



变废为宝的微生物

Sang Yup Lee¹, Hailong Li^{2*}, Wilfried Weber³ 和 Zequn Yang²

¹韩国科学技术院 (韩国, 大田)

²中南大学, 能源科学与工程学院 (中国, 湖南, 长沙)

³INM - 莱布尼茨新材料研究所和萨尔大学 (德国, 萨尔布吕肯)

少年审稿人



TRILOK

年龄: 12



VANSHIKA

年龄: 14

微生物碳捕集是一项利用细菌和微藻等微生物吸收二氧化碳 (CO_2) 并将其转化为有用产物的新兴技术。这些微生物可生成燃料、肥料或动物饲料等产物, 有助于应对气候变化, 同时助力农业和能源等行业的发展。科学家可通过基因编辑技术增强微生物的固碳能力和产物合成效率, 让微生物更好地吸收 CO_2 并生成有用产物。微生物碳捕集技术已在工厂、农场等多个行业场景投入测试: 例如, 光生物反应器利用阳光将工厂排放的 CO_2 转化为燃料; 在无光照区域, 系统则利用食物残渣等废弃物为微生物提供能量。尽管仍存在一些技术挑战, 微生物碳捕集有望减少温室气体排放, 创造经济价值, 并助力开创可持续未来。

我们需要有助于减少污染的新技术

有没有见过工厂烟囱冒出的滚滚浓烟? 它们对环境有什么影响? 各类工业废气中通常含有 CO_2 , 它是气候变化的主要推手之一。 CO_2 等温室气体使热量在地球大气层中积聚, 导致气温上升, 引发极端天气, 使海平

微生物碳捕集 (Microbial Carbon Capture)

利用细菌和微藻等微生物吸收 CO₂ 并转化为有用产物的技术。

微藻 (Microalgae)

水生微型植物, 通过阳光和二氧化碳生长, 是微生物碳捕集技术的重要载体, 可生成生物燃料或肥料。

基因工程 (Genetic Engineering)

科学家通过改变 DNA 赋予生物新能力的技术, 如增强微生物吸碳或合成有用产物的能力。

光生物反应器 (Photobioreactors)

利用阳光和 CO₂ 培养光合生物 (如微藻) 以产生能量和有用化合物的系统。

化学供能系统 (Chemical Energy Systems)

以氢气或有机废物 (如食物残渣/农业废料) 等化学品替代阳光为微生物供能的碳捕集系统。

生物柴油 (Biodiesel)

从植物、藻类或微生物中提取的可再生燃料, 可替代汽油或柴油等传统燃料。

面上升, 危害生态系统。人类活动 (例如在发电和工业生产中燃烧化石燃料) 是过量 CO₂ 的主要排放源。

为控制排放, 一些工厂尝试用过滤器捕获颗粒物或采用洗涤器去除化学物质, 但这些方法往往成本高昂、能耗巨大, 而且效果有限。在多数情况下, CO₂ 仍被直接排入大气。为督促企业减排, 一些政府对超额排放处以罚款。然而, 许多工厂缺乏可大规模减排的设备与技术, 最终只能认罚, 这无法从根本上解决问题。

要有效应对气候变化, 我们需要找到更优秀的减排方案。能否在工业废气进入大气前直接捕获 CO₂, 将其转化为有用产物而非污染环境呢?

新兴技术: 微生物碳捕集

微生物碳捕集利用细菌、**微藻**等微生物, 从空气或工业废气中吸收 CO₂, 并将其转化为燃料、肥料甚至富含蛋白质的动物饲料等有用产物 (图 1)。这些微生物本身具有固碳能力, 而科学家可通过**基因工程**等手段进一步优化其碳捕集与转化效率。通过改变 DNA, 研究人员可增强微生物吸收 CO₂ 并转化为有用产物的能力。

微生物碳捕集技术主要分为两大类型:**光生物反应器与化学供能系统**。光生物反应器利用蓝细菌或微藻等光合微生物吸收 CO₂ 和阳光来产生能量及合成有用化合物, 其工作原理是将含有 CO₂ 的气体注入微生物培养液中进行碳捕集。化学供能系统则采用以氢气、食物残渣或农业废料等有机废料为能量源的微生物 [1], 这些微生物在吸收 CO₂ 的同时利用化学能生产有用产物。此类系统不依赖阳光, 因此可在自然光照受限的环境中运行。

技术助力变废为宝

目前, 该技术已在工厂和发电厂等高碳排放行业接受实地测试。微生物碳捕集系统通常安装在排放管道或烟囱末端温度最低的地方。

安装在工业排气系统旁的光生物反应器可利用 CO₂ 和阳光生产**生物柴油**, 这种可再生燃料有望替代汽油或柴油等化石燃料, 为车辆和机械设备提供动力。

农业同样能从微生物碳捕集技术中受益: 传统作物氮肥的生产工艺不仅能耗高, 还会释放大量 CO₂。专门培育的微生物可将 CO₂ 转化为富氮化合物, 可直接从废气中生产肥料, 提供更环保的替代方案。此技术还能生产营养丰富的动物饲料。通过喂食 CO₂ 和其他养分, 可让微生物生成富含蛋白质的物质, 以替代种植时需消耗大量土地、水和肥料的大豆等传

图 1

此技术通过培育微生物将工厂或发电厂的 CO_2 转化为多种有用产物, 包括: **(A)** 生物柴油, 可替代汽油或柴油等化石燃料的可再生燃料, 用于车辆或机械设备; **(B)** 环保肥料, 用于农作物; **(C)** 高蛋白饲料, 用于畜禽养殖; **(D)** 整体上可减少温室气体排放, 抑制全球变暖, 促进地球生态健康。

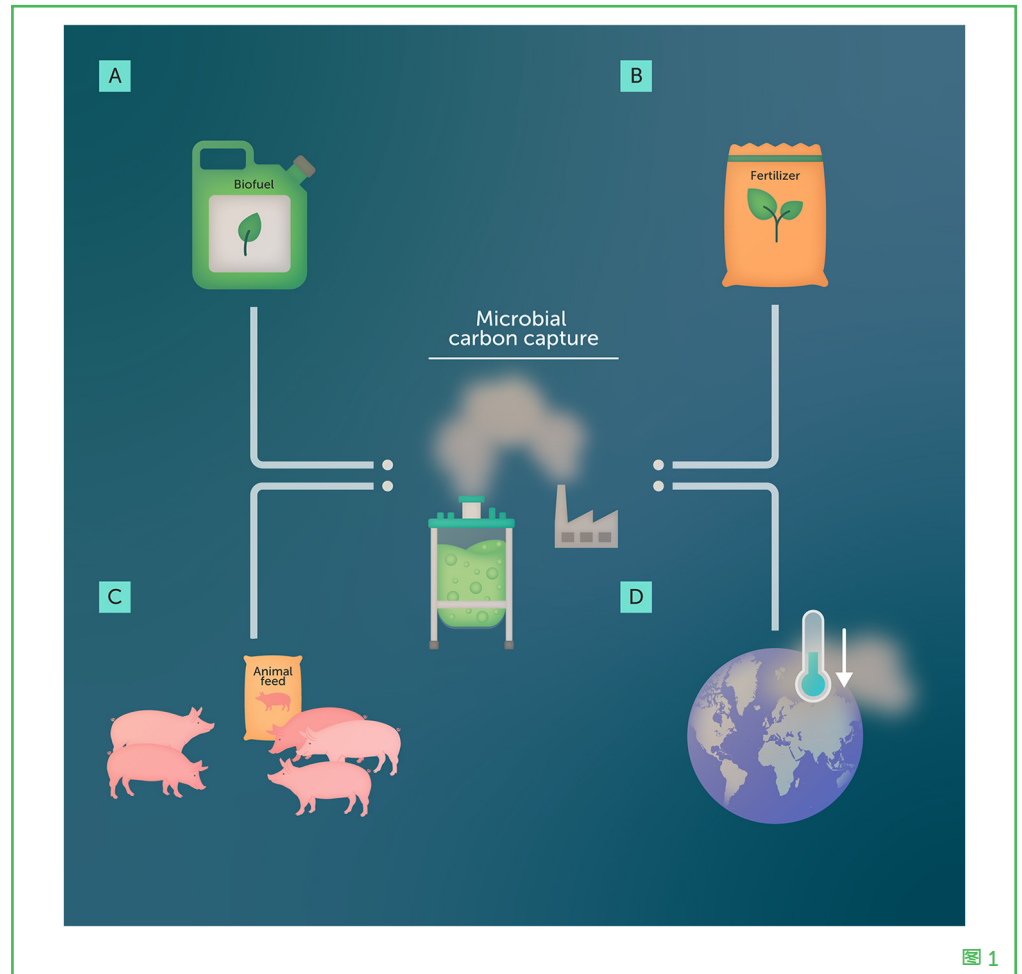


图 1

统饲料 (关于替代性动物饲料, 请参阅[这篇文章](#))。用微生物替代作物制作饲料, 有助于节约自然资源并降低农业生产对环境的影响。

微生物碳捕集技术最显著的优势之一在于高度灵活性。科学家可调整微生物种类或系统, 为不同行业生产特定产品。例如, 可再生能源企业可借此生产生物柴油等生物燃料, 建筑企业则能制造用于混凝土的碳基添加剂等材料。通过将排放物转化为有用产物, 此技术不仅能帮助企业节省成本, 避免碳排放罚款, 还能开拓新的收入渠道。

重大挑战与更大机遇

尽管微生物碳捕集技术前景广阔, 但其大规模应用仍面临一些挑战。首要难题是多数微生物在低温环境下效能最佳, 由此难以直接处理发电厂或工厂排放的高温废气。为解决此问题, 研究人员正在培育耐热微生物或尝试对废气进行预冷却, 但这些方案会增加成本与系统复杂性 [2]。

可扩展性是另一大挑战, 即如何将系统扩大到足以处理大型工厂和电厂碳排放的规模。目前, 大多数微生物碳捕集系统仍处于测试阶段, 包括

实验室研究和小型工厂试验项目。科学家正致力于提升系统规模与效率,以处理工业排放的巨量 CO₂。

成本是另一个问题 [3]。与植树造林或使用污染物过滤器等传统减排方式相比,微生物碳捕集系统的建造和维护成本较高。然而,该系统产生的生物燃料、肥料和动物饲料等有用产物可部分抵消成本,提高企业对技术的接受度。

地域适应性也是一项挑战:光生物反应器需要充足阳光,因此仅适用于日照充足地区;化学供能系统则依赖太阳能、风能或水力等可再生能源,但这些清洁能源尚未全面普及。扩大清洁能源供应范围将成为推广此技术的关键。

如果能克服这些挑战,微生物碳捕集技术将有助于减少温室气体排放、生成有用产物,并支持从农业到建筑等多个行业发展,为应对气候变化和构建可持续未来提供重要助力。

致谢

由 SJD Consulting, LLC. 科学撰稿人/编辑、毕业于美国马萨诸塞大学陈氏医学院晨兴生物医学研究生院的 Susan Debad 博士参与撰写和编辑。图表制作方为 Somersaultl8:24。

AI 人工智能工具使用声明

本文中所有图表附带的替代文本 (alt text) 均由 Frontiers 出版社在人工智能支持下生成。我们已采取合理措施确保其准确性,包括在可行情况下经由作者审核。如发现任何问题,请随时联系我们。

原文

Lee, S. Y., Li, H., Weber, W. 和 Yang, Z. 2024. "Carbon-capturing microbes. Engineering organisms to convert emissions into valuable products", 2024 年十大新兴技术报告 (科洛尼:世界经济论坛), 链接:<https://www.weforum.org/publications/top-10-emerging-technologies-2024/>

参考文献

1. Lim, J., Choi, S. Y., Lee, J. W., Lee, S. Y. and Lee, H. 2023. Biohybrid CO₂ electrolysis for the direct synthesis of polyesters from CO₂. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 120:e2221438120. doi: 10.1073/pnas.2221438120

2. Bhatia, S. K., Bhatia, R. K., Jeon, J., Kumar, G., and Yamg, Y. 2019. Carbon dioxide capture and bioenergy production using biological system - A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 110:143–58. doi: 10.1016/j.rser.2019.04.070
3. Hong, W. Y. 2022. A techno-economic review on carbon capture, utilisation and storage systems for achieving a net-zero CO₂ emissions future. *CCST.* 3:100044. doi: 10.1016/j.ccst.2022.100044

线上发布: 2025 年 9 月 30 日

编辑: Robert T. Knight

科学导师: Dharani Suresh Babu 和 M. Kaviya Elakkiya

引用: Lee SY, Li H, Weber W 和 Yang Z (2025) 变废为宝的微生物. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2025.1575505-zh

英文原文: Lee SY, Li H, Weber W and Yang Z (2025) Turning Pollution Into Solutions Using Microbes. *Front. Young Minds* 13:1575505. doi: 10.3389/frym.2025.1575505

利益冲突声明: 作者声明本研究不涉及任何潜在商业或财务关系。

版权 © 2025 © 2025 Lee, Li, Weber 和 Yang. 这是一篇依据 [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](#) 条款发布的开放获取文章。根据公认的学术惯例, 在注明原作者和版权所有者, 及在标明本刊为原始出处的前提下, 允许使用、传播、复制至其他平台。如违反以上条款, 则不得使用、传播或复制文章内容。

少年审稿人

TRILOK, 年龄: 12

Trilok 是个充满活力与好奇心的调皮鬼! 他思维敏捷犹如精准传递的足球, 在物理的世界中自在遨游, 喜欢思考、钻研并畅想新的汽车技术。他聪颖而富有创造力, 总能将学习变成一场探险。无论是理解复杂概念还是开玩笑, 他都手到擒来! 只要有热爱速度与科学、追求乐趣的 Trilok 在, 生活永远不会乏味。

VANSHIKA, 年龄: 14

大家好, 我是 Vanshika, 今年 14 岁, 喜欢吹长笛和跳舞, 擅长演讲并痴迷读书, 尤其偏爱心理学与哲学书籍, 它们加深了我对人生的理解。我对考古学、建筑及各种传统文化充满兴趣, 相信还有无数待发现的科学奥秘。在体育方面, 我擅长篮球与国际象棋。

作者

SANG YUP LEE

李相烨是韩国科学技术院 (KAIST) 的科研领头人, 致力于利用细菌等微生物开发燃料和材料等实用产品, 为传统化学工艺提供绿色替代方案。凭借出众的科研成果, 他曾荣获多项大奖, 并常年在多个顾问委员会分享专业见解。





HAILONG LI

李海龙教授现任中国中南大学能源科学与工程学院副院长, 还是英国皇家化学协会和国际先进材料学会会员。他曾入选科睿唯安"全球高被引科学家"与爱思唯尔"中国高被引学者"。主要研究方向为二氧化碳捕集与利用、燃烧污染控制、生物质与固废零碳能源转化。他已发表论文 100 余篇, 被引超 1 万次, 持有 30 余项专利(多项成功实现产业化), 并担任《Frontiers in Energy Research》主编, 曾任第七届能源与环境科学国际会议主席。*hailong_li@126.com



WILFRIED WEBER

Wilfried Weber 现任德国莱布尼茨新材料研究所所长, 专注于仿生智能材料研发。例如, 受植物趋光性启发, 他设计出能适应周围环境变化的智能材料。他曾任弗莱堡大学教授, 通过生物与材料科学的交叉融合推动新技术开发。其科研成果在医药改良与可持续建筑材料开发领域具有重要价值。



ZEQUN YANG

杨泽群现任中国中南大学能源科学与工程学院副教授, 研究方向为碳捕集与利用、低碳能源开发及大气污染控制, 已发表期刊论文 50 余篇, 被引超 3000 次。他曾参与撰写燃煤污染控制相关专著, 致力于探索环境保护新路径。

中文翻译由下列单位提供
Chinese version provided by

