

气候变化对儿童健康影响的研究进展

高景宏 李丽萍 王君 刘小波 吴海霞 李京 李静 刘起勇

102206 北京,中国疾病预防控制中心传染病预防控制所媒介生物控制室 传染病预防控制国家重点实验室 感染性疾病诊治协同创新中心(高景宏、王君、刘小波、吴海霞、李京、刘起勇); 515041 汕头大学医学院伤害预防研究中心(李丽萍); 250012 济南,山东大学公共卫生学院流行病学系(李京); 102200 北京市昌平区疾病预防控制中心环境卫生科(李静)

通信作者:刘起勇, Email:liuqiyong@icdc.cn

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2017.06.028

【摘要】 以全球变暖为主要特征的气候变化正成为世界关注的公共卫生问题。气候变化可以通过多种途径对人群健康造成危害,儿童由于其特有的生理代谢和行为认知特点,更容易受到气候变化的威胁。本文通过综述气候变化对儿童健康影响的研究现状,提出相应的适应和减缓措施,可为预防和控制气候变化相关伤害、疾病和死亡在儿童群体中的发生提供科学依据。

【关键词】 气候变化; 儿童健康; 负面影响

基金项目: 国家重大科学研究计划(973 计划)(2012CB955504); 中国繁荣战略基金(15LCH1)

Progress of research in relation to the impact of climate change on children's health status Gao

Jinghong, Li Liping, Wang Jun, Liu Xiaobo, Wu Haixia, Li Jing, Li Jing, Liu Qiyong

State Key Laboratory of Infectious Disease Prevention and Control, Collaborative Innovation Center for Diagnosis and Treatment of Infectious Diseases, National Institute for Communicable Disease Control and Prevention, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 102206, China (Gao JH, Wang J, Liu XB, Wu HX, Li J, Li J, Liu QY); Injury Prevention Research Center, Shantou University Medical College, Shantou 515041, China (Li LP); Department of Epidemiology, School of Public Health, Shandong University, Jinan 250012, China (Li J); Changping District Centre for Disease Control and Prevention, Beijing 102200, China (Li J)

Corresponding author: Liu Qiyong, Email: liuqiyong@icdc.cn

【Abstract】 Along with global warming, climate change has become one of the biggest public health challenges. The unique metabolism, behavior, physiology and development in children, will make them suffer more from the climate change. In the present review, we summarized the progress and situation of studies on the associations between climate change and children's health also trying to provide adaptation and mitigation strategies. The purpose of this study was to offer scientific evidence for prevention and control on the adverse effects as injuries, diseases and deaths among children that resulted from the changes of climate.

【Key words】 Climate change; Child health; Negative effects

Fund programs: National Basic Research Program of China (973 Program) (2012CB955504); China Prosperity Strategic Program Fund (SPF) 2015-16 (15LCH1)

以全球变暖为主要特征的气候变化已成为世界关注的重大环境、社会和公共卫生问题。气候变化及其继发效应可通过多种途径对人群健康产生不利影响^[1-3]。首先,气候变化使高温热浪、干旱和洪水等极端天气事件的发生频率和强度增加,直接对人群生命健康造成危害^[4-5]。其次,气候变化可通过与环境因素、生态系统的交互作用对人群健康造成影响,例如,气候因素可加剧大气污染和臭氧层破坏,使人群呼吸系统疾病、皮肤疾病和过敏性疾病的发病率增加;而通过影响气候变化敏感性传染病病原体的存活、变异和孳生分布范围,气候变化可使传染病的传播特征和流行强度发生改

变,这些均会导致暴露人群及其患病风险增加^[6-7]。此外,全球变暖引起的两极冰雪融化和海平面升高,使低海拔沿海地区人群的生活和健康均面临威胁;而气候变化还可通过改变农作物产量而影响食品安全,进而造成营养不良在人群中的发生与流行^[6,8]。

相较成年人,儿童更易受到环境因素和气候变化的不利影响(表1)^[2,9-10]。研究显示,2000年全球因气候变化引起的死亡人数超过15万,造成的疾病负担达550万伤残调整寿命年,而其中88%的疾病负担是由<5岁儿童健康危害造成的^[11-12]。2012年WHO报告,2010年全球<5岁儿童死亡人数为760万,

表1 气候变化对儿童机体易感性发生机制及其风险

类别	易感性机制	增加暴露或风险
生理	更大的单位体重暴露面积 未发育成熟的功能器官 较弱的有毒有害物质分解能力 未发育完善的免疫系统 较差的环境适应、抵抗和耐受能力	环境有毒有害物质,空气污染 紫外线辐射,晒伤,皮肤癌 热休克,过敏和伤害 传染性疾病,营养不良 腹泻病,呼吸系统疾病和死亡等
代谢	较高的呼吸频率 较高的基础代谢率 单位体重较多的需水和食物量	空气污染,哮喘,咳嗽 气源性过敏,热休克 营养不良和消化道疾病等
行为	室外活动和玩耍的时间较长 好奇好动,活动范围较广 避险和自我防护意识薄弱 需人监护,独立生存技能较差	空气污染,紫外线辐射,传染病 环境有害物质致过敏,腹泻病 极端天气事件,热衰竭,晒伤 伤害(溺水),呼吸系统疾病等
精神心理	精神脆弱 心智尚未发育成熟或健全 心理耐受、适应和调节能力较差	极端天气事件,气候性自然灾害 创伤后应激综合征 灾后心理创伤和情感障碍等
时间	一生暴露,长期累积 遗传和长期效应的潜伏期较长	环境有毒有害物质致过敏 营养不良和癌症 紫外线辐射,呼吸道疾病等
发育状态	正处于生长发育阶段	营养不良,发育迟缓,体质减弱 易患疾病,生活质量降低等

其中有31.4%是由肺炎、腹泻和疟疾等气候变化敏感性疾病造成的,而超过1/3的死亡与营养不良有关^[13]。因此,开展气候变化与儿童健康关系的研究,探讨针对性预防与控制措施,具有现实意义。本文综述气候变化对儿童健康影响的研究现状,提出针对性的适应和减缓措施,并分析目前该研究领域存在的局限以及展望未来研究趋势。

1. 极端天气事件和气候性自然灾害:

(1) 高温热浪:有研究认为,随着气候变化,尤其是全球变暖,高温热浪的发生频率和强度将会增加,进而引起热相关疾病和死亡的发生与流行不断增加^[7,14]。与成年人相比,儿童具有较大的单位体重暴露面积、较弱的排汗能力及较小的心脏每搏输出量,对热适应能力更弱,因此更易受到高温热浪不利影响。2006年发生在美国加利福尼亚的热浪,导致0~4岁儿童急诊病例多达49 800人,同时因电解质失衡和热相关疾病就诊的儿童病例相较非热浪时期也有明显增加^[15]。另外,由于儿童体温调节能力较差,暴露于极端高温天气还会使儿童出汗增加、尿量减少,引起脱水,最终导致儿童患肾相关疾病的风险增加^[12,16]。虽然热浪与儿童死亡的关系目前尚没有统一的结论,但是有系统综述显示,婴幼儿因热相关疾病死亡的人数在热浪期间会明显增加^[17]。

(2) 洪水和干旱:全球变暖会引起两极冰雪融化、海平面上升和海洋表面温度升高,使水分蒸发和水循环加剧,导致沿海地区和江河流域降雨量增加、持续时间延长,最终造成这些地区洪水发生频率和强度增大^[18]。1990—2000年全球每年受自然灾害影响儿童约6 650万人,而洪水是所有气候性自然灾害中发生频率最高的;1993—2001年洪水占所有灾害的43%,几乎各地区儿童均处在暴风雨和洪水所造成的伤害和死亡风险之中^[19-20]。洪水对儿童的直接影响是导致发生儿童伤害。研究表明,在有些地区如东南亚,溺水是造成儿童伤害死亡的主要原因,尤其是5~14岁男童群体,而洪

水期间儿童溺水的发生更趋严重^[6,13,21]。洪水及伴随发生的暴风雨还可通过多种途径对儿童健康产生间接影响。首先,洪水通过破坏受灾地区供水和排污系统,造成饮用水污染,导致儿童腹泻病的发生与流行;其次,洪水蔓延使病媒节肢动物及经水、食物传播的传染病在儿童群体中的传播范围和流行强度增加;再者,洪水期间的持续降雨会增加空气湿度,宜于真菌孢子和霉菌生长繁殖,使其在空气中的浓度增加,导致咳嗽、过敏性哮喘和其他呼吸系统疾病在儿童群体中的发病率增加;另外,儿童由于常需受人监护,适应能力较弱,洪水和暴风雨所造成的丧失家园、流离失所、亲人离散以及人员伤亡等,还会损害儿童精神与心理健康,尤其是在海拔较低的岛国或沿海地区^[6,12,19-20,22]。

随着全球变暖,在一些远离海洋和河流的地区,土壤水分蒸发加剧,又得不到水循

环的及时补充,使得干旱事件经常发生且持续时间呈逐年延长的趋势。干旱可加剧受影响地区的沙漠化,在减少可耕地面积的同时也降低了农作物产量,进而威胁粮食安全,导致营养不良的发生和流行^[6-7]。研究显示,在干旱期间出生的儿童相较非干旱时期出生的儿童,其发生营养不良的可能性增加^[8]。营养不良不但造成受影响儿童体质下降和患病风险增加,还可对其心理健康造成危害^[23]。澳大利亚一项研究指出,长时间干旱可对青少年造成明显的情绪困扰^[24]。

(3) 其他灾害:气候变化还会使飓风、暴风雨和厄尔尼诺现象等极端天气和气象灾害的发生频率和强度增加,导致受灾儿童罹患腹泻、发热和急性呼吸道感染等疾病的风险增加,而且气候性自然灾害除了引起儿童伤害、发病和死亡的上升外,还会对生长发育造成负面影响^[20]。1997年厄尔尼诺袭击秘鲁,在当地引发洪水和极端高温天气,使儿童腹泻日入院率相较常年基线水平增加了200%^[25]。研究显示,2005年卡特里娜飓风袭击美国,直接受到影响的婴幼儿人数达75 000例之多;此次灾害还对儿童的心理造成了损害,灾后估计有14.9%的儿童出现了严重情感障碍^[26-27]。另外,强降雨常伴随着飓风和厄尔尼诺发生,雨量增加和气温升高将为疟疾、霍乱和登革热等气候敏感性传染病的暴发与流行创造有利条件,而个人防护意识较弱、免疫系统尚未发育完善的儿童群体受到的威胁尤为严峻^[22]。

2. 空气质量与相关疾病:

(1) 空气污染:人类社会的发展,将需求与消耗更多的矿石燃料能源,释放更多的温室气体和污染物,导致气候变暖和空气污染加重^[29]。而空气污染对儿童健康的影响将会更加严重和深远^[22,29]。在气候变化背景下,气温、湿度和风速等气候因素可通过与大气污染物相互作用,加剧污染物间的化学反应,阻碍空气污染物的扩散与稀释,使氮氧化物、细颗粒物和臭氧等的浓度增加,进而造成或加剧儿童咳

嗽、哮喘、下呼吸道感染和肺功能降低等疾病的发生,导致儿童急诊和入院治疗的概率增加^[3, 19]。据 WHO 报告,每年大约有 500 万儿童死于空气污染相关疾病^[29]。研究显示,在美国,儿童暴露于地表臭氧浓度升高的环境会使哮喘发生的可能性高达 40%,其风险是未暴露儿童的 3.3 倍^[30]。另外,地表臭氧会使人群的哮喘发病率和入院就诊次数增加,而降低地表臭氧浓度能够有效减少儿童因呼吸道疾病造成的急诊次数和缺课率^[22, 31]。气候变暖将使森林野火的发生风险和频率增加,进而影响空气质量,在儿童群体中导致呼吸系统疾病和眼部刺激症状等发病率增加^[32]。随着人口增长和城镇化建设对生态环境的破坏,植被面积减少,水土流失加剧,加上人类社会工农业生产过程中不断排放的污染物与废弃物,使沙尘暴和雾霾的发生频率增加,且波及范围扩大,引发或加剧儿童呼吸系统疾病的发生与流行^[12, 33-34]。

(2) 哮喘等过敏性疾病:气候变化会影响环境中过敏原的浓度与分布。气候变暖、二氧化碳排放量增加、提前到来的春季和延长期限的夏季等,使空气中花粉浓度增加、持续时间延长;气温升高、强降雨和环境湿度增加使空气中霉菌、真菌孢子生长繁殖加速、浓度增加;气候变化与空气污染相互作用使臭氧、细颗粒物(PM_{2.5})浓度增大等,均可引起或加剧花粉热、过敏性鼻炎、哮喘和其他呼吸系统疾病在儿童群体中的发生与流行^[19, 35-36]。其中哮喘是儿童易患的主要慢性疾病。据估计,全球哮喘的发病率在过去 15 年已增加了近 1 倍,增幅最大的人群主要是儿童,同时哮喘也是导致儿童因病缺课和住院治疗的主要原因^[30, 35]。

3. 气候变化与传染性疾病:

(1) 疟疾:疟疾是一种气候敏感型虫媒传染病。随着气候变化,气温变暖、海平面上升、强降雨和环境湿度增加等可使媒介蚊虫的孳生分布范围扩大、吸血频率增加及病原体在其体内繁殖发育的速度加快,从而导致疟疾的流行强度增加、分布范围向高海拔高纬度地区扩散^[22, 28]。相较成年人,儿童由于免疫系统尚未发育成熟,缺乏针对疟疾的特定免疫力,疟疾流行期间更易造成儿童发病率和死亡率的增加。据 WHO 报告,2008 年共发生 2 500 万疟疾病例,造成 881 000 人死亡,其中 80% 的死亡病例是来自非洲 <5 岁儿童群体,其死亡占该年龄组儿童总死亡人数的 7%,造成极大的疾病负担和寿命损失^[37]。

(2) 腹泻病:气温升高、环境湿度增加和极端天气事件频繁发生等,为细菌、病毒和真菌的生长繁殖提供了适宜条件,使饮用水和食物被污染的风险增加,最终导致腹泻的发病率和死亡率增大。儿童由于经常在室外活动,暴露于有病原体生长聚集的环境的概率较大,加上个人卫生和自我防护意识较差,更易受到经水和食物传播的腹泻病的威胁^[19]。来自孟加拉国的研究发现,气温每升高 1 ℃,可使儿童因介水传染病引起的腹泻的发病率和住院率增加 8%;而相较 52 mm 的基线水平,降雨量每增加 10 mm 将使 <10 岁儿童因腹泻入院的病例数增加 5.1%^[23, 38]。另有研究指出,随着气候变化,发生频率和强度不断增加的极端天气事件如厄尔尼诺及其伴

随的暴风雨,会使受灾地区的卫生条件更趋恶化,引起水质下降和食物污染,造成儿童腹泻的发病率和入院率增加,据 WHO 报告,每年约有 162 万 5 岁以下的儿童死于腹泻,而大多数病例是由水质下降和食物污染导致的^[28, 39]。

(3) 其他传染性疾病:莱姆病在欧美国家是一种非常普遍的媒介传染病,每年向美国 CDC 报告的感染人数多达 25 000 ~ 30 000 例,而儿童因长时间在室外活动,被莱姆病的传播媒介蜱叮咬的机会较高,尤以 5 ~ 9 岁年龄段的儿童,其年均发病率最高^[40]。加拿大一项研究显示,蜱的孳生范围与气候变化有关,随着气候变暖,蜱的生长分布范围很可能向高纬度地区蔓延^[41]。同症疾类似,登革热也是以蚊虫为传播媒介的气候变化敏感性传染病。随着气候变暖、降雨频率增加,蚊子孳生分布范围有进一步扩大趋势,而日益温暖的冬季使蚊虫的生命活动周期延长,导致城市地区受登革热影响的人群高达 70% ~ 80%,有研究预测,受登革热影响的儿童的数量将在气候变化背景下进一步增大^[2, 42-43]。手足口病对儿童健康的影响近年来受到广泛关注。研究发现,气温、相对湿度与 <5 岁儿童手足口病的发生和流行有关,但两者间的相关关系与强度在不同地区表现不同,可能与所研究地区的气候特点、地理环境及经济发展水平等因素的不同有关;鉴于两者间的紧密联系,有研究甚至建议用气候因素作为预测手足口病发生与流行的指标^[12]。另外,气候变暖和强降雨频繁使血吸虫病的中间宿主钉螺的生长繁殖速度加快和分布范围扩大,导致血吸虫病的发生和流行再次趋于严峻。气候变暖使海洋表面温度升高,与工、农业废弃物引起的水体富营养化相互作用,造成海洋浮游动植物在沿海和江河入海口大量生长繁殖,而海洋浮游动植物是霍乱弧菌的天然储存库,导致霍乱暴发和流行的风险大为增加,也均会对儿童的生命健康造成威胁^[44-45]。

近年来,新发和再现传染病受到越来越多的重视。气候变暖和极端天气发生频率增加可能造成已被控制或消灭的传染病再次暴发或流行,均给疾病预防与控制带来新的挑战。而儿童由于其特有的生理代谢、行为认知特点,作为高危人群无疑将面临更大的患病风险和死亡威胁。

4. 气候变化与营养不良及其他疾病:在全球气候变化背景下,粮食供应可能会随着陆地和海洋食物生产模式的改变及生物多样性的减少而变得紧张。具体来说,干旱和洪水等极端天气在部分地区的发生频率和强度增加,会减少或破坏大量农田,降低农作物的产量;海平面逐年上升淹没低海拔地区,会缩减可耕地面积;气候变化可能为一些病虫害和杂草的生长分布提供有利条件,影响农作物的生长和产量;而全球人口的急剧增长,对食物、淡水和能源将有着更大的需求与消耗,均使全球面临着食品短缺、饥饿和营养不良的严重威胁^[6-8, 20, 28, 46]。儿童正处于生长发育阶段,单位体重需求的食物是成年人的 3 ~ 4 倍,对饥饿更加敏感,因此营养不良更易对儿童群体的健康造成损害^[19],降低其对疾病的抵抗和耐受能力,增加感染传染病的风险。研究显示,营养不良是导致常见儿童疾病发生与流行的最常见原因之一(尤其是在

非洲地区)^[12-13]。以气温升高为主要特征的全球气候变化还可通过其他途径对儿童健康产生威胁。气温、湿度和水循环可通过影响在粮食生产与病虫害防治中大量使用的化学药物和杀虫剂的吸收、降解过程,引起农产品和水体污染,增加儿童暴露于这些有害物质的风险。研究表明,高温、干旱和水分蒸发不但会延缓重金属与持久性有机物的降解过程,还会增加其毒性,暴露于这些环境有毒物质,尤其是化学神经毒物,会对儿童的生长发育及机体功能造成严重损害^[19]。

气候变暖及极端高温天气的发生频率增加使空调、冰箱的使用愈发普遍,导致对臭氧层有较大破坏性的气体如氟氯烃的排放量增加,进而使臭氧层过滤阳光中紫外线的能力降低,增加地球表面对紫外线的暴露。长期暴露于含有过多紫外线的阳光,会使儿童晒伤、光敏性皮肤病甚至皮肤癌的发病率增加^[47]。

5. 应对措施及研究展望:应对气候变化对儿童健康影响的策略包括减缓和适应措施。减缓措施主要是通过各种途径控制或减少温室气体的排放、促进温室气体的吸收或清除,如增加能源使用效率、植树造林及森林维护、开发清洁能源和发展温室气体捕获与封存技术等^[7, 48]。适应措施是通过建立健全公共卫生体系以减少甚至消除气候变化对儿童健康的负面影响,主要包括建立和完善疾病监测与报告系统、优化天气预报与预警系统、增强应对突发公共卫生事件与自然灾害的能力及开展面向群众的健康教育宣传等^[6-7, 48]。总之,减缓和适应策略的有效实施,需要在可持续发展原则的指导下,通过从全球到地方、从政府到社会组织、从社区到个体等各个层次的联合行动与通力合作才能完成与实现,从而有效应对气候变化对儿童健康的威胁。

今后可在以下诸方面进行气候变化与儿童健康影响研究的探讨,如气温升高、降雨量及极端天气事件对儿童发病和死亡影响的量化研究,儿童对气候变化易感性测量的指标,气候变化造成的儿童疾病负担的量化研究,适应和减缓措施的成本-效益评估,发展中国家气候变化对儿童健康影响的现状及不同地区间气候变化与儿童健康关系的比较研究等^[2, 12, 19]。

利益冲突 无

参 考 文 献

- [1] Committee on Environmental Health. Global climate change and children's health[J]. *Pediatrics*, 2007, 120(5): 1149-1152. DOI: 10.1542/peds.2007-2645.
- [2] Bunyavanich S, Landrigan CP, McMichael AJ, et al. The impact of climate change on child health[J]. *Ambul Pediatr*, 2003, 3(1): 44-52. DOI: 10.1367/1539-4409(2003)003<0044:TIOCCO>2.0.CO;2.
- [3] Ebi KL, Paulson JA. Climate change and children[J]. *Pediatr Clin North Am*, 2007, 54(2): 213-226, vii. DOI: 10.1016/j.pcl.2007.01.004.
- [4] Ma WJ, Wang LJ, Lin HL, et al. The temperature-mortality relationship in China: an analysis from 66 Chinese communities[J]. *Environ Res*, 2015, 137: 72-77. DOI: 10.1016/j.envres.2014.11.016.
- [5] 李志浩, 许燕君, 林国桢, 等. 广州和珠海市气温对居民寿命损

- 失年影响的时间序列分析[J]. *中华流行病学杂志*, 2015, 36(7): 720-724. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2015.07.012.
- Li ZH, Xu YJ, Lin GZ, et al. Impact of air temperature on years of life lost among residents in Guangzhou and Zhuhai: a time-series study[J]. *Chin J Epidemiol*, 2015, 36(7): 720-724. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2015.07.012.
- [6] Whitmee S, Haines A, Beyrer C, et al. Safeguarding human health in the Anthropocene epoch: report of the rockefeller foundation-lancet commission on planetary health[J]. *Lancet*, 2015, 386(10007): 1973-2028. DOI: 10.1016/S0140-6736(15)60901-1.
- [7] Watts N, Adger WN, Agnolucci P, et al. Health and climate change: policy responses to protect public health[J]. *Lancet*, 2015, 386(10006): 1861-1914. DOI: 10.1016/S0140-6736(15)60854-6.
- [8] Vermeulen S, Zougmore R, Wollenberg E, et al. Climate change, agriculture and food security: a global partnership to link research and action for low-income agricultural producers and consumers[J]. *Curr Opin Environ Sustainab*, 2012, 4(1): 128-133. DOI: 10.1016/j.cosust.2011.12.004.
- [9] Balbus JM, Malina C. Identifying vulnerable subpopulations for climate change health effects in the United States[J]. *J Occup Environ Med*, 2009, 51(1): 33-37. DOI: 10.1097/JOM.0b013e318193e12e.
- [10] Paulson JA. The state of children's health and the environment[J]. *Arch Environ Occup Health*, 2007, 62(2): 53-57. DOI: 10.3200/AEOH.62.2.53-57.
- [11] Haines A, Kovats RS, Campbell-Lendrum D, et al. climate change and human health: impacts, vulnerability, and mitigation[J]. *Lancet*, 2006, 367(9528): 2101-2109. DOI: 10.1016/S0140-6736(06)68933-2.
- [12] Sheffield PE, Landrigan PJ. Global climate change and children's health: threats and strategies for prevention[J]. *Environ Health Perspect*, 2011, 119(3): 291-298. DOI: 10.1289/ehp.1002233.
- [13] Liu L, Johnson HL, Cousens S, et al. Global, regional, and national causes of child mortality: an updated systematic analysis for 2010 with time trends since 2000[J]. *Lancet*, 2012, 379(9832): 2151-2161. DOI: 10.1016/S0140-6736(12)60560-1.
- [14] 李萌萌, 周脉耕, 张霞, 等. 济南市4个区气温对非意外死亡及死因别死亡的影响[J]. *中华流行病学杂志*, 2014, 35(6): 684-688. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2014.06.015.
- Li MM, Zhou MG, Zhang X, et al. Impact of temperature on non-accidental deaths and cause-specific mortality in four districts of Jinan[J]. *Chin J Epidemiol*, 2014, 35(6): 684-688. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2014.06.015.
- [15] Knowlton K, Rotkin-Ellman M, King G, et al. The 2006 California Heat Wave: impacts on hospitalizations and emergency department visits[J]. *Environ Health Perspect*, 2009, 117(1): 61-67. DOI: 10.1289/ehp.11594.
- [16] Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, et al. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project[J]. *Lancet*, 2014, 383(9919): 785-795. DOI: 10.1016/S0140-6736(13)62158-3.
- [17] de Hoogh K, Korek M, Vienneau D, et al. Comparing land use regression and dispersion modelling to assess residential exposure to ambient air pollution for epidemiological studies[J]. *Environ Int*, 2014, 73: 382-392. DOI: 10.1016/j.envint.2014.08.011.
- [18] Beelen R, Stafoggia M, Raaschou-Nielsen O, et al. Long-term

- exposure to air pollution and cardiovascular mortality: an analysis of 22 European cohorts[J]. *Epidemiology*, 2014, 25(3): 368-378. DOI: 10.1097/EDE.0000000000000076.
- [19] Xu ZW, Sheffield PE, Hu WB, et al. Climate change and children's health—a call for research on what works to protect children[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2012, 9(9): 3298-3316. DOI: 10.3390/ijerph9093298.
- [20] Datar A, Liu J, Linnemayr S, et al. The impact of natural disasters on child health and investments in rural India[J]. *Soc Sci Med*, 2013, 76(1): 83-91. DOI: 10.1016/j.socscimed.2012.10.008.
- [21] Atkinson RW, Carey IM, Kent AJ, et al. Long-term exposure to outdoor air pollution and the incidence of chronic obstructive pulmonary disease in a national English cohort[J]. *Occup Environ Med*, 2015, 72(1): 42-48. DOI: 10.1136/oemed-2014-102266.
- [22] Ebi KL, Paulson JA. Climate change and child health in the United States[J]. *Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care*, 2010, 40(1): 2-18. DOI: 10.1016/j.cppeds.2009.12.001.
- [23] Seal A, Vasudevan C. Climate change and child health[J]. *Arch Dis Childhood*, 2011, 96(12): 1162-1166. DOI: 10.1136/adc.2010.186213.
- [24] Dean JG, Stain HJ. Mental health impact for adolescents living with prolonged drought[J]. *Aust J Rural Health*, 2010, 18(1): 32-37. DOI: 10.1111/j.1440-1584.2009.01107.x.
- [25] Checkley W, Epstein LD, Gilman RH, et al. Effect of El Niño and ambient temperature on hospital admissions for diarrhoeal diseases in peruvian children[J]. *Lancet*, 2000, 355(9202): 442-450. DOI: 10.1016/S0140-6736(00)82010-3.
- [26] Geer LA, Weedon J, Bell ML. Ambient air pollution and term birth weight in Texas from 1998 to 2004[J]. *J Air Waste Manag Assoc*, 2012, 62(11): 1285-1295. DOI: 10.1080/10962247.2012.707632.
- [27] Weichenthal S, Hatzopoulou M, Goldberg MS. Exposure to traffic-related air pollution during physical activity and acute changes in blood pressure, autonomic and micro-vascular function in women: a cross-over study[J]. *Part Fibre Toxicol*, 2014, 11(1): 70. DOI: 10.1186/s12989-014-0070-4.
- [28] Shea KM. Global climate change and children's health[J]. *Pediatrics*, 2007, 120(5): e1359-1367. DOI: 10.1542/peds.2007-2646.
- [29] Li S, Williams G, Jalaludin B, et al. Panel studies of air pollution on children's lung function and respiratory symptoms: a literature review[J]. *J Asthma*, 2012, 49(9): 895-910. DOI: 10.3109/02770903.2012.724129.
- [30] Kinney PL. Climate change, air quality, and human health[J]. *Am J Prev Med*, 2008, 35(5): 459-467. DOI: 10.1016/j.amepre.2008.08.025.
- [31] Wang B, Xu D, Jing Z, et al. Effect of long-term exposure to air pollution on type 2 diabetes mellitus risk: a systemic review and Meta-analysis of cohort studies[J]. *Eur J Endocrinol*, 2014, 171(5): R173-R182. DOI: 10.1530/EJE-14-0365.
- [32] Mobasher Z, Salam MT, Goodwin TM, et al. Associations between ambient air pollution and hypertensive disorders of pregnancy[J]. *Environ Res*, 2013, 123: 9-16. DOI: 10.1016/j.envres.2013.01.006.
- [33] Gao Y, Chan EY, Li LP, et al. Chronic effects of ambient air pollution on lung function among Chinese children[J]. *Arch Dis Child*, 2013, 98(2): 128-135. DOI: 10.1136/archdischild-2011-301541.
- [34] Kan HD, Chen RJ, Tong SL. Ambient air pollution, climate change, and population health in China[J]. *Environ Int*, 2012, 42: 10-19. DOI: 10.1016/j.envint.2011.03.003.
- [35] Dapul-Hidalgo G, Bielory L. Climate change and allergic diseases[J]. *Ann Allergy Asthma Immunol*, 2012, 109(3): 166-172. DOI: 10.1016/j.anai.2012.02.008.
- [36] Sheffield PE, Weinberger KR, Kinney PL. Climate change, aeroallergens and pediatric allergic disease[J]. *Mt Sinai J Med*, 2011, 78(1): 78-84. DOI: 10.1002/msj.20232.
- [37] Cho J, Choi YJ, Suh M, et al. Air pollution as a risk factor for depressive episode in patients with cardiovascular disease, diabetes mellitus, or asthma[J]. *J Affect Disord*, 2014, 157: 45-51. DOI: 10.1016/j.jad.2014.01.002.
- [38] Hashizume M, Armstrong B, Hajat S, et al. Association between climate variability and hospital visits for non-cholera diarrhoea in Bangladesh: effects and vulnerable groups[J]. *Int J Epidemiol*, 2007, 36(5): 1030-1037. DOI: 10.1093/ije/dym148.
- [39] Dong GH, Qian ZM, Trevathan E, et al. Air pollution associated hypertension and increased blood pressure may be reduced by breastfeeding in Chinese children: the Seven Northeastern Cities Chinese Children's Study[J]. *Int J Cardiol*, 2014, 176(3): 956-961. DOI: 10.1016/j.ijcard.2014.08.099.
- [40] Balti EV, Echouffo-Tcheugui JB, Yako YY, et al. Air pollution and risk of type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis[J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2014, 106(2): 161-172. DOI: 10.1016/j.diabres.2014.08.010.
- [41] Dehghani M, Anushiravani A, Hashemi H, et al. Survey on air pollution and cardiopulmonary mortality in shiraz from 2011 to 2012: an analytical-descriptive study[J]. *Int J Prev Med*, 2014, 5(6): 734-740.
- [42] Medlock JM, Leach SA. Effect of climate change on vector-borne disease risk in the UK[J]. *Lancet Infect Dis*, 2015, 15(6): 721-730. DOI: 10.1016/S1473-3099(15)70091-5.
- [43] Sang SW, Gu SH, Bi P, et al. Predicting unprecedented dengue outbreak using imported cases and climatic factors in Guangzhou, 2014[J]. *PLoS Negl Trop Dis*, 2015, 9(5): e0003808. DOI: 10.1371/journal.pntd.0003808.
- [44] Gray DJ, Mcmanus DP, Li Y, et al. Schistosomiasis elimination: lessons from the past guide the future[J]. *Lancet Infect Dis*, 2010, 10(10): 733-736. DOI: 10.1016/S1473-3099(10)70099-2.
- [45] Ryan ET. The cholera pandemic, still with us after half a century: time to rethink[J]. *PLoS Negl Trop Dis*, 2011, 5(1): e1003. DOI: 10.1371/journal.pntd.0001003.
- [46] Brown ME, Funk CC. Climate, food security under climate change[J]. *Science*, 2008, 319(5863): 580-581. DOI: 10.1126/science.1154102.
- [47] van Der Leun JC, Piacentini RD, De Grujil FR. Climate change and human skin cancer[J]. *Photochem Photobiol Sci*, 2008, 7(6): 730-733. DOI: 10.1039/b719302e.
- [48] Field C, Barros V, Dokken D, et al. 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[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

(收稿日期:2016-10-28)

(本文编辑:张林东)