

健康的地球，健康的人类： 气候变化与健康

概要

气候变化会给人们的健康带来直接和间接的影响。这些影响的程度将随着时间的推移而增加，其严重程度将取决于为缓解和适应气候变化而采取的行动。

气候变化的驱动因素，例如化石燃料燃烧，也会对人类健康产生负面影响，例如因为空气污染物与温室气体共同排放。因此，针对性强的行动可以同时有益于人类健康，还可以加快到 2050 年实现温室气体 (GHG) 净零排放目标和《巴黎气候协定》目标的进程。用清洁的可再生能源替代化石燃料具有健康益处，例如减少空气污染，而增加主要

以植物为基础的健康饮食消费可以减少全球粮食系统的温室气体排放。

面对气候变化，还需要有效的适应和抵御能力策略来尽可能保护健康。其中包括开发能够更好地应对极端事件和疾病爆发的卫生系统。

除了气候适应和缓解行动的短期健康益处外，通过降低气候变化的风险，将在几十年内累积净零过渡的效益。

思路

- 为缓解和适应气候变化而采取的行动将通过多种途径在短期和长期内有益于健康。
- 促进更广泛地采用更加可持续和负担得起的饮食选择并减少粮食浪费可以改善人类健康并保护自然环境。
- 通过使用可再生能源、零排放车辆和旨在促进更有效使用能源的精心设计的干预措施来减少温室气体排放的具体行动，也将支持因减少空气污染物而带来的健康协同效益。步行和骑行也能从增加体育活动中获得健康益处。
- 支持缓解和适应气候变化的“基于自然的解决方案”也可以对身心健康产生多种益处。
- 对气候缓解和适应策略的健康益处和权衡进行跨学科研究可以确定拯救生命、减少不平等和温室气体排放的机会，同时支持发展愿望。
- 适应策略包括监测和预警系统，以保护社区免受极端天气和传染病的侵害。
- 医疗保健系统可以在适应和缓解行动中发挥重要作用。

1. 健康和气候变化

“在整个 21 世纪，预计气候变化将导致许多区域的健康状况恶化，与没有气候变化的基线相比，收入较低的发展中国家尤其如此。”¹

2018 年，IPCC 全球升温 1.5°C 特别报告。

1.1 气候变化对健康的影响

气候变化对健康的影响分为三大类：

- i. 直接影响，例如高温和极端事件
- ii. 通过生态系统产生的间接影响，例如营养不良和媒介传播疾病传播的变化。
- iii. 通过社会经济系统产生的间接影响，例如贫困和移民增加²。

世界卫生组织 (WHO) 估计，在 2030 年至 2050 年期间，气候变化预计每年将导致约 250,000 人死于以下四种健康影响类别：营养不良、疟疾、腹泻和热应激³。然而，从气候相关灾害造成的身体伤害到心理健康结果，这可能严重低估了气候变化对健康的其他影响。

i. 直接影响

其中包括因极端天气事件（如干旱、洪水、火灾和强风暴）导致的高温暴露和伤害、死亡和疾病增加。检测和归因气候变化相关因素的技术越来越多地应用于健康结果。例如，最近使用 43 个国家/地区 732 个地点的经验数据进行的研究估计，超过三分之一的与高温有关的死亡归因于人为气候变化⁴。每个大陆的死亡率都明显增加，老年人尤其面临风险⁵。与 2000 年相比，气温升高导致 2019 年全球潜在在工作时间额外损失 1000 亿小时或更多，其中印度的农业部门受影响最严重，柬埔寨的人均损失最大⁶。

一项系统审查表明，早产和死产的风险通常随温度升高而增加，尤其是在热浪中，而这对低收入人群的影响更大⁷。

又如，由于气温和风速升高、降雨异常等气候变化相关因素，一些地区的野火发生率和严重程度有所增加。健康影响包括烧伤、暴露于空气污染的后果以及对心理健康的长期影响。野火烟雾含有一系列污染物，包括颗粒物 (PM)；一氧化碳；氮氧化物 (NO_x)；和挥发性有机化合物 (VOC)⁸。它可能比城市颗粒物更有害，例如对哮喘急性发作的影响更大。较高的平均温度也减少了故意燃烧的机会，人为燃烧必须在较低温度下进行，以降低发生野火的风险。

ii. 通过生态系统介导的间接影响

这些包括媒介传播疾病，例如由蚊子传播的疟疾和登革热。

由于温度和降雨量的变化，气候对媒介传播疾病的适宜性增加，例如，在 1950 年至 2018 年间，埃及伊蚊和白纹伊蚊传播登革热的全球气候适宜性分别提高了约 9-15%⁵。

其他间接影响包括气候导致的农业生产率下降和作物营养质量下降。例如，在最佳降雨条件下，高于 30°C 的温度每升高一度，非洲玉米的产量就会下降 1%，而在干旱条件下，下降幅度则更大 (1.7%)⁹。儿童发育迟缓，特别是撒哈拉以南的非洲和南亚的严重发育迟缓可能会增加¹⁰，并伴有对认知功能和生活前景产生长期影响。气候变化，加之淡水减少和其他环境变化，将减少蔬菜、豆类、水果、坚果和种子的产量^{11,12}。

图 1

气候变化对健康的影响²。

二氧化碳和短期气候污染物的水平增加



升温



海平面上升



极端天气事件增加



影响风险量级和模式的人口统计学、社会经济、环境和其他因素

地理

生态系统变化

基线空气和水质量

农业和畜牧业实践及政策

警告系统

社会经济状况

营养健康状况

获得有效健康护理

暴露途径

极端天气事件

热应激

空气质量

水质和水量

食品供应和安全

病媒分布与生态

社会经济因素



- 受伤
- 死亡
- 心理健康效应



- 热相关疾病和死亡



- 哮喘和其他呼吸系统疾病的恶化
- 呼吸道过敏
- 心血管疾病

健康结果示例



- 弯曲菌感染
- 霍乱
- 隐孢子虫病
- 有害赤潮
- 钩端螺旋体病



- 营养不良
- 沙门氏菌食物中毒和其他食源性疾病
- 霉菌毒素效应



- 基孔肯雅病
- 登革热
- 脑炎（各种形式）
- 汉坦病毒感染
- 莱姆病
- 疟疾
- 里夫特裂谷热
- 西尼罗河病毒感染
- 寨卡病毒感染症



- 贫困加剧、暴力冲突和被迫移民对身心健康的影响（复杂和特定于环境的风险）

世界卫生组织估计，环境（室外）空气污染每年造成约 420 万人死亡。

iii. 通过社会经济系统介导的间接影响

其中包括贫困加剧、人口流离失所和冲突造成的后果。世界银行估计，如果不采取有效行动，到 2030 年将有 0.3 至 1.3 亿人因气候变化而陷入极端贫困¹³。这些影响在撒哈拉以南的非洲和南亚尤为明显。

移民是一种复杂的现象，具有多种驱动因素。洪水和干旱等突发性灾害或海平面上升、农业产量下降或极端高温导致无法在户外劳动等缓慢发生的灾害均可能导致人口流离失所。移民对健康的影响可能会有所不同，这取决于迁移是一项计划中的适应性战略，还是由于被迫而流离失所，前者可以改善健康前景，而后者，负面健康影响可能占主导地位¹⁴。一项对欧盟庇护申请的研究发现，当来源国生长季节的平均温度偏离农业最佳温度 20°C 左右时，申请会增加。研究预计，由于气候变化，本世纪的庇护申请将增加 28% 至 188%¹⁵。

已有记录表明暴露于洪水、干旱和野火会对心理健康造成长期影响，同时有证据表明儿童和青少年尤为脆弱^{16, 17, 18, 19}。

1.2 气候变化驱动因素对健康的影响

人类健康也受到许多推动气候变化的活动的影响，特别是在世界能源和粮食系统中。

能源使用和空气污染

世界卫生组织估计，环境（室外）空气污染每年造成约 420 万人死亡^{20, 21, 22}。燃烧化石燃料，包括发电厂、车辆和供暖系统，是环境空气污染的主要人类相关来源。一项估计表明，化石燃料燃烧每年造成约 360 万人过早死亡，最近的研究表明估计值要高得多，但不确定性范围很广^{21, 23}。除了产生温室气体外，煤炭、石油和天然气还会排放影响空气质量的污染物，包括不同数量的颗粒物（特别是 PM_{2.5}，包括黑碳）和氮氧化物 (NO_x)、挥发性有机化合物 (VOC)、一氧化碳和二氧化硫 (SO₂)。最近的一项估计表明，全球每年约有 350 万儿童和青少年哮喘发作病例（约占总年龄特定发病率的 14%）可归因于二氧化氮暴露。陆路交通是全球二氧化氮排放的主要来源（约占 44%）²⁴。甲烷、氮氧化物和挥发性有机化合物在阳光下发生反应，产生臭氧，臭氧也是一种温室气体，并通过对呼吸系统的影响导致过早死亡风险的增加。一项估计表明，每年有超过一百万的过早死亡可归因于对流层臭氧暴露²⁵。

家庭空气污染主要由木材、农作物废料、粪便或煤炭等固体燃料的燃烧产生，估计每年导致约 150-300 万人过早死亡，主要集中在低收入和中等收入国家，其中一半以上是 5 岁以下儿童²⁶。然而，自 2010 年以来，依靠固体燃料进行烹饪的全球人口比例总体下降了 11%，家庭空气污染导致的死亡人数下降了约 15-30%^{27, 28}。

粮食系统的影响

世界的饮食习惯，尤其是高收入和中等收入国家的饮食习惯，是导致气候变化和不良健康结果的另一个驱动因素。IPCC 估计，全球粮食系统占全球温室气体排放量的 21-37%，或每年 110-190 亿吨二氧化碳当量 (GtCO₂e)，主要来自农业生产。这些包括来自反刍动物、稻田和湿地的甲烷，因土地利用变化而产生的二氧化碳以及主要来自肥料的一氧化二氮。

这种环境负担的产生是为了服务于自身造成健康风险的粮食系统。虽有近 10 亿人缺乏足够的食物，但在 2016 年，超过 19 亿成年人超重，其中超过 6.5 亿人肥胖²⁹。与酒精、毒品和烟草使用的总和相比，不健康的饮食对发病率和过早死亡构成的风险更大³⁰。

农业活动也会导致空气污染，主要是由于化肥和牲畜粪便中的氨泄漏，还会导致二次颗粒物的形成，在某些地区是构成 PM_{2.5} 的主要部分³¹。甲烷是一种强效温室气体，也是对对流层臭氧的主要前体（见第 4 页）。

气候变化驱动因素对健康的其他影响

推动气候变化的其他人类行为也会对健康产生影响。例如，森林砍伐会释放温室气体并消除碳汇，通过升高当地温度影响健康，从而影响工人的生产力，并可能导致某些地区疟疾等媒介传播疾病的增加。

除了气候变化或空气污染造成的影响外，化石燃料的生产和使用也会对健康产生一些直接影响。例如，居住在煤电厂附近的人们可能会暴露于煤灰中的一系列重金属和放射性同位素，从而导致成人和婴儿死亡率增加³²。

IPCC 估计，全球粮食系统占全球温室气体排放量的 21-37%。

2. 有益健康的气候行动

研究表明，许多行动对全球和当地环境以及人类健康都有好处。行动范围从有效的适应策略和逐步淘汰化石燃料，到具体的部门政策，例如针对粮食系统、交通、城市发展和医疗保健系统的政策。

这些行动可以通过一系列广泛的政策和激励措施来实施，其中许多可以被视为健康和气候的联合解决方案，从而获得更多的公众支持。

2.1 适应气候变化

促进适应和应对气候变化的行动可以减少健康影响³³。此类策略包括对极端天气和传染病爆发使用早期预警系统。世卫组织建议气候适应性卫生系统应解决 10 个关键领域（图 2）。然而，在 2020 年接受调查的 101 个国家/地区中，只有 48 个国家/地区评估了国家/地区的健康脆弱性和适应性；虽然 51 个国家/地区制定了国家健康和气候变化策略或计划，但只有 4 个国家报告说有足够的资金用于实施⁵。有效的适应策略需要避免意外的不利后果，例如增加疾病风险，例如与灌溉和水坝相关的疟疾^{34, 35}。

对气候驱动的极端天气的适应可以以过去灾难吸取的教训为模型。例如，孟加拉国通过一系列措施改进了飓风管理，包括：提高识字率，尤其是妇女人群，促进公众理解；预警系统；

社区参与；和庇护所网络⁸。因此，死亡人数大幅减少³⁶。良好适应实践的证据基础仍处于形成阶段，针对性强的研究非常重要且迫在眉睫。现有研究强调了一些步骤，例如帮助农民最大限度地减少在田间花费的时间，例如通过更好的作物储存设施或使用早期预警系统和准备计划，如印度古吉拉特邦艾哈迈达巴德所使用的那样^{37, 38}。（参见简报 8：*抵御风暴：科学如何通过适应提高全球气候抵御能力。*）

卫生气候服务越来越多地用于预测和预防传染病爆发。其中一个示例便是在厄瓜多尔开发和使用登革热预警系统³⁹。研究人员已经提出了通过整合遥感、卫星成像、众包、云计算、智能手机、网络、机器人、人工智能和社交媒体来加速和加强这种监测的方法⁴⁰。（参见简报 8：*抵御风暴：科学如何通过适应提高全球气候抵御能力。*）

基于自然的解决方案 (NBS) 是“涉及与自然合作以实现社会目标的行动”，包含在城市中创建绿地，以及森林和景观的恢复^{41, 42}。潜在的健康益处包括减少与居住在绿地附近（500 米）相关的全因死亡率⁴³。住宅绿地暴露还可以改善心理健康，并与从青春期到成年期罹患精神疾病的风险降低有关^{44, 45, 46}。（参见简报 9：*气候变化与土地*；以及 8：*抵御风暴：科学如何通过适应提高全球气候抵御能力。*）

图 2

世卫组织建立气候适应性卫生系统的业务框架⁴⁷。



2.2 逐步淘汰化石燃料

精心设计的减少化石燃料来源排放的行动具有多重好处，包括改善空气质量、改善住房、更健康的饮食和更多的体育锻炼⁴⁸。

将化石燃料的使用量减少到可以使全球气温升幅保持在 1.5°C 而不是 2°C 的水平，可实现 21 世纪因空气质量改善而避免 1 亿多人过早死亡，其中约 40% 的获益会在未来 40 年内发生⁴⁹。根据假设，这些避免死亡的预估获益可以以货币形式抵消大部分或全部初始缓解成本⁵⁰。

使用过渡燃料，例如液化石油气 (LPG) 代替木柴烹饪，可以防止家中空气污染造成更多死亡，并带来适度的气候效益，例如减少木柴的采伐，尽管这种获益的程度存在不确定性⁵¹。

研究计算了化石燃料定价的潜在影响，以反映空气污染的成本以及气候影响。根据国际货币基金组织 (International Monetary Fund) 的估计，2015 年有效的化石燃料定价将使全球碳排放量减少 28%，化石燃料空气污染死亡人数减少 46%，同时增加政府收入占 GDP 的 3.8%⁵²。精心设计的烟尘排放税可以成为再分配机制，改善健康，减少不平等，并有助于缓解气候变化⁵³。

专栏 1



共同治理 — 共同应对气候变化和空气质量

一些国家/地区正在通过“共同治理”方法来应对气候变化和空气质量，将它们视为具有共同解决方案的密切相关的挑战。一份 2019 年联合国报告展示了中国如何将这些问题的共同治理作为其气候和清洁空气策略的关键部分，智利、芬兰、加纳、墨西哥、挪威和英国正在纷纷效仿⁵⁴。

中国政府制定了政策，通过优化能源结构、清洁能源和能源效率来限制化石燃料的使用。在 2008 年至 2018 年的十年里，可再生能源发电量增长了两倍，而风能和太阳能发

电量增长了 25 倍。目前，中国超过 30% 的电力来自非化石燃料。2013 年至 2017 年，京津冀地区 PM_{2.5} 浓度降低了 40%。中国还启动了煤炭上限政策，从污染最严重的地区开始限制煤炭使用。

在英国，环境、食品和乡村事务部 (Department for the Environment, Food and Rural Affairs) 的空气质量专家组对到 2050 年实现净零排放的政策对空气质量的影响进行了专家评估，这是共同治理方法的一个方面。

2.3 粮食系统驱动的减排

粮食生产和消费的变化既可以改善健康，也可以缓解气候变化。科学已经证明，如果人类转向含有丰富的水果、坚果、种子、蔬菜和豆类的饮食，这些食物的温室气体足迹往往相对较低，以及在高消费国家减少红肉和奶制品的摄入量，这都会带来重大益处²⁹。据估计，到 2050 年，这种性质的饮食，加上改

变粮食生产以增加低足迹和减少浪费的粮食产量，有可能将农业温室气体排放量减少多达 90%²⁹。然而，研究指出，这种含有大量水果和蔬菜的饮食目前可能无法负担或不切实际，因为许多人的需求可能会有所不同⁵⁹。采纳这种改变需要在社会保护、基础设施和公共采购等领域采取政策行动。（参见简报 10：可持续满足一百亿人口的温饱需求。）

专栏 2



© Tsvetan Ivanov

非化石燃料对健康的影响

非化石燃料并非没有健康风险。例如，核电站事故，1986 年切尔诺贝利事故，导致放射性物质的高暴露水平、死亡和疾病⁵⁵。2011 年福岛海啸发生后，辐射水平比切尔诺贝利事故低 100 倍，但却描述了因户外运动减少而导致的肥胖和相关非传染性疾病增加，并观察到流离失所对心理健康的影响⁵⁶。

光伏制造可能会导致一些有毒的职业暴露，例如铜加工和硅精炼的排放，但这些可以通过监管减少，并且与化石燃料产生的风险相比，这些微不足道⁵⁷。

如果生物燃料的广泛使用涉及粮食（包括动物饲料）和燃料之间的土地竞争，则可能导致粮食价格上涨。保障粮食生产应是第一要务⁵⁸。

提高家庭能源效率可能会实现 50 年内每 10,000 人获得 2,200 个质量调整生命年 (QALY)。

2.4 健康“绿色”建筑

大约 40% 的一次能源用于建筑。减少能源使用和改善室内环境的认证计划可以产生一系列健康改善。一项对六个国家/地区的 LEED（能源与环境设计领导力）认证建筑的研究估计，能源成本可节省 75 亿美元，同时空气污染和温室气体排放量将大幅减少。这些减排带来的健康效益的经济价值几乎等于整个美国节能的价值，而在低收入和中等收入国家则更高⁶⁰。

减少温带地区家庭温室气体排放的一个主要策略是通过改善隔热、防止空气泄漏、更换窗户和改进供暖系统来提高能源效率，从而减少对供暖的需求。然而，改造应该伴随着有效的通风系统，以防止因烹饪、火灾或吸烟而增加的家庭空气污染暴露，如氡和 PM_{2.5}。在英格兰，建模表明，提高家庭能源效率可能会实现 50 年内每 10,000 人获得 2,200 个质量调整生命年 (QALY)；但如果逾越规定减少通风，由于室内产生的污染物水平增加，约三分之一的质量调整生命年可能会丢失⁴⁷。

反光屋顶、外部百叶窗和被动通风等方法可以在不增加能源需求的情况下减少室内暴露于极端高温下。英国的一项模拟研究表明，外部百叶窗可以将与热相关的死亡率降低 37-43%⁶¹。

2.5 可持续健康城市

城市排放的温室气体约占全球总量的 70% - 75%，并占据着世界经济活动的大部分。跨部门的综合行动可以帮助城市减少排放、适应气候变化以及改善健康和公平⁶²。

例如，交通部门为取得进展提供了重大的潜在机会，包括过渡到低排放车辆，更多地使用公共交通，以及步行和骑自行车。英格兰和威尔士的一项研究表明，如果城市居民采用步行、骑自行车以及减少汽车使用等欧洲最佳实践，缺血性心脏病、中风、痴呆、糖尿病、抑郁症和一些癌症的负担可能会大幅减少，同时还能节省医疗开支^{47, 63}。研究估计，全球与交通排放相关的不良健康影响的年度成本约为 1 万亿美元⁶⁴。

城市往往比周边地区更热 — “城市热岛效应”，部分原因是缺乏树冠和绿地，以及大型道路和建筑物的存在。气候变化适应的一个例子是采用公园和树木等“绿色基础设施”⁶⁵。这也可以减少冷却的能源需求，从而有助于缓解气候变化。

2.6 支持发展政策

根据联合国可持续发展目标，全球经济脱碳有助于促进人类发展，特别是对于低收入和中等收入国家^{69, 70}。例如，适应和缓解措施将有助于实现 SDG2（零饥饿）和 SDG3（健康）

目标。SDG7 涉及获取清洁能源的问题，SDG11 则设想了可持续发展的城市。需要更全面的测绘来展示健康和气候行动之间协同作用的完整范围。

专栏 3



© georgeclerk

脱碳医疗保健 — 以英国 NHS 为例

医疗保健系统本身的温室气体排放量约占全球温室气体排放量的 4% 至 5%，全球供应商都致力于实现减排目标^{66, 67}。例如，英国国家医疗服务体系 (NHS) 是第一个做出净零承诺的国家医疗保健系统，承诺在 2020 年到 2045 年实现所有来源的净零排放⁶⁸。

自 1990 年以来，它已经将直接排放量减少了 60% 以上。英国国家医疗服务体系碳足迹的新基线现已被量化，方法是将自下而上的测量方法（如现场化石燃料使用、运输和麻醉气体）与自上而下的间接排放（如上游能源系统和药品采购）模型估计相结合。

3. 总结

COVID-19 大流行生动地展示了全球卫生突发事件的代价。研究强化了这样一个事实，即气候变化及其驱动因素，例如化石燃料的使用和全球粮食系统，也会对人类健康产生严重的长期影响。从积极的方面来看，为缓解和适应气候变化而采取的精心设计的行动将减少对人们健康的多种相关不利影响，尤其是在解决不平等

问题时。科学可以帮助决策者和个人确定有益的行动、权衡和优先事项，从改善空气质量的措施到更加气候友好的行为，如健康和更加可持续的饮食选择。

本简报只是探讨科学技术在全球实现净零排放和适应气候变化中作用的系列简报中的一篇。世界各国都在制定各自在 2050 年之前实现净零的路线图，该系列简报旨在就科学所能有助于理解和采取行动的 12 个方面，为各国决策者献计献策。

要观看完整系列内容，请访问 royalsociety.org/climate-science-solutions

要查看简报编著人，请访问 royalsociety.org/climate-solutions-contributors

本文中的文本根据《创作共用署名许可协议》(Creative Commons Attribution License) 条款授权使用，该协议允许在注明原作者和出处来源的前提下，进行无限制使用。许可协议访问网址：creativecommons.org/licenses/by/4.0。图片不在本许可授权范围内。

发布日期：2021 年 6 月 DES7639_11 © The Royal Society

参考文献

1. International Energy Agency. 2017 World Energy Investment. 参见 <https://webstore.iea.org/world-energy-investment-2017> (访问日期 2020 年 12 月 20 日)。
2. Haines A, Ebi K. 2019 The Imperative for Climate Action to Protect Health. *N Engl J Med* **380**, 263–273. (doi:10.1056/nejmra1807873)
3. World Health Organization. 2018 Climate Change and health. 参见 <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health> (访问日期 2020 年 12 月 20 日)。
4. Vicedo-Cabrera AM *et al.* 2021 The burden of heat-related mortality attributable to recent human-induced climate change. *Nature Climate Change*. Accepted, in press.
5. Antonia K, Glen PK, Andreas DF. 2018 The Impact of Heat Waves on Mortality among the Elderly: A Mini Systematic Review. *J Geriatr Med Gerontol* **4**. (doi:10.23937/2469-5858/1510053)
6. Watts N *et al.* 2021 The 2020 report of The Lancet Countdown on health and climate change: responding to converging crises. *The Lancet* **397**, 129–170. (doi:10.1016/s0140-6736(20)32290-x)
7. Chersich MF *et al.* 2020 Associations between high temperatures in pregnancy and risk of preterm birth, low birth weight, and stillbirths: systematic review and meta-analysis. *BMJ*, m3811. (doi:10.1136/bmj.m3811)
8. Xu R *et al.* 2020 Wildfires, Global Climate Change, and Human Health. *N Engl J Med* **383**, 2173–2181. (doi:10.1056/nejmsr2028985)
9. Smith KR *et al.* 2014 Human health: impacts, adaptation, and co-benefits. In: 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 University Press, Cambridge and New York
10. Lloyd SJ, Kovats RS, Chalabi Z. 2011 Climate Change, Crop Yields, and Undernutrition: Development of a Model to Quantify the Impact of Climate Scenarios on Child Undernutrition. *Environmental Health Perspectives* **119**, 1817–1823. (doi:10.1289/ehp.1003311)
11. Scheelbeek PFD *et al.* 2018 Effect of environmental changes on vegetable and legume yields and nutritional quality. *Proc Natl Acad Sci USA* **115**, 6804–6809. (doi:10.1073/pnas.1800442115)
12. Alae-Carew C *et al.* 2020 The impact of environmental changes on the yield and nutritional quality of fruits, nuts and seeds: a systematic review. *Environ. Res. Lett.* **15**, 023002. (doi:10.1088/1748-9326/ab5cc0)
13. Jafino BA, Walsh B, Rozenberg J, Hallegatte S. 2020 Revised Estimates of the Impact of Climate change on Extreme Poverty by 2030. World Bank Group
14. McMichael C, Barnett J, McMichael AJ. 2012 An Ill Wind? Climate Change, Migration, and Health. *Environmental Health Perspectives* **120**, 646–654. (doi:10.1289/ehp.1104375)
15. Missirian A, Schlenker W. 2017 Asylum applications respond to temperature fluctuations. *Science* **358**, 1610–1614. (doi:10.1126/science.aao0432)
16. Cianconi P, Betrò S, Janiri L. 2020 The Impact of Climate Change on Mental Health: A Systematic Descriptive Review. *Front. Psychiatry* **11**. (doi:10.3389/fpsy.2020.00074)
17. Bryant RA *et al.* 2017 Longitudinal study of changing psychological outcomes following the Victorian Black Saturday bushfires. *Aust N Z J Psychiatry* **52**, 542–551. (doi:10.1177/0004867417714337)
18. Zhong S *et al.* 2018 The long-term physical and psychological health impacts of flooding: A systematic mapping. *Science of The Total Environment* **626**, 165–194. (doi:10.1016/j.scitotenv.2018.01.041)
19. Albrecht G *et al.* 2007 Solastalgia: The Distress Caused by Environmental Change. *Australas Psychiatry* **15**, S95–S98. (doi:10.1080/10398560701701288)
20. World Health Organization. Air Pollution. 参见 https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1 (访问日期 2021 年 1 月 6 日)。
21. Burnett R *et al.* 2018 Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *Proc Natl Acad Sci USA* **115**, 9592–9597. (doi:10.1073/pnas.1803222115)
22. Vohra K *et al.* 2021 Global mortality from outdoor fine particle pollution generated by fossil fuel combustion: Results from GEOS-Chem. *Environmental Research* **195**, 110754. (doi:10.1016/j.envres.2021.110754)
23. Lelieveld J *et al.* 2019 Effects of fossil fuel and total anthropogenic emission removal on public health and climate. *Proc Natl Acad Sci USA* **116**, 7192–7197. (doi:10.1073/pnas.1819989116)
24. Chowdhury S *et al.* 2021 Global and national assessment of the incidence of asthma in children and adolescents from major sources of ambient NO₂. *Environ. Res. Lett.* **16**, 035020. (doi:10.1088/1748-9326/abe909)
25. Malley CS *et al.* 2017 Updated Global Estimates of Respiratory Mortality in Adults ≥30 Years of Age Attributable to Long-Term Ozone Exposure. *Environ Health Perspect* **125**, 087021. (doi:10.1289/ehp1390)
26. World Health Organization. 2018 Household air pollution and health. 参见 <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health> (访问日期 2021 年 1 月 6 日)。
27. State of Global Air. 2020 Household Air Pollution Exposure. 参见 <https://www.stateofglobalair.org/air/hap> (访问日期 2021 年 1 月 6 日)。
28. Our World in Data. 2019 Indoor Air Pollution. 参见 <https://ourworldindata.org/indoor-air-pollution#annual-deaths-from-indoor-air-pollution-have-declined-globally-by-more-than-1-million-since-1990> (访问日期 2021 年 1 月 6 日)。
29. World Health Organization. 2020 Obesity and Overweight. 参见 <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight> (访问日期 2021 年 1 月 11 日)
30. Willett W *et al.* 2019 Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet* **393**, 447–492. (doi:10.1016/s0140-6736(18)31788-4)
31. Bauer SE, Tsigaridis K, Miller R. 2016 Significant atmospheric aerosol pollution caused by world food cultivation. *Geophys. Res. Lett.* **43**, 5394–5400. (doi:10.1002/2016gl068354)
32. Kravchenko J, Lyerly HK. 2018 The Impact of Coal-Powered Electrical Plants and Coal Ash Impoundments on the Health of Residential Communities. *North Carolina Medical Journal* **79**, 289–300. (doi:10.18043/ncm.79.5.289)
33. World Health Organization. 2014 WHO guidance to protect health from climate change through health adaptation planning. 参见 <https://www.who.int/globalchange/publications/guidance-health-adaptation-planning/en/> (访问日期 2021 年 1 月 19 日)。
34. Barnett J, O'Neill SJ. 2013 Minimising the risk of maladaptation. In *Climate Adaptation Futures*, pp. 87–93. John Wiley & Sons. (doi:10.1002/9781118529577.ch7)
35. Keiser J *et al.* 2005 Effect of irrigation and large dams on the burden of malaria on a global and regional scale. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* **72**, 392–406. (doi:10.4269/ajtmh.2005.72.392)
36. Global Center on Adaptation. 2020 State and Trends in Adaptation Report 2020. 参见 <https://gca.org/reports/state-and-trends-in-adaptation-report-2020/> (访问日期 2021 年 1 月 19 日)。

37. Frimpong K, Odonkor ST, Kuranchie FA, Nunfam VF. 2020 Evaluation of heat stress impacts and adaptations: perspectives from smallholder rural farmers in Bawku East of Northern Ghana. *Heliyon* **6**, e03679. (doi:10.1016/j.heliyon.2020.e03679)
38. Hess JJ *et al.* 2018 Building Resilience to Climate Change: Pilot Evaluation of the Impact of India's First Heat Action Plan on All-Cause Mortality. *Journal of Environmental and Public Health* **2018**, 1–8. (doi:10.1155/2018/7973519)
39. Lowe R *et al.* 2017 Climate services for health: predicting the evolution of the 2016 dengue season in Machala, Ecuador. *The Lancet Planetary Health* **1**, e142–e151. (doi:10.1016/s2542-5196(17)30064-5)
40. Belesova K, Haines A, Ranganathan J, Seddon J, Wilkinson P. 2020 Monitoring environmental change and human health: Planetary Health Watch. *The Lancet* **395**, 96–98. (doi:10.1016/s0140-6736(19)33042-9)
41. Seddon N. 2021 Why efforts to address climate change through nature-based solutions must support both biodiversity and people. *The Royal Society*. 参见 <https://royalsociety.org/topics-policy/projects/biodiversity/nature-based-solutions/> (访问日期 2021 年 1 月 19 日)。
42. Chausson A *et al.* 2020 Mapping the effectiveness of nature-based solutions for climate change adaptation. *Glob Change Biol* **26**, 6134–6155. (doi:10.1111/gcb.15310)
43. Rojas-Rueda D, Nieuwenhuijsen MJ, Gascon M, Perez-Leon D, Mudu P. 2019 Green spaces and mortality: a systematic review and meta-analysis of cohort studies. *The Lancet Planetary Health* **3**, e469–e477. (doi:10.1016/s2542-5196(19)30215-3)
44. World Health Organization. 2016 Urban green spaces and health: A review of evidence. 参见 https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/321971/Urban-green-spaces-and-health-review-evidence.pdf (访问日期 2021 年 1 月 19 日)。
45. Engemann K *et al.* 2019 Residential green space in childhood is associated with lower risk of psychiatric disorders from adolescence into adulthood. *Proc Natl Acad Sci USA* **116**, 5188–5193. (doi:10.1073/pnas.1807504116)
46. Vanaken G-J, Danckaerts M. 2018 Impact of Green Space Exposure on Children's and Adolescents' Mental Health: A Systematic Review. *IJERPH* **15**, 2668. (doi:10.3390/ijerph15122668)
47. World Health Organization. 2015 Operational framework for building climate resilient health systems. 参见 <https://www.who.int/globalchange/publications/building-climate-resilient-health-systems/en/> (访问日期 2021 年 1 月 19 日)。
48. Milner J *et al.* 2020 Health benefits of policies to reduce carbon emissions. *BMJ*, l6758. (doi:10.1136/bmj.l6758)
49. Shindell D, Faluvegi G, Seltzer K, Shindell C. 2018 Quantified, localized health benefits of accelerated carbon dioxide emissions reductions. *Nature Clim Change* **8**, 291–295. (doi:10.1038/s41558-018-0108-y)
50. IPCC. 2018 Special Report: Global Warming of 1.5°C. 参见 <https://www.ipcc.ch/sr15/> (访问日期 2021 年 1 月 19 日)。
51. Singh D, Pachauri S, Zerriffi H. 2017 Environmental payoffs of LPG cooking in India. *Environ. Res. Lett.* **12**, 115003. (doi:10.1088/1748-9326/aa909d)
52. International Monetary Fund. 2019 Global Fossil Fuel Subsidies Remain Large: An Update Based on Country-Level Estimates. 参见 <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2019/05/02/Global-Fossil-Fuel-Subsidies-Remain-Large-An-Update-Based-on-Country-Level-Estimates-46509> (访问日期 2021 年 1 月 19 日)。
53. Cuevas S, Haines A. 2016 Health benefits of a carbon tax. *The Lancet* **387**, 7–9. (doi:10.1016/s0140-6736(15)00994-0)
54. The United Nations Environment Programme. 2019 Policies that tackle climate and air pollution at the same time can raise global climate ambition. 参见 <https://www.unep.org/news-and-stories/story/policies-tackle-climate-and-air-pollution-same-time-can-raise-global-climate> (访问日期 2021 年 1 月 19 日)。
55. Paraschiv F, Mohamad D. 2020 The Nuclear Power Dilemma—Between Perception and Reality. *Energies* **13**, 6074. (doi:10.3390/en13226074)
56. McCurry J. 2021 The 2011 Tōhoku disaster: 10 years on. *The Lancet* **397**, 866–867. (doi:10.1016/s0140-6736(21)00560-2)
57. Luderer G *et al.* 2019 Environmental co-benefits and adverse side-effects of alternative power sector decarbonization strategies. *Nat Commun* **10**. (doi:10.1038/s41467-019-13067-8)
58. Muscat A, de Olde EM, de Boer IJM, Ripoll-Bosch R. 2020 The battle for biomass: A systematic review of food-feed-fuel competition. *Global Food Security* **25**, 100330. (doi:10.1016/j.gfs.2019.100330)
59. Hirvonen K, Bai Y, Headey D, Masters WA. 2020 Affordability of the EAT–Lancet reference diet: a global analysis. *The Lancet Global Health* **8**, e59–e66. (doi:10.1016/s2214-109x(19)30447-4)
60. Cedeño-Laurent JG *et al.* 2018 Building Evidence for Health: Green Buildings, Current Science, and Future Challenges. *Annu. Rev. Public Health* **39**, 291–308. (doi:10.1146/annurev-publhealth-031816-044420)
61. Taylor J *et al.* 2018 Estimating the Influence of Housing Energy Efficiency and Overheating Adaptations on Heat-Related Mortality in the West Midlands, UK. *Atmosphere* **9**, 190. (doi:10.3390/atmos9050190)
62. Crane M *et al.* 2021 Transforming cities for sustainability: A health perspective. *Environment International* **147**, 106366. (doi:10.1016/j.envint.2020.106366)
63. Public Health England. 2018 Cycling and walking for individual and population health benefits: A rapid evidence review for health and care system decision-makers. 参见 https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/757756/Cycling_and_walking_for_individual_and_population_health_benefits.pdf (访问日期 2021 年 1 月 22 日)。
64. The International Council on Clean Transportation. 2019 A global snapshot of the air pollution-related health impacts of transport sector emissions in 2010 and 2015. 参见 <https://theicct.org/publications/health-impacts-transport-emissions-2010-2015> (访问日期 2021 年 1 月 22 日)。
65. Tiwari A, Kumar P, Kalaiarasan G, Ottosen T-B. 2021 The impacts of existing and hypothetical green infrastructure scenarios on urban heat island formation. *Environmental Pollution* **274**, 115898. (doi:10.1016/j.envpol.2020.115898)
66. Pichler P-P, Jaccard IS, Weisz U, Weisz H. 2019 International comparison of health care carbon footprints. *Environ. Res. Lett.* **14**, 064004. (doi:10.1088/1748-9326/ab19e1)
67. Health Care Without Harm. Climate Change: an Opportunity for Action. 参见 <https://noharm-global.org/issues/global/climate-change-opportunity-action> (访问日期 2021 年 1 月 22 日)。
68. National Health Service. 2020 Delivering a 'net zero' National Health Service. 参见 <https://www.england.nhs.uk/greenernhs/publication/delivering-a-net-zero-national-health-service/> (访问日期 2021 年 1 月 22 日)。
69. The United Nations. Tackling Climate Change. 参见 <https://www.un.org/sustainabledevelopment/climate-action/> (访问日期 2021 年 1 月 22 日)。
70. Haines A *et al.* 2017 Short-lived climate pollutant mitigation and the Sustainable Development Goals. *Nature Clim Change* **7**, 863–869. (doi: 10.1038/s41558-017-0012-x)