



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Engineering

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/eng](http://www.elsevier.com/locate/eng)



News & Highlights

## 依靠负排放技术减缓气候变化

Chris Palmer

Senior Technology Writer

根据美国国家科学、工程与医学研究院 (NASEM) 2018年年底发布的一份报告, 从空气中去除和隔离CO<sub>2</sub>的负排放技术 (NET) 将在减缓气候变化方面发挥重要作用[1]。报告呼吁启动实质性的研究计划以尽快推进这些技术。

自工业时代以来, 人类活动——主要是燃烧化石燃料和向大气中排放CO<sub>2</sub>——已导致全球平均气温上升约1 °C。为了避免发生灾难性的气候变化, 195个国家在2015年共同签署了具有里程碑意义的《巴黎协定》, 设定了防止全球平均气温上升超过2 °C、理想情况下不超过1.5 °C的目标[2]。

但挑战是艰巨的。要实现在未来十年将全球温室气体排放量减少一半, 并在2050年左右实现“净零”排放的目标, 这需要付出巨大努力。据估计, 实现全球平均气温上升不超过1.5 °C目标的机会只有三分之二[3]。这意味着世界上每个经济体的每个部门——电力、交通、工业、农业——都需要在2050年前实现平均零排放。政府间气候变化专门委员会 (Intergovernmental Panel on Climate Change) 是世界上最重要的减缓气候变化的权威机构, 委员会根据《巴黎协定》设定的排放目标评估了最经济可行的途径。位于德国柏林的科学政策智库——墨卡托全球公共资源与气候变化研究所——可持续资源管理与全球变化工作组组长、经济学家Sabine Fuss表示: “没有一条通往1.5 °C目标的路径可以在完全

不去除一些CO<sub>2</sub>的情况下发挥效果。” (图1) [4]。

由2017年的一项元分析可知, 利用NET每年可捕获相当于370亿吨的CO<sub>2</sub>, 成本低于每吨70美元[5], 这将抵消2018年某项研究估计的约371亿吨的当前全球CO<sub>2</sub>年排放量[6]。最近, Fuss和他的同事们评审了2092份与7种不同NET有关的文件 (图2) [7], 预测了这些技术能从空气中去除多少CO<sub>2</sub>及其所需成本[7]。

造林 (afforestation) 和重新造林 (reforestation) 是最便宜的方案, 每去除一吨CO<sub>2</sub>的成本在10美元到几十美元之间。Baston等[8]在2019年的一项研究中计算出, 理论上, 有近10亿公顷的土地可以种植新的树木, 从而使地球上能够支持树木生长的土地总面积达到44亿公顷。一旦成熟, 新种植的5000亿棵树可以储存2000亿吨碳。然而, 这一方案的问题是, 树木需要50~100年才能成熟, 许多树木还需要种植在积雪的北部地区, 而这些地区会将大量的太阳辐射反射回太空[9]。另外, 还有一些其他的问题。“像造林这种基于土地的解决方案非常令我担忧。”Fuss在墨卡托研究所的同事、应用可持续性科学工作组组长、经济学家Jan Minx说。“土地实际上非常稀缺, 我们需要土地来养活人民。随着治理方式的改变, 或者由于气候变暖导致森林火灾持续增加, 树木很容易会再次消失, 碳会立即释放回大气。”

最昂贵的NET方案是直接空气捕获 (DAC), 这种方案涵盖了一系列的工程化系统, 包括先从空气中

E-mail address: [dave.egerter@gmail.com](mailto:dave.egerter@gmail.com)

2095-8099/© 2019 THE AUTHORS. Published by Elsevier LTD on behalf of the Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

英文原文: Engineering 2019, 5(6): 982-984

引用本文: Chris Palmer. Mitigating Climate Change Will Depend on Negative Emissions Technologies. *Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.10.006>

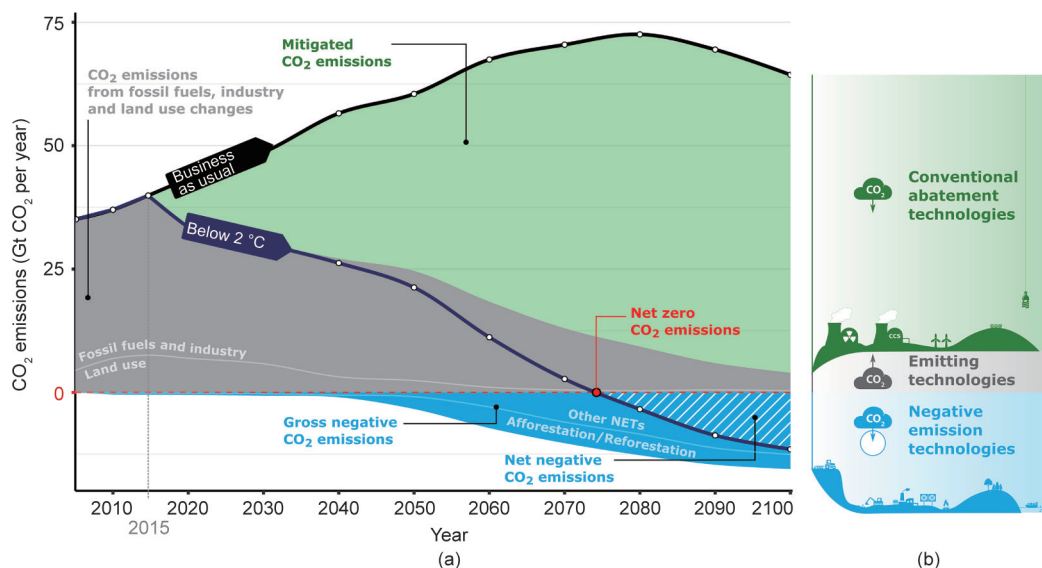


图1. 传统减排技术与CO<sub>2</sub>去除相结合的减排预测。(a) 情景文献中的CO<sub>2</sub>排放途径；(b) 技术示例。如果没有传统减排技术（“一切照旧”），排放量将继续上升。相对于工业化前水平，至少有三分之二的机会将全球平均气温的上升幅度控制在2 °C以下，若想实现这个目标，就需要将传统减排技术与NET结合起来。在这种“低于2 °C”的情景下，全球净排放水平在2075年左右将变为负[4]。

去除CO<sub>2</sub>，再将CO<sub>2</sub>埋在地下的旧油气储层或咸水含水层中。研究人员已经在小范围内对DAC的成本进行了测试，每去除一吨CO<sub>2</sub>的成本约为数百美元或更高。2019年的一项研究表明，到2100年，该技术可能需要消耗全球能源供应的四分之一[10]。但是，这项技术可能是所有NET中CO<sub>2</sub>去除潜力最高的。“DAC的一大优势是，它可能比其他技术更具可扩展性。”Minx说。Minx是2018年NASEM最终报告的评审人，他的工作以及与Fuss共同进行的工作在报告中被广泛引用。“这有点像太阳能，原则上，DAC模式可以被应用在任何地方。”

就成本和碳去除潜力而言，介于造林和DAC之间的方案是生物能源与碳捕获和储存（BECCS）技术。这项技术是通过在发电厂燃烧植物燃料或生物质来发电的。但该过程产生的CO<sub>2</sub>并没有被排放到大气中，而是被泵入地下，每去除一吨CO<sub>2</sub>的成本估计在100~200美元。这项技术是可行的，但需要大规模推广才能发挥作用。中国目前有17座大型碳捕获和储存工厂，每年可去除排入大气的CO<sub>2</sub>约4000万吨[11]，低于年碳排放总量的0.01%。

Fuss、Minx和他们的同事认为，目前最具成本效益的NET是土壤碳封存技术，这是一种通过调整农业生产方式来增加土壤中CO<sub>2</sub>含量的方法。封存效果可以通过免耕和轮作等再生农业措施来加强。墨尔本大

学化学工程专业的教授Robin Batterham表示，尽管向农民提供补贴并让他们实施这些措施在经济上是合理的，但面临的挑战首先是说服农民改变几十年的耕作习惯，并找出一种成本效益高的方式来追踪农民的工作成效。然而，并不是每个人都认同该过程所封存的CO<sub>2</sub>含量。2016年的一项研究认为，土壤碳封存的潜在影响被高估了约40%[12]。

评估所有NET的总潜力并不是把它们简单地加在一起。这些技术都处于不同的发展阶段，其中部分技术还会与其他技术相互竞争土地、水、生物能源和其他资源。例如，如果想让实现1.5 °C目标的路径发挥效果，就需要比印度大2~5倍的土地来种植BECCS所需的生物质[13,14]。

Minx表示，NET可以被看成一套组合，每个NET的部署都要考虑成本、有效性、可用性、安全性和永久性。例如，目前可以对可用的、相对便宜的而且更容易进行可逆操作的基于土地的方案进行部署。然后，更多的技术方案，如碳去除量更高的BECCS和DAC，可以在技术成熟后逐步采用。“在1.5 °C的情景下，这些技术运作的量级是10亿吨，而我们离这个目标还很远。”Minx说。“创新的时间通常比人们想象的要长得多，一些最具可扩展性的NET仍处于研发阶段。”

无论如何，“当前的最佳解决方案可能是尽快实现经济脱碳，避免CO<sub>2</sub>在第一时间就被大量排入大气

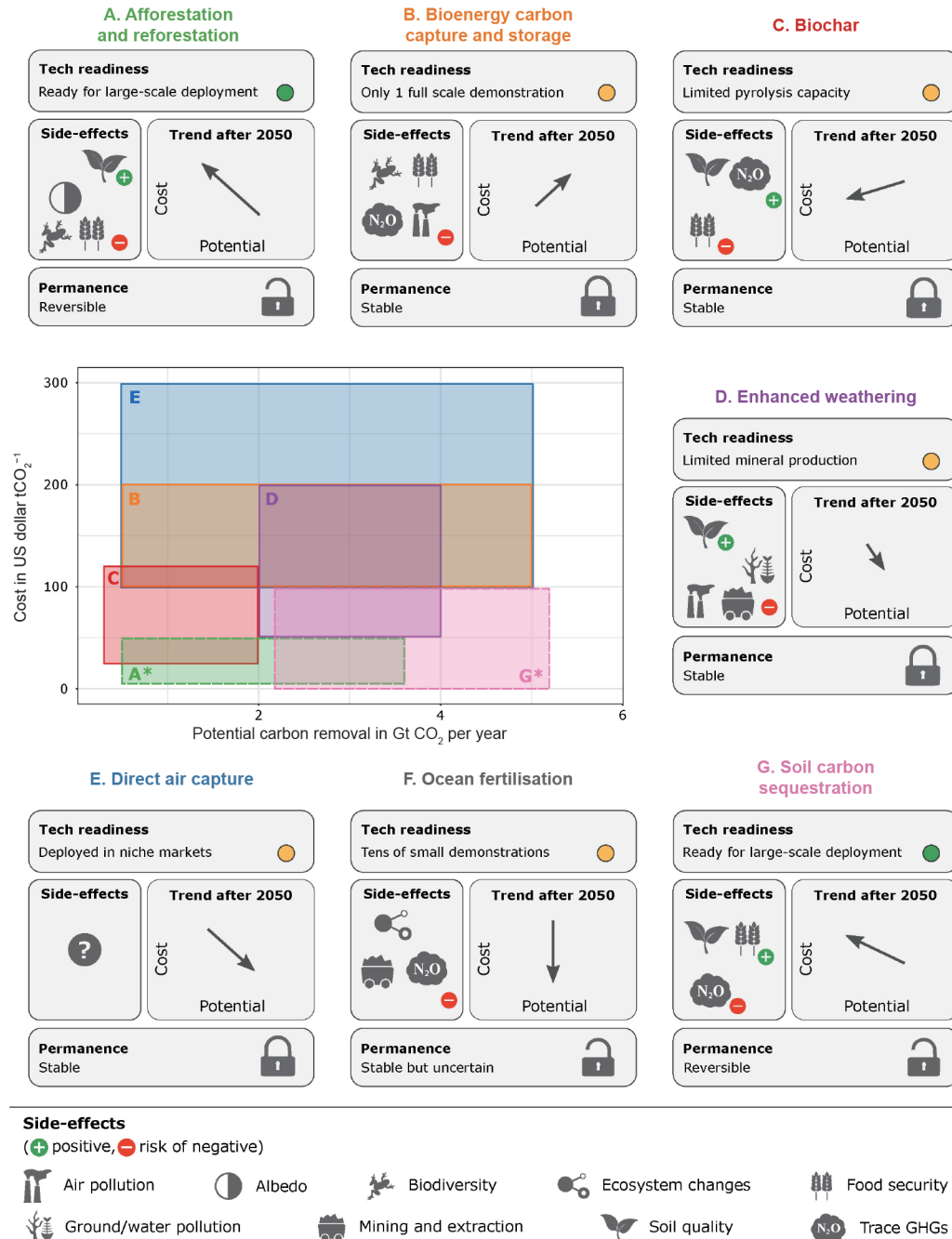


图2. NET及其主要特点，包括成本、碳去除潜力、储存持久性以及发展状况和部分副作用[7]。tCO<sub>2</sub><sup>-1</sup>：每吨CO<sub>2</sub>；Tech：技术；GHGs：温室气体。

中。”Fuss说。“排入大气的CO<sub>2</sub>少了，你也就不必去除那么多CO<sub>2</sub>了。”

## References

- [1] Negative emissions technologies and reliable sequestration [Internet]. Washington, DC: United States National Academies of Science, Engineering, and Medicine; 2018 Oct 24 [cited 2019 Sep 3]. Available from: <https://www.nap.edu/catalog/25259/negative-emissions-technologies-and-reliable-sequestration-a-research-agenda>.
- [2] What is the Paris Agreement? [Internet]. United Nations Climate Change; 2016 Nov 4 [cited 2019 Sep 3]. Available from: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/what-is-the-paris-agreement>.
- [3] Special report: global warming of 1.5 °C [Internet]. Intergovernmental Panel on Climate Change; 2018 Oct 8 [cited 2019 Sep 3]. Available from: <https://www.ipcc.ch/sr15/>.
- [4] Fuss S, Lamb WF, Callaghan MW, Hilaire J, Creutzig F, Amann T, et al. Negative emissions—part 2: costs, potentials and side effects. *Environ Res Lett* 2018;13(6):063002.
- [5] Carbon dioxide removal options: a literature review identifying carbon removal potentials and costs [Internet]. Ann Arbor: University of Michigan Energy Institute; 2017 Apr 10 [cited 2019 Sep 3]. Available from: <https://energy.umich.edu/wp-content/uploads/2018/06/carbon16.pdf>.
- [6] Le Quéré C, Andrew RM, Friedlingstein P, Sitch S, Hauck J, Pongratz J, et al. Global carbon budget 2018. *Earth Syst Sci Data* 2018; 10:2141–94.
- [7] Minx JC, Lamb WF, Callaghan MW, Fuss S, Hilaire J, Creutzig F, et al. Negative

- emissions—part 1: research landscape and synthesis. *Environ Res Lett* 2018;13(6):063001.
- [8] Baston JF, Finegold Y, Garcia C, Mollicone D, Rezende M, Routh D, et al. The global tree restoration potential. *Science* 2019; 365(6448):76–9.
- [9] Lang C. Planting trees and restoring forests is not going to stop climate breakdown [Internet]. *Redd Monitor*; 2019 Aug 8 [cited 2019 Sep 10]. Available from: <https://redd-monitor.org/2019/08/08/planting-trees-and-restoring-forests-is-not-going-to-stop-climate-breakdown-we-need-a-rapid-end-to-fossil-energy-use-precisely-because-we-want-to-preserve-the-worlds-existing-forests/>.
- [10] Realmonte G, Drouet L, Gambhir A, Glynn J, Hawkes A, Koberle A, et al. An inter-model assessment of the role of direct air capture in deep mitigation pathways. *Nat Commun* 2019;10:3277.
- [11] Fajardy M, Koberle A, MacDowell N, Fantuzzi A. BECCS deployment: a reality check [Internet]. London: Imperial College London Grantham Institute; 2019 Jan 28 [cited 2019 Sep 3]. Available from: <https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/grantham-institute/public/publications/briefing-papers/BECCS-deployment---a-reality-check.pdf>.
- [12] He Y, Trumbore SE, Torn MS, Harden JW, Vaughn LJS, Dllison SD, et al. Radiocarbon constraints imply reduced carbon uptake by soils during the 21st century. *Science* 2016;353(6306):1419–24.
- [13] Smith P, Davis SJ, Creutzig F, Fuss S, Minx JC, Gabrielle B, et al. Biophysical and economic limits to negative CO2 emissions. *Nat Clim Chang* 2016;6:42–50.
- [14] Popp A, Calvin K, Fujimori S, Havlik P, Humpenoder F, Stehfest E, et al. Land-use futures in the shared socio-economic pathways. *Glob Environ Chang* 2017;42:331–45.