第二篇

第10章

# 能源和气候

丰富的能源推动世界经济发展。但这是要付出代价的：我们从化石燃料和可再生资源中提取能源 的努力占用了大量的土地。能源生产和消费造成的污染，包括生物质的燃烧，正在改变整个地球的生态环境。

气候变化是这些影响中最大和最严重的，其主要由化石燃料燃烧以及森林损失及粮食系统产生的大量的温室气体排放造成。土地既是气候变化的根源也是受害者，同时土地还是解决方案的一部分。可持续土地管理实践可通过制止和扭转土地来源的温室气体排放为气候减缓战略作出贡献，并可提供不可替代的生态系统服务，帮助社会适应气候变化的影响。

# 引言

自19世纪以来出现了大规模、史无前例的能源使用量爆炸性增长。全球能源使用量在过去200年中增长了20多倍，远远超过了人口增长速度。[1]特别是化石燃料的使用量急剧增加，核裂变已成为具有全球重要意义的能源来源，最近一系列可再生能源技术从小众市场转变为主流市场。能源生产和消费的快速增长反过来又对土地资源产生了重大的影响。这包括土地利用变化和土地退化等直接影响，还有当地和下游土壤、空气和水污染带来的一些更为微妙的影响，以及造成全球性变化的碳排放。

最重要的影响是人为引起气候变化的加速。在19世纪，科学家第一次提出了温室气体的人为排放可能会改变气候的假说，但这个想法从1960年代开始才被广泛接受。[2]尽管仍有少数怀疑论者否认人类对气候造成的任何影响，但自那时起，人们多年来对气候变化的事实、规模和速度已经达成了越来越多的共识。政府间气候变化专门委员会（IPCC）在1988年的成立带来了信息的快速增长，因为这鼓励了世界各地的科学家汇聚研究工作，合作分析数据、建立气候模型和进行评估。[3]

1992年，在里约热内卢举行的地球峰会上，《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）的签署使这个问题变成尖锐的政治重点，从而开始了长达数十年关于如何应对气候变化的谈判进程。[4]土地和气候具有复杂的关系：作物和牲畜管理实践既是气候变化的原因，也是缓解和适应气候变化的潜在解决方案，而陆地生态系统本身也将因此而大大改变。本章简要概述了与能源和气候变化有关的一些关键土地问题。

# 能源

每种能源对土地资源状况都有影响，许多在对生物多样性、更大范围的环境和人类健康的损害方面也有副作用。虽然这些影响的程度不同，但任何能源都要付出某种代价。环境和社会成本、生命周期分析以及能源投入与回报的比例都是需要考虑的重要因素。

政策选择相当复杂，几乎每种类型的能源供应都会遭到民间社会团体的游说反对。[5]尽管有过实现统一能源供应环境战略的尝试，[6]但这个领域一直处于四分五裂、纷繁复杂和饱受争议的状态。 然而，可再生能源的发展正在加快步伐，并将进一步受到关于气候变化的《巴黎协定》推动，该协定致力于全球"脱碳"发展。[7]

"可持续发展目标7"旨在"为所有人提供负担得起的、可靠的、可持续的和现代化的能源"，其中相关目标7.1旨在"确保人人都能获得负担得起的、可靠的和现代化的能源服务"，7.2致力于"大幅增加可再生能源在全球能源结构中的比例"。

其中许多这些问题都在本《展望》中涉及，例如，在第7章中讨论了生物燃料，在第8章讨论了水电。表10.1总结了在土地资源上运营或对土地资源产生影响的不同能源的一些主要影响。

©Thomas Richter

**表10.1：不同能源对土地、环境和人体健康的影响**

| 来源 | 问题 |
|---|---|
| **石油** | 在陆地和[8] 海上开采及输送过程中存在严重的污染风险。迄今世界上最大的事故漏油（发生在墨西哥湾）泄漏了490万桶原油，[9] 影响了大范围的沿海地区。常见的石油泄漏还可能会损害红树林等植被。[10]石油燃烧是空气污染的主要原因；主要来自交通运输的氮氧化物和颗粒物据估计在英国每年造成5万多人过早死亡。[11]化石燃料也是全球最大的温室气体排放来源。[12]在加拿大开采油砂（一种粘稠形式的石油）是一个非常有争议的问题，[13]正如在北极和雨林地区钻探一样。[14] |
| **天燃气** | 水力压裂（“压裂”）在开采化石燃料（尤其包括圈闭的天然气）中的作用已经引起了人们在健康和环境立场上的广泛反对，[15]累积的土地影响可能正在破坏生物多样性。[16] 天然气燃烧也是温室气体的重要来源。单单在石油生产过程中燃烧未利用的天然气，排放的二氧化碳就达一年约2.5亿吨。[17] |
| **煤** | 在开采过程（特别是露天矿）中发生的污染对空气、水和人体健康造成广泛的损害。[18]由于需要矿井木材支撑柱等，地下煤矿的土地足迹实际上反而更大。[19]由于长期吸入煤尘而引起一系列致命疾病的煤矿工人存在严重的健康和安全问题。[20]煤矿井和排土场破坏了栖息地。煤炭是当地污染和雾霾的主要来源，它们与一系列人类疾病有关；[21]大范围的干湿沉积（“酸雨”）对淡水、[22] 森林、水污染[23] 以及温室气体排放都产生了影响。被遗弃的煤矿导致持续数十年的酸性矿井排水。[24] |
| **核能** | 由于其温室气体排放量低，有人认为核能是值得考虑的方案，[25]其他人则对此高度质疑。[26] 虽然铀矿开采可能对生物多样性产生重大影响，造成污染，并且矿工还存在严重的健康问题，但其对土地的整体影响较小。[27] 然而，由于美国哈里斯堡、乌克兰的切尔诺贝利重大事故，[28] 2011年地震期间受损的日本福岛，核能的安全隐患受到广泛的关注[29]直到如今其形势仍然很不稳定。来自核裂变的高放射性废物也需要前所未有的长期储存，这是一个行业内尚未解决的问题，很可能要留给政府去解决。[30] |
| **水电** | 改变河水流动存在很高的成本，导致对生物多样性（例如迁徙鱼类），下游养分供应以及供灌溉的定期洪水等生态系统服务的影响。[31]水力发电山洪沟和低洼地区的水库替代了天然植被或农业用地和社区。[32]在某些情况下，水力发电的蓄水湖是重要的甲烷源。[33] |
| **潮汐能** | 到目前为止仅在几处进行了开发利用。由于可能对鸟类种群的影响，英国塞文河口潮汐发电计划存在对其潜在影响的长期争议。[34]新的泻湖和潮汐流技术对环境的影响较小，可能提供可行的选择方案。 |
| **风能** | 风能系统有很大的土地利用问题，已有人站在美观的立场在对景观的影响方面提出反对，反对的原因还有对鸟类种群[35]和生物多样性丰富地区有潜在影响。[36]理论上可以在风电场设备区域进行耕作，[37]也已存在避开重点保护区域的相应策略。[38]离岸风电场的争议较小，从而更受欢迎。它们可能对海鸟产生负面影响，但是可以为底栖生境和海洋生物提供栖身之地。[39] |
| **太阳能** | 太阳能存在三种形式：太阳能热水系统、聚光式太阳能系统以及光伏电池。[40]太阳能发电站在农田和干旱地区的出现（巨大的光伏电池阵或产生热量的聚光反射镜）引起了对能源与粮食生产和自然保护之间权衡的担忧。[41]但是，如果对太阳能发电站进行细致的设计，将其与农业系统集成，[42]就可以越来越多地安装这样的“农业光伏”系统。[43]需要重点注意的是，光伏生产中产生的温室气体排放本身就非常显著。 |
| **生物燃料** | 超过24亿人依靠薪材和木炭做饭，在不可持续性地砍伐时，这些都会造成森林的丧失和退化。[44]生物燃料种植直接清理天然或半自然植被来建立生物燃料作物，或置换粮食作物，因此同样对土地利用产生重大影响。相反，可持续管理草地进行生物质收获在理论上可以促进保护受威胁的草地。[45]存在不同的标准和认证体系。[46]一些生物燃料还会对健康造成严重影响：由于煤炭和薪柴造成的室内空气污染据估计仅在中国就导致每年42万人过早死亡。[47]化石燃料用量巨大，简单用生物燃料替代并不可行。[48] |

| 来源 | 问题 |
| --- | --- |
| **生物能源加碳捕获和储存** | 如果生物能源与二氧化碳捕获和储存（BECCS）相结合，则可能导致负的温室气体排放：生物质的种植从大气中去除二氧化碳，再将生物质转化为能量，生物质燃烧中释放出的二氧化碳再得到捕获和储存，如果原料供应的管理可以实现低温室气体排放，上述的过程就为BECCS带来了减少温室气体方面的独特优势。BECCS是"2°C内"世界几乎所有战略的核心，这个目标需要到[21]世纪末之前实质性的碳排放量减少。[49]但这项技术尚待验证。[50] |
| **地热能** | 在冰岛等具有大量供应的国家，这是一种重要和长期的来源。较低等级的地热能还可以通过热泵技术加以利用。[51] |
| **垃圾能源回收** | 这是一种增长中的能量来源，举例来说通过热处理系统[52]和沼气发电机实现。[53]这种系统的土地和足迹影响相对较低。 |

©Dean Morley

**表10.2：不同能源系统的土地强度**

数据源
（a）Trainor 等人（2016）
（b）Fthenakis和Kim（2009）
（c）国际可持续分析与战略研究所（2017）
（d）联合国环境署（2016年）
（e）通用估计

| 产品 | 初级能源 | | 土地利用强度[m²/MWh] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 美国数据（a） | 美国数据（b） | 欧盟数据（c） | 联合国环境署（d） | 典型（e） |
| 电力 | 核能 | | 0.1 | 0.1 | 1.0 | | 0.1 |
| | 天然气 | | 1.0 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.2 |
| | 煤 | 地下 | 0.6 | 0.2 | 0.2 | | 0.2 |
| | | 地表（“露天”） | 8.2 | 0.2 | 0.4 | 15.0 | 5.0 |
| | **可再生能源** | 风能 | 1.3 | 1.0 | 0.7 | 0.3 | 1.0 |
| | | 地热能 | 5.1 | | 2.5 | 0.3 | 2.5 |
| | | 水电（大坝） | 16.9 | 4.1 | 3.5 | 3.3 | 10 |
| | | 太阳能光伏 | 15.0 | 0.3 | 8.7 | 13.0 | 10 |
| | | 太阳能聚光 | 19.3 | | 7.8 | 14.0 | 15 |
| | | 生物质 （来自作物） | 810 | 13 | 450 | | 500 |
| 液体燃料 | 石油 | | 0.6 | | 0.1 | | 0.4 |
| | **生物燃料** | 玉米 | 237 | | 220 | | 230 |
| | | 甘蔗（来自甘蔗汁） | 274 | | 239 | | 250 |
| | | 甘蔗（残渣） | | | | | 0.1 |
| | | 大豆 | 296 | | 479 | | 400 |
| | | 纤维素，SRC | 565 | | 410 | | 500 |
| | | 纤维素，残留物 | | | 0.10 | | 0.1 |

在直接土地利用变化方面，最大的影响来自生物燃料和化石燃料的开采，油砂和油页岩开采可能在生产单位能源的土地面积方面具有最大的直接化石燃料足迹。对土地的间接影响来源于各种形式的污染，在受影响地区方面，仍然是化石燃料最为重要，这种影响来自硫和氮的氧化物，更普遍则是通过温室气体释放。表10.2[54]提供了与能源系统相关的土地利用强度汇总。

一般而言，不可再生能源的土地足迹为0.1-1 $m^2$/MWh（除露天采煤外），而非生物可再生能源的土地足迹可达1-10 $m^2$/MWh，而用于生物质（残留物和垃圾除外）为100-1000$m^2$/MWh。[55]尽管核电出现问题时影响要长久得多，但一般来说在土地上的影响较小。

水力发电导致河流和流域发生巨大变化，反过来影响周边土地，减少灌溉水的供应，影响土壤肥力，并经常造成其他土地利用变化：大型水坝淹没土地，破坏栖息地，并使社区搬迁。

关于能源供应的选择并不简单，其规划需要考虑到技术和燃料的整个生命周期。例如，区分集中式（不可再生）技术和分布式可再生能源技术非常重要，前者需要将燃料和其他资源送到生产设施，后者依赖于现场燃料和/或在本地使用能源，大大减少了对运输和传输基础设施的需要。[56]

## 气候变化

《可持续发展目标13》指出"采取紧急行动应对气候变化及其影响"，认识到了气候变化将导致生态系统功能发生根本性的变化，增加整体人类安全的风险。政府间气候变化专门委员会（IPCC）在其对气候变化、其原因以及将来可能对环境和人类社会造成影响的证据评估中坦率表达了看法 。

## 气候变化的影响

IPCC概述了可能对一系列本《展望》相关问题的影响：

- 粮食安全：粮食安全方面预计将会下降。尽管有些地方可能受益，但热带和温带地区种植的小麦、水稻和玉米总体来说将在当地气温升高2°C时受到负面影响（中等可信度）。更大的气温升高会对全球粮食安全构成巨大风险（高度可信）。
- 水安全：大多数干旱亚热带地区可再生地表水和地下水资源的预计减少（有力证据，高度一致）
- 灾害：即使全球平均气温稳定，沿海地区和低洼区域也将持续几个世纪面临海平面上升的风险（高度可信）。极端降水事件增加的证据意味着区域尺度上更大的洪水风险（中等可信）。近期气候相关的极端情况（包括热浪、干旱、洪水、龙卷风和森林火灾）的影响，揭示出一些生态系统和许多人对于当前气候变化的显著脆弱性和暴露性（高度可信）。
- 生物多样性：大部分物种在21世纪及以后面临不断加剧的灭绝风险。大多数植物和动物物种将无法足够快速地转移其地理范围，以适应大多数生态系统中预测的气候变化速度（高度可信）。在很大程度上，许多生态系统的组成、结构、功能和恢复力很可能也会发生变化。
- 人类健康：到本世纪中叶，对人类健康的预计影响将加剧现有的健康问题（非常高可信度），整个本世纪期间在许多地区造成健康欠佳，特别是低收入发展中国家（高度可信）。

**图10.1：气候变化的影响**

- 城市：在城市地区，人员、资产、经济和生态系统的风险可能会增加，包括热压力、风暴和极端降水、内陆和沿海洪水、滑坡、空气污染、干旱、缺水、海平面上升及风暴潮产生的风险（非常高可信度）。缺乏必要基础设施和服务或生活在灾害暴露区域的人们会面临更严重的此类风险。
- 农村地区：预计主要会受到对水资源和供应、粮食安全、基础设施和农业收入产生的重大影响，包括全球粮食和非粮食作物生产区的转变（高度可信）。
- 人员迁徙：可能会有更多的人员搬迁（中等可信，高度一致）。特别是在低收入国家，无法进行有计划迁移的人口将更容易遭受极端天气事件的损害。
- 政治和社会保障："气候变化可能通过放大贫困和经济冲击等有充分证据的暴力冲突驱动因素，间接增加这类冲突的风险（中等可信）。[58]

地球正在进入有史以来前所未有的气候不稳定期，生态系统将发生变化，极端天气事件变得更加普遍，从而危害整个人类的安全。我们已经感受到了影响；当前趋势的延续可能导致的变化是以前曾经有过的数倍之大。

## 文本框10.1：气候变化的可能影响

**政府间气候变化专门委员会在2014年发布了最新报告。以下是一些重要发现。**

**"气候系统变暖是不争的事实，自1950年代以来，观察到了许多在几十年至几千年的周期范围内都没有先例的变化。大气和海洋变暖，雪冰消融，海平面上升...**

**"人为温室气体排放量自工业前时代以来一直在增长，主要受经济和人口增长的推动，现在比以往任何时候都高。这导致了大气中二氧化碳、甲烷和一氧化二氮浓度达到了至少在过去80多万年中前所未有的水平。在整个气候系统中都检测到它们的影响以及其他人为的驱动因素，并且极有可能成为20世纪中叶以来所观察到的气候变暖的主要原因。**

**"近几十年来，气候变化已对所有大洲和整个海洋的自然和人类系统造成了影响。影响是由于观察到的气候变化，不管其原因如何，表明了自然和人类系统对气候变化的敏感性...[57]**

**"持续排放的温室气体将导致进一步变暖以及气候系统和所有组成部分的长久变化，从而增加对人类和生态系统造成严重、普遍和不可逆转影响的可能性。限制气候变化将需要温室气体排放量大量和持续的减少，再加上适应措施，可以控制气候变化风险。"**

## 土地管理推动气候变化

除土地受到影响外，土地利用和管理实践也是气候变化的重要因素。土地利用变化、土地和水的管理以及气候决定了多少碳可被储存、封存或以温室气体的形式释放。2019年，IPCC将出版关于陆地生态系统中气候变化、荒漠化、土地退化、可持续土地管理、粮食安全和温室气体通量的特别报告。[59]土地利用变化往往需要将原始的富碳系统转化为具有较低碳储存潜力的土地利用（例如，森林到草地或农田到定居点和交通基础设施的转变）。土地管理活动可以通过土壤干扰、更低的团聚体稳定性、更高的火灾发生率和植被覆盖的丧失而增加碳损失。

农业、林业和其他土地利用（AFOLU）占世界温室气体排放量刚好不到不到四分之一的水平，总体贡献一段时间保持一致。虽然生物质燃烧也很重要，但主要因素还是森林砍伐和牲畜、土壤和养分管理引起的农业排放。[60]估计数据显示，在一切照旧的情景下，到2100年，森林损失所造成气候变化的全球经济成本将达到1万亿美元。[61]在削减化石燃料产生的排放量仍然是全球首要任务的同时，停止和逆转森林损失和土地退化也是减轻气候变化的最紧迫任务之一，这一点得到科学家、[62]政府[63]和非政府组织充分认可。[64]

## 陆地生态系统中储存的碳

同时，世界生态系统也有可能通过储存和封存温室气体来缓解气候变化，并通过保持重要的生态系统服务和为其提供支持的生物多样性来帮助人类适应变化。

对于气候变化的缓解来说，挑战和机遇在于如何将土地从碳源转为碳汇。如果要让土地管理对缓解作出巨大贡献，必须更好地了解不同土地利用和管理实践对固碳速率、植物生产力和总储存能力的影响。[65]需要有充分的激励措施来鼓励防止排放和固存额外碳的土地利用。土地管理实践的变化可以减少温室气体排放，也有助于固存大气中的碳（见表10.3），但潜力尚不清楚。

包括泥炭在内的土壤被认为是土地上最大的碳库，虽然估计不一，但土壤固持的碳多于大气和植被的总和[66]。植物通过光合作用获得大气二氧化碳，其中的碳包含作物残留物和其他有机固体中，从而被固存到土壤中。通过管理为土壤增加生物量、减少土壤搅动、保持水分、改善土壤结构、增强土壤动物活动的系统，可以使固碳量增加。相反，如第7、8和9章所述，储存的土壤碳可能会因管理不善而损失。无论碳储存规模大小如何，许多气候变化倡议中，将土壤碳作为缓解策略的作用往往被轻视或忽视。[67]

森林也提供了巨大的碳储量。热带云雾林中碳储量的估算值为170-250吨碳/公顷（tC/ha），[68]部分取决于大型木本物种的数量：[69]地上生物量约160 tC/ha，地下为40 tC/ha，土壤为90-200 tC/ha。[70]热带云雾林甚至在进入老龄化阶段后也在固存碳，在亚马逊[71]和非洲[72]均是如此。北方森林含有第二大陆地储碳量，主要储存在土壤和落叶层中，平均为60-100 tC/ha，[73]并在森林成熟时继续固存碳。[74]北方森林下的泥炭是这种生态系统类型储存如此多碳的主要原因。但是，如果火灾频发，碳就会损失，[75]这也是气候变化下可能会增加的情况，[76]如果木材收获量增加，[77]生物群落将来就可能正好从碳汇变成碳源。

有许多作物和牲畜管理实践可以保护和恢复土地资源的生产力，同时减少排放并固存碳（见图10.2）。内陆湿地（特别是泥炭地）是非常重要的碳库。虽然它们只覆盖了大约3%的土地面积，但据信泥炭含有地球上最大的储碳量。[79]完好的泥炭地容纳量可达1300吨 tC/ha[80]全球估计储存了5500亿吨碳。[81]

草地也是主要的碳库[82]，固持的碳占陆地总量的10%以上。[83]热带草地的储碳量范围在没有树木时的不足2 tC/ha到有树热带草原的最高30 tC/ha。[84]温带草地也是重要的碳储存地。[85]

**表10.3：生物群系储存的碳[86]**

| 生物群系 | 十亿吨碳 |
|---|---|
| 热带和亚热带森林 | 547.8 |
| 热带和亚热带草地、热带草原以及灌木林 | 2850.3 |
| 沙漠和干灌木丛 | 178.0 |
| 温带草地，热带稀树草原和灌木林 | 183.7 |
| 温带森林 | 314.9 |
| 北方森林 | 384.2 |
| 苔原地带 | 155.4 |
| **总计** | **2049.3** |

©Angela Benito

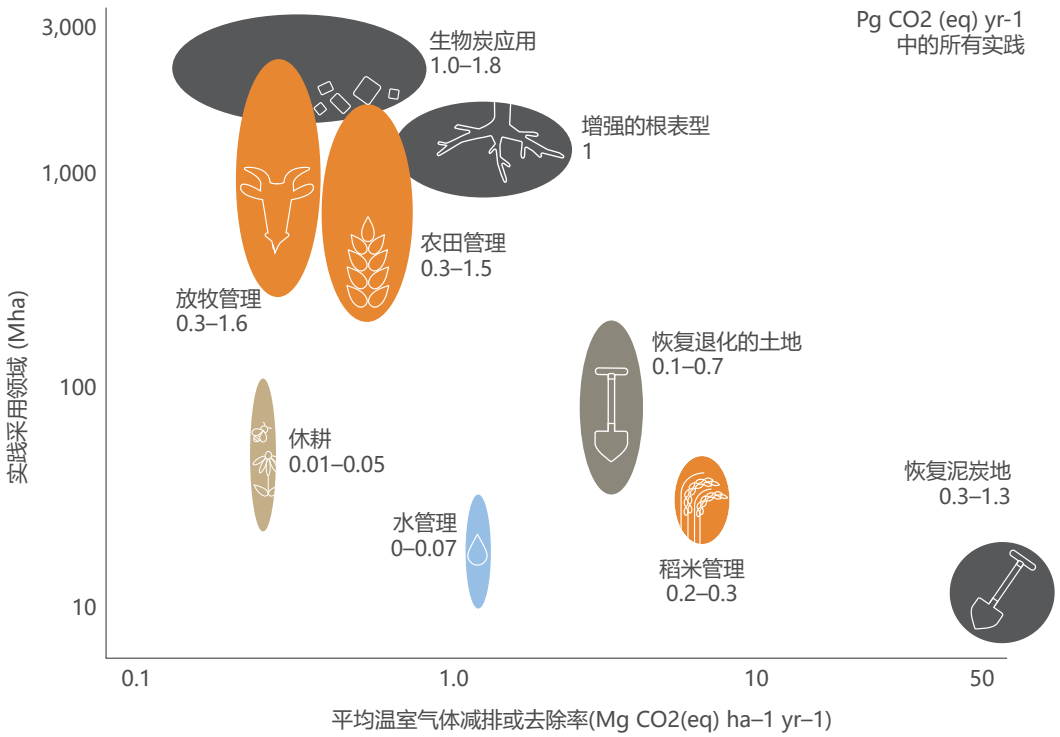


**图10.2：农业温室气体减排措施的全球潜能**其中1Pg（拍克）等于10亿公吨，Mg（兆克）等于1公吨：引自[78]

## 最大程度提高 陆地生态系统的碳储存量[87]

**1. 减少构成温室气体来源的土地管理变化和集约化栽培造成的排放：**

- 通过对已经投入生产的土地（主要是农田）进行可持续强化，暂不转化较高碳储存潜力的土地。
- 避免或减少重大的土地用途变化（如森林砍伐、快速城市化和无规划的城市蔓延、生物燃料种植）
- 保护湿地和草地免受转化
- 改进目前释放大量温室气体的生产系统（例如，通过稻田干湿交替灌溉减少温室气体排放）

**2. 保护高碳含量土壤：**

- 避免过度排水导致有机土壤的氧化和矿化；通过调节地下水位使地下水位处于最佳高度；保护和恢复湿地
- 避免加速土壤侵蚀和土壤有机质分解的农艺实践和生产体系；用无耕地或低耕耕种替代，永久土壤覆盖，分区轮牧等
- 避免通过焚烧清除灌木或林地相关物、过度放牧和植被过度开发，这些做法将减少地上和地下的有机质

**3. 增加碳固存并提高储存能力**

- 将集约化利用的农田或牧场恢复到更广泛的系统，如有机土壤复水处理或逆转土地利用（例如，从农田变回草地或恢复湿地）
- 增加矿物土壤碳固存和储碳量；应用改善地上和地下生物量生产和残留物保留的农业管理实践
- 必要时通过规定的燃烧保持"冷火"，避免大量强烈的野火

通过改进土地利用和管理实现气候变化缓解是一项长期投资，在某些情况下，由于所需的时间以及缺乏当地土地使用者能得到的直接利益，会涉及到一定的权衡。例如，通过种植覆盖作物和减少土壤扰动改善矿物土壤的管理，可增加碳储量而不提高地下水位。这降低了有机和矿物土壤中的甲烷排放的风险，并说明了为什么需要细致计算总体碳平衡。一些缓解气候变化的策略，包括有机土壤复水处理和草地的恢复，对生物多样性的保护和整个系统的恢复力具有明显的协同效益。

## 通过土地管理 增加恢复力

除碳固存和储存之外，适当管理的自然和半自然生态系统提供了一系列重要的生态系统服务，如第4章所述。这包括其在防止或减少天气相关灾害、提供安全饮用水供应、应对气候相关卫生问题以及保护包括野生食物、渔业和作物野生近缘种在内的粮食供应方面的作用。更基本的是，通过保护养分和水循环和土壤形成来维持一个健康、功能正常的生物圈，发挥良好作用的生态系统就能为确保长期的粮食和水安全提供基本的组成部分。

有效的适应取决于生态系统本身是否持续发挥作用，因此对自然地区管理负责的人越来越多地着眼于让选择方案能够提高抵御气候变化和其他形式压力的恢复力。[88]确保陆地自然资本尽可能健全并得到可持续管理，减少了温室气体的释放并将碳固存，同时提高了人类和生态系统面对气候变化影响的恢复力。

## 结语

对这些挑战的响应听起来很简单：污染更少的能源，更有效率并且节能的解决方案以及优先考虑土壤中碳保护的土地利用和管理实践。[89]然而，在实践中完全做到已被证明是一种挑战，实施公平的清洁能源战略和扩大可持续土地管理更具挑战性。

一边是快速增长的粮食需求，一边是应对全球气候变化的迫切要求，通过稳定或减少农业排放对两者的协调是一个复杂的问题，需要采取创新的政策措施来激励最佳实践。因此，气候缓解政策应针对作物高排放和高密集度的地区。结果清楚地表明，农田的气候缓解政策应优先排除泥炭地的排放。[90]饮食习惯转变也有很大的潜力帮助减少碳损失。[91]

有人认为，无论危险性如何，核电都比我们继续依赖化石燃料更好，[92]而其他人则支持一个无核的可再生能源未来。[93]一些分析人士认为，石油供应已达到顶峰，世界面临着真实的能源短缺[94]，而其他人则持不同观点。[95]各国应该多大程度上依赖水电仍然是一个争议很大的主题。继续一切照旧的惯性很大，主要行业参与者有能力创造能够让自己行业获利的能源未来。解决能源和气候双重挑战的战略开始出现，但通常都是零零散散，比我们需要的慢得多。

# 参考文献


**1** Grübler, A. 2004. Transitions in Energy Use. In: The Encyclopedia of Energy volume 6, Elsevier, pp. 163-177.

**2** Anon. 2015. Climate milestones leading to 1965 PCAST Report. Science **350**: 1046.

**3** Hulme, M. and Mahony, M. 2010. Climate change: What do we know about the IPCC? Progress in Physical Geography **34** (5): 705-718.

**4** Knopf, B., Fuss, S., Hansen, G., Creutzig, F., Minx, J., and Edenhofer, O. 2017. From targets to action: Rolling up our sleeves after Paris. *Global Challenges* **1** (2): 1600007.

**5** Dudley, N. 2008. Back to the energy crisis: The need for a coherent policy towards energy systems. Policy Matters issue 16. IUCN Commission on Environmental, Economic and Social Policy, Switzerland.

**6** See for example Singer, S. (ed.) 2011. The Energy Report: 100% renewable energy by 2050. WWF International, Gland, Switzerland.

**7** UNCCD. 2016. Land Matters for Climate: Reducing the gap and approaching the target. UNCCD, Bonn.

**8** Rowell, A., Marriott, J., and Stockman, L. 2005. The Next Gulf: London, Washington and Oil Conflict in Nigeria. Constable and Robinson, London.

**9** Mendelssohn, I.A., Andersen, G.L., Baltz, D.M., Caffey, R.H., Carman, K.R., et al. 2012. Oil impacts on coastal wetlands: Implications for the Mississippi river delta ecosystem after the Deepwater Horizon oil spill. *Bioscience* 62 (6): 562-574.

**10** UNEP 2011. Environmentaal assessment of Ogoniland. United Nations Environment Programme, Nairobi.

**11** Department of Environment, Food and Rural Affairs. 2015. Draft Plans to Improve Air Quality in the UK: Tackling nitrogen dioxides in our towns and cities. HM Government, London.

**12** https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data, accessed February 12, 2017.

**13** Gosselin, P., Hrudey, S.E., Naeth, M.A., Plourde, A., Therrien, R., et al. 2010. Environmental and Health Impacts of Canada's Oil Sands Industry. The Royal Society of Canada. Ottawa; Timoney, K.P. and Lee, P. 2009. Does the Alberta tar sands industry pollute? The scientific evidence. *T*he Open Conservation Biology Journal **3:** 65-81.

**14** Jones, N., Pejchar, L., and Kiesecker, J. 2015. The energy footprint: How oil, natural gas, and wind energy affect land for biodiversity and the flow of ecosystem services. *BioScience* **65** (3): 290-301**.**

**15** Jackson, R.B., Vengosh, A., Carey, J.W., Davies, R.J., Darrah, T.H., O'Sullivan, F., and Pétron, G. 2014. The environmental costs and benefits of fracking. Annual Review of Environment and Resources **39**: 1-655**.**

**16** Dannwolf, U. and Heckelsmüller, A. 2014. Environmental Impacts of Hydraulic Fracturing Related to the Exploration and Exploitation of Unconventional Natural Gas, in Particular of Shale Gas Part 2 – Groundwater Monitoring Concept, Fracking Chemicals Registry, Disposal of Flowback, Current State of Research on Emissions/ Climate Balance, Induced Seismicity, Impacts on Ecosystem, Landscape and Biodiversity – Summary. Umweltbundesamt, Dessau.

**17** Olivier, J.G.J., Janssens-Maenhout, G., Muntean, M., and Peters, J.A.H.W. 2014. Trends in Global CO2 Emissions: 2014 Report. PBL and JRC, The Hague.

**18** Younger, P.H. 2004. Environmental impacts of coal mining and associated wastes: A geochemical perspective. In: Gieré, R. and Stille, P. (eds.) Energy, Waste and the Environment: A geochemical perspective. Geological Society London, Special Publications **236**: 169-209.

**19** Berrill, P., Arvesen, A., Scholz, Y., Gils, H.C., and Hertwich, E.G. 2016. Environmental impacts of high penetration renewable energy scenarios for Europe. Environmental Research Letters **11**: 014012.

**20** Chen, H., Feng, Q., Long, R., and Qi, H. 2013. Focusing on coal miners' occupational disease issues: A comparative analysis between China and the United States. Safety Science **51**: 217-222.

**21** Burt, E., Orris, P., and Buchanan, S. 2013. Scientific Evidence of Health Effects from Coal Use in Energy Generation. University of Illinois at Chicago School of Public Health, Chicago.

**22** National Swedish Environment Protection Board. 1983. Ecological Effects of Acid Deposition. Report SNV PM 1636. Solna, Sweden.

**23** Wang, C. and Mu, D. 2014. An LCA study of an electrical coal supply chain. Journal of Industrial Engineering and Management **7**: 311-335.

**24** Simate, G.S. and Ndlovu, S. 2014. Acid mine drainage: Challenges and opportunities. Journal of Environmental Chemical Engineering **2** (3): 1785-1803.

**25** Brook, B. and Bradshaw, C. 2015. Key role for nuclear energy in global biodiversity conservation. Conservation Biology **29** (3): 702-712.

**26** Henle, K., Gawel, E., Ring, I., and Strunz, S. 2016. Promoting nuclear energy to sustain biodiversity conservation in the face of climate change: Response to Brook and Bradshaw 2015. Conservation Biology **30** (3): 663-665.

**27** Samet, J.M., Kutvirt, D.M., Waxweiler, R.J., and Key, C.R. 1984. Uranium mining and lung cancer in Navajo men. The New England Journal of Medicine **310** (23): 1481-1484.

**28** Alexievich, S. 1997 (translation 2016). Chernobyl Prayer. Penguin, Harmondsworth.

**29** Holt, M., Campbell, R.J., and Nikitin, M.B. 2012. Fukushima Nuclear Disaster. Congressional Research Service, Washington, DC.

**30** Srinivasan, T.N. and Gopi Rethhinaraj, T.S. 2013. Fukushma and thereafter: Reassessment of the risks of nuclear power. Energy Policy **52**: 726-736.

**31** World Commission on Dams. 2000. Dams and Development: A new framework for decision-making. Earthscan, London.

**32** Scherer, L. and Pfister, S. 2016. Global water footprint assessment of hydropower. Renewable Energy **99**: 711-720.

**33** Kemenes, A., Rider Forsberg, B., and Melack, J.M. 2007. Methane release below a tropical hydropower dam. Geophysical Research Letters 34 (12).

**34** Pethick, J.S., Morris, R.K.A., and Evans, D.H. 2009. Nature conservation implications of a Severn tidal barrage – A preliminary assessment of geomorphological change. Journal for Nature Conservation **17**: 183-196.

**35** Drewitt, A.L. and Langston, R.H.W. 2006. Assessing the impacts of wind farms on birds. Ibis **148**: 29-42.

**36** Wu, G., Torn, M., and Williams, J. 2015. Incorporating land-use requirements and environmental constraints in low-carbon electricity planning for California. Environmental Science and Technology **49**: 2013-2021.

**37** Hertwich, E., Gibon, T., Boumana, E.A., Arvesen, A., Suh, S., et al. 2015. Integrated life-cycle assessment of electricity-supply scenarios confirms global environmental benefit of low-carbon technologies. Proceedings of the National Academy of Sciences 112 (20): 6277-6282.

**38** Kaza, N. and Curtis, M. 2014. The land use energy connection. Journal of Planning Literature **29** (4): 1-16.

**39** Hammar, L., Perry, D., and Gullström, M. 2016. Offshore wind power for marine conservation. O*pen Journal of Marine Science* **6**: 66-78.

**40** Ong, S., Campbell, C., Denholm, P., Margolis, R., and Heath, G. 2013. L*and-Use Requirements for So*lar Powe*r Plants in the United States.* National Renewable Energy Laboratory Technical Report NREL/TP-6A20-56290. Golden, CO, USA.

**41** Hernandez, R.R., Easter, S.B., Murphy-Mariscal, M.L., Meastre, F.T., and Tavassoli, M. 2014. Environmental impacts of utility-scale solar energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews **29**: 766-779.

**42** Dinesh, H. and Pearce, J. 2016. The potential of agrivoltaic systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews **54**: 299-308.

**43** http://www.agrophotovoltaik.de/english/agrophotovoltaics/, accessed May 10, 2017.

**44** van Dam, J. 2017. The charcoal transition: Greening the charcoal value chain to mitigate climate change and improve local livelihoods. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

**45** Donnison, I. and Fraser, M. 2016. Diversification and use of bioenergy to maintain future grasslands. Food and Energy Security **5** (2): 67-75.

**46** Thrän, D. and Fritsche, U. 2016. Standards for biobased fuels and resources – status and need. In: IEA Bioenergy Conference 2015 Proceedings: 148-158.

**47** Zhang, J. and Smith, K.R. 2007. Household air pollution from coal and biomass fuels in China: Measurements, health impacts and interventions. Environmental Health Perspectives **115** (6): 848-855.

**48** Haberl, H., Erb, K.-H., Krausmann, F., Running, S., Searchinger, T.D., and Smith, W.K., 2013. Bioenergy: How much can we expect for 2050? *Environmental Research Letters* **8**: 031004.

**49** Kartha, S. and Dooley, K. 2016. *T*he risks of relying on tomorrow's 'negative emissions' to guide today's mitigation action. Stockholm Environment Institute Working Paper 2016-08. Stockholm.

**50** Creutzig, F. 2016. Economic and ecological views on climate change mitigation with bioenergy and negative emissions. GCB Bioenergy **8**: 4-10.

**51** Zarrouk, S.J. and Moon, H. 2014. Efficiency of geothermal power plants: A worldwide review. Geothermics **51**: 142-153.

**52** Lombardi, L., Carnevale, E., and Corti, A. 2015. A review of technologies and performance of thermal treatment systems for energy recovery from waste. Waste Management **37**: 26-44.

**53** Budzianowski, W.M. 2016. Renewable and sustainable. Energy Reviews **54**: 1148-1171.

**54** Fritsche, U.R., Berndes, G., Cowie, A.L., Dale, V.H., Kline, K.L., Johnson, F.X., Langeveld, H., Sharma, N., Watson, H., and Woods, J. 2017. Sustainable Energy Options and Implications for Land Use. Working Paper for the UNCCD Secretariat and IRENA, Darmstadt.

**55** Ibid.

**56** Kaza, N. and Curtis, M. 2014. Op. cit.

**57** IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report.

**58** Ibid.

**59** http://www.ipcc.ch/report/sr2/

**60** Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., et al. 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., et al. (eds.) Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

**61** Eliasch, J. 2008. Climate Change: Financing global forests – the Eliasch Review, Earthscan, London. See also: Canadell, J.G., Le Quéré, C., Raupach, M.R., Field, C.B., Buitenhuis, E., et al. 2007. Contributions to accelerating atmospheric CO2 growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. Proceedings of the National Academy of Sciences **104**: 18866-18870.

**62** Malhi, Y., Roberts, J.T. Betts, R.A., Killeen, T.J., Li, W., and Nobre, C.A. 2008. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon, *Science* **319**: 169-172.

**63** For example European Climate Change Programme. 2002. Working group on forest sinks: Conclusions and recommendations regarding forest related sinks & climate change mitigation.

**64** Sandwith, T. and Suarez, I. 2009. Adapting to Climate Change: Ecosystem-based adaptation for people and nature, The Nature Conservancy, Arlington, VA, USA.

**65** Erb, K.-H., Fetzel, T., Plutzar, C., Kastner, T., Lauk, C., et al. 2016. Biomass turnover time in terrestrial ecosystems halved by land use. Nature Geosciences **9**: 674-678.

**66** Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* **304**: 1623-1627.

**67** Scherr, S.J. and Sthapit, S. 2009. Mitigating Climate Change through Food and Land Use. World Watch Report 179. World Watch Institute, USA.

**68** Malhi, Y., Wood, D., Baker, T.R., Wright, J., Phillips, O.L., et al. 2006. The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. Global Change Biology **12**: 1107-1138; Chave, J., Olivier, J., Bongers, F., Chatelet, P., Forget, P.M., et al. 2008. Aboveground biomass and productivity in a rain forest of eastern South America, *Journal* of Tropical Ecology **24**: 355-366; Lewis, S.L., Lopez-Gonzalez, G., Sonké, B., Affum-Baffoe, K., Baker, T.R., et al. 2009. Increasing carbon storage in intact African tropical forests. Nature **457**: 1003-1006.

**69** Baker, T.R., Phillips, O.L., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., et al. 2004. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass, *Glo*bal Change Biology **10**: 545-562.

**70** Amundson, R. 2001. The carbon budget in soils. Annual Review of Earth and Planetary Sciences **29**: 535-562.

**71** Baker, T.R., Phillips, O.L., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., et al. 2004. Increasing biomass in Amazon forest plots. *P*hilosophical Transactions of the Royal Society B **359**: 353-365.

**72** Lewis, S.L., Lopez-Gonzalez, G., Sonke´, B., Affum-Baffoe, K., Baker, T.R., et al. 2009. Increasing carbon storage in intact African tropical forests, Nature **457**: 1003-1006.

**73** Malhi, Y., Baldocchi, D.D., and Jarvis, P.G. 1999. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant, C*ell and Environment **22**: 715-740; Luyssaert, S., Inglima, I., Jung, M., Richardson, A.D., Reichsteins, M., et al. 2007. CO2 balance of boreal, temperate, and tropical forests derived from a global database. Global Change Biology **13**: 2509-2537.

**74** Luyssaert, S. E., Schulze, D., Börner, A., Knohl, D., Hessenmöller, D., et al. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. Nature **455**: 213-215.

**75** Bond-Lamberty, B., Peckham, S.D., Ahl, D.E., and Gower, S.T. 2007. Fire as the dominant driver of central Canadian boreal forest carbon balance. Nature **450**: 89-93.

**76** Stocks, B.J., Fosberg, M.A., Lynham, T.J., Mearns, L., Wotton, B.M., et al. 1998. Climate change and forest fire potential in Russian and Canadian boreal forests. Climatic Change **38**: 1-13.

**77** Holtsmark, B. 2013. Boreal forest management and its effect on atmospheric $CO_2$. Ecological Modelling **248**: 130-134.

**78** Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G. P., and Smith, P. 2016. Climate-smart soils. Nature, **532**: 49-57.

**79** Parish, F., Sirin, A., Charman, D., Jooster, H., Minayeva, T., and Silvius, M. (eds.) 2007. Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen, Netherlands.

**80** Pena, N. 2008. Including peatlands in post-2012 climate agreements: Options and rationales, Report commissioned by Wetlands International from Joanneum Research, Austria.

**81** Sabine, C.L., Heimann, M., Artaxo, P., Bakker, D.C.E., Chen, C.T.A., et al. 2004. Current status and past trends of the global carbon cycle. In: Field C.B. and Raupach, M.R (eds.) The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate and the Natural World. Island Press, Washington, DC, USA, pp. 17-44.

**82** Schuman, G.E., Janzen, H.H., and Herrick, J.E. 2002. Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. Environmental Pollution **116**: 391-396.

**83** Nosberger J., Blum, H., and Fuhrer, J. 2000. Crop ecosystem responses to climatic change: Productive grasslands. In: Hodges H.F. (ed.) Climate change and global crop productivity. CAB International, Wallingford, UK, pp. 271-291.

**84** Grace, J., San José, J., Meir, P., Miranda H.S., and Montes, R.A. 2006. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. Journal of Biogeography **33**: 387-400.

**85** Amundson, R. 2001. The carbon budget in soils. Annual Review of Earth and Planetary Sciences **29**: 535-562.

**86** Trumper, K., Bertzky, M., Dickson, B., van der Heijden, G., Jenkins, M., and Manning, P. 2009. The Natural Fix? The Role of Ecosystems in Climate Mitigation. A UNEP rapid response assessment. United Nations Environment Programme, UNEP-WCMC, Cambridge, UK.

**87** Liniger, H.P., Mekdaschi Studer, R., Moll, P., and Zander, U. 2017. Making sense of research for sustainable land management. Centre for Development and Environment (CDE), University of Bern, Switzerland and Helmholtz-Centre for Environmental Research GmbH – UFZ, Leipzig, Germany.

**88** Andrade Pérez, A., Herera Fernández, B., and Cazzolla Gatti R. (eds.) 2010. Building Resilience to Climate Change: Ecosystem-based adaptation and lessons from the field. IUCN Commission on Ecosystem Management, Ecosystem Management Series number 9, IUCN, Gland, Switzerland; Epple, C. and Dunning, E. 2014. Ecosystem resilience to climate change: What is it and how can it be addressed in the context of climate change adaptation? Technical report for the Mountain EbA Project. UNEP World Conservation Monitoring Centre, Cambridge, UK.

**89** Swingland, I.R. (ed.) 2002. *C*apturing Carbon and Conserving Biodiversity: The market approach. Earthscan and The Royal Society, London.

**90** Carlson, K. M., Gerber, J. S., Mueller, N. D., Herrero, M., MacDonald, G. K., et al. 2017. Greenhouse gas emissions intensity of global croplands. Nature Climate Change. 7, 63-68.

**91** Erb, K.-H., Lauk, C., Kastner, T., Mayer, A., Theurl, M.C., and Haberl, H. 2016. Exploring the biophysical option space for feeding the world without deforestation. Nature Communications **7**: 11382.

**92** Walker, G. and King, D. 2008. The Hot Topic: How to tackle global warming and still keep the lights on. Bloomsbury, London.

**93** Centre for Alternative Technology. 2013. Zero Carbon Britain: Rethinking the future. CAT, Machynlleth, Wales, UK.

**94** Roberts, P. 2004. The End of Oil: The decline of the petroleum economy and the rise of the new energy order. Bloomsbury, London; Leggett, J. 2005, Half Gone: Oil, gas, hot air and the global energy crisis. Portobello Books, London.

**95** Clarke, D. 2007. The Battle for Barrels: Peak oil myths and world oil futures. Profile Books, London.