

电-生物级联催化二氧化碳合成 复杂有机化合物

(基础研究奖)

(谭天伟、孙世刚、徐春明、徐春保、骆静利)

1. 推荐意见

谭天伟

该项目面向 CO₂ 资源化合成复杂有机化合物的重大科学挑战，原创性提出“电-生物”级联催化策略。提出了动态限域稳定“纳米岛”型催化剂设计策略，兼顾 CO₂ 电还原的多碳产物选择性、活性与稳定性，并结合固态电解质反应器，实现免分离的高纯甲酸、乙酸连续制备，从而得到微生物可直接利用的碳源。在通过电催化得到的生物碳源基础上，进一步耦合微生物代谢工程，首次以 CO₂ 和 H₂O 为原料合成葡萄糖和油脂，并通过代谢调控拓展至番茄红素和对香豆酸等产物。五篇代表作发表于 Nature Materials、Nature Nanotechnology、Nature Catalysis、Nature Sustainability 和 National Science Review，相关成果入选中国十大科技进展，第一完成人获 Nature 深度专访。项目原创性突出，学术影响广泛，为 CO₂ 高值转化开辟了新路径。

孙世刚

二氧化碳催化转化对于构建人工碳循环有重大战略意义。该项目面向二氧化碳资源化利用的迫切需求，在“纳米岛型”高效催化剂创制、固态电解质和双极膜反应器研制及电-生物级联催

化路径开辟方面取得了系统性突破,从而实现了葡萄糖、脂肪酸、对香豆酸、番茄红素等复杂有机化合物的高效合成。该项目引领了催化化学与合成生物学交叉学科发展,为我国绿色低碳化提供了关键科学基础。代表性成果发表在 Nat. Mater.、Nat. Nanotechnol.、Nat. Catal.、Nat. Sustain. 和 Nat. Sci. Rev.。相关成果入选中国十大科技进展新闻。鉴于第一完成人在二氧化碳催化转化领域的贡献,Nature 杂志对进行了深度专访,相关报道发表在 Nature 杂志亮点专栏。

徐春明

从二氧化碳到复杂有机化合物的高效合成是世界性难题。针对这一难题,项目团队原创性提出“电-生物”级联催化策略。即先利用电催化将二氧化碳转化为微生物可直接利用的含碳小分子作为生物碳源,再通过微生物代谢工程合成复杂有机化合物。围绕该策略,项目提出动态限域稳定的“纳米岛”型催化剂,实现多碳产物选择性、活性与稳定性的协同提升;结合固态电解质反应器,连续制备免分离高纯甲酸和乙酸。以此为生物碳源,首次实现由二氧化碳和水合成葡萄糖和油脂,并拓展至番茄红素、对香豆酸等产物。项目成果于 Nature Materials、Nature Nanotechnology、Nature Catalysis、Nature Sustainability 和 National Science Review。相关成果入选中国十大科技进展。鉴于成果的广泛影响力,Nature 杂志对第一完成人进行了深度专访。

徐春保

二氧化碳分子高度稳定、反应路径复杂，从无机碳到复杂有机化合物的高效转化是国际难题。项目团队针对催化剂易失活、液态产物难分离及传统方法难以合成复杂产物等关键瓶颈，原创提出“电-生物”级联催化策略。在催化剂方面，提出动态限域稳定“纳米岛”设计理念，构建了“纳米岛”材料库；在反应器方面，研制固态电解质反应器和双极膜反应器，实现高纯甲酸、乙酸和异丙醇溶液的免分离连续制备；在反应流程方面，实现由二氧化碳和水合成葡萄糖、油脂，并拓展至对香豆酸和番茄红素。成果发表于系列 Nature 大子刊及 National Science Review，入选中国十大科技进展新闻，创新贡献突出。Nature 杂志对第一完成人进行了专访，采访文章发表在 Nature 的亮点专栏。

骆静利

该项目针对单一催化模式难以突破二氧化碳向复杂有机物高效转化的难题，原创性提出“电-生物”级联催化策略，将电催化与细胞工厂有机衔接，形成从无机碳到复杂有机物的跨学科转化链条。在电催化层面，动态限域稳定“纳米岛”型催化剂设计兼顾了二氧化碳电还原多碳产物的选择性、活性与稳定性，并利用固态电解质反应器，实现了高纯甲酸、乙酸等生物可利用碳源的免分离连续制备，为后续生物转化提供了稳定供给。在生物合成层面，耦合微生物代谢工程，首次以二氧化碳和水为原料合成葡萄糖和油脂，并拓展至番茄红素、对香豆酸等产物。多篇代表作发表在国际高水平期刊。相关成果入选中国十大科技进展，第一完成人获 Nature 专访。

2. 代表性论文专著列表、其他知识产权和标准等列表

代表性论文专著列表

序号	论文（专著）名称	刊名	年卷页码 （xx 年 xx 卷 xx 页）	全部作者
1	Ultrafine metal nanoparticles isolated on oxide nano-islands as exceptional sintering-resistant catalysts.	Nature Materials	2025 年 24 卷 891 页–899 页	Tao Zhou, Xu Li, Jiankang Zhao, Lei Luo, Yanru Wang, Zizhen Xiao, Sunpei Hu, Ruyang Wang, Zekun Zhao, Chengyuan Liu, Wenlong Wu, Hongliang Li, Zhirong Zhang, Long Zhao, Han Yan, Jie Zeng
2	Stabilization of oxidized Cu species via CeO _x nano-islands for enhanced CO ₂ reduction to C ₂ ⁺ products.	National Science Review	2025 年 12 卷 nwaf351	Miaojin Wei, Jiawei Li, Jiankang Zhao, Sunpei Hu, Yuan Ji, Weiqing Xue, Yizhou Dai, Haoyuan Wang, Xinyan Zhang, Kwun Nam Hui, Xu Li, Chuan Xia, Tingting Zheng, Jie Zeng
3	Copper-catalysed exclusive CO ₂ to pure formic acid conversion via single-atom alloying.	Nature Nanotechnology	2021 年 16 卷 1386	Tingting Zheng, Chunxiao Liu, Chenxi Guo, Menglu Zhang, Xu Li, Qiu Jiang, Weiqing Xue, Hongliang Li, Aowen Li, Chih-Wen Pao, Jianping Xiao, Chuan Xia, Jie Zeng
4	Upcycling CO ₂ into energy-rich long-chain	Nature Catalysis	2022 年 5 卷 388 页–396 页	Tingting Zheng, Menglu Zhang, Lianghuan Wu, Shuyuan Guo, Xiangjian

	compounds via electrochemical and metabolic engineering.			Liu, Jiankang Zhao, Weiqing Xue, Jiawei Li, Chunxiao Liu, Xu Li, Qiu Jiang, Jun Bao, Jie Zeng, Tao Yu, Chuan Xia
5	Upcycling surplus acetone into long-chain chemicals using a tandem electro-biosystem.	Nature Sustainability	2025 年 8 卷 806	Chunxiao Liu, Jiankang Zhao, Hao Tang, Jingjing Xue, Weiqing Xue, Xu Li, Hongliang Li, Qiu Jiang, Tingting Zheng, Tao Yu, Jie Zeng, Chuan Xia

其他知识产权和标准等列表

序号	类型	名称	著录信息	全部完成人
1	论文专著	Metabolic engineering of yeast for the production of carbohydrate-derived foods and chemicals from C ₁₋₃ molecules	Nature Catalysis, 2024 年 7 卷 21–34 页	Hongting Tang, Lianghuan Wu, Shuyuan Guo, Wenbing Cao, Wenhui Ma, Xiang Wang, Junfeng Shen, Menglin Wang, Qiannan Zhang, Mingtao Huang, Xiaozhou Luo, Jie Zeng, Jay D. Keasling, Tao Yu

3. 成员贡献情况

排序	姓名	工作单位	主要贡献
1	曾杰	中国科学技术大学	该项目第一完成人，总体学术思路和研究方案的提出者，负责项目的规划和实施，开发高效 CO ₂ 还原催化剂，并开辟出“电-生物”耦合催化新路径。是所有代表性论文的（共

			同) 通讯作者。
2	严涵	中国科学技术大学	该项目第二完成人, 提出“纳米岛”动态稳定金属团簇策略, 是代表性论文 1 的 (共同) 通讯作者。
3	于涛	中科院深圳先进技术研究院	该项目第四完成人, 负责发展基因编辑技术改造微生物, 是代表性论文 4、5 的 (共同) 通讯作者。
4	李洪良	中国科学技术大学	该项目第四完成人, 负责催化反应机理研究, 是代表性论文 1、3、5 的参与者。
5	周涛	中国科学技术大学	该项目第五完成人, 构建“纳米岛”材料库, 是代表性论文 1 的 (共同) 第一作者 (排名第一)。