因地而异的气候变化健康影响需要因地而异的应对措施

蔡闻佳^{1,2,3†}, 张弛^{4,5†}, 孙凯平^{1†}, 艾思奇⁶, 白玉琪^{1,2,3}, 鲍俊哲⁷, 陈彬⁸, 程亮亮⁶, 崔学勤¹, 戴瀚程⁹, 底骞¹⁰, 董文轩^{11,12}, 窦德景¹³, 范维澄^{11,12}, 范星¹⁴, 高全¹⁵, 耿阳¹⁶, 关大博^{1,17}, 郭亚菲¹⁸, 胡艺馨¹⁹, 华峻翊²⁰, 黄存瑞⁶, 黄弘^{11,12}, 黄建斌¹, 蒋婷婷¹, 焦珂笛²¹, Gregor Kiesewetter²², Zbigniew Klimont²², Pete Lampard²³, 李传玺²¹, 李奇玮²⁴, 李湉湉²⁵, 李瑞奇^{11,12}, 林波荣¹⁶, 林华亮⁶, 刘欢²⁴, 刘起勇¹⁸, 刘小波¹⁸, 刘昱甫¹, 刘钊¹, 刘志东²¹, 刘竹¹, 楼书含¹, 鲁晨曦¹, 罗勇¹, 马伟²¹, Alice McGushin²⁶, 牛彦麟¹⁸, 任超²⁰, 任浙豪¹, 阮增良⁶, Wolfgang Schöpp²², 苏婧²⁷, 屠滢¹, 王杰²⁸, 王琮⁶, 王雅琪²⁹, 王宇¹, Nick Watts²⁶, 肖淙曦³⁰, 谢杨³¹, 熊辉³², 徐名芳¹⁸, 徐冰¹, 许磊¹⁸, 杨军³³, 杨廉平⁶, 俞乐¹, 岳玉娟¹⁸, 张少辉^{22,31}, 张仲宸¹⁶, 赵继尧¹, 赵亮²⁷, 赵梦真¹, 赵哲²¹, 周景博¹³, 宫鹏^{1,2,3,34*}

1. 清华大学地球系统科学系, 地球系统数值模拟教育部重点实验室, 北京 100084;
2. 清华大学中国新型城镇化研究院健康城市研究中心, 北京 100084;
3. 清华大学中国城市研究院, 北京 100084;
4. 北京理工大学管理与经济学院, 北京 100081;
5. 北京大学亚太经合组织健康科学研究院, 北京 100871;
6. 中山大学公共卫生学院, 广州 510080;
7. 郑州大学公共卫生学院, 郑州 450001;
8. 北京师范大学环境学院, 北京 100875;
9. 北京大学环境科学与工程学院, 北京 100871;
10. 清华大学万科公共卫生学院, 北京 100084;
11. 清华大学公共安全研究所, 北京 100084;
12. 清华大学工程物理系, 北京 100084;
13. 百度研究院, 北京 100091;
14. 山东师范大学环境与生态研究院, 济南 250013;
15. 山东师范大学商学院, 济南 250013;
16. 清华大学建筑学院, 北京 100084;
17. Bartlett School of Construction and Project Management, University College London, London WC1H 0AL, UK;
18. 中国疾病预防控制中心传染病预防控制所, 北京 102206;
19. 南方科技大学统计与数据科学系, 深圳 518055;
20. 香港大学建筑学院, 香港;
21. 山东大学齐鲁医院公共卫生学院流行病学系, 济南 250002;
22. Air Quality and Greenhouse Gases Programme, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Vienna 1-A-2361, Austria;
23. Department of Health Sciences, University of York, York YO10 5DD, Canada;
24. 清华大学环境学院, 北京 100084;
25. 中国疾病预防控制中心环境与人群健康重点实验室, 中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所, 北京 100021;
26. Institute for Global Health, University College London, London WC1H 0AL, UK;
27. 清华大学人文学院, 北京 100084;
28. 中国科学院大气物理研究所, 大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029;
29. 清华大学五道口金融学院, 北京 100084;
30. 中国科技大学计算机科学与技术学院, 合肥 230027;
31. 北京航空航天大学经济与管理学院, 北京 100083;

32. Rutgers Business School, the State University of New Jersey, New Brunswick NJ 07102, USA;

33. 暨南大学环境与气候研究所, 广州 510632;

34. 香港大学, 香港

† 同等贡献

* 联系人, E-mail: penggong@tsinghua.edu.cn

气候变化的趋势正在对全球的人群健康造成巨大的威胁, 迫切需要各国密切协作, 积极应对气候变化, 为此《柳叶刀》(*The Lancet*)杂志成立了“柳叶刀健康与气候变化委员会”(以下简称柳叶刀委员会), 评估气候变化对人群健康的影响, 并寻找保障人群健康的应对气候变化措施。柳叶刀委员会在2015年报告基础上, 启动了“柳叶刀倒计时: 追踪健康与气候变化进展”项目(以下简称柳叶刀倒计时)^[1], 每年在《柳叶刀》上发表全球应对气候变化和保护人群健康的最新进展。

作为拥有全球五分之一的人口大国, 在中国开展气候行动对保护人群健康和减缓全球变暖的趋势都至关重要。和其他国家一样, 减缓和适应气候变化将极大地造福于中国14亿人的健康状况, 而将这些考虑纳入新型冠状病毒肺炎疫情(以下简称新冠疫情)下的经济复苏计划和2060年碳中和目标的具体实现路径之中, 将确保中国人当今和未来的福祉得到改善。未来数月乃至数年作出的决策将决定后续数十年气候政策的进程。

为应对这一挑战, 清华大学联合英国伦敦大学学院和另外17所国内和国际机构, 在《柳叶刀倒计时: 跟踪健康和气候变化进展》(*Lancet Countdown: Tracking Progress on Health and Climate Change*)全球报告工作的基础上^[2], 聚焦国内情况, 首次共同发布了针对中国的2020柳叶刀倒计时报告^[3]。报告借鉴了国际报告的方法和框架, 旨在更全面地了解跟踪中国国内人群健康与气候变化之间的联系, 评估进展的指标涉及五大领域23个指标, 包括气候变化影响、暴露程度和脆弱性; 针对健康的适应计划和适应能力; 减缓措施和健康协同效益; 投资和经济分析; 公众和政治参与指标选择会根据政策与研究进展进行动态更新。

清华大学受柳叶刀委员会邀请, 联合国内相关机构, 每年编写中国政策简报^[4,5]。此次将针对2020中国柳叶刀倒计时报告的指标, 帮助决策者和公众了解中国应对气候变化和改善公众健康的最新进展。

相比全球报告而言, 中国报告尽可能地使用省级数据、展示省级结果, 以便地方决策者制定有针对性的应对策略。本报告通过23项指标的研究得出了两个关键观点。

1 气候变化对健康风险加大

在中国, 气候变化对健康的影响正在加快, 如果全球气

官鹏 香港大学副校长, 曾任清华大学地球系统科学系主任。研究兴趣包括: 全球环境变化监测与模拟、星球健康等。提出遥感生态测量学、拓展无线传感器网络及声音遥感环境应用, 率先发展基于球面坐标的全球分析和图像处理技术, 建立时空一体化的疾病传播模型, 推动了基于空间化信息的水资源和粮食政策研究。

温继续升高, 会带来令人难以接受的高健康风险。每个省份都受到了影响, 但都面临着独特的健康威胁, 因此需要制定有针对性的应对策略。

中国已经感受到了气候变化的影响, 表现为气温升高、极端天气事件增加和媒介生态的改变。在过去20年, 热浪相关死亡人数上升了4倍(图1)^[3], 2019年的死亡人数达到了2.68万人, 其货币化成本相当于中国140万人的年均国民收入^[1]。与1986~2005年基准水平相比, 2019年的热浪天数平均增加了13天, 而老年人在热浪天死亡的风险会上升10.4%。户外工作者的高温相关潜在劳动生产力损失达到了全国总工时的0.5%, 占中国国内生产总值(gross domestic product, GDP)的1%, 相当于中国每年在科技方面的财政支出。受气温上升和气候变化驱动, 极端森林火灾事件的增加以及登革热的传播将进一步造成严重的健康影响。

不同地区面临着不同的健康威胁, 需要采取有针对性的应对措施——近20年来, 在19个省份报告的6项健康影响指标中, 有3项或以上都提高了至少10%。重要的是, 一些人口密集、经济发达的省份, 比如河南、山东和浙江, 都面临着比其他省份更高、进展更迅猛的健康风险。

2 针对气候变化健康影响的应对措施仍显不足

中国在一些行业开展了大量的行动来应对气候变化, 取得巨大进步。太阳能发电量的年增长速率达到了前所未有的26.5%, 2019年新增装机容量达到26.8 GW^[6]。低碳能源投资是化石能源投资的9倍(2008年为1:1); 2018年, 可再生能源部

1) 中国各省热浪相关死亡人数的评估利用了网格人口数据和气温数据、通过指标中的热浪定义和不同地区的暴露反应曲线, 给出了每个省的反应, 其生命货币化成本是利用预期生命价值折算评估

图1 1990~2019年期间中国热浪相关死亡人数及变化趋势^[3]

Figure 1 Trend of heatwave-related mortality 1990–2019 in China^[3]

门提供了410万个工作岗位,目前就业人数已超过化石燃料开采行业^[7]。此外,由于中国采取了强有力的政策措施,严重空气污染已有所缓解。2014~2019年期间,城市中直径 $\leq 2.5\text{ }\mu\text{m}$ 颗粒物($\text{PM}_{2.5}$)的年均浓度下降了28%,每年与 $\text{PM}_{2.5}$ 相关过早死亡人数减少了9万人²⁾(图2)^[3]。这些大气污染控制政策也起到了减缓气候变化的效果,使得煤炭在中国一次能源供应总量中的比重从2014年的66%降低至2018年的59%。广东、上海和四川3个省份已经制定了省级健康与气候变化计划,另有河南、江苏、黑龙江、云南4个省份正在制定相关计划,展现了地方层面的领导力。

然而,尽管上述变化非常迅速,但为了确保实现中国的“2060年碳中和”目标、并最大限度地减少气候变化给中国带来日益增长的健康负担,中国还需要作出更大的改变。尽管可再生能源的使用量不断增长,但煤炭在中国一次能源供应总量中的比重仍占到59%。2018年,中国的化石燃料补贴仍然高达419亿美元,而事实上,化石燃料使用导致的 $\text{PM}_{2.5}$ 空气污染所造成的早逝损失(即负外部性)已经高达107亿美元。虽然中国的大气污染水平已有显著改善,但仍有42%的人口居住在未能达到世界卫生组织(World Health Organization, WHO)过渡期空气质量标准的地区^[8],几乎所有城市的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度都超出了 $10\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的年均水平目标值。由于《健康中国行动计划(2019–2030年)》并未提到气候变化,且中国尚未出台针对健康的独立国家适应计划,因此气候变化对健康的影响在中国并没有得到充分的认识。从更广泛的角度来说,健康和气候变化方面的媒体报道率和个人参与度仍然很低,相关知识的传播和参与也都有限。中国需要在所有部门推动这方面的进展,从而扭转气候变化健康风险曲线的走高势头。

3 政策建议

《柳叶刀倒计时2020年中国报告》基于相关数据和研究成果,为中国健康和气候变化领域的关键利益相关者提出了5项建议:

(1) 强化部门间合作。气候变化是一项需要各行各业携手应对的艰难挑战。尽管中国一直致力于将健康纳入各项政策,但仍迫切需要卫生、环境、能源、经济、金融和教育等各个部门之间展开实质性合作。

(2) 增强突发卫生事件应急准备。尽管新冠疫情过后,中国会大力加强针对突发卫生事件的防范力度,但对气候变化在健康卫生领域所造成或即将造成的威胁的认知尚未得到应有重视。这些问题应被完全纳入应急防范和响应系统之内,以便于为未来的健康服务、医疗供应及基础设施需求事先作好准备。

(3) 强化科研支撑,提升认知水平。中国需要加强对人群健康及气候变化领域的研究支持,这有利于增强卫生系统对适应和减缓措施及其健康效益的认识。同时,还应充分调动媒体和学术界的力量以提升公众及国家各部门对该话题的认知程度。此外,中国政府应及时更新《健康中国行动计划(2019–2030年)》,从而尽快应对气候变化所带来的健康挑战。

(4) 提升减缓气候变化的行动力度。中国承诺到2060年实现碳中和,这无疑是中国向前迈出的重大一步。因此,加速煤炭淘汰进程不仅对实现该目标非常必要,同时对中国继续推进大气污染防治也至关重要。此外,中国政府应当取消化石燃料补贴,从而凸显当前化石燃料消耗的真实成本,同时也可避免对其在2021年生效的排放权交易制度效力造成影响。

2) 中国 $\text{PM}_{2.5}$ 相关过早死亡人数是根据柳叶刀全球报告方法,使用中国统计年鉴的能耗计算大气污染物排放量和浓度,再采用综合暴露响应模型(Integrated Exposure Response model, IER)计算得出

图 2 2015和2018年中国各污染源导致的可归因于细颗粒物(PM_{2.5})暴露的过早死亡人数^[3]

Figure 2 Premature deaths attributable to exposure to ambient fine particulate matter (PM_{2.5}) in 2015 and 2018, by key sources of pollution in China^[3]

(5) 确保新冠疫情后的经济复苏政策是对当前及未来我国人群健康的保障。中国为新冠疫情后经济复苏所作的各项决策将决定未来几年内公共卫生领域的整体局势。如果中国

政府未能将气候变化作为首要事项纳入其干预措施，则其民众的生命、生计以及可持续经济的长期愿景必将面临巨大挑战。

致谢 本研究得到英国惠康基金会(Wellcome Trust)、得乐室中国(香港)有限公司(Delos China (HK) Limited)和唐仲英基金会(Cyrus Tang Foundation)支持。赞助单位并未参与本报告的设计、数据收集、分析和撰写工作。陈冯富珍女士(清华大学)对本研究提出建设性修改意见。感谢雷名雨、李瑞瑶和汪蕊(清华大学)对本研究提供的技术支持。

推荐阅读文献

- 1 Watts N, Adger W N, Agnolucci P, et al. Health and climate change: Policy responses to protect public health. *Lancet*, 2015, 386: 1861–1914
- 2 Watts N, Amann M, Arnell N, et al. The 2020 report of The Lancet Countdown on health and climate change: Responding to converging crises. *Lancet*, 2021, 397: 129–170
- 3 Cai W, Zhang C, Suen H P, et al. The 2020 China report of the Lancet Countdown on health and climate change. *Lancet Public Health*, 2021, 6: e64–e81
- 4 Cai W J, Hui J X, Gong P, et al. China's challenges and policy recommendations for addressing climate change and improving public health (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2018, 63: 1205–1210 [蔡闻佳, 惠婧璇, 宫鹏, 等. 中国应对气候变化和改善公众健康的挑战与政策建议. 科学通报, 2018, 63: 1205–1210]
- 5 Cui X Q, Cai W J, Shi X M, et al. The nature and scale of the response to climate change will determine the human health for centuries to come in China (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2020, 65: 12–17 [崔学勤, 蔡闻佳, 施小明, 等. 当前应对气候变化的力度决定未来中国的公众健康水平. 科

学通报, 2020, 65: 665–670]

- 6 Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics of China. China Energy Statistical Yearbook 2019 (in Chinese). Beijing: China Statistics Press, 2020 [国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴2019. 北京: 中国统计出版社, 2020]
- 7 Murdock H, Gibb D, André T, et al. Renewables 2019-Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for 21st Century, 2017
- 8 Huang J, Pan X, Guo X, et al. Health impact of China's Air Pollution Prevention and Control Action Plan: An analysis of national air quality monitoring and mortality data. [Lancet Planet Health](#), 2018, 2: e313–e323

Summary for “因地而异的气候变化健康影响需要因地而异的应对措施”

Location-specific health impacts of climate change require location-specific responses

Wenjia Cai^{1,2,3†}, Chi Zhang^{4,5†}, Hoi Ping Suen^{1,2,3†}, Siqi Ai⁶, Yuqi Bai^{1,2,3}, Junzhe Bao⁷, Bin Chen⁸, Liangliang Cheng⁶, Xueqin Cui¹, Hancheng Dai⁹, Qian Di¹⁰, Wenxuan Dong^{11,12}, Dejing Dou¹³, Weicheng Fan^{11,12}, Xing Fan¹⁴, Tong Gao¹⁵, Yang Geng¹⁶, Dabo Guan¹, Yafei Guo¹⁸, Yixin Hu¹⁹, Junyi Hua²⁰, Cunrui Huang⁶, Hong Huang^{11,12}, Jianbin Huang¹, Tingting Jiang¹, Kedi Jiao²¹, Gregor Kiesewetter²², Zbigniew Klimont²², Pete Lampard²³, Chuanxi Li²¹, Qiwei Li²⁴, Tiantian Li²⁵, Ruiqi Li^{11,12}, Borong Lin¹⁶, Hualiang Lin⁶, Huan Liu²⁴, Qiyong Liu¹⁸, Xiaobo Liu¹⁸, Yufu Liu¹, Zhao Liu¹, Zhidong Liu²¹, Zhu Liu¹, Shuhan Lou¹, Chenxi Lu¹, Yong Luo¹, Wei Ma²¹, Alice McGushin²⁶, Yanlin Niu¹⁸, Chao Ren²⁰, Zhehao Ren¹, Zengliang Ruan⁶, Wolfgang Schöpp²², Jing Su²⁷, Ying Tu¹, Jie Wang²⁸, Qiong Wang⁶, Yaqi Wang²⁹, Yu Wang¹, Nick Watts²⁶, Congxi Xiao³⁰, Yang Xie³¹, Hui Xiong³², Mingfang Xu¹⁸, Bing Xu¹, Lei Xu¹⁸, Jun Yang³³, Lianping Yang⁶, Le Yu¹, Yajuan Yue¹⁸, Shaohui Zhang^{22,31}, Zhongchen Zhang¹⁶, Jiayao Zhao¹, Liang Zhao²⁷, Mengzhen Zhao¹, Zhe Zhao²¹, Jingbo Zhou¹³ & Peng Gong^{1,2,3,34*}

¹ Ministry of Education Key Laboratory for Earth System Modeling, Department of Earth System Science, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

² Center for Healthy Cities, Institute for China Sustainable Urbanization Joint Center for Global Change Studies, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

³ Tsinghua Urban Institute, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

⁴ School of Management and Economics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

⁵ APEC Health Science Academy, Peking University, Beijing 100871, China;

⁶ School of Public Health, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510080, China;

⁷ College of Public Health, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

⁸ School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

⁹ College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, Beijing 100871, China;

¹⁰ Yanke School of Public Health, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

¹¹ Institute of Public Safety Research, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

¹² Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

¹³ Baidu Research, Beijing 100091, China;

¹⁴ Institute of Environment and Ecology, Shandong Normal University, Jinan 250013, China;

¹⁵ School of Business, Shandong Normal University, Jinan 250013, China;

¹⁶ School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

¹⁷ Bartlett School of Construction and Project Management, University College London, London WC1H 0AL, UK;

¹⁸ China CDC State Key Laboratory of Infectious Disease Prevention and Control, National Institute for Communicable Disease Control and Prevention, Beijing 102206, China;

¹⁹ Department of Statistics and Data Science, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China;

²⁰ School of Architecture, the University of Hong Kong, Hong Kong, China;

²¹ Department of Epidemiology, School of Public Health, Qilu College of Medicine, Shandong University, Jinan 250002, China;

²² Air Quality and Greenhouse Gases Programme, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Vienna 1-A-2361, Austria;

²³ Department of Health Sciences, University of York, York YO10 5DD, Canada;

²⁴ School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

²⁵ China CDC Key Laboratory of Environment and Population Health, National Institute of Environmental Health, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100021, China;

²⁶ Institute for Global Health, University College London, London WC1H 0AL, UK;

²⁷ School of Humanities, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

²⁸ State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmosphere Sciences and Geophysical Fluid Dynamics (LASG), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

²⁹ PBC School of Finance, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

³⁰ School of Computer Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China;

³¹ School of Economics and Management, Beihang University, Beijing 100083, China;

³² Rutgers Business School, the State University of New Jersey, New Brunswick NJ 07102, USA;

³³ Institute for Environmental and Climate Research, Jinan University, Guangzhou 510632, China;

³⁴ University of Hong Kong, Hong Kong, China

† Equally contributed to this work

* Corresponding author, E-mail: penggong@tsinghua.edu.cn

Left unmitigated, climate change poses a catastrophic risk to human health, demanding an urgent and concerted response from every country. The 2015 *Lancet Commission on Health and Climate Change* and *The Lancet Countdown: Tracking Progress on Health and Climate Change* have been initiated to map out the impacts of climate change and the necessary policy responses.

To meet these challenges, Tsinghua University, partnering with the University College London and 17 Chinese and international institutions, has prepared the Chinese Lancet Countdown report, which has a national focus and builds on the work of the global *Lancet Countdown: Tracking Progress on Health and Climate Change*. Drawing on international methodologies and frameworks, this report aims to deepen the understanding of the links between public health and climate change at the national level and track them with 23 indicators. This work is part of the Lancet's Countdown broader efforts to develop regional expertise on this topic, and coincides with the launch of the Lancet Countdown Regional Centre in Asia, based at Tsinghua University. The data and results of this report are presented at the provincial level, where possible, to facilitate targeted response strategies for local decision-makers. Based on the data and findings of the 2020 Chinese Lancet Countdown report, five recommendations are proposed to key stakeholders in health and climate change in China:

(1) Enhance inter-departmental cooperation. Climate change is a challenge that demands an integrated response from all sectors, urgently requiring substantial inter-departmental cooperation among health, environment, energy, economic, financial, and education authorities.

(2) Strengthen health emergency preparedness. Knowledge and findings on current and future climate-related health threats still lack the required attention and should be fully integrated into the emergency preparedness and response system.

(3) Support research and raise awareness. Additional financial support should be allocated to health and climate change research in China to enhance health system adaptation, mitigation measures, and their health benefits. At the same time, media and academia should be fully motivated to raise the public and politicians' awareness of this topic.

(4) Increase climate change mitigation. Speeding up the phasing out of coal is necessary to be consistent with China's pledge to be carbon neutral by 2060 and to continue to reduce air pollution. Fossil fuel subsidies must also be phased out.

(5) Ensure the recovery from COVID-19 to protect health now and in the future. China's efforts to recover from COVID-19 will shape public health for years to come. Climate change should be a priority in these interventions.

climate change, public health, air pollution, extreme weather, China

doi: [10.1360/TB-2021-0140](https://doi.org/10.1360/TB-2021-0140)