

气候变化与土地： 与自然一道实现净零目标的科学

概要

土地在世界气候以及维持气候稳定的工作中，具有举足轻重的作用。保护、恢复和可持续管理全球土地，有助于在 2050 年之前实现温室气体 (GHG) 净零排放的目标，以及适应气候变化的影响。

到 2050 年，要将全球平均气温升幅控制在 1.5-2 摄氏度¹，就需要进行净减排工作，而对于这项目标，基于土地的减排可达到高达 20-30% 的减排，但只有在结合实现迅速以及深度化石燃料排放的情况下，减排工作方可有效进行。

思路

- 如果要实现《巴黎协定》的目标，光是实施基于土地的减排措施还不够，所有部门必须立即进行积极减排²。
- 基于土地的减排工作重点是要保护现有富含碳的原生生态系统、恢复退化的生态系统以及改善农业和林业的管理。
- 有效的基于土地的气候减排和适应方案需要地方社区的参与，推动多项联合国可持续发展目标的实现。
- 研究表明，植物为主的健康饮食方案以及减少食物浪费可以减轻粮食生产对土地的压力。这样可以为基于土地应对气候变化和增强生物多样性的选择提供范围。
- 确立更加明确的监测和标准，证明基于土地的方案能够真正减少 GHG 排放，因此可以刺激政府、企业和其他方面提供资金。
- 深入研究可以确定基于土地的减排措施的良好实践和绩效指标，同时还要兼顾对原住民族和当地社区的好处。

1. 土地与气候变化

减少排放的活动包括保护森林、草原、沿海湿地或泥炭地——防止排放转化，以及发展可持续性更高的农业，减少碳的释放。从大气中消除碳行动可以形成新的碳汇，包括恢复生态系统、改善森林和放牧管理、提高土壤碳和植树造林。

本简报重点关注土地干预通过减少土地使用和利用其碳吸收能力，在减少 GHG 排放方面所能发挥的作用。

2015 年的数据表明，全球无冰土地的使用包括 37% 的牧场，22% 的管理森林，12% 的农田，12% 的贫瘠或岩石系统，7% 的无森林生态系统，其中人类对无森林生态系统的使用最少³。

1.1 干地

过去几十年间，人类活动逐渐扩大，已经影响了全球 70% 以上的无冰土地，其中大约 25% 的土地因此退化³。自 20 世纪 60 年代以来，世界人口已从 30 亿增长到了近 80 亿，对粮食、饲料、木材和其他资源的需求不断上涨^{4,5}。具体表现在，肉类供应增加了一倍多，人均卡路里消耗量增加了三分之一，这本身就增加了 GHG 的排放，破坏了生物多样性³。（参见简报 10：《可持续满足一百亿人口的温饱需求。》）

1.2 土地使用对气候的影响

土地通过呼吸和光合作用排放和吸收 CO₂ 保持地球的自然平衡，而大约 250 年以来，人为排放的累积影响已经打破了地球的这种自然平衡。据估计，自 1750 年以来，陆地吸收了大约三分之一的人为排放，海洋吸收了大约四分之一的人为排放，但是，仍有约 40% 的 CO₂ 留在大气中⁶，使 CO₂ 浓度比工业化前上升了大约 50%，导致全球平均气温上升了大约 1.0°C⁷。（参见简报 7：《碳循环。》）

农业、林业和其他土地利用 (AFOLU) 约占所有人为 GHG 排放的四分之一，而 GHG 排放主要包括二氧化碳、甲烷和一氧化二氮。根据政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 做出的以下 GHG 估算，2007-2016 年期间，这些 GHG 相当于每年大约 120 亿吨二氧化碳当量 (GtCO₂e/yr)³。

其中，大约 5 GtCO₂e/yr 是由森林砍伐、泥炭地排水、红树林砍伐或草地转为农田等土地利用变化所释放的二氧化碳 (CO₂) 组成。甲烷的排放量为 4.5 GtCO₂e/yr，主要来自于畜牧业和稻田排放。一氧化二氮的陆地排放总量约为 2.3 GtCO₂e/yr，其中化肥的使用为主导因素。与此同时，土地还发挥着 CO₂ 碳汇的作用，每年从所有来源吸收的碳量约为 11 GtCO₂/yr，是人类活动在陆地上排放的两倍多³。

1.3 气候变化对土地的影响

气候变化已经对土地产生了重大影响³：

- 自前工业化时代以来，全球陆地平均地表温度上升了 1.5°C 以上，相比之下，陆地和海洋平均温度上升了大约 1°C。
- 降雨模式对土地产生了破坏，导致部分地区洪水或干旱频发，而且山火、热浪和永久冻土融化等现象也与日俱增。
- 虽然部分地区因降雨量和湿度变化而变得更加绿色，但受旱灾影响的干旱土地每年增长 1%，而且目前有 5 亿人生活在自 1980 年以来沙漠扩大的地带。
- 随着种群规模、分布以及季节性行为模式的变化，动植物的生物多样性同样会受到影响。

1.4 基于土地的减排和基于自然的解决方案的作用

通过各种干预措施，土地可以在应对气候变化方面发挥一定的作用。减少排放的活动包括保护森林、草原、沿海湿地或泥炭地——防止排放转化，以及发展可持续性更高的农业，减少碳的释放。从大气中消除碳行动可以形成新的碳汇，包括恢复生态系统、改善森林和放牧管理、提高土壤碳和植树造林*。

在众多方案中，“基于自然的解决方案”被广泛定义为“与自然合作共同实现社会目标的行动”⁸。这些目标的范围不仅限于减排和适应气候变化。尤其是在动植物物种数量和种类不断减少的时期，基于自然的解决方案可以保护和提高生物多样性，而且，还能为可持续发展的诸多方面提供支持。

并非所有基于土地的气候变化减排措施都属于基于自然的解决方案。例如，植树可能需要建立大型的单一栽培种植园，可以迅速封存碳，但这可能会对生物多样性、水质安全或当地人民的资源权利产生不利影响。另一方面，若有当地社区的参与，以支持生物多样性的方式，选择适当的地点种植本地树种的天然混合树种，则可视为基于自然的解决方案。相比其他基于土地的干预措施，基于自然的解决方案可以推动一些社会目标以及气候变化减排工作，因此可能会更加可取⁸。

除了在土地使用和管理方面的变化外，还可以通过改变粮食需求来减少排放，例如改变饮食结构，提倡以植物性替代品为主的饮食，以及减少粮食浪费⁹。（参见简报 10：《可持续满足一百亿人口的温饱需求》。）

此外还要指出的一点是，光是实施基于土地的减排措施还不够，所有部门必须立即进行积极减排。如果大气水平继续上升，便无法保证土地会像以往一样继续吸收 CO₂。由于气候变化影响而产生的自我强化效应也会产生排放：例如，森林火灾排放碳，还会导致土地退化，或者永久冻土融化释放出二氧化碳和甲烷^{2, 10}。IPCC 总结称，气候变化对碳循环过程的净影响是“加剧大气中 CO₂ 的增加”¹¹。

1.5 基于土地的减排面临的挑战

尽管基于土地的减排措施潜力巨大，却也面临一些具体的挑战。

2018 年，用于农业、林业、土地利用和自然资源管理的气候融资仅占该行业总投资的 3%，折合为 160 亿美元，而用于可再生能源的投资为 3220 亿美元，用于低碳交通的投资为 1220 亿美元^{12, 13, 14}。

另一项挑战就是对基于土地的减排的衡量、报告与核实^{15, 16}。基准日期的选择可能会对衡量的有效性和随后的补偿产生争议，还存在“泄漏”的风险，导致在一个地点保护或恢复土地，而另一个地点或国家则可能会开垦土地^{17, 18}。

相比其他基于土地的干预措施，基于自然的解决方案可以推动一些社会目标以及气候变化减排工作，因此可能会更加可取⁸。

* 对于这些生态方法，可以采用一套从大气中去除碳的地质方法加以进一步补充，例如增强岩石风化作用，具体需要在农田中散布玄武岩等细粒岩尘。（参见简报 5：《二氧化碳的捕集和封存》。）

2. 基于土地的减排措施的潜力

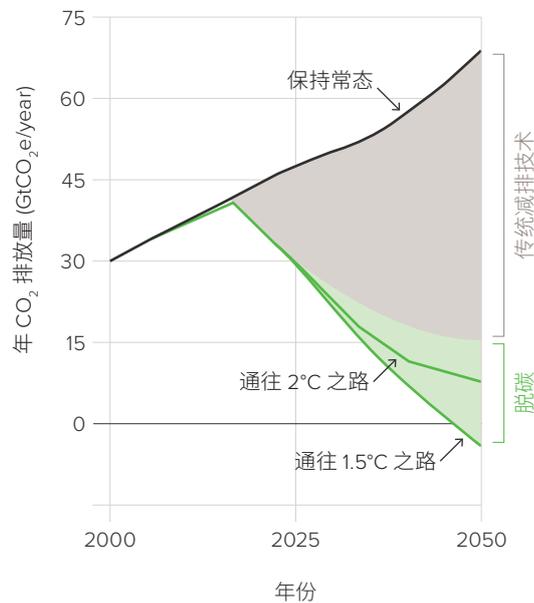
尽管还存在很大的不确定性，如果能够克服资金和实施方面的障碍，那么，基于土地的减排措施则可以在限制气候变化的工作中发挥巨大的潜力。IPCC 审查的关于到 2050 年在将全球升温幅度保持在 1.5°C 的工作中可以实现的土地干预措施的研究，估计其贡献范围很广，例如减少森林砍伐的贡献为 0.4-5.8 GtCO₂e/yr，造林和重新造林的贡献为 0.5-10.1 GtCO₂e/yr，农业措施的贡献为 0.3-3.4 GtCO₂e/yr¹⁹。

研究人员一直在探索为基于土地的措施进行更为具体的估计，平衡其模拟技术潜力与经济潜力和共同利益。在一项简要说明潜力的研究¹中，为了制定“土地行业路线图”，科学家研究了整个经济的模拟预测以及基于行业的评估，

阐明有助于实现《巴黎协定》将升温控制在 1.5°C 这一目标的行动路径。该研究发现，到 2050 年，与土地相关的措施，无论是在供应方面还是在需求方面，每年均可减少大约 14 GtCO₂e 的排放，或通过生物能源与碳捕集和封存 (BECCS) 可减少大约 15 GtCO₂e/yr，这大约占净零世界所需减排总量的 25%。这意味着到 2030 年，大约可减少 5 GtCO₂e/yr¹。这些措施包括减少土地 GHG 排放的措施，例如保护森林、泥炭地、沿海湿地和草原，以及恢复此类生态系统等去除大气中 CO₂ 的措施。在任何经济体中，如果仍然存在某些 GHG 排放继续而且需要予以抵消，那么就需要消除 CO₂，才能实现净零排放（参见图 1）。

图 1

去除二氧化碳的需要



为了在 2050 年实现净零排放，并将全球平均气温稳定在比工业化前时期高出 1.5°C 的水平，与“保持常态”的轨道相比，需要减少 GHG 排放²⁰。2050 年任何剩余的 GHG 排放均需通过从大气中去除等量的 CO₂ 来补偿或抵消。基于土地的减排措施在通过停止破坏森林和泥炭地等方式减少排放，以及通过恢复森林和泥炭地消除 CO₂ 方面均可发挥作用¹。

2.1 短期重点行动 – 立即执行

“路线图”研究包括将于 2021 年至 2050 年实施的以下基于土地的减排措施（参见图 2）：

- **减少森林砍伐、泥炭地排水与焚烧、沿海湿地改造和草原改造产生的排放：**

尤其是在巴西、印度尼西亚和非洲刚果盆地国家等热带国家；到 2030 年减少 70%，到 2050 年减少 95%。减少森林砍伐的成本估计高达 \$100/tCO₂；减少泥炭地和草地转化的成本估计可达 \$20/tCO₂²¹。

到 2050 年 GHG 年度减少总量预估值为：4.6 GtCO₂e/yr。

- **减少消费者粮食浪费：**

以美国、欧洲和中国为典型的发达国家和新兴国家的消费，以及东南亚和撒哈拉以南非洲的生产；到 2030 年减少 30%；到 2050 年减少 50%。据估计，每年粮食浪费的成本高达 1 万亿美元，因此减少粮食浪费有可能会节约成本^{9,22}。

到 2050 年 GHG 年度减少总量预估值为：0.9 GtCO₂e/yr。

- **饮食结构变化：**

在肉类消费高的发达国家和新兴国家，特别是美国、欧洲、中国、巴西、阿根廷、俄罗斯和中东国家，到 2030 年，五分之一的人口将转向健康饮食（每天肉类蛋白在 60 克以下，每日总热量在 2500 卡路里以下）；到 2050 年，则要达到二分之一。不同转变方式的成本各不相同，有证据表明，部分类型的健康饮食对于许多人来说都难以负担²³。已有研究确定，需要证明营养丰富、负担得起和有吸引力的饮食模式²⁴。

到 2050 年 GHG 年度减少总量预估值为：0.9 GtCO₂e/yr。

- **恢复退化的富碳生态系统：**

森林、排干泥炭地、海草和海带等沿海湿地；尤其是在热带国家；到 2030 年的 GHG 累积减少总量估计值为 9 GtCO₂e。（相当于中国一年的排放量）。成本估计为 \$10-100/tCO₂²¹。

到 2050 年 GHG 年度减少总量预估值为：3.6 GtCO₂e/yr。

- **改善森林管理与农林业：**

增加储存在用材林和农林复合土地中的碳，并扩大其足迹，特别是在美国、俄罗斯、加拿大、欧洲、澳大利亚、巴西、印度尼西亚以及其他热带国家。到 2030 年 GHG 累积总量预估值为：4 GtCO₂（相当于欧盟一年的总排放量）。成本估计为 \$10-100/tCO₂²¹。

到 2050 年 GHG 年度减少总量预估值为：1.6 GtCO₂e/yr。

- **加强土壤固碳：**

在农业土地上，包括生物炭（一种类似于炭的储存碳的产品）的应用，以及减少所有农业国家的化肥排放，特别是中国、美国、欧洲、澳大利亚、印度、巴西、阿根廷、墨西哥、印度尼西亚和撒哈拉以南非洲国家。到 2030 年 GHG 累积总量预估值为：3 GtCO₂（相当于印度一年的总排放量）。成本估计为 \$10-100 tCO₂²¹。

到 2050 年 GHG 年度减少总量预估值为：1.3 GtCO₂e/yr。

一项研究发现，到 2050 年，与土地相关的措施，无论是在供应方面还是在需求方面，每年均可减少大约 14 GtCO₂e 的排放，或通过生物能源与碳捕集和封存 (BECCS) 可减少大约 15 GtCO₂e/yr，这大约占净零世界所需减排总量的 25%。

3. 以科学为基础的研究及部署重点行动

科学表明，在审查基于土地的减排措施的潜力时，应考虑六项原则。

3.1 土地和化石燃料方面的行动：

“兼顾”而非“取舍”

研究人员强调，基于土地的方案要对快速减少化石燃料消耗与排放起到补充作用，而非替代作用。受气候变化影响，土地吸收碳的能力已有所减弱²⁵。因此，不能将碳补偿计划视为排放体的“保释卡”，可以用任何数量的化石燃料排放进行交易。

3.2 满足多项目标

在当今全球经济复苏的背景下，基于土地的减排措施尤为重要。基于自然的解决方案不仅可以减少排放，还有助于形成气候适应能力，支持健康生活，促进经济发展²⁶。例如，如果开展可持续性造林和再造林，仅此一项便可推动联合国 17 项 SDG（可持续发展目标）中的 13 项目标的实现²⁷。

实地研究还表明，若森林权利的合法持有者为原住民族和当地社区，则森林砍伐率往往会下降，目前，原住民族和当地社区通过集体、传统或“惯例”的各种形式，管理着全球约一半的土地^{28, 29, 30}。例如，贝宁的一项研究表明，正式登记 7 万块土地所有权后，森林损失有所下降，而且没有泄漏的证据³¹。此外，将指定森林区域交由当地社区进行管理后，人们将这些区域奉为“domaine sacré”（圣地），并保持得完好无损^{32, 33}。

3.3 更具可持续性的粮食系统

现在，有机会探索更具可持续性的粮食系统的未来，减少 GHG 排放，同时还能保证产量足以满足不断增长的人口需求。对于这个问题，可以从供应方面入手，通过农业方面的行动加以解决，也可以从需求方面入手，通过减少增加粮食生产的压力（特别是在高排放的情况下）加以解决。

科学家警告称，随着粮食需求的增长，任何应对气候变化的土地政策，若是无法首先保证地区和国家的粮食安全，都有可能以失败告终，因为森林、草原以及其他生态系统均将继续转变为耕地³⁴。

粮食生产系统有望迅速发展：1961 年至 2011 年，粮食产量增长了两倍³⁵。在接下来的 30 年间，还需要大幅增长才能满足需求，联合国的一项预测预计增长率为 50%³⁵，同时还要减少碳足迹。

调和这些压力的一条关键出路就是所谓的“可持续集约化”，具体定义为“在不产生消极环境影响以及不开垦更多耕地的情况下提高产量的过程或系统”³⁶。

可持续集约化可以表现为缩小“产量差距”，但前提是不会产生更高的排放。差距的表现例如美国农民每英亩的玉米产量是非洲农民的五倍^{37, 38}。例如，对非洲农村社区的一项研究表明，采取行动可以改善农艺投入与作物需求的匹配度，采用更加高效的技术，可为农民缩小高达 200% 的产量差距，同时将排放强度降低最多 60%³⁹。

与此同时，在需求方面，粮食系统排放的温室气体 (GHG) 约占全球温室气体 (GHG) 总排放量的三分之一，2021 年，我们迎来了新的机会，可以就饮食和粮食及其对地球的影响开展尊重和基于科学的对话。（参见简报 10：可持续满足一百亿人口的温饱需求。）

3.4 保护、恢复与可持续管理

基于土地的方案涉及一系列的重点工作，其中效益最为明显的工作有时也是执行难度最大的工作。在全球范围内，改变饮食习惯和减少粮食浪费可以释放对土地的压力，促进其他行动的实施，因此往往属于重点工作。

就实地而言，新出现的证据表明，保护生态系统免受破坏或退化的解决方案具有更高的减排潜力，因此应划为重点工作。这是因为森林、泥炭地、草地或红树林的消失不仅会在被砍伐时释放出储存的碳，而且还会妨碍未来数年或数十年的碳封存。

就实地而言，新出现的证据表明，保护生态系统免受破坏或退化的解决方案具有更高的减排潜力，因此应划为重点工作⁴⁰。这是因为森林、泥炭地、草地或红树林的消失不仅会在被砍伐时释放出储存的碳，而且还会妨碍未来数年或数十年的碳封存^{41, 42}。这种基于保护的措施需要随时进行修复和管理，而不同类型的解决方案潜力可能也有所不同。例如，在上述路线图中（参见图 2），减少森林砍伐和沿海湿地及泥炭地退化造成的排放具有最大的减排潜力（4.6 GtCO₂e/yr），其次是重新造林（3.6 GtCO₂e/yr），然后是改善森林管理（1.6 GtCO₂e/yr）¹。

在实践中，各国政府作出的诸多承诺都涉及森林工作，特别是造林。例如，为了完成波恩挑战（Bonn Challenge）的工作内容，40 多个国家作出承诺，要在 2030 年之前，将 3.5 亿公顷被砍伐和退化的土地纳入恢复范围^{43, 44}。植树转移了人们对迅速淘汰化石燃料的需求，这一问题已引起了研究人员的关注⁴⁵。除了上面讨论的关于单一栽培种植园的问题，还有人担心，将森林扩张作为气候解决方案会超越其他本土生态系统方案。专家敦促政策制定者，要考虑森林以外的草原、沿海湿地和泥炭地等广泛的生态系统⁴⁵。

3.5 释放投资

基于土地的解决方案已得到了政府、银行、国际金融机构、私营公司和绿色气候基金（Green Climate Fund, GCF）⁴⁶、适应基金（Adaptation Fund, AF）⁴⁷、气候投资基金（Climate Investment Funds, CIF）⁴⁸ 以及全球环境基金（Global Environment Facility, GEF）等基金的支持⁴⁹。

尽管与低碳能源相比，这些方案在过去 20 年间一直难以吸引资金，但目前有迹象表明，投资可能呈上升趋势。

企业的发展势头正在增强，大约 25% 的《财富》500 强企业承诺到 2030 年要实现碳中和⁵⁰。虽然这种可持续投资十分必要，但投资商及其他各界也在敦促企业承诺切实减少其生命周期中的化石燃料足迹⁵¹。

以科学为基础的监测、报告与核查工具正在迅猛发展。例如，2020 年 6 月，国际自然保护联盟（International Union for the Conservation of Nature, IUCN）发起了一项全球标准，以期保证所谓的基于自然的解决方案活动能够带来经济发展、卫生、生物多样性、粮食及水质安全等益处^{52, 53}。这类工具可以为大规模投资的可持续发展创造有利环境。

3.6 求知探新

近年来，基于土地的减排研究发展十分迅速。对科学数据库进行搜索发现，使用“基于自然的解决方案”一词的论文和评论从 2018 年的 100 篇左右增加到 2020 年大约 650 篇⁴⁵。然而，由于基于自然的解决方案具有多重优势，对于确定和衡量基于土地的活动会产生积极还是消极影响，进行更广泛的研究十分重要。例如，需要进行持续研究，确定气候变化本身可能会对基于土地的方案所具有潜力产生什么样的影响。在更详细的层面上，研究可以证明一些方案如何能发挥减排和适应的双重优势——例如恢复红树林或林地，可以加强碳封存，同时抵御洪水和侵蚀。

研究还可以最大化发挥活动对提高生物多样性的优势，例如，通过将生物多样性的栖息地整合到互联的网络中，使物种能够改变自身的活动范围，应对气候变化⁵⁴。

4. 爱护自然

在 2020 年的纪录片《大卫·爱登堡：地球上的一段生命旅程》(*David Attenborough: A Life on our Planet*) 中，自然学家兼播音员 David Attenborough 爵士曾说过，在抵抗气候变化方面，“大自然是我们最有力的盟友”⁵⁵，不过，大自然不会无条件地忠诚于我们。自工业革命以来，陆地和海洋有效地吸收了人类排放到大气中一半以上的温室气体。

但如果不迅速减少能源排放，气候变化本身也可能会降低土地的吸收能力。然而，若是要减少化石燃料的排放，基于土地的气候减排措施仍可以发挥举足轻重的作用⁵⁶。正如 Attenborough 在之后所言，“照护大自然，大自然也会照护我们”⁵⁷。

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_9 © The Royal Society

参考文献

1. Roe S *et al.* 2019 Contribution of the land sector to a 1.5 °C world. *Nat. Clim. Chang.* **9**, 817–828. (doi:10.1038/s41558-019-0591-9)
2. The Royal Society 2019 Climate change and land: opportunities and challenges for the UK. 参见 <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/climate-change/IPCC-special-report-briefing-climate-change-and-land.pdf> (访问日期 2021年2月26日)
3. IPCC. 2019. Summary for policymakers. In: *Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Shukla PR *et al.* (eds). In press. 参见 https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/02/SPM_Updated-Jan20.pdf (访问日期 2021年3月29日)
4. United Nations Department of Economic and Social Affairs. 2019 World population prospects 2019: data booklet. 参见 https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_DataBooklet.pdf (访问日期 2021年2月26日)
5. United Nations Population Division. 2019 World population prospects 2019: demographic profiles. 参见 <https://population.un.org/wpp/Graphs/DemographicProfiles/Line/900> (访问日期 2021年2月26日)
6. Friedlingstein P *et al.* 2020 Global carbon budget 2020. *Earth Syst. Sci. Data* **12**, 3269–3340. (doi:10.5194/essd-12-3269-2020)
7. World Meteorological Organisation. 2021 2020 was one of the warmest years on record. 参见 <https://public.wmo.int/en/media/press-release/2020-was-one-of-three-warmest-years-record> (访问日期 2021年2月26日)
8. 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2月26日)
9. Lopez Barrera E, Hertel T. 2021 Global food waste across the income spectrum: implications for food prices, production and resource use. *Food Policy* **98**, 101874. (doi:10.1016/j.foodpol.2020.101874)
10. National Academy of Sciences, The Royal Society. 2019 Climate change and ecosystems. 参见 <https://royalsociety.org/-/media/about-us/international/climate-change-and-ecosystems-2019.pdf> (访问日期 2021年2月26日)
11. IPCC. 2013 Summary for policymakers. In: *Climate Change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker TF *et al.* (eds). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. 参见 https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf (访问日期 2021年2月26日)
12. Buchner B *et al.* 2019 Global landscape of climate finance 2019. Climate Policy Initiative. 参见 <https://www.climatepolicyinitiative.org/publication/global-landscape-of-climate-finance-2019/> (访问日期 2021年3月3日)
13. Averchenkova A, Bhattacharya A, Calland R, González L, Martínez-Díaz L, van Rooij J. 2020 Independent expert group on climate finance: delivering on the \$100 billion climate finance commitment and transforming climate finance. 参见 https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/100_billion_climate_finance_report.pdf (访问日期 2021年3月3日)
14. Climate Bonds Initiative. 2020 Unlocking Brazil's green investment potential for agriculture: potential for agriculture. The Brazil Agriculture Subcommittee. Brazil Green Finance Initiative. 参见 https://www.climatebonds.net/files/reports/brazil_agri_roadmap_english.pdf (访问日期 2021年3月3日)
15. Gifford L. 2020 “You can't value what you can't measure”: a critical look at forest carbon accounting. *Climatic Change* **161**, 291–306. (doi:10.1007/s10584-020-02653-1)
16. Grimault J, Bellassen V, Shishov I. 2018 Key elements and challenges in monitoring, certifying and financing forestry carbon projects. *Climate Brief No. 58*. I4CE - Institute for Climate Economics. 参见 <https://www.i4ce.org/wp-core/wp-content/uploads/2018/11/1106-i4ce2934-PC58-VA.pdf> (访问日期 2021年4月1日)
17. Pan W, Kim M-K, Ning Z, Yang H. 2020 Carbon leakage in energy/forest sectors and climate policy implications using meta-analysis. *Forest Policy and Economics* **115**, 102161. (doi:10.1016/j.forpol.2020.102161)
18. Ostwald M, Henders S. 2014 Making two parallel land-use sector debates meet: Carbon leakage and indirect land-use change. *Land Use Policy* **36**, 533–542. (doi:10.1016/j.landusepol.2013.09.012)
19. IPCC. 2019 *Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Shukla PR *et al.* (eds). In press. 参见 <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/11/SRCCL-Full-Report-Compiled-191128.pdf> (访问日期 2021年3月26日)
20. Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change. 2016 Betting on negative emissions: potentials and uncertainties of new technologies to reduce the world's carbon debt. MCC Policy Brief no.2 November 2016. 参见 <https://www.mcc-berlin.net/en/research/policy-briefs/negativeemissions.html> (访问日期 2021年4月27日)。
21. IPCC. 2018 Technical summary. In: *Global warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Masson-Delmotte V *et al.* (eds). In press. 参见 <https://www.ipcc.ch/sr15/technical-summary/> (访问日期 2021年3月3日)
22. United Nations Environment Programme. 2013 Worldwide food waste. 参见 <https://www.unep.org/thinkeatsave/get-informed/worldwide-food-waste> (访问日期 2021年3月3日)
23. 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)
24. Darmon N, Drewnowski A. 2015 Contribution of food prices and diet cost to socioeconomic disparities in diet quality and health: a systematic review and analysis. *Nutr Rev* **73**, 643–660. (doi:10.1093/nutrit/nuv027)
25. IPCC. 2014 Future climate changes, risks and impacts. In: *Climate Change 2014: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Pachauri, Meyer LA *et al.* (eds). Geneva, Switzerland: IPCC. 参见 https://ar5-syr.ipcc.ch/topic_futurechanges.php (访问日期 2021年3月15日)
26. United Nations Climate Change Conference UK 2021 in partnership with Italy. 2020 Campaigns. 参见 <https://ukcop26.org/uk-presidency/campaigns/> (访问日期 2021年3月15日)

27. Smith P *et al.* 2019 Land-Management options for greenhouse gas removal and their impacts on ecosystem services and the sustainable development goals. *Annu. Rev. Environ. Resour.* **44**, 255–286. (doi:10.1146/annurev-environ-101718-033129)
28. Sangha KK. 2020 Global importance of indigenous and local communities' managed lands: building a case for stewardship schemes. *Sustainability* **12**, 7839. (doi:10.3390/su12197839)
29. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. 2018 The IPBES assessment report on land degradation and restoration. 参见 https://www.ipbes.net/sites/default/files/2018_idr_full_report_book_v4_pages.pdf (访问日期 2021 年 3 月 15 日)
30. Rights and Resources Initiative. 2015. Who owns the World's land? A global baseline of formally recognized indigenous and community land rights. 参见 https://rightsandresources.org/wp-content/uploads/GlobalBaseline_web.pdf (访问日期 2021 年 3 月 15 日)
31. Wren-Lewis L, Becerra-Valbuena L, Hounbedji K. 2020 Formalizing land rights can reduce forest loss: experimental evidence from Benin. *Sci. Adv.* **6**, eabb6914. (doi:10.1126/sciadv.abb6914)
32. Chemnick J. 2020 Amazon deforestation falls where land is under indigenous control. *Scientific American*. E&E News. 参见 <https://www.scientificamerican.com/article/amazon-deforestation-falls-where-land-is-under-indigenous-control/> (访问日期 2021 年 3 月 15 日)
33. Freudenberger M. 2013 The future of customary tenure: options for policymakers. *LandLinks*. 参见 <https://www.land-links.org/issue-brief/the-future-of-customary-tenure/> (访问日期 2021 年 3 月 15 日)
34. IPCC. 2019. Food security. In: *Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Shukla PR *et al.* (eds). In press. 参见 <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter-5/> (访问日期 2021 年 3 月 20 日)
35. Food and Agriculture Organisation of the United Nations. 2017 The future of food and agriculture: trends and challenges. 参见 <http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf> (访问日期 2021 年 3 月 10 日)
36. The Royal Society. 2009 Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture. 参见 https://royalsociety.org/-/media/Royal_Society_Content/policy/publications/2009/4294967719.pdf (访问日期 2021 年 3 月 11 日)
37. Market Business News. 2020 Yield gap: definition and meaning. 参见 <https://marketbusinessnews.com/financial-glossary/yield-gap-definition-meaning/#:~:text=Yield%20gap%20%E2%80%93%20agriculture&text=Yield%20gap%20is%20used%20to,their%20counterparts%20do%20in%20Africa> (访问日期 2021 年 3 月 15 日)
38. Cui Z *et al.* 2013 Closing the yield gap could reduce projected greenhouse gas emissions: a case study of maize production in China. *Glob Change Biol* **19**, 2467–2477. (doi:10.1111/gcb.12213)
39. Henderson B *et al.* 2016 Closing system-wide yield gaps to increase food production and mitigate GHGs among mixed crop–livestock smallholders in Sub-Saharan Africa. *Agricultural Systems* **143**, 106–113. (doi:10.1016/j.agsy.2015.12.006)
40. Griscom BW *et al.* 2020 National mitigation potential from natural climate solutions in the tropics. *Phil. Trans. R. Soc. B* **375**, 20190126. (doi:10.1098/rstb.2019.0126)
41. Seddon N, Turner B, Berry P, Chausson A, Girardin CAJ. 2019 Grounding nature-based climate solutions in sound biodiversity science. *Nature Clim Change* **9**, 84–87. (doi:10.1038/s41558-019-0405-0)
42. Kormos C, Mackey B, Mittermeier R, Young V. 2020 Primary forest: priority nature-based solution. International Union for the Conservation of Nature. *Crossroads Blog*. 参见 <https://www.iucn.org/crossroads-blog/202003/primary-forests-a-priority-nature-based-solution> (访问日期 2021 年 3 月 15 日)
43. International Union for Conservation of Nature. 2020 The Bonn Challenge. 参见 <https://www.bonnchallenge.org/> (访问日期 2021 年 3 月 30 日)
44. International Union for Conservation of Nature. The Bonn Challenge. Restore our future: impact and potential of forest landscape restoration. 参见 <https://www.bonnchallenge.org/sites/default/files/resources/files/%5Bnode%3Anid%5D/Bonn%20Challenge%20Report.pdf> (访问日期 2021 年 3 月 30 日)
45. Seddon N *et al.* 2021 Getting the message right on nature-based solutions to climate change. *Glob. Change Biol.* **27**, 1518–1546. (doi:10.1111/gcb.15513)
46. Green Climate Fund. 2021. 参见 <https://www.greenclimate.fund/> (访问日期 2021 年 3 月 30 日)
47. Adaptation Fund. 2019. 参见 <https://www.adaptation-fund.org/> (访问日期 2021 年 3 月 30 日)
48. Climate Investment Funds. 2018. 参见 <https://www.climateinvestmentfunds.org/> (访问日期 2021 年 3 月 30 日)
49. Global Environment Facility. 2021. 参见 <https://www.thegef.org/> (访问日期 2021 年 3 月 30 日)
50. Feast S. 2020 What will it take for the 75% of companies that don't have climate commitments to step up? Fast Company. 参见 <https://www.fastcompany.com/90459443/what-will-it-take-for-the-75-of-companies-that-dont-have-climate-commitments-to-step-up> (访问日期 2021 年 3 月 15 日)
51. The Institutional Investors Group on Climate Change. 2021. 参见 <https://www.iigcc.org/> (访问日期 2021 年 3 月 26 日)
52. International Union for the Conservation of Nature. 2020 Global standard for nature-based solutions. A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS. 参见 <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2020-020-En.pdf> (访问日期 2021 年 3 月 15 日)
53. International Union for the Conservation of Nature. IUCN standard to boost impact of nature-based solutions to global challenges. 参见 <https://www.iucn.org/news/nature-based-solutions/202007/iucn-standard-boost-impact-nature-based-solutions-global-challenges> (访问日期 2021 年 3 月 15 日)
54. Brancalion PHS, Chazdon RL. 2017 Beyond hectares: four principles to guide reforestation in the context of tropical forest and landscape restoration. *Restor Ecol* **25**, 491–496. (doi:10.1111/rec.12519)
55. Fothergill A, Hughes J, Scholey K. 2020 *David Attenborough: A Life on our Planet*. Silverback Films. Altitude Film Entertainment. Netflix. 参见 <https://attenboroughfilm.com/> (访问日期 2021 年 3 月 29 日)
56. Anderson CM *et al.* 2019 Natural climate solutions are not enough. *Science* **363**, 933–934. (doi:10.1126/science.aaw2741)
57. Child D. 2020 Sir David Attenborough reveals four ways we can save the planet in new Life On Our Planet documentary. *Evening Standard*. 参见 <https://www.standard.co.uk/lifestyle/david-attenborough-suggestions-save-planet-a4563451.html> (访问日期 2021 年 3 月 30 日)