



文章栏目：学术短评

DOI 10.12030/j.cjee.202211119

中图分类号 X70; Q936

文献标识码 A

刘鸿. 微生物光电产甲烷及其能量自适应转化机制[J]. 环境工程学报, 2023, 17(3): 703-704.

微生物光电产甲烷及其能量自适应转化机制

刘鸿

中国科学院重庆绿色智能技术研究院, 重庆 400722

近年来, 福建农林大学周顺桂教授团队独辟蹊径, 基于地表水体受太阳光照输入能量的基本现象, 聚焦微生物光电产甲烷及其能量转化机制关键科学问题, 取得了系列研究进展。相关成果相继发表在《Nature Communications》、《Angewandte Chemie International Edition》和《Environmental Science & Technology》等期刊^[1-5]上。

首先, 研究团队利用地表水体产甲烷模式菌株 *Methanosarcina barkeri* (*M. b*) 与典型纳米半导体等光活性物质, 构建了“产甲烷菌-光活性物质”微生物光电化学体系。研究发现, 这种产甲烷菌株能够高效利用纳米半导体产生的“还原力”(光生电子), 通过还原 CO_2 进行自养代谢产甲烷, 即微生物光电产甲烷作用, 并拥有全新的营养模式。进一步, 针对微生物光电产甲烷需要空穴捕获剂的持续供给问题, 研究团队发现地表水体中的微塑料等有机质具备持续捕获空穴的功能, 阐明了光还原和光氧化对有机质降解及 CO_2 还原产甲烷的同步介导机制, 量化了光生电子和空穴的相对贡献。同时, 还证实了来源广泛的 CO 不仅能够为微生物光电产甲烷直接提供碳源, 还能够有效猝灭该过程产生的活性氧自由基, 发现了活性氧自由基驱动的“ $\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4$ ”转化的“微生物-化学”作用新途径, 证实了微生物光电产甲烷作用途径的多样性 (图 1)。

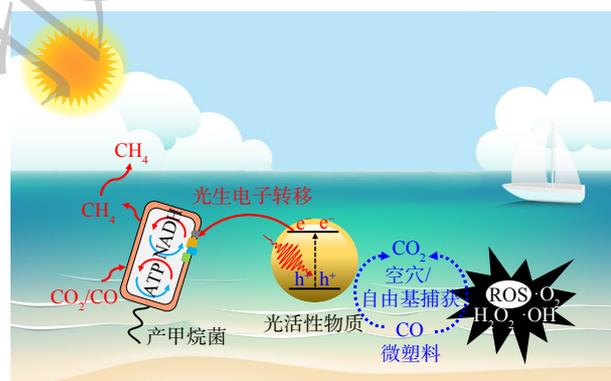


图 1 微生物光电产甲烷作用

Fig. 1 The effect of microbial photoelectro-methanogenesis

研究团队还发现了微生物光电产甲烷过程中的能量自适应转化机制: 光活性物质的电容及电导效应表现出一种独特的“自适应”方式, 决定着“生物-无机”界面光生电子的存储与再分配等优化策略, 从而有效地抑制了微生物光电化学体系的能量损失。这种能量自适应转化机制表明, 即使在光生电子传递与碳源物质转化的速率存在显著差异的不利场景下, 微生物光电产甲烷也完全可能高效进行, 这为微生物光电产甲烷可能广泛存在于地表水体的科学假设提供了坚实的理论依据。在此基础上, 阐明了“生物-无机”界面电子/质子的协同传递机制, 发现了微生物光电产甲烷过程中质子定向产氢原子(非氢气)、胞外和胞内氢循环、氢利用突破阈值限制等现象 (图 2)。

微生物光电产甲烷作用及其自适应能量转化机制的发现, 是环境化学、微生物学与光电化学等学科交叉发展的重要成果, 丰富了地表水体微生物碳循环复杂过程的科学内涵。进一步地, 该创新性发现不仅可应用于 CO_2/CO 的绿色可持续生物转化, 还有望强化有机(污染)物生物转化过程, 如微塑料等新污染物的资源化利用, 这对于我国长时储能、固体废物资源化利用等技术的发

收稿日期: 2022-11-21; 录用日期: 2023-03-10

作者简介: 刘鸿 (1970—), 男, 博士, 研究员, liuhong@cigit.ac.cn

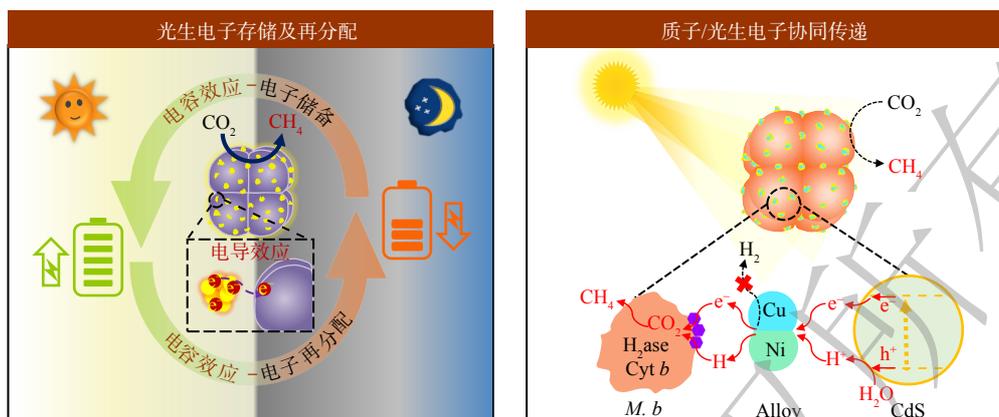


图2 微生物光电产甲烷的自适应能量转化机制

Fig. 2 Adaptive energy conversion mechanism of microbial photoelectro-methanogenesis

展，以及“双碳”目标的实现具有重要现实和战略意义。



叶顺桂，福建农林大学资源与环境学院院长、特聘教授。国家杰出青年基金获得者，国家万人计划创新领军人才。主要从事环境微生物电化学、有机固废资源化利用的基础理论与技术应用研究。主持国家自然科学基金、国家863、国家科技支撑计划课题、国家重点研发计划课题等科研项目30余项。以第一或通信作者发表SCI论文150余篇（Nature Communications、Science Advances、ISME Journal、Angewandte Chemie International Edition、Nano Energy、Environmental Science & Technology、Water Research等IF_{5-years}>8.0论文80余篇），论文SCI他引超10000次，个人H指数60，入选“中国高被引学者”榜单。获授权国家发明专利50余件、美国发明专利2件。曾获中国青年科技奖、光华工程科技奖（青年奖）、大北农业科技奖等。



叶捷，福建农林大学副教授、博士生导师。主要从事微生物光电产甲烷方面的研究。先后主持福建省杰出青年科学基金、福建省高校杰出青年科研人才计划、国家自然科学基金（3项）等科研项目10余项。以第一作者或通讯作者共发表SCI论文30余篇（其中，Nature Communications 1篇，Angewandte Chemie International Edition 2篇，Environmental Science & Technology 1篇，Water Research 3篇）。获授权国家发明专利5项。兼任《环境工程学报》、《工业水处理》期刊青年编委及《Frontiers in Microbiology》客座主编。

参考文献

- [1] YE J, YU J, ZHANG Y, et al. Light-driven carbon dioxide reduction to methane by *Methanosarcina barkeri*-CdS biohybrid[J]. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2019, 257: 117916.
- [2] WANG C, YU J, REN G, et al. Self-replicating biophotoelectrochemistry system for sustainable CO methanation[J]. *Environmental Science & Technology*, 2022, 56(7): 4587-4596.
- [3] HU A, YE J, REN G, et al. Metal-free semiconductor-based bio-nano hybrids for sustainable CO₂-to-CH₄ conversion with high quantum yield[J]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2022, 134(35): e202206508.
- [4] YE J, WANG C, GAO C, et al. Solar-driven methanogenesis with ultrahigh selectivity by turning down H₂ production at biotic-abiotic interface[J]. *Nature Communications*, 2022, 13: 6612.
- [5] YE J, CHEN Y, GAO C, et al. Sustainable conversion of microplastics to methane with ultrahigh selectivity by biotic-abiotic hybrid photocatalytic system[J]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2022, 61(52): e202213244.

(责任编辑: 靳炜)