

# 深圳先进院等建立杂合体的绿色生物制造技术

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/24620.html>

**本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！**

10月16

日，中国科学院深圳先进技术研究院合成生物学研究

所高翔课题组与哈尔滨工业大学（深圳）路璐课题组合作，在《自然-可持续发展》（Nature Sustainability）上，发表了题为Solar-driven waste-to-chemical conversion by wastewater-derived semiconductor biohybrids

的研究成果。不同于石油基和糖基生物发酵的化学产品生产路线，该工作利用实际工业废水规模化合成半导体材料-细菌杂合体，实现了光能驱动污染物到化学品的高值转化，创建了一条污染物基光驱生物制造路线，为化学品的可持续生产提供重要的新方向。

化工制造主要依赖于化石燃料，并持续释放CO<sub>2</sub>

，环境不友好且不可持续；生物制造为化学品合成提供了一条可持续发展路线，传统糖基生物发酵生成还原力（NADH等）的过程会同时释放CO<sub>2</sub>，降低化学产品的碳转化率；

光能是充足的清洁能源，半导体材料-

生物杂合体是将高效吸收光能的半导体与细胞工厂结合，可以直接利用光能为细胞工厂提供还原力

，因此光驱动杂合体生产化学品具有更高的理论碳转化率，在绿色生物制造领域展现出独特优势和较大潜力，但目前缺乏低成本、环境友好型的方法规模化合成杂合体。

本项目通过合成生物学方法改造微生物细胞工厂，以废水中的金属离子、硫酸盐和有机物污染物作为原料，通过生物法实现半导体材料-

生物杂合体规模化生产，并在原位利用光能驱动有机污染物转化为化学品，降低化学品生产成本和CO<sub>2</sub>

排放，实现污染物高效资源化利用。本成果的应用，为废水处理提供了新途径，并揭示了其在清洁能源生产和可持续制造中的应用潜力。

近年来，通过合成生物学方法改造微生物细胞工厂，可直接利用废弃塑料、餐厨垃圾和工业废气（如CO<sub>2</sub>

）等作为原料，展示出绿色可持续生产化学品的潜力。深圳先进院合成生物学团队和哈工大（深圳）环境科学与工程团队调研发现：金属离子、硫酸盐和有机物等污染物在废水中普遍存在且含量丰富，可直接或间接为半导体材料-

细菌杂合体生产提供原料，降低规模化生产杂合体的成本；该杂合体在废水中能够直接利用光能

---

驱动有机污染物转化为化学品，实现污染物的资源化利用。

然而，废水中的污染物组成成分复杂且多数具有生物毒性，有机物种类繁多，通常含有较高的盐浓度

，因而利

用微生物细胞工厂

实现污染物资源化利用颇具挑战。该

研究选择了海洋微生物——需钠弧菌。

需钠弧菌对有毒环境耐受性强，高盐生长

，能使用超过200

多种的有机物，包括糖、醇、氨基酸、有机酸等作为营养物质。需钠弧菌是目前生长最快的工业微生物，遗传操作工具成熟，但其生长速率比大肠杆菌快一倍，具有更高的底物利用速率，且含有类似电活性微生物的膜电子传递通道，利于半导体材料光生电子进入细胞。因此，需钠弧菌是利用废水生产杂合体的理想底盘细胞。

针对杂合体绿色生物制造所需的金属离子、硫酸盐和有机物等原料，该团队设计并改造了需钠弧菌，并将该工程菌与污染物

相结合，生产出硫化镉-细菌的杂合体。

该杂合体具有良好的光电转化效率，

可将光能转化为生物能。该方法同样适用于多种不同

金属离子，构建硫化铅-细菌杂合体、硫化汞-细菌杂合体，具有较强的普适性。

杂合体可以直接利用光能驱动微生物胞内还原力高效再生。与非杂合体（单纯微生物体系）相比，合成化学品的产量和碳转

化率更高。该团队在杂合体中构建BDO

合成途径，并检测其合成效率。

结果显示：光照条件下杂合体系合成BDO

产量高于非杂合体，其产量提高2倍、碳转化率提高26%

，且杂合体的优势完全依赖光能。该研究证实了利用废水生产的杂合体，可以直接利用光能驱动化学品的高效合成。该工作进一步解析了杂合体利用光能驱动化学品高效合成的机制；通过胞内代谢物定量分析发现了

杂合体在光照条件与黑暗条件相比，微生物胞

内的NADH浓度更高。上述研究表明，在杂合体中，

半导体材料通过吸收光能产生的电子，促进 $\text{NAD}^+$

还原生成NADH，为BDO

的生物合成途径提供

充足能量，并减少通过糖氧化过程提供能量，最终提高BDO的产量和碳转化率。

该团队以实际工业废水为原料，在5-L光反应器中利用工程菌实现协同利用多种污染物合成杂合

体。该杂合体在废水中原位利用光能，将有机污染物转化为BDO，产量可达13 g/L，表明本研究

建立的杂合体合成和原位利用光能生产化学品体系具有放大生产的潜力。生命周期分析（LCA）

以及传统的石油基和糖基生物发酵化学品对比显示，本项目建立的污染物基杂合体光驱生物制造路线，温室气体排放和产物生产成本更低，利用光能实现污染物高效资源化利用。

该工作开发了低成本、环境友好、可持续的光能驱动化学品合成方法，实现了协同利用多种废水污染物可持续生产半导体材料-生物杂合体系并原位应用于光能驱动化学品合成，证实了该体系

---

具有规模化放大生产的潜力，为实现清洁生产、降低碳排放、提高资源利用率以及推动循环经济提供了新的可能性。未来，科学家将进一步探索这一技术在大规模生物制造中的应用。

研究工作得到国家自然科学基金、深圳市科技创新委员会、国家重点研发计划“合成生物学”重点专项和深圳合成生物学创新研究院等的支持。

[论文链接](#)

基于废水的半导体材料-细菌杂合体光驱生物制造

研究团队单位：深圳先进技术研究院

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](#)转发