当前应对气候变化的力度决定未来中国的公众健康水平

崔学勤^{1,2,3,4}, 蔡闻佳^{1,2,3,4,5}, 施小明⁶, 李滢滢⁶, 王情⁶, 宫鹏^{1,2,3,4*}

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. 全球变化与中国绿色发展协同创新中心, 北京 100875;

3. 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;

4. 清华大学中国城市研究院, 北京 100084;

5. 清华-力拓资源能源与可持续发展研究中心, 北京 100084;

6. 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

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

越来越多的科学证据表明, 气候变化会通过多条路径损害人群健康^[1,2]. 气候变化对人群健康的直接影响包括高温暴露造成的生理疾病, 增加呼吸道、心血管等传染性疾病的发病率, 以及干旱、洪水、风暴、野火等极端天气事件造成的伤亡等. 气候变化也会通过影响生态系统, 如粮食减产、增加气候敏感型传染病的传播, 以及影响社会经济结构, 如造成人口流离失所、气候移民和冲突等, 间接危害人群健康.

为了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措施, 《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), 以伦敦大学学院和清华大学作为联合负责机构, 开展全球跨学科的合作. 柳叶刀委员会的报告结论认为, 应对气候变化可以成为 21 世纪改善全球健康的最大机遇^[2].

柳叶刀委员会在 2015 年报告基础上, 启动了“柳叶刀 2030 年倒计时: 追踪健康与气候变化进展”项目(以下简称柳叶刀 2030 倒计时), 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年度进展. 柳叶刀 2030 倒计时评估进展的指标涉及五大领域, 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; 资金和经济; 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. 2018 年度的《柳叶刀 2030 倒计时》报告于卡托维茨联合国气候大会前发布, 由来自各大洲的知名学术机构、联合国和政府间组织等共 27 家机构合作撰写, 追踪 41 项气候变化与人群健康相关指标的全球进展^[3]. 报告结论指出, “当下应对气候变化的力度将成为未来数个世纪全球公众健康的决定因素”^[3].

在每年的全球柳叶刀 2030 倒计时报告之外, 清华大学受柳叶刀委员会邀请, 联合国内相关机构, 编写中国政策简报, 从全球报告的所有指标中选取对中国最为迫切或者与中国的政策进展最为相关的指标, 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.

宫鹏 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, 推动基于空间化信息的水资源和粮食政策研究.

2017 年的中国政策简报选取了气候敏感传染性疾病、去煤炭、城市空气污染以及空气污染的贡献 4 个指标^[4]. 2018 年的中国政策简报选取劳动生产率变化、城市空气污染和碳定价的力度和覆盖范围进行评述, 并提出政策建议. 其中高温热浪引起劳动生产率下降进而带来的经济损失是目前在中国的政策决策中被普遍忽视的问题. 近年来尽管中国在城市空气污染治理领域取得了显著成果, 但气候变化带来的气象条件变化在未来可能增加空气污染事件的发生频率和持续时间, 可能抵消空气污染治理的部分努力. 2017 年底中国正式启动了全国碳市场, 但是这一碳定价政策的力度和覆盖范围仍有待继续加强.

对中国应对气候变化和改善公众健康相关政策进展的评述结果, 进一步印证了柳叶刀 2030 倒计时全球报告的结论. 在当前采取有效措施控制温室气体排放、减缓气候变化, 将在未来很长的时间尺度内都有益于改善中国的公众健康.

1 劳动生产率变化

温度上升将会损害数亿中国劳动人口的职业健康, 并降低其生产率^[3,5,6]. 如图 1 所示, 2017 年高温工作环境中产生的热应激在中国造成的劳动损失总时数高达 210 亿小时^[6], 相当于全国 1.4% 的劳动人口一年的总工作时间. 尽

图1 (网络版彩色)中国分产业劳动损失总时数(2000~2017年)

Figure 1 (Color online) Total hours of labour lost by industries in China from 2000 to 2017

管存在年际波动,但是中国的劳动损失总时数自2000年以来有所上升。由于长时间户外工作且劳动强度大的职业,例如农民、建筑工人等,更容易受到高温天气的影响,因此高温造成的劳动损失总时数主要集中在第一产业^[3,6]。

气候变化情景研究预测未来热浪将更为频繁,这将导致劳动生产率下降和相关经济损失飙升。目前国家劳动保护相关政策规定,用人单位安排劳动者在35℃以上(含35℃)高温从事室外露天作业以及不能采取有效措施将工作场所温度降低到33℃以下(不含33℃),应当向劳动者发放高温补贴。在中等程度的未来温升,即典型浓度路径(RCP)4.5情景下,假设高温补贴标准(高温天气下每人每天的补贴额度)保持当前水平不变,2030年全国高温补贴总额将达到每年2500亿元,到2100年将进一步增长到10000亿元^[7]。若假设高温补贴标准随着工资而提高,则到21世纪末全国高温补贴总额将占GDP的3%^[7]。作为对比,2015年中国总医疗支出占GDP的比重为5%^[8]。因此,若未来温度持续上升,高温补贴支出将成为越来越沉重的经济负担。

中国政府目前尚未对气候变化带来的劳动力损失给予足够的重视。鉴于未来气候变化情景下热浪发生频率和严重程度不断增加,控制温室气体排放并采取有效的高温工作环境防护措施,有助于减少未来高温天气可能造成的经济损失。

2 城市空气污染

近年来,中国已经实现了显著的大气污染物排放削减。官方监测数据显示,2017年中国338个地级及以上城市PM₁₀和SO₂年平均浓度相比2013年分别下降22.7%和41.9%;京津冀、长三角、珠三角等重点区域PM_{2.5}平均浓度比2013年分别下降39.6%,34.3%,27.7%(http://www.

xinhuanet.com/2018-02/01/c_1122350409.htm)。2013年9月起实施的《大气污染防治行动计划》所列目标全面实现。室外空气污染是导致中风、心脏病、肺癌和呼吸疾病的主要原因之一,并在近年来造成中国每年100万人左右早逝^[9]。由于显著的空气质量改善,2017年全国74个重点城市空气污染导致的死亡人数比2013年减少了47240人(95%置信区间为25870~69990人),早逝所致的寿命损失年减少了710020年(95%置信区间为420230~1025460年)^[10]。这意味着全国空气污染导致的死亡人数减少了约5%。其中京津冀、长三角和珠三角这3个重点区域的健康收益占全国总量近六成(图2)^[10]。

气候变化与空气污染之间存在交互关系,气候变化可能通过改变气象条件(如温度、湿度、降水和风速等),影响污染物的生成、传输和去除等过程,进而影响局部或全球的空气质量^[11,12]。研究表明,由于全球气候变化,大气静稳现象的发生频率和持续时间都将增长^[13,14]。静稳天气下,空气扩散条件较差,不利于污染物扩散、稀释或沉降,大气中的污染物容易在低空堆积,产生重污染事件。也有研究发现,由于气候变化造成的温度升高和净辐射通量增加,会促进光化学反应速率,使得中国东部地区O₃浓度上升,且O₃高浓度时段发生的可能性增加,在夏季尤为显著^[15]。因此,如果不积极削减温室气体排放,气候变化带来的气象条件改变在未来可能促进空气污染事件形成,从而损害甚至抵消空气污染治理的努力。

温室气体减排不仅能够短期内减少空气污染、产生直接协同效益,也能够减少未来不利于污染控制的气象条件的发生频率。因此,从大气污染控制的角度来看,温室气体减排行动的重要性在中国应当得到进一步提高。温室气体减排的空气质量改善和健康协同效益应当纳入中国

图2 (网络版彩色) 2014~2017 年与 2013 年相比, 京津冀、长三角和珠三角地区因空气质量改善避免的死亡人数(a)和寿命损失年(b)
Figure 2 (Color online) Number of avoided deaths (a) and years of life lost (YLL) (b) attributable to air quality improvements in the three key regions in China from 2014 to 2017 compared with 2013

气候变化政策制定的成本效益分析中。

3 碳定价的力度和覆盖范围

给碳排放定价有助于把温室气体排放造成的外部成本内部化, 使得排污方承担相应的责任, 为私营部门的经济决策提供价格信号。2017 年 12 月, 在经历了数年的政策准备和试点运行之后, 中国政府颁布了《全国碳排放权交易市场建设方案(发电行业)》(http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/gfxwj/201712/t20171220_871127.html), 正式启动了全国碳排放权交易市场。目前全国碳市场还处在市场基础设施和能力建设阶段。在经过各一年的基础建设期和模拟运行期后, 全国碳市场计划将于 2020 年开始在发电行业交易主体间开展配额现货交易。目前发电行业纳入碳交易的企业共 1700 余家, 碳排放量合计超过 30 亿吨。一旦发电行业排放配额交易启动, 中国碳市场的规模将是目前世界上最大的碳市场——欧盟排放交易体系(EU ETS)的 1.7 倍^[16]。尽管在《全国碳排放权交易市场建设方案(发电行业)》中提到了“要逐步扩大参与碳市场的行业范围”, 但并没有设定明确的时间表。

目前中国 7 个碳排放交易试点的碳价格(1.5~10 美元/tCO₂)要低于全球现行碳定价政策的加权平均碳价(2018

年 11.58 美元/tCO₂)^[3]。这意味着中国碳定价政策的力度尚显不足。在未来碳市场政策设计中, 可以考虑设定碳价格下限并逐年提高, 降低碳价格的不确定性, 提高低碳投资的收益预期。在目前全国碳市场的设计中, 碳定价的附加效益, 例如减少对人群健康的负面影响等, 尚未被决策者纳入考虑。研究表明, 更高的碳价格能够带来更大的健康收益, 如图 3 所示^[17]。这些避免的健康损害能够部分甚至完全抵消碳定价的政策成本^[17-19]。此外, 研究还表明, 在空气污染水平较高的政策实施早期阶段, 碳定价政策的健康协同效益会更大; 而随着气候政策严格程度的提高, 健康协同效益将会逐步减少^[20,21]。因此, 在充分考虑碳定价的健康协同效益基础上, 中国政府应当加快能力建设进程, 尽快运用碳定价政策工具, 并逐步提高其力度和覆盖范围。

4 政策建议

在当前采取积极措施控制温室气体排放, 不仅能够同时减少空气污染物排放, 收获短期的直接协同效益, 也能够长期尺度上减缓人为气候变化, 降低高温热浪的发生频率和严重程度, 减少促成 O₃ 和 PM_{2.5} 污染事件形成的气象条件的出现概率和持续时间, 从而有益于改善中国的公众健康。

图3 更严格的气候政策能够带来更大的健康收益

Figure 3 More stringent climate policy would bring larger health co-benefits

针对劳动生产率变化、城市空气污染和碳定价的力度和覆盖范围3个指标,本研究分别提出以下政策建议:

(1) 在相关政策制定过程中对气候变化引起的劳动生产率下降给予更多重视。积极应对气候变化、控制温室气体排放,并采取有效的针对工作环境热应激的防护措施,保护劳动人口的职业健康,减少高温带来的经济损失。

(2) 将温室气体减排的空气质量改善和健康协同效益纳入中国气候变化政策制定的成本效益分析中,以明确气候变化政策的健康效益和节约的医疗支出。空气污染减少的短期协同效应,有助于降低碳减排行动的长期气候收益

的不确定性,进一步提高温室气体减排行动的重要性和优先度。同时在长期尺度上,温室气体减排也能减少未来不利于污染扩散的气象条件的发生频率,防止空气污染治理的成果受到损害。

(3) 全面考虑碳定价政策的健康协同效益,确保并加速全国碳排放权交易市场建设稳步、全面推进。加速碳交易市场基础设施和能力建设进程,并逐步扩大参与碳市场的行业范围。确保碳定价政策的力度,在未来的碳市场政策设计中,考虑设定碳价格下限并逐年提高,降低碳价格的不确定性,提高低碳投资的收益预期。

致谢 感谢国家自然科学基金(71773061, 71525007)、Delos Living LCC、唐仲英基金和国家电网公司科技项目(5202011600U8)资助。非常感谢“柳叶刀倒计时”的 Courtney Howard 和 Nick Watts 为本文提供的意见与建议。

推荐阅读文献

- Smith K R, Woodward A, Campbell-Lendrum D, et al. Human health: Impacts, adaptation, and co-benefits. In: Field C B, Barros V R, Dokken D J, et al., eds. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. 709–754
- Watts N, Adger W N, Agnolucci P, et al. Health and climate change: Policy responses to protect public health. Lancet, 2015, 386: 1861–1914
- Watts N, Amann M, Arnell N, et al. The 2018 report of the Lancet Countdown on health and climate change: Shaping the health of nations for centuries to come. Lancet, 2018, 392: 2479–2514
- 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]
- Xiang J J, Bi P, Pisaniello D, et al. Health impacts of workplace heat exposure: An epidemiological review. Ind Health, 2013, 52: 2012–0145
- Kjellstrom T, Freyberg C, Lemke B, et al. Estimating population heat exposure and impacts on working people in conjunction with climate change. Int J Biometeorol, 2017, 62: 291–306
- Zhao Y, Sultan B, Vautard R, et al. Potential escalation of heat-related working costs with climate and socioeconomic changes in China.

- Proc Natl Acad Sci USA, 2016, 113: 4640–4645
- 8 World Health Organization. Global health expenditure database. 2018. <http://apps.who.int/nha/database>, accessed Feb 13, 2019
- 9 World Health Organization. Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease. 2016. <http://www.who.int/iris/bitstream/10665/250141/1/9789241511353-eng.pdf?ua=1>, accessed Feb 13, 2019
- 10 Huang J, Pan X C, Guo X B, 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
- 11 Fuzzi S, Baltensperger U, Carslaw K, et al. Particulate matter, air quality and climate: Lessons learned and future needs. *Atmos Chem Phys*, 2015, 15: 8217–8299
- 12 Fang Y Y, Mauzerall D L, Liu J F, et al. Impacts of 21st century climate change on global air pollution-related premature mortality. *Clim Change*, 2013, 121: 239–253
- 13 Cai W J, Li K, Liao H, et al. Weather conditions conducive to Beijing severe haze more frequent under climate change. *Nat Clim Change*, 2017, 7: 257
- 14 Horton D E, Skinner C B, Singh D, et al. Occurrence and persistence of future atmospheric stagnation events. *Nat Clim Change*, 2014, 4: 698–703
- 15 Wang Y X, Shen L L, Wu S, et al. Sensitivity of surface ozone over China to 2000–2050 global changes of climate and emissions. *Atmos Environ*, 2013, 75: 374–382
- 16 Jotzo F, Karplus V, Grubb M, et al. China's emissions trading takes steps towards big ambitions. *Nat Clim Change*, 2018, 8: 265
- 17 Li M W, Zhang D, Li C T, et al. Air quality co-benefits of carbon pricing in China. *Nat Clim Change*, 2018, 8: 398
- 18 Cai W J, Hui J X, Wang C, et al. The Lancet Countdown on PM_{2.5} pollution-related health impacts of China's projected carbon dioxide mitigation in the electric power generation sector under the Paris Agreement: A modelling study. *Lancet Planet Health*, 2018, 2: e151–e161
- 19 West J J, Smith S J, Silva R A, et al. Co-benefits of mitigating global greenhouse gas emissions for future air quality and human health. *Nat Clim Change*, 2013, 3: 885
- 20 Thompson T M, Rausch S, Saari R K, et al. A systems approach to evaluating the air quality co-benefits of US carbon policies. *Nat Clim Change*, 2014, 4: 917
- 21 Nemet G F, Holloway T, Meier P. Implications of incorporating air-quality co-benefits into climate change policymaking. *Environ Res Lett*, 2010, 5: 014007

Summary for “当前应对气候变化的力度决定未来中国的公众健康水平”

The nature and scale of the response to climate change will determine the human health for centuries to come in China

Xueqin Cui^{1,2,3,4}, Wenjia Cai^{1,2,3,4,5}, Xiaoming Shi⁶, Tiantian Li⁶, Qing Wang⁶ & Peng Gong^{1,2,3,4*}

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

² Joint Center for Global Change Studies, Beijing 100875, China;

³ Institute for China Sustainable Urbanization, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

⁴ Tsinghua Urban Institute, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

⁵ Tsinghua-Rio Tinto Joint Research Center for Resource Energy and Sustainable Development, Beijing 100084, China;

⁶ Institute of Environmental Health and Related Product Safety, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100021, China

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

Climate change would pose a range of threat to human health both directly and indirectly. The direct adverse effects of climate change to human health include increased frequency of heatwaves, storms, floods, forest fire and drought. The indirect effects usually mediate through impacts on environmental conditions and ecosystems (e.g., air pollution, food insecurity and under-nutrition, and changing patterns of disease), economies, and social structure (e.g., displacement, migration and conflict).

To map out the impacts that climate change is having on human health, and the health consequences of the global policy response, the 2015 *Lancet* Commission on Health and Climate Change and the *Lancet* Countdown: tracking progress on health and climate change has been initiated, with strong collaboration of world-class expertise from multiple disciplines and leading academic institutions around the world.

The 2018 report of the *Lancet* Countdown on health and climate change tracks 41 indicators across five domains: Climate change impacts, exposures, and vulnerability; adaptation, planning, and resilience for health; mitigation actions and health co-benefits; finance and economics; and public and political engagement. The report warns that a lack of progress in reducing emissions and building adaptive capacity threatens both human lives and the viability of the national health systems they depend on, with the potential to disrupt core public health infrastructure and overwhelm health services. Therefore, the nature and scale of the response to climate change will be the determining factor in shaping the health of nations for centuries to come.

China is the global hotspot in both climate change mitigation and human health protection. Thus, in addition to the annual editions of the *Lancet* Countdown global report, scholars from Department of Earth System Science, Tsinghua University who have been involved in the series of global reports, are invited to prepare the China policy brief, to provide a unique national analysis and policy recommendations for health and climate change.

The 2018 edition of China policy brief, prepared by experts from Tsinghua University and Chinese Center for Disease Control and Prevention, reviewed three indicators mostly related to China's national conditions, i.e. change in labour capacity, exposure to ambient air pollution and coverage and strength of carbon pricing, and proposed the following policy recommendations: (1) Pay more attention to the labour capacity loss driven by climate change in the policymaking process. Curb greenhouse gas emissions and take effective adaptation measures to manage heat stress at work and avoided unaffordable heat-related economic loss. (2) Prioritize measures that both decrease greenhouse gas emissions and reduce air pollution and its related health costs, and incorporate analysis of those benefits into the climate and air pollution control policymaking process in order to fully realize short-term health co-benefits and prevent climate-change-related meteorological conditions that will worsen air pollution in the long run. (3) Ensure full operation of the national ETS and implement ambitious carbon pricing policy as soon as possible. Fully consider the health co-benefits of carbon pricing, speed up the capacity building process, apply carbon pricing broadly across China without delay, and enhance ambition gradually.

climate change, human health, labour productivity, air pollution, carbon pricing

doi: 10.1360/N972019-00185