health/Key Laboratory of Environment and Health of Ministry of Education, School of Public Health, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China; ²Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China

Yu Linling and Long Pinpin contributed equally to the article

Corresponding authors: Chen Weihong, Email: wchen@mails.tjmu.edu.cn; Wu Tangchun, Email: wut@mails.tjmu.edu.cn

【Abstract】 Health damage including chronic disease caused by air pollution have attracted increasing attention. With the acceleration of industrialization and urbanization, the emission of air pollutants has increased, and its association with chronic diseases has become a research trending topic. Cardiovascular disease, cancer, diabetes, and chronic respiratory disease are the major chronic diseases, causing about 86.6% of the total deaths in China. The prevention and control of chronic diseases, especially the etiologic prevention, is a major public health issue related to national health. This article summarizes the recent progress in research of association of indoor and outdoor air pollution with all-cause mortality, the deaths and disease burden of four major chronic diseases, i.e. cardiovascular disease, cancer, diabetes, and chronic respiratory disease, and puts forward

DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20230215-00078

收稿日期 2023-02-15 本文编辑 张婧

引用格式: 余林玲, 龙品品, 陈卫红, 等. 我国室内外空气污染所致主要慢性疾病的死亡和疾病负担研究进展[J]. 中华流行病学杂志, 2023, 44(5): 699-704. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20230215-00078.

Yu LL, Long PP, Chen WH, et al. Progress in research of deaths and disease burden of major chronic diseases caused by indoor and outdoor air pollution in China[J]. Chin J Epidemiol, 2023, 44(5): 699-704. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20230215-00078.



suggestions for the reduction of the burden caused by chronic diseases due to air pollution to provide a theoretical foundation to revise air quality standards in China.

【Key words】 Air pollution; Cardiovascular disease; Cancer; Diabetes; Chronic respiratory disease

Fund program: 2022 Major Strategic Research and Consulting Project of Chinese Academy of Engineering (2022-XBZD-18-04)

空气污染是我国重要的环境问题和公共卫生问题之一,包括室内空气污染和室外空气污染。室内空气污染主要来源于燃料燃烧和建筑材料释放等;室外空气污染主要来源于工业生产过程和交通运输过程的排放。室外和室内空气污染分别是我国伤残调整寿命年(DALYs)的第4位和第5位危险因素^[1]。随着我国城市化和工业化的快速发展,机动车保有量的大幅增加,空气污染与慢性非传染性疾病(慢性病)的关联引发了广泛的关注。以心血管疾病(CVD)、癌症、糖尿病和慢性呼吸系统疾病为代表的4种慢性病所致死亡人数占我国总死亡人数的86.6%,是总疾病负担的70.0%,远超世界平均水平^[2],已成为影响我国社会和经济发展的重大公共卫生问题。

近十年来,我国政府通过开展《大气污染防治行动计划》(2012-2017年)和《打赢蓝天保卫战三年行动计划》(2018-2020年)等一系列大气污染防治措施,空气质量得到了显著改善^[3]。2021年WHO新版空气质量指南发布,针对细颗粒物(PM_{2.5})、可吸入颗粒物(PM₁₀)、臭氧、二氧化氮(NO₂)、二氧化硫(SO₂)和一氧化碳(CO)6种污染物水平提供了指导值^[4]。我国现行的环境空气质量标准(GB 3095-2012)是参考WHO 2005年的中期目标制定。随着WHO新版空气质量指南的发布,可能会推动我国新一轮空气质量标准的修订。评估空气污染对中国人群慢性病的影响对于我国修订空气质量标准有重要作用。

本文基于国内近期流行病学研究结果,针对室内外空气污染所致总死亡以及CVD、癌症、糖尿病和慢性呼吸系统疾病的死亡和疾病负担进行全面综述,旨在明确空气污染致慢性病的危害性,为我国修订空气质量标准和开展空气污染治理提供参考依据。

一、空气污染所致总死亡负担

死亡是最严重和诊断准确的健康终点。据统计,2017年我国因室内固体燃料燃烧导致的空气污染死亡人数达27.1万^[5]。一项基于27万中国居民的前瞻性研究显示,与使用家庭清洁燃料者相

比,使用固体燃料烹饪者的全因死亡率增加11%,使用固体燃料取暖者的全因死亡率增加14%^[6]。另一项基于上海市7万名女性的前瞻性研究显示,与从不使用固体燃料者相比,曾经使用固体燃料者的全因死亡率增加12%^[7]。这些研究表明家庭固体燃料使用时间越长,室内空气污染越严重,全因死亡风险越高。

据全球疾病负担研究估计,在2019年,空气污染导致我国185万人死亡,其中142万人因大气颗粒物死亡;空气污染导致的DALYs达3 451万人年,其中3 286万人年归因于大气颗粒物污染^[8]。一项基于近19万名≥40岁男性的前瞻性队列研究发现,PM_{2.5}浓度每增加10 μg/m³,全因死亡率风险增加9%^[9]。在中国动脉粥样硬化性CVD风险预测研究中也得到了类似的结果,PM_{2.5}浓度每增加10 μg/m³,非意外死亡风险增加11%^[10]。总的来说,这些队列研究表明,PM_{2.5}每增加10 μg/m³,全因死亡率增加10%,这一估计值与发达国家报道的结果相当^[11-12]。

二、空气污染所致主要慢性病疾病负担

1. CVD:我国CVD患病率和发病率近年来持续增高。2019年我国CVD患者约3.3亿人,农村和城市因CVD死亡的人数分别占总死亡人数的46.74%和44.26%,即每5例死亡者中有2例死于CVD,心脑血管疾病的住院总费用约3 133.66亿元,CVD的经济负担持续加重^[1]。研究发现约25%的CVD与不健康的环境有关。2019年,PM_{2.5}导致我国CVD死亡人数为91.57万例,DALYs为2 094.71万人年^[13]。

多项研究显示室内空气污染可引起CVD死亡风险增加。一项基于我国27万余名仅使用固体燃料农村居民的前瞻性研究显示,相比使用清洁燃料者,使用固体燃料烹饪者CVD死亡风险增加20%,使用固体燃料取暖者CVD死亡风险增加29%。而使用固体燃料同时采取通风措施,CVD死亡率显著降低^[6]。另一项基于我国22.6万城市居民的前瞻性队列研究显示,与一直使用清洁燃料烹饪者相比,使用固体燃料烹饪者CVD死亡风险增加24%^[14]。

近年来,我国的前瞻性队列研究报道了室外空气污染与CVD死亡率和发病风险之间的关联。一项来自中国香港地区的研究探讨了PM_{2.5}长期暴露对>65岁人群CVD死亡率的影响,结果发现PM_{2.5}浓度每增加10 μg/m³,CVD死亡风险增加22%^[15]。基于我国50万人的慢性病前瞻性队列发现,PM_{2.5}长期暴露与CVD发病风险之间呈正相关,且不存在明显阈值,PM_{2.5}每增加10 μg/m³,CVD发病风险增加4%^[16]。一项基于96 955名参与者的队列研究表明,暖季臭氧浓度每增加10 μg/m³,CVD、缺血性心脏病和中风发病风险分别增加9.3%、18.4%和6.3%^[17]。此外,有前瞻性队列研究表明,环境PM₁₀、NO₂和SO₂长期暴露显著增加了CVD的死亡和发病负担^[18-19]。

2. 癌症:癌症是我国主要的死亡原因之一,我国因癌症导致的健康寿命损失是全球平均水平的近2倍^[20]。以空气污染物为首要致病因素的肺癌,位于我国癌症发病和死亡前列,也是DALYs负担最高的癌症^[21-22]。我国肺癌死亡的14.4%可归因于PM_{2.5}污染^[23]。

室内空气污染是导致肺癌的危险因素。一项基于323 794名从不吸烟的参与者随访10.2年的研究发现,室内空气污染与肺癌死亡之间呈对数线性正相关^[24]。云南省宣威地区的肺癌发病率和死亡率在中国乃至世界均位居前列,研究提示烟煤造成的室内空气污染是诱发该地区肺癌的主要环境风险因素^[25-26]。1997-2017年,随着固体燃料使用减少,室内空气污染程度下降,肺癌归因于固体燃料的DALYs下降44.89%^[27]。但截至2018年我国仍有约4亿人使用固体燃料烹饪^[28]。此外,一项基于我国人群的Meta分析表明,食用油烟雾可能引起肺癌高发,暴露于食用油烟雾的不吸烟女性肺癌OR值为2.12(95%CI:1.81~2.47)^[29]。

1990-2017年,我国居民肺癌危险因素中归因于环境颗粒物引发的肺癌死亡上升110.12%,上升幅度最大^[30-31]。一项1992-2015年基于我国118 551名参与者的前瞻性队列研究发现,与PM_{2.5}暴露(μg/m³)第一分位(31.17~)参与者相比,暴露第二(53.82~)、第三(57.17~)、第四(71.38~)和第五分位(82.22~96.96)参与者的肺癌发病风险分别增加了44%、49%、108%和145%,肺癌死亡风险分别增加83%、80%、150%和195%^[32]。另一项基于我国城镇职工基本医疗保险的研究发现,2013-2016年PM_{2.5}暴露每增加10 μg/m³,肺癌风险增加12%,当PM_{2.5}浓度降至35 μg/m³时,肺癌风险

下降14%^[33]。此外,PM₁₀和SO₂同样显示与肺癌死亡率独立相关,PM₁₀和SO₂每增加10 mg/m³,肺癌死亡率分别增加3.4%~6.0%和1.0%~2.5%^[34]。上述流行病学研究表明室外PM_{2.5}、PM₁₀和SO₂水平升高显著增加了肺癌的发病和死亡负担。

3. 糖尿病:据国际糖尿病联盟统计报道,2021年全球糖尿病患者数量已达5.37亿,我国的糖尿病患者人数居全球第一^[35]。2019年全球疾病负担研究结果显示,在2019年,约1/5的2型糖尿病负担可归因于环境PM_{2.5}污染^[36]。探索我国空气污染与糖尿病之间的关系,对于制定糖尿病的预防措施十分必要。

一项基于15 477名研究对象的33个社区中国健康研究发现,PM_{2.5}和PM₁₀暴露水平每增加一个四分位间距(IQR),糖尿病患者率分别增加14%和20%,这些空气污染物暴露与葡萄糖和胰岛素浓度水平升高有关^[37]。一项基于我国69 210名无糖尿病病史成年人的研究发现,PM_{2.5}暴露与糖尿病呈正相关(OR=1.08,95%CI:1.01~1.15)^[38]。另一项横断面研究发现,NO₂暴露与糖尿病患者风险呈正相关^[39]。上述横断面研究均提示空气污染与糖尿病患病风险增加存在显著关联,但两者间的因果关联还需要在大型前瞻性队列研究中进行验证。

目前有关空气污染暴露与糖尿病发生风险关联的前瞻性研究主要来自西方国家人群,而我国此类研究十分有限。一项来自中国台湾地区的前瞻性队列研究在基线纳入了147 908名未患糖尿病的成年人,研究发现与暴露在PM_{2.5}(μg/m³)第一分位(<21.7)的参与者相比,暴露在PM_{2.5}第二(21.7~)、第三(24.1~)和第四分位(≥28.0)的参与者2型糖尿病发病率分别增加28%、27%和16%^[40]。近期,我国一项基于13 548名成年人的前瞻性队列研究表明,年平均臭氧浓度每增加10 μg/m³,糖尿病发病风险增加5.7%^[41]。我国31个省(自治区、直辖市)已建立起多个大型前瞻性队列人群,基于大样本量的前瞻性队列人群讨论空气污染物暴露与糖尿病发生风险的关联对于糖尿病的预防和控制具有重要的公共卫生意义,将为我国制定控制空气污染和防治糖尿病的相关政策提供参考依据。

4. 慢性呼吸系统疾病:2019年,以慢性阻塞性肺疾病(COPD)、支气管哮喘和尘肺等为代表的慢性呼吸系统疾病位居我国居民死亡原因第4位,占全国总死亡人数的10.6%^[41]。据统计,我国环境颗粒物在男性和女性因慢性呼吸系统疾病而死

亡的归因危险因素中分别排名第 2 和第 1 位; COPD DALYs 的 40% 可归因于空气污染^[42]。

使用固体燃料燃烧造成的家庭室内空气污染导致慢性呼吸系统疾病是我国乃至世界范围内的重要公共卫生问题。在我国非吸烟妇女中,农村妇女 COPD 的发病率比城市妇女高 3.60 倍,主要是由于农村地区大规模使用固体燃料烹饪和取暖引起的室内空气污染^[43]。一项基于 277 838 名不吸烟者随访 9 年的队列研究表明,与使用清洁燃料者相比,使用固体燃料者的 COPD 发病风险增加 10%^[44]。这些研究均表明在我国成年人中,使用固体燃料显著增加了慢性呼吸系统疾病的发病风险。

室外空气污染是导致慢性呼吸系统疾病的另一个重要危险因素。据统计,全国因环境 PM_{2.5} 导致 COPD 过早死亡人数约 17 万^[45]。一项基于广东省 138 015 名年龄 ≥60 岁 COPD 住院患者的研究发现,PM_{2.5}、PM₁₀ 和 NO₂ 每增加 10 μg/m³,CO 每增加 1 mg/m³,COPD 住院风险分别增加 2.5%、2.0%、3.0% 和 14.4%;《打赢蓝天保卫战三年行动计划》实施期间,COPD 住院风险分别增加 1.0%、0.9%、1.5% 和 5.8%^[46],提示控制空气污染降低了呼吸系疾病住院风险。上述流行病学研究表明,PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂ 和 CO 等空气污染物与慢性呼吸系统疾病的发病率和死亡率呈正相关,实施环境空气污染控制措施可有效降低慢性呼吸系统疾病的发病。

三、治理空气污染降低慢性病疾病负担的相关建议

由于我国政府对环境空气污染治理上做出了大量的努力,2017 年我国人群 PM_{2.5} 暴露水平为 52.7 μg/m³,相较于 1990 年(57.8 μg/m³)降低了 9%。1990–2017 年,归因于大气污染的年龄标化死亡率下降 60.6%,归因于室内空气污染的年龄标化死亡率下降 85.4%^[5]。近年来室外 PM_{2.5} 和室内固体燃料燃烧所致的空气污染水平均明显下降。然而,我国空气污染物水平仍超过 WHO 空气质量指南中的建议浓度,空气污染所引发的健康危害问题仍然严峻。采取有效治理措施,改善空气质量,对于降低我国慢性病的死亡和疾病负担具有重要意义。针对目前我国室内外空气污染治理提出建议:

1. 识别空气污染健康危害:应进一步深入开展空气污染相关的流行病学研究和基础研究,从而更好地识别空气污染相关的早期健康危害,评估其造成的疾病负担。在大量关于 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的健康效应研究基础上,加强空气污染特定组分、来源和传

播模式研究,开展基于精细暴露和混合暴露评估的前瞻性队列研究,更好地识别对人类健康有害的主要组分和来源,从而更有针对性地制定空气污染治理措施。此外,应对重大风险物质进行优先级排序并建立优先物质清单。

2. 源头防控空气污染,健全空气污染风险评估和慢性病健康管理体系:源头防控即从产生各类污染物的工业和生活方式出发,通过减少各类污染物的工业排放、汽车尾气排放、厨房油烟产生等,有效控制空气污染物的产生。在空气污染日常监测基础上,构建数字化智能环境健康监测网络,系统优化空气污染健康风险评估体系。开展空气污染风险预测,对高风险区域、人群和行业等进行优先管理和分级干预管理。此外,应加强对慢性病患者筛查和随访管理,探索建立健康危险因素监测评估制度和精准的决策系统,推动防、治、康、管整体融合发展。

3. 增强全民的环境健康理念和行动:据统计,2018 年我国城乡居民具备环境与健康素养的总体水平为 12% 左右,处于较低水平^[47]。未来要通过多种途径和渠道,根据不同人群特点开展有针对性的卫生健康宣传教育,引导居民树立正确健康观。加强全民学习主动规避空气污染相关的健康风险,如固体燃料燃烧和厨房油烟等,有效降低空气污染危险因素的影响。倡导绿色低碳的健康理念和生活方式,增强人民维护和促进自身健康的能力。

四、总结

在过去十年中,我国对空气污染和人类健康的流行病学研究不断发展,包括建立了多个大样本量、多城市的前瞻性队列。这些研究证据表明空气污染与 CVD、癌症、糖尿病和慢性呼吸系统疾病的发病和死亡风险以及总死亡风险呈正相关,长期暴露于室内外空气污染均会导致慢性病的死亡和疾病负担增加。我国应充分利用“蓝天保卫战”建立起的监测系统和执行能力,有效推动我国空气污染治理,实现可持续发展,进一步完善我国慢性病的预防策略,推动健康中国建设迈上新台阶、取得新成就。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 余林玲、龙品品:论文构思和撰写;陈卫红、郭堂春:研究指导、论文修改和经费支持

参 考 文 献

- [1] 《中国心血管健康与疾病报告》编写组.《中国心血管健康与疾病报告 2020》要点解读[J]. 中国心血管杂志, 2021,

- 26(3): 209-218. DOI: 10.3969/j. issn. 1007-5410.2021.03.001.
Compilation Team of China Cardiovascular Health and Disease Report. Interpretation of report on cardiovascular health and diseases in China 2020[J]. Chin J Cardiovasc Med, 2021, 26(3): 209-218. DOI: 10.3969/j. issn.1007-5410.2021.03.001.
- [2] 李祥臣, 俞梦孙. 主动健康:从理念到模式[J]. 体育科学, 2020, 40(2):83-89. DOI:10.16469/j.css.202002009.
Li XC, Yu MS. Proactive health: from idea to model[J]. China Sport Sci, 2020, 40(2): 83-89. DOI: 10.16469/j. css.202002009.
- [3] Zhang QL, Meng X, Shi S, et al. Overview of particulate air pollution and human health in China: Evidence, challenges, and opportunities[J]. Innovation (Camb), 2022, 3(6):100312. DOI:10.1016/J.XINN.2022.100312.
- [4] WHO. WHO global air quality guidelines[EB/OL]. (2021-09-22) [2023-02-15]. <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/who-global-air-quality-guidelines>.
- [5] Yin P, Brauer M, Cohen AJ, et al. The effect of air pollution on deaths, disease burden, and life expectancy across China and its provinces, 1990-2017: an analysis for the Global Burden of Disease Study 2017[J]. Lancet Planet Health, 2020, 4(9): e386-398. DOI: 10.1016/S2542-5196(20)30161-3.
- [6] Yu K, Qiu GK, Chan KH, et al. Association of solid fuel use with risk of cardiovascular and all-cause mortality in rural China[J]. JAMA, 2018, 319(13): 1351-1361. DOI: 10.1001/jama.2018.2151.
- [7] Kim C, Seow WJ, Shu XO, et al. Cooking coal use and all-cause and cause-specific mortality in a prospective cohort study of women in Shanghai, China[J]. Environ Health Perspect, 2016, 124(9): 1384-1389. DOI:10.1289/EHP236.
- [8] GBD 2019 Risk Factors Collaborators. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019[J]. Lancet, 2020, 396(10258):1223-1249. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30752-2.
- [9] Yin P, Brauer M, Cohen A, et al. Long-term fine particulate matter exposure and nonaccidental and cause-specific mortality in a large national cohort of Chinese men[J]. Environ Health Perspect, 2017, 125(11): 117002. DOI: 10.1289/EHP1673.
- [10] Yang XL, Liang FC, Li JX, et al. Associations of long-term exposure to ambient PM_{2.5} with mortality in Chinese adults: A pooled analysis of cohorts in the China-PAR project[J]. Environ Int, 2020, 138:105589. DOI:10.1016/j. envint.2020.105589.
- [11] Lepeule J, Laden F, Dockery D, et al. Chronic exposure to fine particles and mortality: an extended follow-up of the Harvard Six cities study from 1974 to 2009[J]. Environ Health Perspect, 2012, 120(7): 965-970. DOI: 10.1289/ehp.1104660.
- [12] Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, et al. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project[J]. Lancet, 2014, 383(9919): 785-795. DOI:10.1016/S0140-6736(13)62158-3.
- [13] 何敏, 齐金蕾, 殷鹏, 等. 1990 年与 2019 年中国归因于室外 PM_{2.5} 暴露的心血管疾病负担分析[J]. 中国循环杂志, 2021, 36(5): 488-493. DOI: 10.3969/j. issn. 1000-3614.2021.05.013.
- He M, Qi JL, Yin P, et al. Cardiovascular diseases burden attributable to ambient PM_{2.5} exposure in 1990 and 2019 in China[J]. Chin Circ J, 2021, 36(5): 488-493. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2021.05.013.
- [14] Yu K, Lv J, Qiu GK, et al. Cooking fuels and risk of all-cause and cardiopulmonary mortality in urban China: a prospective cohort study[J]. Lancet Glob Health, 2020, 8(3):e430-439. DOI:10.1016/S2214-109X(19)30525-X.
- [15] Wong CM, Lai HK, Tsang H, et al. Satellite-based estimates of long-term exposure to fine particles and association with mortality in elderly Hong Kong residents[J]. Environ Health Perspect, 2015, 123(11):1167-1172. DOI:10.1289/ehp.1408264.
- [16] Liu C, Chan KH, Lv J, et al. Long-term exposure to ambient fine particulate matter and incidence of major cardiovascular diseases: a prospective study of 0.5 million adults in China[J]. Environ Sci Technol, 2022, 56(18): 13200-13211. DOI:10.1021/ACS.EST.2C03084.
- [17] Niu Y, Zhou YC, Chen RJ, et al. Long-term exposure to ozone and cardiovascular mortality in China: a nationwide cohort study[J]. Lancet Planet Health, 2022, 6(6): e496-503. DOI:10.1016/S2542-5196(22)00093-6.
- [18] Zhang LW, Chen X, Xue XD, et al. Long-term exposure to high particulate matter pollution and cardiovascular mortality: a 12-year cohort study in four cities in northern China[J]. Environ Int, 2014, 62: 41-47. DOI: 10.1016/j. envint.2013.09.012.
- [19] Zhang C, Ding R, Xiao CC, et al. Association between air pollution and cardiovascular mortality in Hefei, China: A time-series analysis[J]. Environ Pollut, 2017, 229: 790-797. DOI:10.1016/j.envpol.2017.06.022.
- [20] 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.
- [21] 宁晔, 谢冬, 余云浪, 等. 2020 版 NCCN 肺癌筛查指南解读[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2020, 27(3):251-254. DOI:10.7507/1007-4848.201912038.
- Ning Y, Xie D, She YL, et al. An interpretation of the NCCN guideline of lung cancer screening: 2020 version[J]. Chin J Clin Thorac Cardiovasc Surg, 2020, 27(3):251-254. DOI: 10.7507/1007-4848.201912038.
- [22] Zhou MG, Wang HD, Zeng XY, et al. Mortality, morbidity, and risk factors in China and its provinces, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017[J]. Lancet, 2019, 394(10204):1145-1158. DOI: 10.1016/S0140-6736(19)30427-1.
- [23] Sun DQ, Li H, Cao MM, et al. Cancer burden in China: trends, risk factors and prevention[J]. Cancer Biol Med, 2020, 17 (4): 879-895. DOI: 10.20892/j. issn. 2095-3941. 2020.0387.
- [24] Cheng ES, Chan KH, Weber M, et al. Solid fuel, secondhand smoke, and lung cancer mortality: a prospective cohort of 323 794 Chinese never-smokers[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2022, 206(9):1153-1162. DOI:10.1164/rccm.202201-01140C.
- [25] Barone-Adesi F, Chapman RS, Silverman DT, et al. Risk of lung cancer associated with domestic use of coal in Xuanwei, China: retrospective cohort study[J]. BMJ, 2012,

- 345:e5414. DOI:10.1136/bmj.e5414.
- [26] Mumford JL, He XZ, Chapman RS, et al. Lung cancer and indoor air pollution in Xuan Wei, China[J]. *Science*, 1987, 235(4785):217-220. DOI:10.1126/science.3798109.
- [27] Sun DQ, Li H, Cao MM, et al. Cancer burden in China: trends, risk factors and prevention[J]. *Cancer Biol Med*, 2020, 17(4): 879-895. DOI: 10.20892/j. issn. 2095-3941. 2020.0387.
- [28] Chan KH, Yan M, Bennett DA, et al. Long-term solid fuel use and risks of major eye diseases in China: A population-based cohort study of 486, 532 adults[J]. *PLoS Med*, 2021, 18(7): e1003716. DOI: 10.1371/journal.pmed.1003716.
- [29] Zhao Y, Wang SX, Aunan K, et al. Air pollution and lung cancer risks in China—a meta-analysis[J]. *Sci Total Environ*, 2006, 366(2/3): 500-513. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2005.10.010.
- [30] Loomis D, Huang W, Chen GS. The International Agency for Research on Cancer (IARC) evaluation of the carcinogenicity of outdoor air pollution: focus on China[J]. *Chin J Cancer*, 2014, 33(4): 189-196. DOI: 10.5732/cjc.014.10028.
- [31] 路友华, 王炳翔, 王家林, 等. 中国居民 1990-2019 年肺癌及其危险因素疾病负担变化趋势分析[J]. *中国公共卫生*, 2022, 38(5):513-517. DOI:10.11847/zgggws1137000. Lu YH, Wang BX, Wang JL, et al. Changing trend in disease burden of lung cancer and its risk factors among Chinese residents, 1990-2019[J]. *Chin J Public Health*, 2022, 38(5): 513-517. DOI:10.11847/zgggws1137000.
- [32] Li JX, Lu XF, Liu FC, et al. Chronic effects of high fine particulate matter exposure on lung cancer in China[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2020, 202(11): 1551-1559. DOI:10.1164/rccm.202001-00020C.
- [33] Zhang ZY, Zhu DW, Cui B, et al. Association between particulate matter air pollution and lung cancer[J]. *Thorax*, 2020, 75(1):85-87. DOI:10.1136/thoraxjnl-2019-213722.
- [34] 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.
- [35] Hong S, Pouya S, Suvi K, et al. IDF Diabetes Atlas: Global, regional and country-level diabetes prevalence estimates for 2021 and projections for 2045[J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2022, 183: 109119. DOI: 10.1016/j. diabres. 2021. 109119.
- [36] GBD 2019 Diabetes and Air Pollution Collaborators. Estimates, trends, and drivers of the global burden of type 2 diabetes attributable to PM_{2.5} air pollution, 1990-2019: an analysis of data from the Global Burden of Disease Study 2019[J]. *Lancet Planet Health*, 2022, 6(7): e586-600. DOI:10.1016/S2542-5196(22)00122-X.
- [37] Yang BY, Qian ZM, Li SS, et al. Ambient air pollution in relation to diabetes and glucose-homoeostasis markers in China: a cross-sectional study with findings from the 33 Communities Chinese Health Study[J]. *Lancet Planet Health*, 2018, 2(2):e64-73. DOI:10.1016/S2542-5196(18)30001-9.
- [38] Li SC, Guo B, Jiang Y, et al. Long-term exposure to ambient PM_{2.5} and its components associated with diabetes: evidence from a large population-based cohort from China[J]. *Diabetes Care*, 2023, 46(1): 111-119. DOI: 10.2337/dc22-1585.
- [39] Zhang QL, Liu C, Wang YF, et al. Associations of long-term exposure to ambient nitrogen dioxide with indicators of diabetes and dyslipidemia in China: A nationwide analysis [J]. *Chemosphere*, 2021, 269: 128724. DOI: 10.1016/j. chemosphere.2020.128724.
- [40] Lao XQ, Guo C, Chang LY, et al. Long-term exposure to ambient fine particulate matter PM_{2.5} and incident type 2 diabetes: a longitudinal cohort study[J]. *Diabetologia*, 2019, 62(5):759-769. DOI:10.1007/s00125-019-4825-1.
- [41] Wang YX, Cao R, Xu ZH, et al. Long-term exposure to ozone and diabetes incidence: A longitudinal cohort study in China[J]. *Sci Total Environ*, 2022, 816: 151634. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.151634.
- [42] 龙政, 刘威, 齐金蕾, 等. 1990-2019 年中国慢性呼吸系统疾病死亡情况及变化趋势 [J]. *中华流行病学杂志*, 2022, 43(1): 14-21. DOI: 10.3760/cma. j. cn112338-20210601-00443. Long Z, Liu W, Qi JL, et al. Mortality trend of chronic respiratory diseases in China, 1990-2019[J]. *Chin J Epidemiol*, 2022, 43(1): 14-21. DOI: 10.3760/cma. j. cn112338-20210601-00443.
- [43] Liu SM, Zhou YM, Wang XP, et al. Biomass fuels are the probable risk factor for chronic obstructive pulmonary disease in rural South China[J]. *Thorax*, 2007, 62(10): 889-897. DOI:10.1136/thx.2006.061457.
- [44] Chan KH, Kurmi OP, Bennett DA, et al. Solid fuel use and risks of respiratory diseases. A cohort study of 280 000 Chinese never-smokers[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2019, 199(3): 352-361. DOI: 10.1164/rccm. 201803-04320C.
- [45] 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.
- [46] Lu WF, Tian Q, Xu RJ, et al. Ambient air pollution and hospitalization for chronic obstructive pulmonary disease: Benefits from Three-Year Action Plan[J]. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2021, 228:113034. DOI:10.1016/j.ecoenv.2021.113034.
- [47] 黄炳昭, 韦正峥, 蒋玉丹, 等. 我国生态环境部门环境与健康管理现状及展望初探 [J]. *环境与可持续发展*, 2019, 44(5):5-8. DOI:10.19758/j.cnki.issn1673-288x.201905005. Huang BZ, Wei ZZ, Jiang YD, et al. Study on the progress and prospect of environmental and health work carried out by environmental departments in China[J]. *Environ Sustainable Dev*, 2019, 44(5): 5-8. DOI: 10.19758/j. cnki. issn1673-288x.201905005.