

周家斌, 徐永福, 王喜全, 等. 2010. 关于气象与人体健康研究的几个问题 [J]. 气候与环境研究, 15 (1): 106–112. Zhou Jiabin, Xu Yongfu, Wang Xiquan, et al. 2010. Some issues in the investigation on the relationship between meteorological conditions and human health [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 15 (1): 106–112.

关于气象与人体健康研究的几个问题

周家斌¹ 徐永福² 王喜全³ 李鸿洲¹ 任丽新¹
蔡则怡¹ 王庚辰¹ 孔琴心¹ 朱瑛¹

1 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

2 中国科学院大气物理研究所大气边界层物理和大气化学国家重点实验室, 北京 100029

3 中国科学院大气物理研究所竺可桢—南森国际研究中心, 北京 100029

摘 要 关于气象、环境与健康问题的研究可总结为如下几个问题: 1) 气候变化及其影响, 2) 天气、气候变化与人类健康, 3) 大气污染与人类健康, 4) 关于气象条件与疾病的机理研究, 5) 环境与健康危险度评价。作者认为以下几个问题值得我国学者予以关注: 1) 气象与健康问题的检测, 2) 气候变化与人类健康, 3) 气象与人类健康关系的机理研究, 4) 应用数值模式研究气象与健康问题, 5) 环境与健康危险度评价, 6) 疾病预测和预警研究, 7) 多学科交叉研究和更多部门对气象与健康问题的介入。

关键词 气象与健康 多学科交叉研究 数值模式 环境与健康危险度评价

文章编号 1006-9585 (2010) 01-0106-07 **中图分类号** P49 **文献标识码** A

Some Issues in the Investigation on the Relationship between Meteorological Conditions and Human Health

ZHOU Jiabin¹, XU Yongfu², WANG Xiquan³, LI Hongzhou¹, REN Lixin¹,
CAI Zeyi¹, WANG Gengchen¹, KONG Qinxin¹, and ZHU Ying¹

1 *Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

2 *State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

3 *Nansen – Zhu International Research Center, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

Abstract The research on the relationship between meteorological conditions and human health can be summarized as: 1) climate change and its impacts, 2) weather and climate change and its impacts on human health, 3) atmospheric pollution and human health, 4) mechanisms of the effects of meteorological conditions on diseases, 5) the risk assessment of environment and human health. The authors consider that it is necessary to pay attention to the following issues: 1) detection of meteorological conditions and human health, 2) climate change and human health, 3) mechanisms of the influences of meteorological conditions on human health, 4) researches on meteorological con-

收稿日期 2007-12-26 收到, 2009-12-05 收到修定稿

资助项目 中国科学院大气物理研究所领域前沿项目 IAP07204

作者简介 周家斌, 男, 1937 年出生, 研究员, 主要研究领域为气候诊断和预测、统计气象学、气象与健康。E-mail: zjiabin@yahoo.com.cn

ditions and human health with numerical models, 5) the risk assessment of environment and human health, 6) prediction and warning of diseases, 7) multi-disciplinary investigation and more organizations joining in the work of meteorological conditions and human health.

Key words meteorological conditions and human health, multi-disciplinary investigation, numerical model, risk assessment of environment and human health

1 引言

1996 年政府间气候变化委员会 (IPCC) 发表了关于气候变化的第二个评估报告, 第二工作组提交的气候评估报告中, 第 18 章专门论及气候变化和人类健康问题 (McMichael, 1996)。1996 年世界卫生组织 (WHO)、世界气象组织 (WMO) 和联合国环境规划署 (UNEP) 共同发表了气候变化和人类健康问题的报告 (McMichael et al., 1996)。两报告发表以来, 关于气象与健康的研究取得了很大进展。在过去的十几年中, 我国研究人员也做了不少的研究工作。1997 年举办了首届“环境趋势与医学气象发展”学术研讨会, 该研讨会的部分论文发表在《气候与环境研究》1999 年第 1 期上。我国学者近 10 年来就天气气候对人体健康的影响做了更进一步的研究, 其中包括主要传染病与气象条件之关系 (郭文利等, 2001), 气象条件变化与脑血管疾病的关系 (赵红旭等, 2001), 热浪对人体健康的影响 (谈建国和黄家鑫, 2004), 以及儿童呼吸系统疾病医疗气象预报 (张德山等, 2007)。本文是一篇关于气象、环境与健康问题的综合报告。文中对有关问题做了评述, 并提出了几个值得我国学者予以关注的问题。

2 气候变化及其影响

当前最引起人们关注的气候变化问题是全球变暖和平流层臭氧洞。

IPCC 第 4 次气候变化评估报告 (Solomon et al., 2007) 指出, 全球平均温度 20 世纪增加了 0.74°C 。20 世纪中 90 年代是最暖的十年, 而 20 世纪则可能是过去 1000 年来最暖的 100 年。我国近百年来气温变化的总趋势与全球基本一致, 在 1905~2001 年的 97 年中, 年平均气温上升了 0.79°C (丁一汇等, 2007)。20 世纪以来, 平流

层臭氧有不断减少的趋势。自 1985 年发现南极臭氧洞以来, 臭氧洞有不断扩大的趋势。动力学数值模拟显示 (Solomon et al., 2007), 全球地面平均温度在未来 100 年将上升 $1.1\sim 6.4^{\circ}\text{C}$ 。这一数值要比 20 世纪观测到的气温上升大得多, 其中陆地的增温比海洋快。北半球高纬度区域的冷季升温更多, 而这些地方正是人类集中居住的地方。同样, 臭氧层遭破坏的过程仍将继续。

许多研究认为, 已经发生和仍将继续的全球变暖会导致海冰融化、冰川退缩、海平面上升、生态系统失衡, 从而产生一系列严重后果。全球变暖也将对人类健康造成很大影响。臭氧层的破坏所造成的后果也同样是严重的。

3 天气气候变化与人类健康

1996 年 IPCC 第二工作组在提交的气候评估报告中专门论述了气候变化和人类健康问题, 同年 WHO、WMO 和 UNEP 共同发表了气候变化和人类健康问题的报告。这两个报告把全球变暖对人类健康的影响归纳为直接影响和间接影响两个方面。直接影响是: 1) 极端温度事件 (如热浪) 引起的与冷热有关的发病率和死亡率的变化。2) 其他极端气象事件 (例如风暴、洪水和干旱) 导致死亡、受伤、心理失衡和公共卫生设施的破坏。间接影响是: 1) 生态系统扰动引起的问题。诸如影响昆虫和病菌的活动和范围, 进而导致传染病的发生及其范围的变化 (如水和食物污染引起的局地生态系统的改变将导致腹泻及其他传染病的发生和变化); 天气气候及与之相关的害虫和疾病的变化会引起食物 (特别是粮食) 生产的变化等。2) 海平面上升及由此引起的人口迁移和对基础设施的破坏导致传染病 (如霍乱) 增加和心律失常的发生。3) 空气污染 (包括花粉过敏和可吸入颗粒物等) 引起的生物学影响导致哮喘、过敏、急性和慢性呼吸道疾病及死亡。4) 社会、

经济、人口的变化影响经济、基础设施及资源,造成广泛的公共健康后果(如心理健康问题、营养不良、传染病、社会动乱等)。

报告提到,数值模式的结果指出(Martens et al., 1995),由于气候变暖,全球受疟疾影响的范围将从1990年的45%增加到2100年的60%。报告还强调控制霍乱的可能性。该报告还认为,平流层臭氧的减少会引起皮肤癌、白内障,还可能导致免疫力下降,并对农业(影响光合作用)和水生植物的生产造成不利影响。

1999年,WMO将“天气、气候与健康”列为世界气象日的主题。

2000年2月11日,国际生物气象学会(International Society of Biometeorology, ISB)主席Burton在日内瓦访问了世界气象组织总部,双方达成了签署一个谅解备忘录的意向。该备忘录于同年5月11日生效。备忘录的主要内容有(Beggs, 2000): 1) 双方在气象研究和公共事业发展方面进行合作; 2) 双方在下列社会经济活动方面开展合作: a) 双方项目和计划的准备、实施、推进和发展, b) 关于生物气象领域政策和战略的制定和完善, c) 开展研究, 组织学术会议和专家研讨会; 3) 双方相互通报和协商并推进相互合作, 共同召开会议, 提出计划项目, 发表备忘录所涉及问题的进展报告; 4) 双方相互交换共同关心的问题的信息和文件, 实现信息共享。

2002年10月26日在美国堪萨斯召开了第16届国际生物气象学会议, 该会与美国气象学会第15届生物气象学会议同时举行。

两报告发表及上述会议召开以来, 已发表大量学术论文。其中有关成果举例如下: 基因技术在环境变化对动物适应和繁殖的影响研究中的应用, 生物恐怖主义, 害虫迁移过程的雷达监测, 用数值模式模拟家畜引起的有害气味扩散(Decker et al., 2003), ENSO与疟疾流行的关系(Gagnon et al., 2002), 不同高度人体与周围空气的热量和物质交换(Kandjov, 1999), 人体对外界热量响应的预报系统(Fiala et al., 2001), 热压力健康预警系统(Tan et al., 2004), 心电图与气象条件的关系(Delyukov et al., 2001), 形成生物气候图的地理信息系统(Svensson et al., 2003), 汽车乘客受紫外辐射伤害的研究(Kimilin

et al., 2002)。

我国对气象与健康问题的研究始于20世纪70年代。1997年以来, 共召开了六届气象、环境与健康学术研讨会。我国关于气象与健康问题的研究已涉及广泛的领域, 其中中医药等领域是我国特有的, 基因、DNA、数值模式、实验室研究等领域属于科学前沿。但我国在这些领域的研究与国际水平仍有一定差距。除研究外, 科技开发在我国也发展很快。以各种指数为载体的专业气象服务发展迅速, 北京、上海、南京和武汉的专业气象服务发展尤其突出。但存在科技开发和科学研究脱节的问题。

自IPCC 1996年的报告和WHO、WMO、UNEP 1996年3个国际组织的报告发表以来, 气象与健康问题研究有了很大发展, 但所涉及的领域基本上没有超出这些报告所提到的范围, WHO、WMO、UNEP也没有再发表新的报告。

目前, 全球已经有了监测大气的世界天气监测网(WWW), 全球大气监测网(GAW), 监测陆地的全球陆地观测系统(GTOS)和监测海洋的全球海洋观测系统(GOOS)。全球气候观测系统正在建设中, 我国的相应系统也已启动, 但所有这些系统中都很少有涉及人体健康的资料。

4 大气污染与人类健康

18世纪工业革命以来, 人类大量燃烧煤炭, 因而大气污染日益加重, 这就是被称为第一代污染的煤烟污染。到19世纪, 石油工业和汽车工业的发展, 又带来了化学烟雾污染, 被称为第二代污染。20世纪中叶开始, 随着经济的发展和社会的进步及人类文明的不断提高, 人们的工作、学习、生活和娱乐等活动不少都在室内进行, 因此室内污染日益严重, 称为第三代污染。现在, 这三代污染与我们共处一个地球村, 对人类的生命和健康造成威胁。

SO₂、CO₂、CO、O₃和可吸入颗粒物等污染物对人体健康的影响已引起广泛的重视, 其中可吸入颗粒物常成为主要污染物。据美国健康影响研究所分析, 全美90个最大城市可吸入颗粒物每增加10 μg · m⁻³, 死亡率增加0.5%。这一研究涉及的城市多, 资料丰富, 结果比较可信。

汽车车厢内部是一种特殊的室内环境，需要引起特别的关注。车内空气污染的主要来源有：装饰材料中的有毒气体，如苯、甲醇、丙酮、二甲苯等；SO₂、氮氧化物等和空调蒸发器产生的胺、烟碱、细菌等；有毒物质。

大气污染在给人类健康造成危害的同时，也带来了严重的经济损失。对由大气污染引起的超额患病和超额死亡的估计，计算超额患病的治疗费、劳动日损失以及超额死亡的经济损失，可以得出大气污染影响人体健康所造成的经济损失。《中国绿色 GDP 核算 2004》指出，2004 年因大气污染造成的经济损失为 2862.8 亿元，是全年 GDP 的 1.31%。这类研究目前国内开展尚少，需要加强。现在，我国已经开始进行绿色 GDP 核算。所谓绿色 GDP 指的是从 GDP 总量中扣除自然资源消耗和环境退化的成本后的 GDP。扣除后，2004 年的 GDP 将减少 1.8%。

据国家环境监测总站统计，2003 年全国监测 340 个城市空气质量，有 142 个城市达到或优于 II 级标准，占 41.7%。空气质量为 III 级或超过 III 级的城市 198 个，占 58.3%。若按城市人口统计，生活在适宜居住的空气质量标准（II 级或优于 II 级）的环境中的人口占 36.4%，生活在空气质量不达标城市的人口占 63.6%。可见，约有 2/3 的城市人口饱受空气污染之苦。在大力推进城市化战略的同时，对空气污染对人体健康的影响及其造成的巨大经济损失应当引起足够的重视。

5 关于气象条件与疾病关系的机理研究

随着人类对疾病认识水平的提高和分子生物学、分子遗传学的发展，人们对疾病机理的认识已经提高到一个新的水平。关于基因多态性与环境因素易感性的关系、生物标志物与环境因素的关系、生物标志物在环境医学研究中的应用等问题已成为有关的研究热点，取得了不少有价值的成果。

环境毒理学实验是研究环境与健康关系的重要方法之一。分子生物学方法得到广泛应用，如评价 DNA 损伤的慧星试验，污染物引起的基因变异等。但是，上述研究主要是表征受试物的生物

学毒性效应，能否反映环境污染对人体的损害尚待研究。其中尚存在一些需要解决的问题，如关于环境污染物的允许浓度的测定，各种污染物之间可能存在的协同、拮抗、加和作用，不同剂量下的毒作用机制，动物试验结果与污染物对人体影响的关系等。

科研工作者将先进的生物学技术尤其是分子生物学技术与传统流行病学相结合，发展了一门新的边缘交叉学科——分子流行病学。应用分子流行病学方法研究体内剂量标志、生物有效剂量标志、生物学反应标志、疾病标志和易感性标志，可以准确测量体外和体内暴露的剂量，早期察觉体内细微的形态和功能变化，减少误诊以及评估各种基因与疾病间的关系。

环境基因组学和毒理基因组学的发展对于从基因组全局研究环境与基因、基因与基因间的交互作用，遗传变异影响机体对环境因素的反应，环境反应基因的多态性以及评价其与患病风险的关系都有重要作用。因此，环境基因组学和毒理基因组学已成为环境与健康研究的新方向。

生物标记物 (biomarker) 是指能够反映生物系统与外源性有害因素相互作用的物质 (WHO, 1993)。它在空气污染的鉴定、监测、风险评价及其毒理学的研究中有重要作用。关于室内外空气污染物 SO₂、氮氧化物、CO、臭氧、可吸入颗粒物、甲醛、苯、多环芳烃等的生物标记物的研究发展相当快，取得的成果对说明空气污染致病机理有重要作用。如汽车中的颗粒物和挥发性有机物可在体外直接导致 DNA 氧化损伤，柴油机排放颗粒物 (Diesel Exhaust Particle, DEP) 可激活芳香烃受体介导的 Cyp1A1 基因 (Takano et al., 2002)，氮氧化物导致人肺纤维原细胞 DNA 损伤 (Hsieh et al., 2001)。臭氧增加肺上皮细胞的渗透性，使得蛋白 CC16 通过肺上皮细胞向血管内渗漏 (Blomberg et al., 2003)。柴油机废气对免疫反应的活化作用，以及炎性细胞和呼吸功能对这些污染物的感应 (Fujimaki et al., 1997, 1998)。苯暴露使交警和司机的淋巴细胞中染色体畸变频率增加 (Zhao et al., 1998)。香烟头冒出的烟雾可诱导 DNA 的氧化损伤。这些研究对预测和评价化学污染物的环境危险性有重要意义。

流行病学研究表明，除了人群总死亡率和呼

吸系统发病率外,循环系统疾病的发病率也与大气中细粒子浓度之间存在显著的相关(Pope et al., 1995)。目前人们对直径 $2.5\ \mu\text{m}$ 以下的细粒子的致病机理还不很清楚。一般认为它引起呼吸系统疾病如哮喘、肺癌的可能途径是通过氧化刺激、炎症反应及遗传物质综合作用使肺组织细胞损伤和肺癌形成。

多数疾病是环境因素与机体遗传因素交互作用的结果,因此与环境相关的疾病研究也应涉及这两个方面,即对内针对基因/基因组识别和分析 DNA 多态性,对外针对环境物质的作用机制。关于环境因素对健康影响的研究发展尚不平衡,除环境毒理学发展较快外,其他方面尚慢,其中气候和气象变化与大气污染对健康影响的机理亟待加强。在大气污染物中,人们对颗粒物对人体的毒性作用研究较多,而对其他污染物如氮氧化物、臭氧、 CO_2 等对有机分子(DNA、蛋白质等)的影响研究较少。

6 环境健康危险度评价

美国国家安全科学委员会在 20 世纪 80 年代提出了科学研究—危险度评价—危险度管理之间的关系,并在 1994 年做了补充和修改。目前,这一框架结构的危险评价方法已被法国、荷兰、日本和我国等许多国家和一些国际组织如经济发展与合作组织(OECD)、欧洲经济共同体(EEC)等广泛接受。

环境健康危险度评价方法包括以下 4 个方面: 1) 危险识别。评审化学物质的毒性及流行病学资料,确定有毒物质是否已对生态环境和人体健康造成损害,并评定其等级。2) 剂量—反应关系评价。定量估算暴露人群中不良健康效应的发生率与暴露水平的关系。3) 暴露评价。测量或估计人群对某一化学物质暴露(指该化学物质进入体内或接触体表)的强度、频率和持续时间,也预测化学物质进入环境后的暴露水平。4) 风险描述。给出对人群产生某种危害的概率,并确定其可信程度或不确定性,以正规文件形式提供给危险管理人员,作为其管理决策的依据。我国已经开展了这方面的工作(Kan et al., 2004),但发展不快。

环境健康危险度评价研究是跨医学科学、生物科学、环境科学和人口学等学科的交叉学科,其评价成果需要管理者使用。把研究工作、评价工作和管理工作有机结合起来,才能使这项工作真正发挥经济、社会和环境效益。关于气候变化对人类健康的影响,特别需要从这一方面开展工作。

7 值得我国学者关注的几个问题

下列问题值得我国学者予以关注:

(1) 气象环境与人体健康研究是一个多学科交叉合作研究的新领域,需要大气科学、环境科学和医学科学等多学科广泛深入的交叉合作研究方能取得显著成效的事业,同时还需要社会科学界和全社会的广泛关注。其研究的科学问题,目前主要涉及两个方面。其一,气象和气候变化与健康的关系;其二,大气污染与健康的关系。从已发表的论文看,第二方面发展较快,第一方面发展显得迟缓。当前对于天气气候变化对人体健康影响的研究仍处于初级阶段,着重于揭露事实。特别是气候变暖这种时间和空间尺度都较大(超过 10 年,涉及广阔地区乃至全球)的环境问题,研究它对人体健康的影响还是比较困难的。至于地域性气候变化对健康的影响,如何排除其他因素而突出气候因子的作用,目前研究成果也很少见。在今后的研究中,应尽可能采用长时间、大样本的资料,以使研究结果更为可信。

目前人们对大气污染对健康的影响的关注较多,而对优良气象条件(涉及山区、海滨、森林、瀑布等)对健康益处的研究不够深入。加强此项研究对促进气象医疗、气象保健、老年医学的发展将是很有益的。

(2) 关于气象、环境与人类健康关系的机理研究,多数集中于环境毒理学方面。关于气象和气候变化对人体影响的研究还较少,需要从与之相关的生理学(包括应用生理学)和病理学方面入手,同时加大实验室研究(生物体研究)的力度,以推动气象、环境与多种疾病发生的机理研究向纵深发展。

(3) 应用数值模式开展气象与健康、环境与健康研究,在国外发展较快;我国这方面的研究

则刚刚开始。这是一个非常重要的研究方向,是开展气象、环境与健康关系机理研究的有机组成部分,也是疾病预测研究的重要方面,值得引起更多关注。

(4) 开展疾病预测和预警研究。此项研究与机理研究是相辅相成的两个方面,我国虽已开展,但仍与发达国家有一定差距,需要大力发展。这项研究也是把已有科研成果用于实际的重要途径。

(5) 继续加强国际交流。开展国际交流活动,可以以多种形式进行,如不定期的举办研讨会、专题论坛和专业研讨班等,也可以与现在每两年一次的全国气象、环境与健康学术研讨会合在一起举办。把国内跨学科的交流扩大发展为国际的交流,相信会对这一交叉学科的发展带来更鲜明的效果。

参考文献 (References)

- Beggs P. 2000. Memorandum of understanding (MOU) between the World Meteorological Organization (WMO) and the International Society of Biometeorology (ISB) [J]. *Int. J. Biometeor.*, 44: 212.
- Blomberg A, Mudway I, Svensson M, et al. 2003. Clara cell protein as a biomarker for ozone induced lung injury in humans [J]. *Eur. Respir. J.*, 22: 883-888.
- Decker W L, Johnson H, Hahn L. 2003. Summary of scientific reports at the 16th International Congress of Biometeorology [J]. *Int. J. Biometeor.*, 47: 176-178.
- Delyukov A, Gorgo Yu, Cornelissen G, et al. 2001. Natural environmental associations in a 50-day human electrocardiogram [J]. *Int. J. Biometeor.*, 45: 90-99.
- 丁一汇, 任国玉, 赵宗慈, 等. 2007. 中国气候变化的检测及评估 [J]. *沙漠与绿洲气象*, 1: 1-10. Ding Yihui, Ren Guoyu, Zhao Zongci, et al. 2007. Detection, attribution and projection of climate change over China [J]. *Desert and Oasis Meteorology (in Chinese)*, 1: 1-10.
- Fiala D, Lomas K J, Stohrer M. 2001. Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions [J]. *Int. J. Biometeor.*, 45: 143-159.
- Fujimaki H, Saneyoshi K, Shiraishi F, et al. 1997. Inhalation of diesel exhaust enhances antigen-specific IgE antibody production in mice [J]. *Toxicology*, 116: 227-233.
- Fujimaki H, Ohmori T, Ushio H, et al. 1998. Timing of low-level NO₂ exposure alters antigen-specific IgE, IgG, and IgG_{2a} antibody production in mice [J]. *Inhalation Toxicology*, 10: 1079-1093.
- Gagnon A, Smoyer-Tomic K, Bush A. 2002. The El Niño-Southern Oscillations and malaria epidemics in South America [J]. *Int. J. Biometeor.*, 46: 81-89.
- 郭文利, 赵新平, 轩春怡, 等. 2001. 北京地区主要传染病与气象条件关系的探讨 [J]. *气候与环境研究*, 6 (3): 368-370.
- Guo Wenli, Zhao Xinping, Xuan Chunyi, et al. 2001. The discussion of the relation between major infections and weather conditions in Beijing [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 6 (3): 368-370.
- Hsieh Y S, Wang H C, Tseng T H, et al. 2001. Gaseous nitric oxide-induced 8-nitroguanine formation in human lung fibroblast cells and cell free DNA [J]. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 172: 210-216.
- Kan Haidong, Chen Bingheng, Chen Changhong, et al. 2004. An evaluation of public health impact of ambient air pollution under various energy scenarios in Shanghai, China [J]. *Atmos. Environ.*, 38: 95-102.
- Kandjov I M. 1999. Heat and mass exchange process between the human body and ambient air at various altitude [J]. *Int. J. Biometeor.*, 43: 38-44.
- Kimilin M G, Parisi A V, Carter B D, et al. 2002. Comparison of the solar spectral ultraviolet irradiance in motor vehicles with windows in an open and closed position [J]. *Int. J. Biometeor.*, 46: 150-156.
- Martens W J M, Niessen L W, Rotmans J, et al. 1995. Potential impact of global climate change on malaria risk [J]. *Environmental Health Perspectives*, 103 (5): 458-464.
- McMichael A J. 1996. Human Population Health [M] // *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations, and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*. Watson R T, Zinyowera M C, Moss R H, Eds. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press, 561-584.
- McMichael A J, Haines A, Slooff A, et al. 1996. *Climate Change and Human Health* [R]. WHO, Geneva, Switzerland, 297pp.
- Pope C A, Bates D V, Raizenne M Z. 1995. Health effects of particulate air pollution: Time for measurement [J]. *Environmental Health Perspectives*, 103: 472-480.
- Solomon S, Qin D, Manning M, et al. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* [M]. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press, 940pp.
- Svensson M K, Thorsson S, Lindqvist S. 2003. A geographical information system model for creating bioclimatic maps-examples from a high, mid-latitude city [J]. *Int. J. Biometeor.*, 47: 102-112.
- 谈建国, 黄家鑫. 2004. 热浪对人体健康的影响及其研究方法 [J]. *气候与环境研究*, 9 (4): 680-686. Tan Jianguo, Huang Jiaxin. 2004. The impacts of heat waves on human health and its research methods [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 9 (4): 680-686.

- Tan Jianguo, Kalkstein L S, Huang Jiabin, et al. 2004. An operational heat warning system in Shanghai [J]. *Int. J. Biometeor.*, 48: 157–162.
- Takano H, Yanagisawa R, Ichinose T, et al. 2002. Lung expression of cytochrome P450 1A1 as a possible biomarker of exposure to diesel exhaust particles [J]. *Archives of Toxicology*, 76 (3): 146–151.
- WHO. 1993. *Environmental Health Criteria 155: Biomarkers and Risk assessments: Concepts and Principles* [R]. Geneva, Switzerland, 92pp.
- 张德山, 刘燕, 丁德平, 等. 2007. 京津地区儿童呼吸系统疾病医疗气象预报初步研究 [J]. *气候与环境研究*, 12 (6): 804–810. Zhang Deshan, Liu Yan, Ding Deping, et al. 2007. The basic research on medical-meteorological forecast of children respiratory disease in Beijing and Tianjin area [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 12 (6): 804–810.
- 赵红旭, 张丽玲, 彭霞. 2001. 昆明地区气象条件变化与脑血管疾病的关系 [J]. *气候与环境研究*, 6 (4): 498–502. Zhao Hongxu, Zhang Liling, Peng Xia. 2001. Relationship between meteorological conditions and cerebral vascular diseases in Kunming [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 6 (4): 498–502.
- Zhao X, Niu J, Wang Y, et al. 1998. Genotoxicity and chronic health effects of automobile exhaust: A study on the traffic policemen in the city of Lanzhou [J]. *Mutation Research*, 415: 185–190.