

Cai, Wenjia; Zhang, Chi; Zhang, Shihui; Ai, Siqi; Bai, Yuqi; Bao, Junzhe; Chang, Nan; Chen, Bin; Chen, Huiqi; Cheng, Liangliang; Cui, Xueqin; Dai, Hancheng; Danna, Bawuerjiang; Di, Qian; Dong, Wei; Dong, Wenxuan; Dou, Dejing; Fan, Weicheng; Fan, Xing; Fang, Xiaoyi

DOI:

[10.1360/TB-2022-0709](https://doi.org/10.1360/TB-2022-0709)

License:

Other (please specify with Rights Statement)

*Document Version*

Peer reviewed version

*Citation for published version (Harvard):*

Cai, W, Zhang, C, Zhang, S, Ai, S, Bai, Y, Bao, J, Chang, N, Chen, B, Chen, H, Cheng, L, Cui, X, Dai, H, Danna, B, Di, Q, Dong, W, Dong, W, Dou, D, Fan, W, Fan, X, Fang, X, Gao, T, Gao, Y, Geng, Y, Guan, D, Guo, Y, Hamilton, I, Hu, Y, Hua, J, Huang, C, Huang, H, Huang, J, Jiang, Q, Jiang, X, Ke, P, Kiesewetter, G, Lampard, P, Li, C, Li, R, Li, S, Liang, L, Lin, B, Lin, H, Liu, H, Liu, Q, Liu, X, Liu, X, Liu, Y, Liu, Z, Liu, Z, Lou, S, Lu, C, Luo, Y, Luo, Z, Ma, W, McGushin, A, Niu, Y, Ren, C, Ruan, Z, Schöpp, W, Shan, Y, Su, J, Sun, T, Wang, C, Wang, Q, Wen, S, Xie, Y, Xiong, H, Xu, B, Xu, M, Yan, Y, Yang, J, Yang, L, Yang, X, Yu, L, Yue, Y, Zeng, Y, Zhang, J, Zhang, S, Zhang, Y, Zhang, Z, Zhao, J, Zhao, L, Zhao, M, Zhao, Q, Zhao, Z, Zhou, J, Zhu, Z, Chan Fung Fu-Chun, M & Gong, P 2023, " , *Kexue Tongbao/Chinese Science Bulletin*, vol. 68, no. 15, pp. 1899-1905.

<https://doi.org/10.1360/TB-2022-0709>

[Link to publication on Research at Birmingham portal](#)

#### General rights

Unless a licence is specified above, all rights (including copyright and moral rights) in this document are retained by the authors and/or the copyright holders. The express permission of the copyright holder must be obtained for any use of this material other than for purposes permitted by law.

- Users may freely distribute the URL that is used to identify this publication.
- Users may download and/or print one copy of the publication from the University of Birmingham research portal for the purpose of private study or non-commercial research.
- User may use extracts from the document in line with the concept of 'fair dealing' under the Copyright, Designs and Patents Act 1988 (?)
- Users may not further distribute the material nor use it for the purposes of commercial gain.

Where a licence is displayed above, please note the terms and conditions of the licence govern your use of this document.

When citing, please reference the published version.

#### Take down policy

While the University of Birmingham exercises care and attention in making items available there are rare occasions when an item has been uploaded in error or has been deemed to be commercially or otherwise sensitive.

If you believe that this is the case for this document, please contact [UBIRA@lists.bham.ac.uk](mailto:UBIRA@lists.bham.ac.uk) providing details and we will remove access to the work immediately and investigate.

# 把握机会窗口期减缓气候变化对中国居民健康影响

蔡闻佳<sup>1</sup>, 张弛<sup>2</sup>, 张诗卉<sup>1</sup>, 艾思奇<sup>3</sup>, 白玉琪<sup>1</sup>, 鲍俊哲<sup>4</sup>, 常楠<sup>5</sup>, 陈彬<sup>6</sup>, 陈慧琪<sup>3</sup>, 程亮亮<sup>3</sup>, 崔学勤<sup>1</sup>, 戴瀚程<sup>7</sup>, Bawuerjiang Danna<sup>8</sup>, 底骞<sup>9</sup>, 董伟<sup>10</sup>, 董文轩<sup>11,12</sup>, 窦德景<sup>13</sup>, 范维澄<sup>11,12</sup>, 范星<sup>14</sup>, 房小怡<sup>15</sup>, 高仝<sup>16</sup>, 高源<sup>17</sup>, 耿阳<sup>18</sup>, 关大博<sup>1</sup>, 郭亚菲<sup>17,19</sup>, Ian Hamilton<sup>20</sup>, 胡艺馨<sup>21</sup>, 华峻翊<sup>22</sup>, 黄存瑞<sup>9</sup>, 黄弘<sup>11,12</sup>, 黄建斌<sup>1</sup>, 蒋俏蕾<sup>8</sup>, 姜晓朋<sup>23</sup>, 柯丕煜<sup>1</sup>, Gregor Kieseewetter<sup>24</sup>, Pete Lampard<sup>25</sup>, 李传玺<sup>26</sup>, 李瑞奇<sup>11,12</sup>, 李双利<sup>27</sup>, 梁璐<sup>28</sup>, 林波荣<sup>18</sup>, 林华亮<sup>3</sup>, 刘欢<sup>29</sup>, 刘起勇<sup>17</sup>, 刘小波<sup>17</sup>, 刘心远<sup>7</sup>, 刘昱甫<sup>1</sup>, 刘钊<sup>1</sup>, 刘竹<sup>1</sup>, 楼书含<sup>1</sup>, 鲁晨曦<sup>1,30</sup>, 罗勇<sup>1</sup>, 罗震宇<sup>29</sup>, 马伟<sup>26,31</sup>, Alice McGushin<sup>32</sup>, 牛彦麟<sup>17</sup>, 任超<sup>22</sup>, 阮增良<sup>3</sup>, Wolfgang Schöpp<sup>24</sup>, 单钰理<sup>33</sup>, 苏婧<sup>34</sup>, 孙韬淳<sup>1</sup>, 王灿<sup>29</sup>, 王琼<sup>3</sup>, 文三妹<sup>8</sup>, 谢杨<sup>35</sup>, 熊辉<sup>36</sup>, 徐冰<sup>1</sup>, 徐朦<sup>17</sup>, 颜钰<sup>26</sup>, 杨军<sup>37</sup>, 杨廉平<sup>3</sup>, 杨秀<sup>38</sup>, 俞乐<sup>1</sup>, 岳玉娟<sup>17</sup>, 曾仪婷<sup>39</sup>, 张镜<sup>8</sup>, 张少辉<sup>35,24</sup>, 张曜<sup>40</sup>, 张仲宸<sup>18</sup>, 赵继尧<sup>1</sup>, 赵亮<sup>41</sup>, 赵梦真<sup>1</sup>, 赵琦<sup>26,31</sup>, 赵哲<sup>26</sup>, 周景博<sup>13</sup>, 朱征宏<sup>3</sup>, 陈冯富珍<sup>9</sup>, 宫鹏<sup>42\*</sup>

1. 清华大学地球系统科学系, 北京 100084;
2. 北京理工大学管理与经济学院, 北京, 100081;
3. 中山大学公共卫生学院, 广州 510080;
4. 郑州大学公共卫生学院, 郑州 450001;
5. 南京医科大学公共卫生学院, 南京 211166;
6. 北京师范大学环境学院, 北京 100088;
7. 北京大学环境工程学院, 北京 100871;
8. 清华大学新闻与传播学院, 北京 100084;
9. 清华大学万科公共卫生学院, 北京 100084;
10. 浙江大学地球科学学院, 杭州 310058;
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. 中国气象科学院, 北京, 100081;
16. 山东师范大学商学院, 济南 250013;
17. 中国疾病预防控制中心传染病预防控制所, 北京 102206;
18. 清华大学建筑学院, 北京 100084;
19. 中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所, 北京 102206;
20. Energy Institute, University College London, London WC1E 6BT, United Kingdom;
21. 南方科技大学统计与数据科学系, 深圳 518055;
22. 香港大学建筑学院, 香港 999077;
23. 世界卫生组织驻华代表处, 北京 100600;
24. Pollution Management Research Group, Energy, Climate, and Environment Program, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Schlossplatz 1 - A-2361 Laxenburg, Austria;
25. Department of Health Sciences, University of York, York YO10 5DD, Canada;
26. 山东大学齐鲁医学院公共卫生学院流行病学系, 济南 250012;
27. 中国科学技术大学计算机科学与技术学院, 合肥 230027;

- 41 28. Department of Geography and the Environment, University of North Texas, Denton, Texas 76203-5017, US;  
42 29. 清华大学环境学院, 北京 100084;  
43 30. Geography, College of Life and Environmental Sciences, University of Exeter, Exeter, EX1 2LU, United Kingdom;  
44 31. 山东大学气候变化与健康研究中心, 济南 250012;  
45 32. Institute for Global Health, University College London, London WC1H 0AL; United Kingdom;  
46 33. School of Geography, Earth and Environmental Sciences, University of Birmingham, Birmingham B15 2TT, United  
47 Kingdom;  
48 34. 清华大学人文学院, 北京 100084;  
49 35. 北京航空航天大学经济与管理学院, 北京 100083;  
50 36. 香港科技大学(广州)信息枢纽人工智能学域, 广州 511443;  
51 37. 暨南大学环境与气候研究所, 广州 510632;  
52 38. 清华大学气候变化与可持续发展研究院, 北京 100084;  
53 39. 清华大学苏世民学院, 北京, 100084;  
54 40. 清华大学体育学部, 北京 100084;  
55 41. 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(LASG), 北京 100029;  
56 42. 香港大学地球科学系和地理系, 香港 999077

57 共同第一作者: 蔡闻佳 张弛 张诗卉

58 \*通讯作者: 宫鹏 penggong@hku.hk

59

## 60 摘要:

61 中国面临气候变化带来的健康威胁正在快速增加。每个省份都面临着特定的  
62 气候变化带来的健康风险威胁。如果没有及时和充分的应对措施, 气候变化将越  
63 来越多地威胁到中国人的生命和生计, 甚至影响到健康中国和美丽中国目标的实  
64 现。《中国版柳叶刀倒计时年度报告2021》是对《中国版柳叶刀倒计时年度报告  
65 2020》的首次年度更新, 全面评估了气候变化对中国居民健康的影响以及中国采  
66 取的应对措施。受柳叶刀委员会邀请, 该报告由清华大学领衔, 联合国内外25家  
67 相关机构, 评估进展的指标涉及五大领域25个指标, 并编写了中国政策简报。我  
68 们从中国柳叶刀倒计时年度报告2021的所有指标中选取对中国最为迫切或者与  
69 中国的政策进展最为相关的内容, 帮助决策者和公众了解中国应对气候变化和改  
70 善公众健康的最新进展: (1) 气候变化对中国居民的健康威胁正在不断增加。  
71 (2) 应对气候变化健康风险的进展喜忧参半。2021年的中国政策简报根据省级  
72 数据及省级结果进行评述, 并提出以下政策建议: (1) 建议提升相关部门的系  
73 统思维, 进一步加强跨部门合作。(2) 建议在《2035年国家气候变化适应战略》  
74 后续工作计划中加入与气候相关的健康影响评估, 并制定相应的国家和地方的气  
75 候健康适应计划。(3) 建议加强中国的气候减缓行动, 确保将健康因素纳入中  
76 国实现碳中和的路径当中。(4) 建议加强社会宣传, 提高各界对气候-健康联系  
77 的认识。

78 **关键词:** 气候变化; 公众健康; 空气污染; 高温; 中国

79

80 随着中国总人口的不断增加以及改革开放以来经济的飞速发展，中国面临的  
81 来自气候变化的健康威胁也在不断上升。与此同时，中国也处于一个独特的机遇  
82 窗口期，如果能够有效应对气候变化带来的健康风险，将造福今后几代人的健康。  
83 反之，如果没有及时、充分的应对措施，气候变化对中国居民的健康和生命的威  
84 胁将与日俱增。为了推动更及时的且有利于改善人群健康的气候应对行动，由清  
85 华大学牵头建立的柳叶刀倒计时亚洲中心在全球柳叶刀倒计时工作的基础上<sup>[1, 2]</sup>，  
86 从 2020 年开始对气候变化对中国人群健康的影响进行全面且系统的评估<sup>[3, 4]</sup>。

87 《中国版柳叶刀倒记时人群健康与气候变化年度报告（2021）》是首份年度  
88 更新报告，通过 25 个指标对中国 2020 年气候变化对人群健康的影响以及相关的  
89 的影响以及相关的应对措施进行了全面的总结与评价，在沿用首份报告的分析框  
90 架基础上，指标覆盖了五个领域：气候变化的影响、暴露和脆弱性；针对健康的  
91 适应措施、规划和气候韧性；减缓气候变化及其健康协同效益；气候健康的经济  
92 与投资分析；以及公众和政府参与。来自国内外 25 家顶尖机构的 80 余位专家共  
93 同撰写了该报告。相比于 2020 年的报告，今年的报告增加了 5 个新指标（指标  
94 1.2.2：洪水和干旱，指标 2.2.3：城市绿地空间，指标 2.3：健康气候信息服务，  
95 指标 5.1.2：纸质媒体对于健康和气候变化问题的关注度，指标 5.4：政府对健康  
96 和气候变化议题的关注度），并改进了许多指标的研究方法。所有指标都尽可能  
97 提供了省级结果，以便各省了解其独特的健康影响并制定有针对性的应对策略。  
98 “新冠疫情”是 2020 年最重要的关键词，本报告因此也专门探讨了中国绿色复  
99 苏之路，意在促进其与碳中和目标的协同，从而更好地保护当代人和子孙后代的  
100 健康福祉。

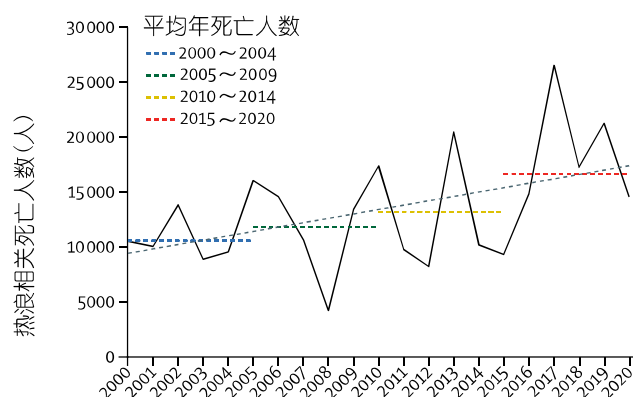
101 清华大学受柳叶刀委员会邀请，联合国内相关机构，每年编写中国政策简  
102 报<sup>[5-7]</sup>，此次将针对 2021 中国柳叶刀倒计时报告的指标，帮助决策者和公众了  
103 解中国应对气候变化和改善公众健康的最新进展。

104 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  
105 地方决策者制定有针对性的应对策略。本报告通过 25 项指标的研究得出了两个  
106 关键观点：

## 107 1. 气候变化对中国居民的健康威胁正在不断增加

108 气候变化对中国人群健康的威胁正在持续上升。2020年，中国的人均热浪暴  
109 露天数比1986-2005年的平均数增加了4.51天，因此导致与热浪相关的死亡人数  
110 增加了约92%。2020年约有14500人因热浪而过早死亡（*图1*），由此产生的经济  
111 成本为1.76亿美元<sup>[7]</sup>（中国各省热相关死亡人数的评估利用了网格人口数据和气  
112 温数据、通过指标1.1.1中的热浪定义和不同地区的暴露反应曲线，给出了每个  
113 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。）；高温造成的劳  
114 动时间损失约为315亿工作小时数，相当于全国总工时的1.3%，由此造成的经济  
115 损失约占中国全年GDP的1.4%。相比于2001-2005年，2016-2020年间全国有20个  
116 省的人口暴露于野火的情况有所增加。此外，与2004-2007年相比，2016-2019年  
117 中国伊蚊传播登革热的媒介能力增加了25.4%。中国洪水事件的频率和强度继续  
118 增加，虽然中国应急反应能力的提升使洪水受灾人数呈下降趋势，但2020年和  
119 2021年的极端洪水事件有可能逆转这一势头。政府间气候变化专门委员会（IPCC）  
120 第六次评估报告明确指出，即使人类通过减排行动把全球温升限制在1.5℃范围  
121 以内，气候变化的健康威胁仍将在未来数十年内不断增加，这实际上强调了健康  
122 适应的必要性。

123 由于各地自然环境与社会经济发展存在差异，中国的每个地区都面临着自己  
124 特定的健康威胁。其中，最令人担忧的是以下省份的健康风险正在快速上升：广  
125 东省热浪导致的过早死亡、劳动力损失和登革热风险、四川省的洪水和干旱风险、  
126 辽宁省和吉林省的野火暴露风险。各地根据这些威胁制定有针对性的政策，对于  
127 提高气候适应措施的效率和效果至关重要。



128

129 **图1 (彩色)：2000-2020 年中国热浪相关的死亡人数** (灰色虚线表示线性趋  
130 势)

131 ~~1 纵坐标方向“热”在底部，水平向左转 90 度写，文字为：热浪相关死~~  
132 ~~亡人数 (人)~~

133 ~~2 平均年死亡人数改为：2000-2004-2005-2009-2010-2014-~~

134 ~~3 注改一下，~~

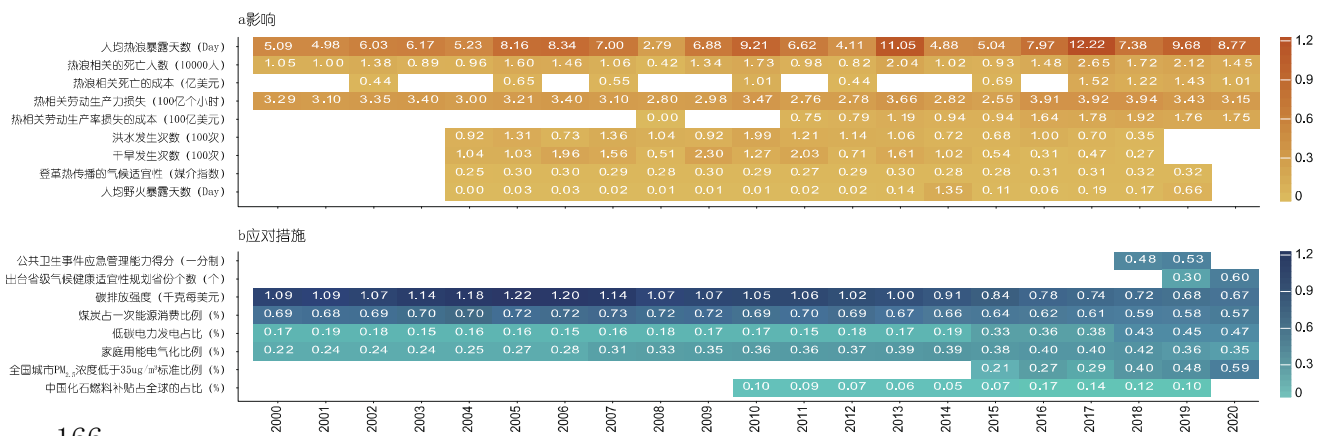
135 **5.2.应对气候变化健康风险的进展喜忧参半**

136 随着新冠疫情的爆发和中国碳中和目标的宣布，与公共卫生和气候变化议题  
137 相关的新闻关注度和公众意识都有所提升。然而，认识的提高并没有完全转化成  
138 适应与减缓行动的全面展开，这些领域的指标显示过去一年中国应对气候变化健  
139 康风险的进展喜忧参半。

140 在适应工作方面，2020 年，地方适应规划和评估、城市绿地增长和公共卫生  
141 应急管理指标都取得了稳步进展。根据我们的问卷调研，在 30 个受访且回复  
142 的省份中，有 12 个省份宣称已经完成或正在制定省级气候健康适应计划。城市  
143 绿地是一项作用的热适应措施。在过去十年中，中国大陆 31 个省级行政区中有  
144 18 个省级行政区的城市绿地面积有所增加。从 2018 年到 2019 年，几乎所有省  
145 份的公共卫生应急管理指标都有所提升。然而截至目前，中国还没有出台专门的  
146 国家级气候健康适应计划，大多数省份也还没有开展气候健康风险的评估与适应

147 规划，气象部门在公共卫生决策中的参与有限，新成立的国家疾病预防控制中心的  
 148 职责中没有提到气候变化应对。因此，中国的气候健康适应行动还有进一步提升  
 149 的空间。

150 在减缓工作方面，中国正在积极促进双碳目标的实现，包括：能源投资快速  
 151 增加，清洁能源规模扩大，能源系统的碳强度稳步下降。尽管受到新冠疫情的冲  
 152 击，但从2019年到2020年，低碳投资仍然呈现了上升的趋势，目前已经达到了煤  
 153 炭投资的9.5倍；2019年的化石燃料补贴比2018年降低40%，扭转了前三年的上升  
 154 趋势。与我国总就业人口的下降趋势相反（从2018年的7.578亿下降到2019年的  
 155 7.545亿），我国可再生能源行业的就业人数逐年攀升（从2018年的410万上升到  
 156 2019年的440万，比化石燃料开采行业的就业人数多110万）<sup>[8]</sup>。通过改善能源结  
 157 构和控制空气污染，中国因环境PM<sub>2.5</sub>暴露而导致的过早死亡人数（2019年比2015  
 158 年减少了24.37万）及其产生的经济代价正在继续下降(中国PM2.5相关过早死亡  
 159 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  
 160 量和浓度，再采用暴露反应方程IER计算得出)。然而，中国98%城市的PM<sub>2.5</sub>年平  
 161 均浓度仍然高于世界卫生组织（WHO）上一版10微克/立方米（ug/m<sup>3</sup>）指导标准  
 162 的水平。中国已在2021年4月的领导人气候峰会上宣布将严格控制煤电项目，这  
 163 将大大促进碳减排和大气污染控制两方面的工作。然而在全世界呼吁绿色复苏的  
 164 阶段，中国的碳排放仅在2020年第一季度短暂下降，2020年总排放量仍然增加了  
 165 1.28%。



166 **图 2 (彩色)：《中国版柳叶刀倒计时年度报告2021》指标趋势综述**

167 (a) 影响指标的变化 (b) 应对指标的变化

170 目前，中国正处在一个非常关键的时间节点，中国的公共卫生政策制定者正  
171 在总结应对新冠疫情的经验与教训，并在 2021 年 4 月新成立了国家疾病预防控制  
172 局---由国家卫健委直接管理的副部级单位，反映了中国从新冠疫情中吸取教训、  
173 预防关口前置的决心。同时，气候政策制定有关部门已颁布了《国家气候变化适  
174 应战略 2035》，并深入探索如何在确保长期碳中和目标达成的同时尽早实现经  
175 济复苏。围绕上述重要进展，我们认为，气候和健康的相互联系应当被纳入上述  
176 政策制定过程中。然而，不同部门的决策者之间目前缺乏有效的沟通，导致对彼  
177 此制定或实施的政策的相互关联与影响不能形成链条，发挥出整体作用。这种各  
178 部门间的孤立决策使得未来中国可能无法在应对新冠疫情的同时充分认识到积  
179 极应对气候变化所带来的健康和经济效益——从长远来看，气候变化可能是比新  
180 型冠状病毒更大的全球公共健康威胁。因此，我们向中国卫生和气候变化领域的  
181 主要政策制定者与利益相关者提出了四项建议：

182 (1) **建议提升相关部门的系统思维，进一步加强跨部门合作。**目前全球各地的气  
183 候承诺与《巴黎协定》中 1.5°C 升温控制目标之间还存在巨大差距，且即使实  
184 现了《巴黎协定》的 1.5°C 目标，气候变化的健康威胁依然存在。因此，应对  
185 气候变化带来的健康威胁需要在减缓和适应两方面做出长期和系统性的努力。  
186 中国应该在这一议题上进一步促进跨部门的协同合作、全面保护和改善中国  
187 人民的健康。医疗卫生部门，特别是新组建的国家疾病预防控制局，应在详  
188 细职责中增加“指导气候变化健康风险应对”的内容；并把气候变化纳入中国  
189 居民的主要健康威胁，并采取相应的应对措施。此外，中国与气候和宏观经  
190 济发展有关的部门应将健康纳入其政策制定和执行中，以充分体现世界卫生  
191 组织和习近平主席的“融健康于万策”原则。

192 (2) **建议加强气候变化对健康影响的评估，并制定相应的国家和地方的气候健康**  
193 **适应计划。**有必要在《2035 年国家气候变化适应战略》后续的工作计划中加  
194 入与气候相关的健康影响评估，国家和地区层面的健康适应计划应有明确目  
195 标和时间表。应该将“减少气候变化相关的健康风险”相关工作纳入每年的



196 "健康中国"工作重点中, 优先事项包括加强气候-健康风险预警和应对网络建  
197 设、促进系统的健康风险和脆弱性评估, 以及提高医疗保健机构对气候-健康  
198 风险的应急能力。

199 (3) **建议加强中国的气候减缓行动, 确保将健康因素纳入中国实现碳中和的路径**  
200 **当中。**减少煤炭对改善空气质量具有显著的健康协同效益。如果在中国的碳  
201 中和路径中过渡依赖煤炭+碳捕集与封存这种技术组合, 可能无法有效抑制空  
202 气污染相关的发病和过早死亡。对中国来说, 煤炭的逐渐减少甚至退出是中  
203 国实现居民健康效益最大化的碳中和路径的关键行动。中国已经提出了有史  
204 以来的第一个煤炭控制与减缓承诺, 下一步需要向投资者和生产商发出强烈  
205 的信号, 并停止资助新的煤炭产业。通过促进对零碳技术的投资和进一步减  
206 少化石燃料的补贴, 扭转目前碳排放的反弹趋势, 走向一个健康友好的低碳  
207 未来。

208 (4) **建议加强社会宣传, 提高各界对气候-健康联系的认识。**应充分调动卫生专业  
209 人员、学术界、传统媒体和新媒体, 提高公众和决策者对气候变化与健康之  
210 间重要联系的认识。应积极开展国家和地方的宣传活动, 将应对气候变化与  
211 当代人和子孙后代的健康福祉联系起来, 有效地增强社会公众对于减缓和适  
212 应行动的支持与身体力行。

213 气候变化对健康的影响在中国的每一个省份都在继续恶化, 而各地在适应和  
214 减缓行动上的进展还参差不齐。目前, 中国正在制定关键的健康和气候决策, 有  
215 机会充分发挥其在全球气候治理中的领导作用, 并保护中国居民的健康。新冠疫  
216 情的爆发给我们带来了许多启示, 我们不能错过这个对中国当代人和子孙后代的  
217 健康都至关重要的窗口期。

218

## 219 致谢

220 本研究得到英国惠康基金会 (Wellcome Trust)、国家自然科学基金、唐仲  
221 英基金会和全球能源互联网集团有限公司科技项目"全球能源与大气环境和人类  
222 健康协同发展的综合路径评估方法与实用化模型研究"提供的资金和战略支持。

223 没他们的支持，我们将无法完成这项工作。我们还要感谢可奕博（清华大学）、  
224 邓铸（清华大学）、Robert Dubrow（耶鲁大学）和 Lingzhi Chu（耶鲁大学）提  
225 供的技术支持。

226

227 **参考文献：**

228 1. Watts, N., Adger, W.N., Agnolucci, P., et al., Health and climate change: policy responses  
229 to protect public health. *Lancet*, 2015. 386: p. 1861-1914.

230 2. Watts, N., Amann, M., Arnell, N., et al., The 2020 report of The Lancet Countdown on  
231 health and climate change: responding to converging crises. *Lancet*, 2021. 397: p. 129-170.

232 3. Cai, W., Zhang, C., Gong P., et al., The 2020 China report of the Lancet Countdown on  
233 health and climate change. *Lancet Public Health*, 2021. 6: p. e64-e81.

234 4. Cai, W., Zhang, C., Gong P., et al., The 2021 China report of the Lancet Countdown on  
235 health and climate change: seizing the window of opportunity. *The Lancet Public Health*,  
236 2021. 6(12): p. e932-e947.

237 5. Cai, W., Hui, J., Gong, P., et al., China's challenges and policy recommendations for  
238 addressing climate change and improving public health (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2018, 63:  
239 1205-1210 [蔡闻佳,惠婧璇,宫鹏,王灿,徐冰.中国应对气候变化和改善公众健康的挑战与  
240 政策建议[J]. 科学通报, 2018. 63: p. 1205-1210].

241 6. Cui, X., Cai,W., Gong, P., et al., The nature and scale of the response to climate change  
242 will determine the human health for centuries to come in China (In Chinese). *Chin Sci Bull*,  
243 2020, 65: 12-17 [崔学勤,蔡闻佳,宫鹏等. 当前应对气候变化的力度决定未来中国的公众  
244 健康水平[J] 科学通报, 2020. 65: p. 665-670].

245 7. Cai,W., Zhang, C., Gong, P., et al., Location-Specific Health Impacts of Climate Change  
246 Require Location-Specific Responses. (In Chinese). *Chin Sci Bull*, 66, 3925 (2021) [蔡闻  
247 佳, 张弛, 宫鹏等 因地而异的气候变化健康影响需要因地制宜的应对措施[J]. 科学通  
248 报 66, 3925 (2021); doi: 10.1360/TB-2021-0140].

249 8. IRENA, Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2021. International Renewable  
250 Energy Agency, 2021(Abu Dhabi).

251

252 **共同第一作者简介**

253 蔡闻佳是清华大学地球系统科学系长聘教授。她的研究兴趣是气候变化及其应对措施的健康和  
254 经济影响评估，以及碳达峰碳中和路径设计。现任柳叶刀倒计时亚洲中心主任。



255

256

257 张弛，北京理工大学管理与经济学院教授，主要研究方向为气候变化与健康经济、能源环境经济  
258 与管理、可持续发展与全球治理。现任柳叶刀倒计时亚洲中心副主任。



259

260

261 张诗卉，清华大学地球系统科学系博士后，聚焦于气候变化与空气污染的健康影响评估，和碳减  
262 排政策的经济-环境-健康影响评估和政策优化，在国内外高水平期刊发表论文 10 余篇。



263

264

265

## 通讯作者简介

266

267 宫鹏：香港大学全球可持续发展讲座教授，副校长。研究兴趣包括全球环境变  
268 化监测与模拟、星球健康等。领导完成世界首份 30 米和 10 米分辨率全球地表  
269 覆盖图，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  
270 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。发表学术论  
271 文 600 余篇，出版中英文专著 10 部。

272



273

274

275

276 Seizing the Window of Opportunity to Mitigate the Impact of

277 Climate Change on the Health of People in China

278

279 Wenjia Cai<sup>1</sup>, Chi Zhang<sup>2</sup>, Shihui Zhang<sup>1</sup>, Siqi Ai<sup>3</sup>, Yuqi Bai<sup>1</sup>, Junzhe Bao<sup>4</sup>, Nan Chang<sup>5</sup>,  
280 Bin Chen<sup>6</sup>, Huiqi Chen<sup>3</sup>, Liangliang Cheng<sup>3</sup>, Xueqin Cui<sup>1</sup>, Hancheng Dai<sup>7</sup>,  
281 Bawuerjiang Danna<sup>8</sup>, Qian Di<sup>9</sup>, Wei Dong<sup>10</sup>, Wenxuan Dong<sup>11,12</sup>, Dejing Dou<sup>13</sup>,  
282 Weicheng Fan<sup>11,12</sup>, Xing Fan<sup>14</sup>, Xiaoyi Fang<sup>15</sup>, Tong Gao<sup>16</sup>, Yuan Gao<sup>17</sup>, Yang Geng<sup>18</sup>,  
283 Dabo Guan<sup>1</sup>, Yafei Guo<sup>17,19</sup>, Ian Hamilton<sup>20</sup>, Yixin Hu<sup>21</sup>, Junyi Hua<sup>22</sup>, Cunrui Huang<sup>9</sup>,  
284 Hong Huang<sup>11,12</sup>, Jianbin Huang<sup>1</sup>, Qiaolei Jiang<sup>8</sup>, Xiaopeng Jiang<sup>23</sup>, Piyu Ke<sup>1</sup>, Gregor  
285 Kiesewetter<sup>24</sup>, Pete Lampard<sup>25</sup>, Chuanxi Li<sup>26</sup>, Ruiqi Li<sup>11,12</sup>, Shuangli Li<sup>27</sup>, Lu Liang<sup>28</sup>,  
286 Borong Lin<sup>18</sup>, Hualiang Lin<sup>3</sup>, Huan Liu<sup>29</sup>, Qiyong Liu<sup>17</sup>, Xiaobo Liu<sup>17</sup>, Xinyuan Liu<sup>7</sup>,  
287 Yufu Liu<sup>1</sup>, Zhao Liu<sup>1</sup>, Zhu Liu<sup>1</sup>, Shuhan Lou<sup>1</sup>, Chenxi Lu<sup>1,30</sup>, Yong Luo<sup>1</sup>, Zhenyu Luo<sup>29</sup>,  
288 Wei Ma<sup>26,31</sup>, Alice McGushin<sup>32</sup>, Yanlin Niu<sup>17</sup>, Chao Ren<sup>22</sup>, Zengliang Ruan<sup>3</sup>, Wolfgang  
289 Schöpp<sup>24</sup>, Yuli Shan<sup>33</sup>, Jing Su<sup>34</sup>, Taochun Sun<sup>1</sup>, Can Wang<sup>29</sup>, Qiong Wang<sup>3</sup>, Sanmei  
290 Wen<sup>8</sup>, Yang Xie<sup>35</sup>, Hui Xiong<sup>36</sup>, Bing Xu<sup>1</sup>, Meng Xu<sup>17</sup>, Yu Yan<sup>26</sup>, Jun Yang<sup>37</sup>, Lianping  
291 Yang<sup>3</sup>, Xiu Yang<sup>38</sup>, Le Yu<sup>1</sup>, Yujuan Yue<sup>17</sup>, Yiping Zeng<sup>39</sup>, Jing Zhang<sup>8</sup>, Shaohui  
292 Zhang<sup>35,24</sup>, Yao Zhang<sup>40</sup>, Zhongchen Zhang<sup>18</sup>, Ji Yao Zhao<sup>1</sup>, Liang Zhao<sup>41</sup>, Mengzhen  
293 Zhao<sup>1</sup>, Qi Zhao<sup>26,31</sup>, Zhe Zhao<sup>26</sup>, Jingbo Zhou<sup>13</sup>, Zhenghong Zhu<sup>3</sup>, Margaret Chan Fung  
294 Fu-chun<sup>9</sup>, Peng Gong<sup>42\*</sup>

295

296 (These authors contributed equally to this report: Wenjia Cai, Chi Zhang and Shihui  
297 Zhang)

298

1 Department of Earth System Science, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

299

2 School of Management and Economics, Beijing Institute of Technology, Beijing

- 300 100081 China;
- 301 3 School of Public Health, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510080, China;
- 302 4 College of Public Health, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;
- 303 5 School of Public Health, Nanjing Medical University, Nanjing 211166, China;
- 304 6 School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100084, China;
- 305 7 College of Environmental Sciences and Engineering, Peking university, Beijing
- 306 100871, China;
- 307 8 School of Journalism and Communication, Tsinghua University, Beijing 100084,
- 308 China;
- 309 9 Vanke School of Public Health, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
- 310 10 School of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China;
- 311 11 Institute of Public Safety Research, Tsinghua university, Beijing 100084, China;
- 312 12 Department of Engineering Physics, Tsinghua university, Beijing 100084, China;
- 313 13 Baidu Research, Beijing 100091, China;
- 314 14 Institute of Environment and Ecology, Shandong Normal University, Jinan 250013,
- 315 China;
- 316 15 Research Center of Practical Meteorology, Chinese Academy of Meteorological
- 317 Sciences, Beijing 100091, China;
- 318 16 School of Business, Shandong Normal University, Jinan 250013, China;
- 319 17 State Key Laboratory of Infectious Disease Prevention and Control, National Institute
- 320 for Communicable Disease Control and Prevention, Chinese Center for Disease
- 321 Control and Prevention, Beijing 102206;
- 322 18 School of Architecture, Tsinghua university, Beijing 100084, China;
- 323 19 Chinese Center for Disease Control and Prevention Key Laboratory of Environment
- 324 and Population Health, National Institute of Environmental Health, Chinese Center
- 325 for Disease Control and Prevention, Beijing 102206, China;
- 326 20 Energy Institute, University College London, London WC1E 6BT, United Kingdom;
- 327 21 Department of Statistics and Data Science, Southern University of Science and
- 328 Technology, Shenzhen 518055, China;
- 329 22 School of Architecture, The University of Hong Kong, Hong Kong 999077, China;
- 330 23 World Health Organization, Beijing 100600, China;
- 331 24 Pollution Management Research Group, Energy, Climate, and Environment Program,
- 332 International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Schlossplatz 1 - A-
- 333 2361 Laxenburg, Austria;
- 334 25 Department of Health Sciences, University of York, York YO10 5DD, Canada;
- 335 26 Department of Epidemiology, School of Public Health, Cheeloo College of Medicine,
- 336 Shandong University, Jinan 250002, China;
- 337 27 School of Computer Science and Technology, University of Science and Technology
- 338 of China, Hefei 230027, China;
- 339 28 Department of Geography and the Environment, University of North Texas, Denton,
- 340 Texas 76203-5017, US;
- 341 29 School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

- 342 30 Geography, College of Life and Environmental Sciences, University of Exeter, Exeter,  
343 EX1 2LU, United Kingdom;  
344 31 Shandong University Climate Change and Health Center, Shandong University, Jinan  
345 250002, China;  
346 32 Institute for Global Health, University College London, London WC1H 0AL; United  
347 Kingdom;  
348 33 School of Geography, Earth and Environmental Sciences, University of Birmingham,  
349 Birmingham B15 2TT; United Kingdom;  
350 34 School of Humanities, Tsinghua University, Beijing 100084, China;  
351 35 School of Economics and Management, Beihang University, Beijing 100083, China;  
352 36 Artificial Intelligence Thrust, Hong Kong University of Science and Technology,  
353 Guangzhou 511443, China;  
354 37 Institute for Environmental and Climate Research, Jinan University, Guangzhou  
355 511443, China;  
356 38 Institute of Climate Change and Sustainable Development, Tsinghua University,  
357 Guangzhou 510632, China;  
358 39 Schwarzman Scholars at Tsinghua University, Beijing 100084; China;  
359 40 Division of Sports Science & Physical Education, Tsinghua University, Beijing,  
360 10084, China;  
361 41 The State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and  
362 Geophysical Fluid Dynamics (LASG), Beijing 100029, China;  
363 42 Department of Earth Sciences and Department of Geography, The University of Hong  
364 Kong, Honk Kong 999077, China.  
365

366 \* Corresponding author:

367 Prof Peng Gong, PhD, Hongkong University, Hongkong, China, penggong@hku.hk

368

369 Abstract: The health threats posed by climate change in China are increasing rapidly.  
370 Each province faces different health risks. Without a timely and adequate response,  
371 climate change will impact lives and livelihoods at an accelerated rate and even prevent  
372 the achievement of the Healthy and Beautiful China initiatives. *The 2021 China report*  
373 *of the Lancet Countdown* is the first annual update of *China's report of the Lancet*  
374 *Countdown*. It comprehensively assesses the impact of climate change on the health of  
375 Chinese households and the measures China has taken. Invited by the Lancet committee,  
376 Tsinghua University led the writing of the report and cooperated with 25 relevant  
377 institutions in and outside of China. The report includes 25 indicators within five major  
378 areas (climate change impacts, exposures, and vulnerability; adaptation, planning, and  
379 resilience for health; mitigation actions and health co-benefits; economics and finance;  
380 and public and political engagement.) and a policy brief. This 2021 China policy brief  
381 contains the most urgent and relevant indicators focusing on provincial data: The  
382 increasing health risks of climate change in China; Mixed progress in responding to

383 climate change. In 2020, the heatwave exposures per person in China increased by 4.51  
384 days compared with the 1986-2005 average, resulting in an estimated 92% increase in  
385 heatwave-related deaths. The resulting economic cost of the estimated 14,500  
386 heatwave-related deaths in 2020 is US\$176 million. Increased temperatures also caused  
387 a potential 31.5 billion h in lost work time in 2020, which is equivalent to 1.3% of the  
388 work hours of the total national workforce, with resulting economic losses estimated at  
389 1.4% of China's annual gross domestic product. For adaptation efforts, there has been  
390 steady progress in local adaptation planning and assessment in 2020, urban green space  
391 growth in 2020, and health emergency management in 2019. 12 of 30 provinces  
392 reported that they have completed, or were developing, provincial health adaptation  
393 plans. Urban green space, which is an important heat adaptation measure, has increased  
394 in 18 of 31 provinces in the past decade, and the capacity of China's health emergency  
395 management increased in almost all provinces from 2018 to 2019. As a result of China's  
396 persistent efforts to clean its energy structure and control air pollution, the premature  
397 deaths due to exposure to ambient particulate matter of 2.5  $\mu\text{m}$  or less (PM<sub>2.5</sub>) and the  
398 resulting costs continue to decline. However, 98% of China's cities still have annual  
399 average PM<sub>2.5</sub> concentrations that are more than the WHO guideline standard of 10  
400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . It provides policymakers and the public with up-to-date information on China's  
401 response to climate change and improvements in health outcomes and makes the  
402 following policy recommendations:

403 (1) Promote systematic thinking in the related departments and strengthen multi-  
404 departmental cooperation. Sectors related to climate and development in China should  
405 incorporate health perspectives into their policymaking and actions, demonstrating  
406 WHO's and President Xi Jinping's so-called health-in-all-policies principle.

407 (2) Include clear goals and timelines for climate-related health impact assessments and  
408 health adaptation plans at both the national and the regional levels in the National  
409 Climate Change Adaptation Strategy for 2035.

410 (3) Strengthen China's climate mitigation actions and ensure that health is included in  
411 China's pathway to carbon neutrality. By promoting investments in zero-carbon  
412 technologies and reducing fossil fuel subsidies, the current rebounding trend in carbon  
413 emissions will be reversed and lead to a healthy, low-carbon future.

414 (4) Increase awareness of the linkages between climate change and health at all levels.  
415 Health professionals, the academic community, and traditional and new media should  
416 raise the awareness of the public and policymakers on the important linkages between  
417 climate change and health.

418

419 **Key words: Climate Change; Public Health; Air Pollution; Heat; China**

420