

# 气候变化对大湾区人群健康影响研究进展

杜尧东 段海来 刘畅 罗晓玲

(广东省气候中心, 广州 510640)

**摘要:** 通过查阅国内外相关文献, 从温度变化、热浪、寒潮、空气质量下降、气候敏感型疾病、新发传染病等方面综述了气候变化对粤港澳大湾区人体健康的影响。结果表明, 日平均温度高于或低于温度阈值(广州为26.4 °C, 香港为28.2 °C)均能增加湾区居民死亡的风险, 高于温度阈值的热效应急促短暂, 低于温度阈值的冷效应缓慢持久, 老年人对温度变化更为脆弱。热浪易引起居民中暑死亡、失眠、疲劳、疾病加重等, 而且以夏季早期的热浪影响较为明显。2008年低温雨雪冰冻期间, 居民非意外死亡和呼吸系统疾病死亡的风险明显增加。霾日数与心血管疾病门诊病例数、O<sub>3</sub>浓度与心血管疾病住院病人数有明显的正相关。疟疾向山区高海拔、登革热终年流行区向高纬度蔓延。SARS和大气环境变量的涨落有显著的相关性。低温高湿有利于禽流感的发生和传播。未来气候变化将引起气温和降水格局的改变, 造成极端气候事件频发, 自然生态系统恶化或病原体孳生, 直接或间接加重人群健康风险, 未来人口老龄化也可以导致更大的脆弱人群。未来粤港澳大湾区应开展跨学科研究, 揭示气候变化健康影响机制, 适时发布人体健康气候预警, 有效保护敏感人群, 加强数据共享和部门合作, 以降低气候变化不利影响, 保障人群健康。

**关键词:** 气候变化, 人体健康, 影响评估, 粤港澳大湾区

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.03.027

## Research Advances in Climate Change Impacts on Human Health in the Guangdong-Hong Kong-Macau Greater Bay Area

Du Yaodong, Duan Hailai, Liu Chang, Luo Xiaoling

(Climate Center of Guangdong Province, Guangzhou 510640)

**Abstract:** The impacts of climate change on human health were reviewed for the Guangdong-Hong Kong-Macau Greater Bay Area. This review focused mainly on temperature variations, heat waves, cold spell, air quality degradation, climate sensitive diseases and emerging infectious diseases. The results showed that daily mean air temperature that is above or below the threshold (26.4 °C in Guangzhou, 28.2 °C in Hong Kong) could both increase the risk of death especially for the elderly who are more vulnerable to temperature variations in the Greater Bay Area. The effect of above-threshold heat on mortality was rapid and transient, whereas the effect of below-threshold cold on mortality was slow and persistent. Heat waves could cause insomnia, fatigue, clinical exacerbation, or death from heatstroke, and the negative influence of heat wave was more obvious in early summer. During a cold spell period in 2008, the risk of non-accidental deaths and respiratory disease deaths significantly increased. Both number of hazy days and ozone concentrations had significant positive correlations with the number of patients with cardiovascular diseases. Malaria was spread to high altitudes in mountainous areas and year-round epidemic zone of dengue fever was extended to high latitudes. The variations of the SARS epidemics were correlated remarkably with atmospheric elements. Low temperature and high humidity were conducive to the occurrence and transmission of avian influenza. In the future, temperature and precipitation patterns are likely to change under the context of climate change, which may result in more frequent extreme climate events and deteriorated natural ecosystems or multiplied pathogens. Therefore, risk of human health may be directly or indirectly aggravated. In addition, more vulnerable people emerge as a result of aging process. To mitigate the adverse impacts of climate change on human health, interdisciplinary research should be done in the Greater Bay Area. Specifically, we should aim to reveal the health impact mechanism of climate change, conduct timely climate warning for human health, effectively protect vulnerable groups, and strengthen data sharing and sector cooperation.

**Keywords:** climate change, human health, impact assessment, Guangdong-Hong Kong-Macau Greater Bay Area

收稿日期: 2019年1月3日; 修回日期: 2019年4月10日  
第一作者: 杜尧东(1964—), Email: 675190225@qq.com  
资助信息: 国家重点研发计划(2018YFA0606200); 中国气象局气候变化专项(CCSF201912); 广东省气象局科技创新团队专项(201701)

## 0 引言

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第五次气候变化评估报告指出, 近百年(1880—2012年)全球平均地表温度上升了0.85 °C<sup>[1]</sup>。气候变暖不仅严重影响全球经济、社会和政治活动, 而且也带来一系

列重大的公共卫生问题<sup>[2-3]</sup>。气候变化可以通过各种直接、间接途径和复杂机制影响人群健康<sup>[4-5]</sup>。目前,全世界每年有超过10万例患者因气候因素死亡,预计到2030年可能达到30万例<sup>[6]</sup>。由于社会经济发展水平、人群适应能力以及所处地理位置等的差异,气候变化对不同地区人群健康的影响是不同的<sup>[7]</sup>。粤港澳大湾区位于欧亚大陆南端,濒邻南海,属亚热带气候,正处于对气候变化敏感的南海季风区<sup>[8]</sup>。在全球气候变暖背景下,粤港澳大湾区的气候也发生了显著变化,1961—2010年大湾区年平均气温以每10年0.30℃的速率显著上升<sup>[9]</sup>。气候变化和城市化引发的热岛效应、高温热浪、灰霾等对人群健康造成了严重的影响。2003、2014年在大湾区爆发的SARS、登革热病毒传染病更是敲响了防控警钟。因此,开展气候变化对粤港澳大湾区人群健康的影响与适应对策研究,对于推进气候变化对人群健康的脆弱性和风险评估,制定切实可行的区域公共卫生政策,降低气候变化不利影响,保障人群健康具有重要意义。

## 1 气候变化对粤港澳大湾区人群健康的影响

### 1.1 温度变化的影响

#### 1.1.1 日平均温度

粤港澳大湾区日平均温度与死亡之间呈“U”形关系,这说明温度和死亡的关系是非线性的,在某一温度阈值时死亡风险最低,日平均温度高于或低于温度阈值均导致人群死亡风险增加<sup>[10]</sup>。但不同城市,死亡风险最低时的温度阈值,以及温度每增加或降低1℃时,人群的死亡风险大小不一。广州死亡风险最低的日平均温度是26.4℃,当日平均气温高于26.4℃时,气温每升高1℃,广州全死因人群死亡率累计上升1.9%;当日平均气温低于26.4℃时,气温每下降1℃,广州全死因人群死亡率累计上升1.2%<sup>[10]</sup>。香港死亡风险最低的日平均温度是28.2℃,当日平均气温高于28.2℃时,气温每升高1℃,香港全死因人群死亡率累计上升1.8%<sup>[11]</sup>。日平均温度高于或低于温度阈值时,不同死因的死亡风险也不一样,因心血管疾病死亡风险增加更高<sup>[10]</sup>。进一步研究表明,广州心血管事件当天的发病人数与当天的气温呈显著的负相关<sup>[12]</sup>。冷热效应健康影响时长不同。高于温度阈值的热效应对死亡的影响急促短暂,相对危险度一般在当天达到高峰,其影响通常持续4 d左右消失,而低于温度阈值的冷效应缓慢持久,在第2~3天达到最大,但其影响持续的时间可长达2周或以上<sup>[10]</sup>。因此,高温预警要早,行动要迅速,而对低温的防范措施要延续两周或更长时间,不应随着低温结束立即停止。香

港的研究也表明,夏季(5—9月)与中暑有关的死亡只在日最高净有效温度(NET,一个结合温度、相对湿度及风速的热力指数)超过26时出现,当日最高净有效温度在26以上时,NET每增加1单位,人群中每日平均中暑死亡率增加1倍;而在冬季(11—3月),与低温症有关的死亡只在日最低NET在14或以下时出现。当日最低NET在14以下时,NET每下降1单位,低温症引起的死亡率增加30%<sup>[13]</sup>。

#### 1.1.2 气温日较差

气温日较差是指同一天内最高气温与最低气温的差值。极大、极小的日较差对居民死亡率均有重要影响。日较差大,温度在一天内的变幅大,人体难以适应骤然增温、降温而引起身体不适。日较差小,温度在一天内稳定在人体的一个临界高温或低温值上,人体热或冷应激不能缓解,进而导致身体不适。广州地区研究发现,低日较差和高日较差都与人群死亡率的上升有关联,但低日较差的急性效应更明显。在冷季(11月—次年4月),日较差对所有类型死亡的累积效应随着滞后天数的增加而增加,高日较差的累积效应强于低日较差。在热季(5—10月),低日较差的累积效应随着滞后天数的增加而增加,高日较差的效应在滞后13 d时(脑血管疾病滞后6 d)时最大,之后开始下降<sup>[14]</sup>。在香港分析了日温差与居民心脑血管病死亡率的关系,发现日温差的波动在大于65岁年龄组人群中的健康效应最为显著<sup>[15]</sup>。

20世纪50年代以来,粤港澳大湾区气温日较差呈显著的减小趋势,而且冬季减少幅度更为明显<sup>[16]</sup>,气候变化使人们被迫改变习惯适应已经发生和将要发生变化的气候。未来大湾区也将处于人口快速老龄化时期,如广东2050年老龄化程度将由目前的14.8%上升到23.7%,60岁及以上老年人口是2000年的3.5倍<sup>[17]</sup>,这将导致更大的脆弱人群。

### 1.2 热浪的影响

热浪是指持续性的高温酷热天气。一般把日最高气温达到或超过35℃称为高温天气,连续3 d及以上的高温天气过程称为高温热浪。监测资料显示,1961—2010年,粤港澳大湾区日最高气温 $\geq 35$ ℃的高温日数以1.1 d/10 a的速率显著增加,1998年以来高温日数增加的速率更快,其中有6年的高温日数大于20 d<sup>[9]</sup>。热浪不仅易引起居民中暑死亡,还使人们出现失眠、疲劳、疾病加重等。2004年6月底至7月初的热浪导致广州市39人因高温中暑死亡<sup>[18]</sup>。2003年夏季热浪期间,广州市居民中暑率、失眠率、疲劳症状发生率和疾病加重发生率分别为21.6%、21.6%、21%和

5.0%<sup>[19]</sup>，2006—2011年热浪期间，广州住院人数增加2.6%<sup>[20]</sup>。其中，老年人、孕妇、儿童及一些慢性病患者，由于热调节机能较差，对热应力更敏感，所以更易受高温热浪的影响<sup>[21]</sup>。广东省北部内陆地区人群对高温热浪的脆弱性高于南部沿海地区<sup>[22-23]</sup>。不同时间的热浪效应存在差别，以夏季早期的热浪影响较为明显，因为人群对热的适应能力在夏季开始时比较低<sup>[24-25]</sup>。此外，寿命损失年（years of life lost, YLL）是一种衡量疾病负担的指标，它综合考虑死亡发生时的年龄与期望寿命。研究发现，广州高温时，温度每上升1℃由非意外死亡、心血管和呼吸系统疾病造成的YLL分别上升12.71、4.81和2.81 a<sup>[26]</sup>。

未来热浪的影响在粤港澳大湾区可能更为严重。未来气候变化将可能导致更加频繁、更加强烈、更长持续时间的热浪<sup>[27]</sup>，从而增加热相关疾病和死亡。由于热岛效应，大湾区城市群的热浪不仅强烈而且持续时间长，而持续时间比瞬时最高温度对死亡率的影响更大。大湾区热浪的增多和增强，将会增加用于空调降温的电力需求，这又增加了来自电厂的空气污染和温室气体排放。热浪还常常伴随着一段时间的空气停滞，从而导致空气污染和健康影响的加重。

### 1.3 寒潮的影响

寒潮是一种大型天气过程，对人群健康的影响有直接导致损伤及疾病发生，也有间接作用而诱发疾病及死亡发生。在全球气候变暖背景下，湾区寒潮次数虽呈减少趋势，但年际、年代际变化明显<sup>[28]</sup>，意外的强寒潮不时出现。20世纪90年代以来，湾区共发生了5次强寒潮，占50年代以来强寒潮次数的62.5%<sup>[8]</sup>。2008年初，一场罕见的强寒潮袭击了我国南方地区<sup>[29]</sup>，对居民健康造成了巨大影响。据估计，本次寒潮期间中国亚热带地区的死亡率较同期增长43.8%，造成约14.8万人的超额死亡，而且对华南华中影响最大<sup>[30]</sup>。与2006、2007和2009年同期相比，2008年寒潮期间，广州、南雄和台山三个城市居民非意外死亡和呼吸系统疾病死亡的风险明显增加，依次为43%、52%、35%，寒潮对人群死亡的影响一直持续到寒潮结束后4个星期。寒潮对呼吸系统疾病的影响最明显，75岁以上老人是寒潮的脆弱人群<sup>[31]</sup>。

预估表明，未来我国南方地区低温日数整体将减少，但在广东和广西北部部分地区连续低温日数有增加现象<sup>[32]</sup>。连续低温日数的增加可能对当地居民的健康造成直接或间接影响。

## 1.4 空气质量下降的影响

### 1.4.1 灰霾

霾天气是指能见度小于10.0 km，排除降水、沙尘暴、扬沙、浮尘、烟雾、吹雪、雪暴等天气现象造成的视程障碍，相对湿度小于80%时，判识为霾，华南地区将受到人类活动显著影响的霾称为灰霾<sup>[33]</sup>。1961年以来，湾区年灰霾日数以每10年6.3 d的速率显著上升，2000年之后，平均每年的霾日数在30 d以上<sup>[9]</sup>。霾发生时，细粒子浓度升高，大量极细微的干性尘粒、烟粒、盐粒等均匀地悬浮在空气中，易诱发上呼吸道感染、哮喘、结膜炎、支气管炎、眼和喉部刺激、咳嗽、呼吸困难、鼻塞流鼻涕、皮疹、心血管系统紊乱等症状，以及容易出现抑郁、室闷，情绪低落，烦躁不安，直接影响到人体的生理和心理健康<sup>[34]</sup>。广州地区的研究发现，灰霾天时，心血管疾病门诊病人量显著增加，广州、深圳医院的数据显示，灰霾中的大气污染物（如PM<sub>10</sub>）与人群心脑血管疾病死亡病例数、住院数有显著的正相关性，当空气中PM<sub>10</sub>的浓度升高，心脑血管疾病每日死亡人数增加<sup>[35]</sup>。此外，广州市1954—2005年的灰霾数据和肺癌死亡率的研究表明，灰霾天气与肺癌死亡率有关，且灰霾对肺癌死亡率的滞后效应在7年后达到最强<sup>[36]</sup>。

由于灰霾影响的复杂性，科学家迄今仍不清楚气候变化是否会加重或减轻灰霾。降雨可以清除空气中的颗粒物，因此降雨增加可能会减轻灰霾。风场减弱可能削弱大气污染物的输送和扩散能力<sup>[37]</sup>，台风的登陆对污染物的扩散和清除有促进作用<sup>[38]</sup>，森林火灾可以增加大气中的颗粒物，未来气候变化可能导致东亚季风强度和区域风场减弱<sup>[39]</sup>，影响我国热带气旋个数的减少<sup>[40]</sup>和森林大火的增多<sup>[41]</sup>，这可能会导致湾区灰霾影响的加剧。

### 1.4.2 臭氧

臭氧（O<sub>3</sub>）是由氧气、氮氧化物（NO<sub>x</sub>）及挥发性有机化合物（VOCs）在阳光作用下发生光化学反应形成，是光化学烟雾的主要成分<sup>[42]</sup>。监测资料显示：2006—2012年，粤港澳大湾区臭氧浓度上升了13%<sup>[43]</sup>。O<sub>3</sub>能刺激眼睛、鼻和咽喉，在高水平时会增加人体感染呼吸系统疾病的机会，亦可令呼吸系统疾病（如哮喘病等）患者的病情恶化，且对心血管疾病有明显影响。深圳市的研究发现，O<sub>3</sub>与人群心血管疾病住院病人有显著的正相关性，相关系数为0.658<sup>[44]</sup>。进一步研究表明，在温度较低（<25%分位数日均温度）或在冷季（11月—次年4月）时，温度与O<sub>3</sub>对广州居民死亡率的影响具有交互作用，随着O<sub>3</sub>

浓度的增加,居民死亡的风险显著增加(包括当日效应和累积效应)<sup>[45]</sup>。

O<sub>3</sub>生成与前体物(NO<sub>x</sub>和VOCs)呈显著的非线性关系<sup>[46]</sup>,因此气候变化可以通过改变O<sub>3</sub>前体物浓度进而影响O<sub>3</sub>生成。未来气候变暖将会促使生物排放更多的VOCs(挥发性有机物),可能会加重O<sub>3</sub>污染<sup>[47]</sup>。观测研究表明,地表O<sub>3</sub>浓度与当地气温之间存在着明显的正相关关系,因此气温升高可能会加重O<sub>3</sub>污染<sup>[48]</sup>。

## 1.5 气候敏感型疾病的影响

### 1.5.1 疟疾

疟疾在湾区原已被消灭或控制,但环境和气候的变化、人口流动的增加导致近年来输入性疟疾的暴发流行,在我国南方的一些山区,疟疾向高海拔地区蔓延<sup>[49]</sup>。气候变暖将增加疟疾传播潜势,延长流行季节。当温度升高1~2℃时,湾区微小按蚊地区间日疟传播潜势可增加0.39~0.91倍,恶性疟传播潜势可增加0.60~1.40倍,当温度上升1℃时,疟疾传播季节可延长约1个月,当温度上升2℃时,传播季节可延长约2个月<sup>[50]</sup>。气候变暖使沿海及沿江地区遭受洪水机会增大。洪水过后,媒介孳生地扩大,湿度增高,蚊虫密度迅速上升,寿命延长,且灾民通常较集中,生活条件及防蚊条件差,致使疟疾发病迅速上升。全球气候变暖,夏季时间和高温时间延长,居民露宿现象相应增加,造成人-蚊接触增多,疟疾流行程度加重<sup>[50]</sup>。

### 1.5.2 登革热

由于冰冻或持续寒冷天气会杀死成蚊、过冬的虫卵和幼虫,目前登革热病毒在20°S—30°N的热带地区传播。1978年以来,湾区多次局地爆发了登革热<sup>[51]</sup>。1986年以前,位于海南省南部的三亚市已基本具备登革热终年流行的气温条件,1986年以后,三亚市已完全具备登革热终年流行的气温条件<sup>[52]</sup>。气温突变后(1997—2012年)华南地区全年适于登革热传播的日数、终年流行区面积分别较突变前(1961—1996年)分别增加了10 d和408 km<sup>2</sup><sup>[53]</sup>。研究表明,全球气温每升高1℃,登革热的潜在传染危险将增加31%~47%<sup>[54]</sup>。研究表明,与1997—2012年平均值相比,2013—2040年、2041—2070年和2071—2100年华南地区全年平均适于登革热传播流行的日数RCP4.5情景下分别增加10、15和20 d左右,RCP8.5情景下分别增加15、25和40 d左右,终年流行区面积RCP4.5情景下分别增加3962、5436和8260 km<sup>2</sup>,RCP8.5情景下分别增加4536、8780和20680 km<sup>2</sup><sup>[53]</sup>。

## 1.6 新发传染病的影响

### 1.6.1 严重急性呼吸系统综合征(SARS)

广州大气环境因素与SARS疫情短期变化关系的研究表明,SARS疫情的短期涨落和大气环境变化有相同的周期性,优势周期为3~5 d,并且SARS和大气环境变量的涨落有显著的相关性。广州每日SARS新增病例数的涨落与前期气温要素(平均气温、最高气温、最低气温、气温日较差)呈显著负相关,即气温下降、气温日较差减小对后期SARS病例增加有作用。风速也与SARS呈显著正相关。SARS疫情还与前期污染物浓度变化有明显反位相关关系,但反位相关关系只是冷空气引起的,因为冷空气到达时北风加大,可冲淡大气污染物的浓度。这些均说明冷空气活动有加重疫情的作用。例如,2003年,在冷空气来临前的1月31日广州平均气温高达19℃,2月3日一股强冷空气影响广州,日平均气温降到11℃,2月8日SARS大规模爆发。冷空气来临时,首先温度骤降,剧变天气使人群免疫力下降,SARS病毒趁虚而入;其次,风力加大,有利病毒扩散;另外,冷空气带来雨水和寒冷,人们室内活动时间增多,增加了封闭空间中感染SARS的机会。这些环境条件使人体感染SARS病毒和发病的机会增加<sup>[55]</sup>。在香港的研究也表明,SARS暴发与气温参数呈负相关,与气压参数呈正相关,SARS暴发前后均有明显冷空气活动<sup>[56-58]</sup>。

### 1.6.2 禽流感

研究发现,在2004年1月中旬—2月上旬禽流感高发期,广州地区呈现出低温高湿的气候特点,低温高湿的气象条件对该地区禽流感的发生和传播非常有利,而2004年2月中旬以后广州地区气温回升、光照充足的气象条件则抑制了禽流感的传播<sup>[59]</sup>。气候变暖可能助长禽流感。在禽流感的传播过程中,气候因素肯定起作用。候鸟已成为禽流感病毒的主要病媒,而候鸟的生活习性与气候息息相关。世界卫生组织和我国卫生部均指出,禽流感病毒对热和紫外线敏感。我国97%的人禽流感的个例都发生在亚热带季风区,很可能与这一地区的气候特点有关。禽流感病毒最适宜传播温度为10~20℃<sup>[60]</sup>。

## 2 研究展望与适应对策

### 1) 开展跨学科研究

影响健康的因素是多方面的,除了气候因素,还有其他环境因素和经济社会条件,随着全球变暖的不断加剧,不仅需要研究气候敏感性健康结局的疾病负担,更需要加强跨学科协作,共同开展气候-环境-经济社会健康影响交互作用研究。

## 2) 揭示气候变化健康影响机制

目前, 气候变化对人群健康影响机制的研究还较为欠缺, 因此, 需借助人造气候舱、数值模拟等手段, 研究气候变化通过何种生理病理途径来改变和影响人体各系统、各器官功能, 以明确气候变化对人群健康的影响机制并进一步探究发病规律。

## 3) 发布人群健康气候预警

在热浪、寒潮、灰霾等高发和气温变化异常季节, 加强人群健康气候预警, 帮助人们及时采取预防措施, 避免伤害。并进一步研究未来气候敏感性健康结局的长期变化趋势, 明确气候变化造成灾难性健康后果的阈值和出现时间。

## 4) 有效保护敏感人群

根据大多数研究的结论, 气候变化的易感人群是老年人、儿童、女性、患基础疾病和社会经济地位较低者。有关部门在采取防护措施时应当更具针对性, 以加强对敏感人群的保护。

## 5) 加强数据共享和部门合作

建立气候变化人群健康数据共享平台, 加强气象与卫生部门的紧密合作, 建立气候变化对人群健康危害的应急预案, 促进在气候敏感性疾病的监测预测和早期预警中获取有针对性的气候服务, 并将其应用于卫生规划和实践中。

## 参考文献

- [1] IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK & New York: Cambridge University Press, 2013.
- [2] McMichael A J, Campbell-Lendrum D H, Corvalán C F, et al. Climate change and human health: risks and responses. Geneva: World Health Organization, 2003
- [3] IPCC. Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK & New York: Cambridge University Press, 2014.
- [4] Frumkin H, Hess J, Lubner G, et al. Climate change: the public health response. American Journal of Public Health, 2008, 98(3): 435-445.
- [5] McMichael A J, Woodruff R., Hales S. Climate change and human health: present and future risks. Lancet, 2006, 367(9513): 859-869.
- [6] Thakur J. Protecting health from climate change. Indian Journal of Community Medicine, 2008, 33(3): 139-140.
- [7] 周晓农. 气候变化与人体健康. 气候变化研究进展, 2008, 6(4): 235-240.
- [8] 杜尧东, 宋丽莉, 毛慧琴, 等. 广东地区的气候变暖及其对农业的影响与对策. 热带气象学报, 2004, 10(2): 150-159.
- [9] Du Y D, Ai H, Duan H L, et al. Changes in climate factors and extreme climate events in South China during 1961-2010. Advances in Climate Change Research, 2013, 4(1): 1-11.
- [10] 杨军, 欧春泉, 丁研, 等. 广州市逐日死亡人数与气温关系的时间序列研究. 环境与健康杂志, 2012, 29(2): 136-138.
- [11] Chan E Y Y, Goggins W B, Kim J J, et al. A study intracuity variation temperature-related mortality socioeconomic status among the Chinese population in Hongkong. Journal of Epidemiology and Community Health, 2012, 66(4): 322-327.
- [12] 张健瑜, 梁丽英, 黄力, 等. 广州市气象因子对心血管事件发生的影响. 现代预防医学, 2010, 37(21): 4015-4016, 4024.
- [13] Leung, Y K, Yip K M, Yeung K H. Relationship between thermal index and mortality in Hong Kong. Meteorological Applications, 2008, 15(3): 399-409.
- [14] Luo Y, Zhang Y H, Liu Tao, et al. Lagged effect of diurnal temperature range on mortality in a subtropical megacity of China. Plos One, 2013, 8(2): 1-10.
- [15] Tam W W S, Wong T W, Chair S Y, et al. Diurnal temperature range and daily cardiovascular mortalities among the elderly in Hong Kong. Archives of Environmental and Occupational Health, 2009, 64(3): 202-206.
- [16] 陈铁喜, 陈星. 近50年中国气温日较差的变化趋势分析. 高原气象, 2007, 26(1): 150-157.
- [17] 王土贵. 广东人口老龄化的发展趋势及对策研究. 生产力研究, 2011(8): 133-135.
- [18] 陈新光, 潘蔚娟, 张江勇, 等. 气候显著变暖使广州极端气候事件增多. 广东气象, 2007, 29(2): 24-25.
- [19] 程义斌, 金银龙, 李永红, 等. 不同城市夏季高温对居民健康状况影响. 医学研究杂志, 2009, 38(6): 17-20.
- [20] 刘婉婷, 胡梦珏, 曾韦霖, 等. 广州市和兴宁市热浪对人群发病住院的短期效应研究. 华南预防医学, 2015, 41(6): 512-516.
- [21] 曾韦霖. 广东四地区热浪对死亡的影响及热浪特点的效应修饰作用. 广州: 暨南大学, 2013.
- [22] Zhu Q, Liu T, Lin H, et al. The spatial distribution of health vulnerability to heat waves in Guangdong Province, China. Global Health Action, 2014, 7(1): 1-10.
- [23] 罗晓玲, 杜尧东, 郑璟. 广东高温热浪致人体健康风险区划. 气候变化研究进展, 2016, 12(2): 139-146.
- [24] Alberdi J C, Díaz J, Montero J C, et al. Daily mortality in Madrid community 1986-1992: Relationship with meteorological variables. European Journal of Epidemiology, 1998, 14(6): 571-578.
- [25] 刘建军, 郑有飞, 吴荣军. 热浪灾害对人体健康的影响及其方法研究. 自然灾害学报, 2008, 17(1): 151-156.
- [26] Yang J, Ou C Q, Guo Y, et al. The burden of ambient temperature on years of life lost in Guangzhou, China. Scientific Reports, 2015, 5(12250): 1-9.
- [27] 黄晓莹, 温之平, 杜尧东, 等. 华南地区未来地面温度和降水变化的情景分析. 热带气象学报, 2008, 24(3): 254-258.
- [28] 伍红雨, 杜尧东. 1961-2008年华南区寒潮变化的气候特征. 气候变化研究进展, 2010, 6(3): 192-197.
- [29] 国家气候中心. 2008年初我国南方低温雨雪冰冻灾害及气候分析. 北京: 气象出版社, 2008.
- [30] Zhou M G, Wang L J, Liu T, et al. Health impact of the 2008 cold spell on mortality in subtropical China: the climate and health impact national assessment study (CHINAs). Environmental Health, 2014, 13(1): 60.
- [31] Xie H, Yao Z, Zhang Y, et al. Short-term effects of the 2008 cold spell on mortality in three subtropical cities in Guangdong Province, China. Environmental Health Perspectives, 2013, 121(2): 210-216.
- [32] 宋瑞艳, 高学杰, 石英, 等. 未来我国南方低温雨雪冰冻灾害变化的数值模拟. 气候变化研究进展, 2008, 4(5): 352-356.
- [33] 中国气象局. 霾的观测与预报等级. 北京: 气象出版社, 2010.
- [34] 白志鹏, 蔡斌彬, 董海燕, 等. 灰霾的健康效应. 环境污染与防治, 2006, 28(3): 198-201.
- [35] 殷文军, 彭晓武, 宋世震, 等. 广州市灰霾天气对城区居民心血管疾病影响的时间序列分析. 环境与健康杂志, 2009, 26(12): 1081-1085.
- [36] Tie X X, Wu D, Brasseur G. Lung cancer mortality and exposure to atmospheric aerosol particles in Guangzhou, China. Atmospheric Environment, 2009, 43(14): 2375-2377.
- [37] 吴兑, 廖国莲, 邓雪娇, 等. 珠江三角洲霾天气的近地层输送条件研究. 应用气象学报, 2008, 19(1): 1-9.
- [38] 赵强, 杨世植, 乔延利, 等. 台风对沿海地区气溶胶光学特性的影响分析. 光学学报, 2008, 28(11): 2046-2050.
- [39] Jacobson, M Z, Kaufman Y J. Wind reduction by aerosol particles. Geophysical Research Letters, 2006, 33(24): 194-199.

(下转194页)

- [40] 吴蔚, 余锦华. GFDL\_RegCM 对21世纪西北太平洋热带气旋活动的情景预估. 热带气象学报, 2011, 27(6): 843-852.
- [41] Jacob D J, Winner D A. Effect of climate change on air quality. Atmospheric Environment, 2009, 43(1): 51-63.
- [42] 刘峰, 朱永官, 王效科. 我国地面臭氧污染及其生态环境效应. 生态环境学报, 2008, 17(4): 1674-1679.
- [43] 黄亮. 我国臭氧污染特征及现状分析. 环境保护与循环经济, 2014, 34(5): 64-66.
- [44] 殷文军, 彭晓武, 宋世震. 深圳市空气污染与居民心血管疾病发病相关性的研究. 公共卫生与预防医学, 2009, 20(2): 18-21.
- [45] Liu T, Li T T, Zhang Y H, et al. The short-term effect of ambient ozone on mortality is modified by temperature in Guangzhou, China. Atmospheric Environment, 2013, 76(3): 59-67.
- [46] 唐孝炎, 张远航, 邵敏. 大气环境化学(第2版). 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [47] Liao K J, Tagaris E, Manomaiphiboon K, et al. Sensitivities of ozone and fine particulate matter formation to emissions under the impact of potential future climate change. Environmental Science & Technology, 2007, 41(24): 8355-8361.
- [48] Bernard S M, Samet J M, Grambsch A, et al. The potential impacts of climate variability and change on air pollution-related health effects in the United States. Environmental Health Perspectives, 2001, 109(S2): 199-209.
- [49] 银朗月, 黎军, 廖东铭, 等. 广西宜州市1950—2010年疟疾防治效果评价. 公共卫生与预防医学, 2011, 22(4): 19-21.
- [50] 杨坤, 王显红, 吕山, 等. 气候变暖对中国几种重要媒介传播疾病的影响. 国际医学寄生虫病杂志, 2006, 33(4): 182-187.
- [51] 吴德仁, 谢平. 我国亚热带地区登革热流行概况. 应用预防医学, 2009, 15(3): 190-192.
- [52] 俞善贤, 李兆芹, 滕卫平, 等. 冬季气候变暖对海南省登革热流行潜势的影响. 中华流行病学杂志, 2005, 26(1): 25-28.
- [53] 杜尧东, 吴晓娟, 王华. 华南地区温度变化及其对登革热传播时间的影响. 生态学杂志, 2015, 34(11): 3174-3181.
- [54] Hales S, Dewet N, Maindonald J, et al. Potential effect of population and climate changes on global distribution of dengue fever: an empirical model. Lancet, 2002, 360(9336): 830-834.
- [55] 冯业荣, 朱科伦, 纪忠萍, 等. 广州大气环境因素与 SARS 疫情短期变化关系的研究. 热带气象, 2005, 21(2): 191-198.
- [56] 杨智聪, 杜琳, 王鸣, 等. 气压与气温对 SARS 发病流行的影响分析. 中国公共卫生, 2003, 19(9): 1028-1030.
- [57] Bi P, Wang J, Hiller J E. Weather: driving force behind the transmission of severe acute respiratory syndrome in China? Internal Medicine Journal, 2007, 37(8): 550-554.
- [58] 张强, 叶殿秀, 杨贤为, 等. SARS 流行期高危气象指标的研究. 中国公共卫生, 2004, 20(6): 647-648.
- [59] 范伶俐. 广州禽流感流行的气象条件分析. 气象科技, 2005, 33(6): 580-582.
- [60] 张庆阳, 琚建华, 王卫丹, 等. 气候变暖对人类健康的影响. 气象科技, 2007, 35(2): 245-248.