

化石燃料燃烧对儿童健康的多重威胁： 空气污染和气候变化的影响

摘要：

〔背景〕 一直以来，评估和解决化石燃料对儿童健康风险的方法或者倾向于关注有毒气体排放，或者倾向于关注气候变化，这些方法分散而不完整。处于生长发育期的儿童，尤其是贫困儿童，现在承担着化石燃料燃烧所致环境污染和气候变化而引起的过重的疾病负担。

〔目的〕 针对化石燃料燃烧对儿童健康当前及预期的多重影响，本文对相关的翔实科学证据进行了综述，说明需要实施以儿童为中心的能源和气候综合政策，以期应对源于化石燃料污染所带来的全部生理和社会心理应激。

〔讨论〕 本文概述的数据显示，通过大幅减少对化石燃料的依赖，可以为儿童及其未来实现非常明显的健康和经济收益。这些收益不仅立竿见影，而且持续终生，甚至可能跨越几代人。

〔结论〕 除了进行强有力的科学和经济论证，采取紧急行动以减少化石燃料燃烧，这是保护我们最脆弱人群的当务之急和道义所在。

1 前言

如同希腊神话中的多头怪物九头蛇，化石燃料燃烧通过排放有毒颗粒物、气体和二氧化碳(CO₂)给儿童的健康和发育带来许多严重伤害。CO₂是一种伴生污染物，是气候变化的主要原因。化石燃料燃烧释放出的大量污染物都能直接或间接地产生多种累积的不良影响。发育中的胎儿和幼童，尤其是贫困儿童，最容易受到有毒空气污染物和气候变化的影响。如果我们能像阿喀琉斯那样成功地杀死九头蛇，就能给儿童带来巨大的益处，包括减少早产儿和低出生体重婴儿的数量，减少认知和行为障碍以及哮喘和其他呼吸道疾病——这些疾病一直和有毒气体污染物相关联，也可以减少热相关疾病、营养不良、传染病、身体创伤、精神疾病以及和气候变化相关的呼吸道疾病。这些收益将会立竿见影，而且也将长期起作用，因为生命初期暴露相关的损害、疾病和损伤会影响终生甚至跨代的健康状况。

在以往综述(McMichael等, 2006; Patz等, 2005; Perera, 2014; Schwartz, 2004; Sheffield和Landrigan, 2011; Xu等, 2012)的基础之上，本文针对化石燃料燃烧产生的空气污染和气候变化给儿童带来的一系列当前和预期的健康及经济影响，概括了当前有关的

科学证据。数据本身就已经为以儿童为中心的空气污染和能源综合政策提供了有力的论证。但是，如同教皇方济各在最近的教皇通谕“愿你受称颂”(Pope Francis, 2015)中指出，我们需要超越科学和经济的论证，去保护儿童和弱势群体免受有毒污染和气候变化的危害，这是受强大的道德所驱使。基于化石燃料燃烧的全球资本主义已经在国家内部和国家之间造成了非持续发展的消费和令人震惊的不平等现象。教皇传递的这一信息也在《柳叶刀》委员会最近发表的报告中得到了回应(Watts等, 2015)。儿童，尤其是贫困儿童，最容易受到有毒空气污染物的影响，也容易受到煤炭、石油和天然气燃烧产生的CO₂所导致的气候变化的影响。通过强调儿童所承受的过重的疾病负担，本文回顾的大量证据要求我们共同采取紧急行动，保护儿童健康。图1和图2显示化石燃料燃烧的多种排放物及其对儿童健康的影响，以及由经济去碳化带来的受益程度。

2 为什么关注生长发育的早期窗口期？

正在发育的胎儿和幼童从生理上和心理上都比成年人更容易受到化石燃料燃烧产生的有毒空气污染物、身体创伤、心理应激、营养不良、传染性病原体以及气候变化相关的热浪的影响。影响因素包括儿童的快速生长、易受调节障碍影响的动态发育过程、



[注] NO_x, 氮氧化物。照片来源, 左起, 照片 1: Shutterstock (<http://www.shutterstock.com/index-in.mhtml>, <http://www.shutterstock.com/license>); 照片 2: iStock (<http://www.istockphoto.com/>, <http://www.istockphoto.com/legal/license-agreement>)。

图 1 化石燃料的燃烧通过有毒污染物和气候变化影响儿童的健康和生长发育



[注] 照片来源, 顺时针方向: 照片 1: Thinkstock (<http://www.thinkstockphotos.co.uk/>, <http://www.thinkstockphotos.co.uk/legal/license-information#>); 照片 2: Shutterstock (<http://www.shutterstock.com/license>, <http://www.shutterstock.com/index-in.mhtml>); 照片 3: iStock (<http://www.istockphoto.com/>, <http://www.istockphoto.com/legal/license-agreement>)。

图 2 化石燃料燃烧的多重健康影响

解毒机制尚未成熟、免疫和体温调节系统以及对成年看护人的依赖 (Bateson 和 Schwartz, 2008; Sheffield 和 Landrigan, 2011; Xu 等, 2012)。以下事实可以证实保护早期生长发育窗口期的重要性: 人类大脑有 860 亿个神经细胞, 其中大多数都是在出生前形成的 (Crelin, 1973), 人的大脑、肺和免疫系统从婴儿期持续发育到 6 岁以后 (WHO, 2006)。除了生长发育脆弱性逐渐增加, 儿童的有毒空气污染物暴露比成年人更严重 (WHO, 2006), 与成人相比, 他们需要的食物是自身体重 3~4 倍 (Xu 等, 2012)。最近的研究显示: 胎儿期和儿童早期都是外源性化学物质和应激所致基因损伤 (Perera 等, 2004) 和表观遗传调节障碍 (Dolinoy 等, 2007) 的易感窗口期, 可能产生终身甚至跨代的影响 (Heindel, 2005)。

统计数字证实了儿童和弱势群体的脆弱性。据

世界卫生组织的估计, 全球现存疾病负担的三分之一是由环境因素导致。其中 40% 由 5 岁以下的儿童承担, 虽然他们只占世界人口的 10% (Smith 等, 1999; WHO, 2002)。同样, 气候变化导致的全球现存疾病负担中, 超过 88% 也是由发展中国家和社会经济状况较差的人口中的儿童承担 (Heindel, 2005)。

在美国及全世界, 空气污染和气候变化给低收入人口中的儿童带来的影响更多。例如, 美国的低收入社区和有色人种社区遭受来自颗粒物空气污染和火力发电厂所致空气污染的暴露比例都远超其他社区 (Bell 和 Ebisu, 2012; Earthjustice, 2011)。同样, 在发展中国家, 穷人遭受空气污染暴露的比例也特别高 (Mehta 等, 2014)。低收入人口受到气候变化的影响也最大 (Lynn 等, 2011; Stiglitz, 2007)。他们通常居住于最容易受到洪水或者干旱影响的边缘地带。营养不良、缺乏足够的社会支持、贫穷和种族主义导致的社会心理应激都会放大毒性物质暴露和气候变化造成的影响 (Wood, 2003)。贫困儿童的数目惊人: 在全球 70 亿人口中, 有 19 亿是小于 15 岁的儿童; 其中有 10 亿儿童生活在贫困中 (UNICEF, 2015a)。即使在世界上最繁荣的国家——美国, 儿童贫困率也达 22% (Annie E. Casey Foundation, 2015)。在全球化石燃料消耗和气候变化的预测轨迹图中, 国家内和国家之间在儿童健康方面现存的社会和经济不平等的显著差异将会持续增长 (Costello 等, 2009)。

3 空气毒性物质对健康和生长发育的影响

发电、供热、交通和工业使用的化石燃料燃烧 (煤炭、柴油燃料、汽油、石油和天然气) 是空气污染的主要来源 (U.S. EPA, 2016)。2011 年, 化石燃料占了全球初级能源总供应的 82% (World Energy Council, 2013)。在美国, 石油、天然气和煤炭占了全国当前使用燃料的 81% (U.S. Energy Information Administration, 2014)。在关于减缓气候变化的文章中, 空气污染导致的疾病负担和损害经常被视为次要作用和协同效应, 但是这些负担和损害不仅产生了巨大的影响, 而且影响还在增加。据世界卫生组织报道, 空气污染是目前头号环境健康风险。2012 年, 约 370 万死亡归因于大气污染, 430 万死亡归因于室内使用固体燃料烹饪和供暖 (木柴、煤炭、碳、庄稼废料和粪便) 所产生的室内空气污染 (WHO, 2016)。由此导致的疾病与损伤的累积伤亡人数甚至可能更多。儿童是最容易受到空气

污染影响的人群之一,在未来20年,他们也将是化石燃料减排政策的主要受益人(Cifuentes等,2001)。

化石燃料燃烧的排放物包括直接排放出的细颗粒物(PM)、炭黑、多环芳香烃(PAHs)、汞、二氧化氮(NO₂)、二氧化硫(SO₂)、一氧化碳(CO)。所有这些物质都与多种健康影响有关联。硫酸盐和硝酸盐从各种气体中次生形成,直接增加排放的细颗粒物。臭氧(O₃)由太阳光与臭氧的前体——挥发性有机化合物(VOCs)、CO、NO₂发生光化学反应而形成,温度升高会加剧该反应。研究最充分的污染物包括PM_{2.5}(空气动力学直径小于等于2.5 μm且能进入呼吸道较深部位的颗粒物)、PAHs(一类有害空气污染物,包括人类已知的致癌物和神经毒物)和O₃(对呼吸道有强烈的刺激作用)。化石燃料燃烧和蒸发排放出的物质还包括金属(如汞)和VOCs(如苯)(由于篇幅限制,本文在此省略)。大多数PM_{2.5}、PAHs和O₃及其前体都被排放进入室外空气;然而,细小的颗粒物和气体能够从室外渗透进入室内环境。室内空气污染的来源包括家庭烹饪和取暖用的炉灶和火炉。

交通污染来源的PM_{2.5}、PAHs和O₃的生命早期暴露与胎儿和儿童发育的多重健康影响有关联,且可能给儿童的健康带来长期影响。

3.1 不良出生结局

空气污染物暴露与低出生体重、小于胎龄儿(SGA)和早产有关联(Choi等,2006;Ritz和Wilhelm,2008b)。暴露于颗粒物污染的黑人妇女对所有患病结局都有最大相对危险度,特别是极低婴儿出生体重(Salih等,2012)。早产和低出生体重是已知的一系列儿童神经发育障碍的危险因素(Morse等,2009)。虽然来自空气污染的风险增加幅度不大(早产和低出生体重的风险增加10%~30%,儿童死亡的风险增加5%~20%)(Ritz和Wilhelm,2008a),但是暴露的人口数目非常巨大(美国有6200万育龄妇女,全球有15.5亿育龄妇女)。在为数不多的追踪减少空气污染带来的健康益处的“自然实验”中,当犹他谷钢厂关闭期间(1986年8月至1987年9月),颗粒物空气污染水平大大降低(PM₁₀, PM ≤ 10 μm)(Pope,1996)。与钢厂关闭前及关闭后怀孕的妇女相比,在钢厂关闭期间怀孕的妇女早产的概率更低(Parker等,2013)。对已知或者可能的机制已有探讨(Proietti等,2013)。

3.2 对呼吸道的影响

许多研究中,儿童期空气污染物(包括PM_{2.5}、O₃

和NO₂)暴露与肺功能减退有明确联系。例如,一项纳入近2000名儿童的前瞻性研究发现,空气污染(包括NO₂和PM_{2.5})暴露水平更高的儿童,18岁时他们的肺功能增长明显较低。而此时,人的肺已接近成熟,肺功能损害不太可能逆转。这项研究中,搬到颗粒物水平较低的新社区居住的儿童的肺功能有所增长;而搬到颗粒物水平较高社区居住的儿童肺功能增长降低(Avol等,2001)。

有很多文献表明,暴露于大气污染或交通导致的空气污染(O₃、颗粒物、SO₂和/或NO₂)会加重儿童哮喘(Tzivian,2011),增加哮喘儿童的气管氧化应激以及气管炎症(Gasana等,2012;Kim等,2004;Li等,2012)。一些研究提示,婴儿产前和新生时期空气污染暴露也会影响哮喘的发展(Jung等,2012;Kim和American Academy of Pediatrics Committee on Environmental Health,2004)。婴儿出生前后PAHs暴露与哮喘儿童的肺功能减退及哮喘加重有关联,很可能还与哮喘发病有关(Karimi等,2015)。O₃长期暴露与学龄儿童的肺功能增长损害有关联(Rojas-Martinez等,2007),也与气喘、过敏性鼻炎、对室外过敏原的新发敏感率有关联(Kim等,2011)。

在犹他谷钢厂关闭期间,当地呼吸道疾病(气管炎和哮喘)、相关住院情况、死亡率和学校缺勤方面有所改善,与此同时PM负荷减少(Pope,1989),这为因果关系提供了证明。与此类似,南加州由于实行了为期13年的空气质量控制政策,NO₂和PM_{2.5}的水平降低,这与同期儿童肺功能发育的持续改善也有关联(Gauderman等,2015)。2008年北京奥运会期间,中央政府暂时限制北京的空气污染排放,PM_{2.5}及炭黑的平均浓度分别下降27%和25%,差异具有统计学意义(Rich等,2012;Wang等,2009),并且儿童的急性呼吸道炎症也减少(Lin等,2011)。之前已有研究对空气污染物影响儿童呼吸系统的作用机制进行综述(Auten和Foster,2011;Huang等,2015;Klingbeil等,2014)。

3.3 对神经发育的影响

与出生结局和呼吸道疾病相比,空气污染暴露对神经发育影响的数据比较有限。然而,空气污染物与一系列儿童神经发育疾病有关。例如,在美国纽约市和波兰克拉科夫市开展的一项队列研究显示,PAHs的产前暴露与发育延缓、智力减退、焦虑症状、抑郁症和注意力不集中有关联(Perera等,2012);也与注意力缺陷多动障碍、大脑白质减少有关联(Peterson

等, 2015)。研究观察到产前PAHs暴露与物质匮乏对IQ的影响有交互作用(Vishnevetsky等, 2015), 以及产前PAHs暴露与母亲道德堕落之间的交互作用对儿童行为问题的影响(Perera等, 2013)。在中国铜梁开展的一项研究显示, 与出生于燃煤发电厂(位于当地中心区域)关闭之前的队列相比, 出生于燃煤发电厂关闭之后的队列的脐带血中PAH-DNA加合物的水平明显较低, 而脑源性神经营养因子(BDNF)(对大脑早期发育非常重要的一种蛋白质)的水平明显较高(Perera等, 2008)。有一项小型研究将墨西哥城的学龄儿童与墨西哥一个欠发达地区的学龄儿童进行比较, 研究发现高水平暴露儿童的认知缺陷与大脑体积差异相一致(Calderón-Garcidueñas等, 2011)。其他研究认为居住在公路附近或者交通产生的颗粒与认知功能降低相关(Harris等, 2015; Suglia等, 2008)。最近有新证据显示, 产前暴露于交通产生的空气污染物(Becerra等, 2013; Volk等, 2013)和PM_{2.5}(Raz等, 2015)暴露可能是自闭症谱系障碍(ASD)的危险因素。空气污染物神经毒性的可能作用机制可参考其他文章(Guxens和Sunyer, 2012; Perera和Herbstman, 2011)。

此外, 与空气污染暴露相关联的呼吸道疾病也会增加学生缺勤, 导致学生成绩等第和考试分数下降。

最后, 虽然关于儿童癌症与空气污染暴露关系的证据还尚无结论, 但已知柴油机尾气颗粒和PAHs均可致癌(ATSDR, 1995)。根据最近一项综述, 出生后而非产前暴露于住宅区交通导致的污染与儿童白血病有关联(Boothe等, 2014)。产前PAHs暴露与纽约市新生儿脐带血中染色体畸变有关(Bocskay等, 2005), 而染色体畸变已验证是成人癌症风险上升的生物标志。

4 气候变化对健康的影响

在美国及全球范围内, 为了获取能源、发电、取暖和交通而进行的人类活动中, 化石燃料(煤炭、天然气、汽油和柴油)燃烧是导致气候改变的温室气体(greenhouse gas, GHG)的最大来源。燃烧的副产品CO₂是最重要的GHG。在美国, 煤炭和天然气是造成碳污染的最大来源(占国内碳总排放的三分之一)。天然气、石油和煤炭生产所排放出的甲烷排在第二位。森林砍伐、农业和垃圾填埋也产生CO₂和甲烷。一氧化氮和氟化气体只占温室气体中很小的一部分(U.S. EPA, 2016)。现在CO₂、甲烷和一氧化氮的大气浓度已达到

过去80万里史无前例的水平(IPCC, 2014b)。

气候变化的直接影响包括由于热应激、洪水、干旱和暴风雨频率增加而带来的疾病、伤害和死亡的增加。间接影响包括营养不良和营养不足、传染性致病菌的传播、食品不安全、由于空气污染和气源性致敏原加重导致的疾病, 以及由于人们流离失所和社会政治不稳定所导致的精神疾病问题(Perera, 2014; Xu等, 2012)。此外, 因为海平面上升以及冲突带来的人口迁移也会造成无数的后续影响, 诸如社会网络破坏所导致的性传播感染疾病增加(McMichael等, 2012)。空气污染使气候变化的直接和间接影响加剧。

虽然对由于人类引起的气候变化所导致的儿童发病率和死亡率几乎没有定量的估算, 但是, 科学界已有广泛的共识: 气候变化的直接和间接影响已给儿童的健康造成明显的损害, 且这些负面影响将急剧增加, 除非采取强有力的行动。承担气候敏感疾病负担最多的儿童, 其生活区域不仅应对风险的能力最弱, 而且对全球温室气体排放贡献最少(UNICEF, 2015b)。

4.1 营养不良和传染病

营养不良和传染病在归因于气候变化的儿童发病率和死亡率负担中占比最大。据世界卫生组织估计, 气候变化从20世纪70年代中期开始发生, 主要通过增加发展中国家儿童的疾病如腹泻、营养不良和疟疾, 2000年在全球范围内造成500万伤残调整生命年(DALYs)(Patz等, 2005)。在未来几年, 受影响的儿童人数可能增加至每年1.75亿(Save the Children UK, 2007)。在埃塞俄比亚和哥伦比亚的某些高地地区, 由于温度上升, 疟疾的发病率增加(Siraj等, 2014)。由于温度上升, 食源性传染病如沙门氏菌的发病在欧洲大陆变得更为普遍(Patz等, 2005)。儿童的免疫系统尚未成熟, 他们更容易感染来自暴风雨和洪水中作物及水污染所带来的传染病病原体(如霍乱和其他腹泻疾病)。在早期发育过程中, 儿童也更容易感染病媒性疾病(如疟疾和登革热), 由于气候变化, 这些疾病在某些地区可能增加(Patz等, 2005)。寨卡病毒是这份传染病名单中最新添加的一员。营养不良使儿童罹患这些传染病的风险更大。

4.2 身体创伤和心理健康影响

虽然没有任何单一的极端天气事件, 如洪水、干旱、森林大火或飓风和龙卷风, 能完全被归因于天气变化, 但是全球持续变暖会导致这些事件发生的频率

增加、强度加大已经成为共识(IPCC, 2012; U.S. Global Change Research Program, 2014)。1990—2000年, 每年与天气相关的灾难在全球范围内直接影响到约6650万儿童, 其中有60万儿童死亡(Pronczuk和Surdu, 2008)。溺水是发展中国家儿童死亡的主要原因之一。由于全球气候变暖, 海平面的上升已使海岸暴风雨越来越危及沿海建筑物和居民。根据最近的一项研究, 1993—2011年海平面的上升比率已经超过联合国政府间气候变化委员会(IPCC)2007年最大预测值的60%(Rahmstorf等, 2012)。著名的极端天气事件包括2011年席卷东南亚的特大洪水(UNICEF, 2011)和2005年的卡特琳娜飓风; 在这次飓风中, 100万新奥尔良居民被迫离开家园, 37.2万儿童无学可上(Save the Children UK, 2007; UNICEF, 2011)。

气候变化带来的心理和情绪影响包括极端天气事件和环境改变导致的急性或者创伤性影响; 因直接体验或担忧未来风险而给情绪健康带来的威胁; 热浪、干旱、迁徙和气候相关的冲突所带来的慢性社会和社群影响; 以及灾后适应调整的压力(Doherty和Clayton, 2011; Patz等, 2014)。例如, 研究发现, 受卡特琳娜飓风影响的儿童的焦虑和抑郁率更高(Save the Children UK, 2007)。气候变化对心理健康影响较大, 但是对儿童这个脆弱人群的具体影响尚未阐明(Patz等, 2014)。

4.3 热相关疾病

人们已充分认识到, 气候变化的直接影响之一就是致命热浪的发生频率会不断增加; 例如, 2003年的热浪就导致欧洲发生22000~40000例死亡(Patz等, 2005)。据预测, 热浪将在伊利诺伊州的芝加哥、法国巴黎等城市变得更为频繁和严重, 在美国西部和南部以及地中海区域也会大幅增加。纽约市以及威斯康星州的密尔沃基32℃(90°F)以上的高温天数将是现在的三倍(Patz等, 2014)。热浪对儿童的直接影响包括高烧、热应激、肾病和呼吸道疾病(Knowlton等, 2009)。在2006年加州发生一次致命热浪中, 0~4岁儿童和老年人的风险最高, 有2500名儿童被收入急诊室治疗(Knowlton等, 2009)。在降水减少的地区, 温度升高也会导致持久性有机污染物和农药挥发, 发育阶段的儿童神经系统尤其容易受到这些污染物和农药的影响(Sheffield和Landrigan, 2011)。

4.4 空气污染加重和过敏原增加导致更多疾病

气候变化的间接影响之一是某些有毒空气污染

物水平上升。化石燃料燃烧产生的有毒气体排放物和气候变化之间存在惊人的协同作用: 由于气候变化导致的气温上升会加快O₃前体(VOCs、CO和NO₂)形成臭氧。例如, 2003年夏天欧洲热浪期间, O₃水平明显增高(Schär等, 2004)。据预测, 在美国和欧洲的大部分地区, 尤其是夏天, O₃水平将会上升(Watts等, 2015)。美国东部地区O₃的日平均水平可能大幅上升, 与20世纪90年代的水平相比, 21世纪50年代由于气候变化导致的夏季O₃相关死亡人数大约增加4.5%(Knowlton等, 2004)。由于暴露的成年人和儿童多达数百万, 这一看似微小的相对风险度可以转化为巨大的归因风险。据推测, 到21世纪20年代, 在纽约市大都市地区, 0~17岁儿童夏季O₃相关的哮喘急症就诊量将平均增加7.3%(Sheffield等, 2011)。如上所述, 除了发病率上升和哮喘加重之外, O₃也与肺生长和肺功能减退以及其他儿童呼吸道疾病有关联。

气温升高和CO₂浓度增加也会促使气源性致敏原增加(花粉如豚草、真菌), 导致更多儿童过敏疾病和哮喘(Shea等, 2008)。如前文所述, 气源性致敏原和O₃相互作用, 会增加致敏作用和过敏性哮喘。因为污染物很容易渗进室内环境, 致敏作用和过敏性哮喘的增加既会影响大气质量, 也会影响室内空气质量。

由气候变化导致的温度、降水频率和空气停滞的变化, PM_{2.5}等空气污染物浓度可能上升(Watts等, 2015)。此外, 气候变化导致温度上升、土壤湿度降低, 引起更多森林大火的发生, 释放出大量的颗粒物、PAHs和黑炭。由于这些污染物粒径很小, 它们能被传播到距离污染源数百英里远的地方, 可能导致大量儿童遭受暴露。正如研究显示, 这些污染物与多种健康不良影响相关联, 最直接的是导致儿童出现呼吸系统症状、哮喘加重和慢性支气管炎(Xu等, 2012)。

最后, 空气污染和气候变化都会导致社会和政治不稳定。儿童的身心健康均会受到强迫迁移和人口流离失所的影响, 使低收入和发展中国家的贫困和社会动乱形成恶性循环。这些国家已经承受了全球绝大部分的贫困和儿童疾病负担; 18岁以下的儿童占这些国家人口比例的50%(Sheffield和Landrigan, 2011)。

5 空气有毒污染物和气候变化的产前及儿童期暴露带来的长期健康影响

空气有毒污染物和气候变化会影响整个生命进

程的健康和机能,影响轨迹是通过与生命早期最初的身体或者发育损害,和/或者“种下”潜伏性疾病,这些疾病只有在生命后期显现。例如,与环境暴露相关联的胎儿宫内生长发育迟缓会增加婴幼儿期罹患神经发育疾病、呼吸道疾病和其他健康问题的风险,以及成年期罹患心脏病、慢性阻塞性肺疾病和糖尿病的风险(Ritz和Wilhelm, 2008a)。对某些环境因子的产前暴露也与成年期癌症相关(Heindel, 2005)。儿童ADHD(注意力缺陷/多动障碍)等发育问题已经被证明与生命早期空气污染暴露相关(Newman等, 2013; Perera等, 2014a)。这些问题可以持续到成年期,给病人的职业生涯和个人生活带来不利影响,同时增加个人和家庭的医疗费用(Harpin, 2005)。有大量实证表明,生命早期的污染暴露不仅影响健康,而且影响教育程度和考试成绩(Currie等, 2014)。反之,儿童智商降低会在成年期带来严重的经济后果:研究预测,与产前PAHs暴露相关的儿童5岁时智商降低可能明显减少他们一生的经济收入(Perera等, 2014b)。气候变化的影响也可以持续一生。例如,在出生后1000d内由营养不良引起的儿童身体和大脑发育受阻,将导致身体机能终生受损和学习能力持续降低(Lake, 2012)。早期的不幸和毒性应激与后期的学习、行为、身心健康受损有关(Sandman等, 2012; Shonkoff等, 2012)。研究结果显示:高水平的皮质醇(也称之为“应激蛋白”)孕期暴露会导致儿童神经发育指标得分明显较低(Sandman等, 2012)。

有越来越多的证据表明,生命早期空气污染物暴露、营养不良、应激等都有可能通过表观遗传改变的传递产生跨代影响(Champagne, 2010; Heindel, 2005)。在人类中,已经有研究显示化石燃料燃烧产生的PAHs空气污染物会改变新生儿的表观遗传标志,具有影响疾病传播途径中基因调节的潜在可能,这可能会被下一代继承(Perera和Herbstman, 2011)。

6 应对措施的经济效益

目前缺乏针对化石燃料燃烧致儿童健康多重影响的经济成本的整体评估,因此,也缺乏对应对措施全部经济效益的整体评估。首先,经济成本的估计值大多局限于一些筛选出来的健康结局,而且主要是成年人的健康结局,而非儿童,尤其是作为脆弱人群的贫困儿童的多重健康影响。其次,没有标准化的预测方法是一个根本的问题。例如,这些研究使用了一

系列的经济指标,如预防DALY的成本、获得质量调整生命年(QALY)的成本、预防发病的成本、预防死亡的成本、净成本或净现值、投入资金的单位经济成本(Hutton和Menne, 2014)。而且,各研究使用不同的健康结局、挽救的生命价值估计值和经济方法,这使得对不同研究的结果进行比较非常困难(Hutton和Menne, 2014)。例如,美国每挽救一个生命的价值与医疗成本明显高于大多数国家,这就不适用于低收入国家。这些差异导致研究发表的大气有毒污染物或气候变化的估计值林林总总。尽管存在这些局限,但现有的数据依然显示各国协作减少化石燃料燃烧带来的污染具有巨大的经济效益。

以美国为例:2010年,美国归因于大气颗粒物污染的早产儿的经济损失估值为43.3亿美元(Trasande等, 2016)。2011年,美国因空气污染导致的经济损失估值至少为1310亿美元,大多数经济损失都是由健康影响所致(Jaramillo和Muller, 2016)。据美国环保局估算,通过实施《美国清洁空气修正案》(U.S. Clean Air Amendments)来限制PM和其他标准空气污染物,由此避免的过早死亡经济损失和医疗成本(收益)在2020年将达到2万亿美元——收益远大于实施修正案的直接成本(650亿美元)(U.S. EPA, 2011)。

2010年,归因于美国现存煤炭厂所致空气污染健康影响的经济损失每年超过1000亿美元(CATF, 2010)。据纽约市的研究预测,如果纽约市大气中PAHs浓度适度降低0.25 ng/m³,那么低收入母亲的新生儿队列IQ的增益,则可使他们的终生收入每年增加2.15亿美元(最佳估值)(Perera等, 2014b)。其他研究更广泛地估算了环境有毒物质暴露引起的儿童疾病比例。在加州,大约30%的儿童哮喘疾病负担和15%的儿童癌症疾病负担都归因于环境。在加州与环境相关的四大儿童健康问题的经济损失每年达到2.54亿美元,而每年新出生儿童的终生经济损失则达100~130亿美元(California Environmental Health Tracking Program, Public Health Institute, 2015)。对财政影响最大的是哮喘,每年给家庭和政府带来超过2.08亿美元的经济损失(California Environmental Health Tracking Program, Public Health Institute, 2015)。

其他国家的经济损失同样巨大。2010年,世界卫生组织欧洲区域因空气污染引起的疾病导致60万例过早死亡和疾病,给欧洲经济造成了1.6万亿美元的经济损失(WHO Regional Office for Europe and OECD,

2015)。最近《柳叶刀》载文,在经济合作发展组织(OECD)国家以及印度和中国,大气污染所致的经济损失(以死亡和疾病计算)将达到每年3.5万亿美元(Watts等,2015)。据欧洲清洁空气计划(CAFE)估算,实现欧洲空气质量目标的效益成本比率为6~19(Hutton和Menne,2014)。

美国气候变化的健康成本估值也非常可观。最近一项研究报道,2000—2009年美国经历了6次气候变化相关事件,与其关联的保健成本为140亿美元以上(95%是因为过早死亡),医疗费用成本为7.4亿美元(Knowlton等,2011)。美国通过各种CO₂减排政策来改善空气质量,特别是降低O₃和PM_{2.5}浓度,由此带来的健康收益估值也非常大(1400~2900亿美元),几乎是美国以及国际低碳政策实施成本的10倍(Thompson等,2014)。

据世界卫生组织估算,全球范围内气候变化仅在2000年就导致了15万人死亡,造成了550万DALYs损失(McMichael和Butler,2004)。到2030年,由气候变化导致的死亡和疾病,如腹泻、营养不良、疟疾和热应激,每年将带来20~40亿美元的损失(WHO,2015)。归因于气候变化所致空气污染的急性和慢性死亡,在2050年将给27个欧盟国家带来约1250亿欧元(1410亿美元)的损失(Hutton和Menne,2014)。

相对应的是,采取行动带来收益也会非常巨大。欧盟为减缓气候变化实施减少空气污染的政策,仅降低死亡率这一项,到2050年就能给欧盟带来价值每年380亿欧元(420亿美元)的收益,向低碳经济的转变也能减少控制非CO₂空气污染物的成本,达500亿欧元(560亿美元)(Watts等,2015)。到2030年,如果全球能源消耗中可再生能源的比例增加36%,就可以减少多达2300亿美元的外部健康成本(Watts等,2015)。据中国上海的一项研究估算,与基线相比,到2020年,实施不同的低碳能源政策能带来价值26~62

亿美元(中值)的健康收益(Chen等,2007)。中国太原实施减少煤炭燃烧排放政策与大气空气污染水平降低有关联,DALYs减少了57%,这些政策带来的经济收益是巨大的(Tang等,2014)。本篇综述强调:减少对化石燃料的依赖能够给儿童的现在及未来带来健康收益,我们对此应该做综合的经济分析。

7 结论

因化石燃料燃烧导致的污染和气候变化对儿童造成巨大的健康和经济负担,对此我们需要进行系统的计算,这样才能促使全球采取统一的减排行动。这种计算必须解决日益增长的地区差异和社会经济差异,且要应对我们的后代将面临的逐渐升级的威胁。人们一致认为,如果现在不采取有力的行动,那么我们的孩子以及他们的后代所继承的世界是不可持续的,这个世界缺少必需的生态资源和服务来支撑他们(Yohe等,2007)。本文概述的数据号召大家采取协调一致的清洁空气和气候变化政策(Thurston,2013),以此应对年轻人易受化石燃料污染所致身体和社会心理压力的影响。保护当代及未来儿童的健康福祉,这既在政治上具有举足轻重的意义,也是所有文化和社群的共识(Schene,1998;United Nations World Commission on Environment and Development,1987),而且为采取行动提供了强大的动力。

翻译:宋彦;审校:金泰虞

参考文献(略)

本文原文刊登于EHP杂志,需要者务必引用英文原文,详见Perera FP. Multiple threats to child health from fossil fuel combustion: impacts of air pollution and climate change. Environ Health Perspect, 2017, 125: 141-148.

本文原文及参考文献请浏览<http://dx.doi.org/10.1289/EHP299>

(编辑:汪源;校对:陈姣)