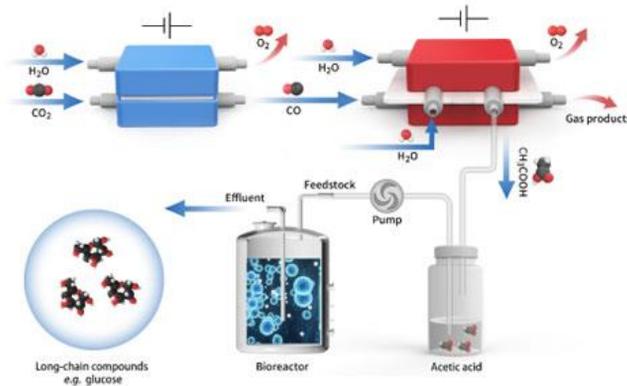




## 二氧化碳还原合成葡萄糖和脂肪酸

中国科学技术大学曾杰课题组与电子科技大学材料与能源学院的夏川课题组、中国科学院深圳先进技术研究院合成生物学研究所于涛课题组合作，在《Nature Catalysis》发表了题为“Upcycling CO<sub>2</sub> into energy-rich long-chain products via electrochemical and metabolic engineering”的文章。该工作首先通过电催化将二氧化碳和水合成高纯乙酸，再以乙酸及乙酸盐为碳源经生物发酵合成葡萄糖和脂肪酸等长碳链分子。



图：体外二氧化碳人工合成高能长链食品分子示意图

为了规避二氧化碳电还原的产物局限性，可考虑将二氧化碳电还原过程与生物过程相耦合，以电催化产物作为电子载体供微生物后续发酵合成长碳链的化学产品用于生产和生活。而选择合适的电子载体对微生物发酵至关重要。由于二氧化碳电还原的气相产物均难溶于水，生物利用效率低，因此优先选择二氧化碳电还原的液相产物作为生物发酵的电子载体。其中，乙酸是一种优秀的生物合成碳源，可以经发酵转化为葡萄糖等其他生物物质。

直接电催化转化二氧化碳到乙酸存在着反应速率慢、产物选择性低和碱溶液吸收等诸多问题。鉴于一步法电解的局限性，研究人员提出两步法电解的解决方案，即通过催化剂条件优化和反应器设计，先将二氧化碳高效转化为一氧化碳中间体，再基于固态电解质反应器通过晶界铜催化剂高选择性地合成纯乙酸。乙酸作为优秀的生物合成碳源之一，在细胞体内能有效地转化为乙酰辅酶A进入中枢代谢，通过糖异生、脂肪酸合成等通路实现碳链延伸，合成C<sub>6</sub>-C<sub>18</sub>等一系列长链多碳化合物。如图所示，研究人员将电催化-生物合成结合，且使用巧妙的空间解耦联方式达成电催化上游合成底物，生物合成下游产物转化延伸，实现了“用二氧化碳和水合成葡萄糖和脂肪酸”的全过程。

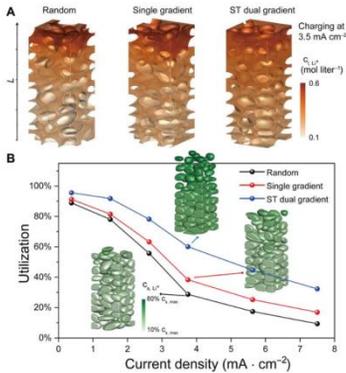
首先，研究人员利用Ni-N-C单原子催化二氧化碳形成一氧化碳中间体，然后将收集的一氧化碳经脉冲电化学还原工艺形成的晶界铜催化合成乙酸。研究人员进一步开发了多孔固态电解质反应器，使阴极得到的乙酸根与阳极得到的氢离子结合形成高纯乙酸水溶液，无须分离提纯可直接用于下游生物发酵。随后，研究人员将电合成得到的高纯乙酸溶液投喂给酿酒酵母，通过酵母的代谢工程进一步合成出葡萄糖等食品分子，葡萄糖产量达2.2 g/L。

游离脂肪酸是一类C<sub>8</sub>-C<sub>18</sub>组成的长链多碳化合物总称，因其在生产油脂化学品和生物燃料生产方面的潜在用途而受到广泛关注。目前有关游离脂肪酸生产研究主要以葡萄糖为底物，研究人员以电催化合成乙酸为底物，在构建的产脂肪酸菌株中合成脂肪酸，合成脂肪酸含量检测可达448.5 mg/L。



## 研究进展

### 中国科大研制用于快充锂电池的新型双梯度石墨负极材料



图注: (A) 不同结构石墨负极内部在 $3.5 \text{ mA cm}^{-2}$ 充电电流密度下电解液中 $\text{Li}^+$ 离子浓度的空间分布; (B) 不同结构石墨负极在不同充电电流密度下对石墨颗粒的利用率。

近日, 中国科大俞书宏院士团队与姚宏斌、倪勇教授团队合作提出了在不牺牲锂离子电池能量密度的前提下, 在石墨负极内部引入颗粒尺寸以及孔隙率的梯度异质分布结构设计, 实现了石墨负极快充性能提升。研究团队开发了一种无聚合物-粘结剂的浆液制备石墨负极的路线, 可以普适地在石墨负极中构建一种新型粒径-孔隙度双梯度结构, 大幅度提升了锂离子电池的快充性能。以双梯度石墨负极构建的锂离子全电池在 $6\text{C}$ 的高充电速率下展现出高的能量密度和循环稳定性。相关成果发表在国际期刊《科学进展》上 (Science Advances 2022, 8, eabm6624), 被英国NewScientist选为研究亮点报道。

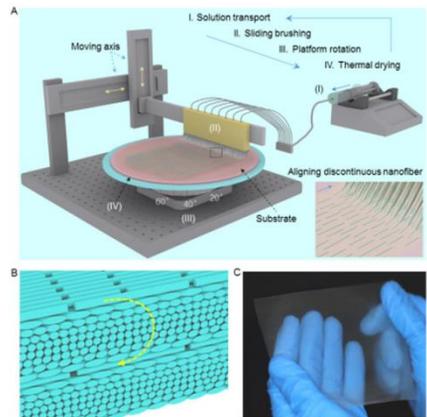
研究团队首先采用颗粒级尺度的理论模型, 采用迭代设计方法仿真对石墨负极电极结构进行优化。研究人员进一步开发了一种低粘度无聚合物粘结剂浆料自组装技术。基于实验室先前成熟的铜纳米线规模制备工艺, 制备铜纳米线和铜颗粒包覆石墨低粘度乙醇浆料, 利用不同尺寸颗粒石墨在浆料中沉降速度差异性, 在石墨负极中成功构建出模拟计算优化的双梯度结构。电极中铜纳米线的焊接作用实现了石墨电极结构的完整性。基于该石墨负极所制备的锂离子全电池展现出与实验模型相同的优异快充性能。

相对于传统实现锂离子电池快充的方法, 研究团队提出的双梯度电极结构设计为克服锂离子电池的高能量密度和快充性能之间的矛盾提供了新的思路。

### 中国科大研制一种新型非连续布利冈仿生结构材料

近日, 中国科大俞书宏院士团队博士后陈思铭、高怀岭副研究员等首次将珍珠母中的非连续“砖-泥”结构特性引入到布利冈结构设计中, 提出了非连续布利冈结构的设想, 并发展了一种程序化组装纳米纤维的方法, 成功地创制出一种新型的轻质高强仿生非连续布利冈结构纳米复合材料, 实现了非连续纤维桥连和布利冈构造诱导裂纹偏转的协同增韧。该工作对于研制高性能结构材料提供了新的组装方法。相关成果发表在《Matter》旗下国际期刊《Matter》上。

研究人员基于所开发的有序组装纳米纤维基元的程序化装置, 以环境友好的硬硅钙石纳米纤维和海藻酸钠为原料, 通过螺旋组装硬硅钙石纳米纤维于海藻酸钠基体中, 并结合溶胶-凝胶-薄膜转变过程, 成功制备了非连续布利冈结构纳米复合材料。实验表明, 该材料展现了卓越的力学性能, 优于许多天然布利冈结构材料 (如鱼鳞片、层状骨、蟹螯、动物表皮硬质层) 以及仿生布利冈结构类似物和部分工程纤维复合材料 (如碳纤维/尼龙纤维/碳化硅纤维/纤维素纤维复合材料)。研究人员与近代力学系倪勇教授和吴恒安教授等合作, 进一步通过断口微结构分析与理论模拟, 发现所研制的材料表现出裂纹偏转和纤维桥连增韧机制。不仅局限于薄膜, 研究人员进一步结合其早期发展的层压和界面融合技术, 还构筑出具有一定厚度的块体结构材料。由于组分的生物相容性以及尺寸的多样性, 所研制的仿生纳米复合材料具有广泛的应用前景, 例如作为高损伤容忍性能的骨修复材料。



图注: 纳米纤维程序组装装置 (A)、非连续布利冈结构 (B)、经由程序组装而实现的硬硅钙石-海藻酸钠纳米复合薄膜 (C)。



## 国家研究中心简讯

### ◆Nature专访中国科大曾杰教授：将工业废气二氧化碳转化为电池燃料

近日，中国科学技术大学合肥微尺度物质科学国家研究中心和化学物理系曾杰教授接受了Nature的专访，分享了他在二氧化碳催化转化领域的最新研究进展。该采访以“Turning industrial CO<sub>2</sub> into battery fuel”为题，发表在Nature的亮点专栏。

在采访中，曾杰重点介绍了其团队在二氧化碳电还原制甲酸方向的最新进展。曾杰认为，二氧化碳电还原制甲酸技术得以应用的关键在于如何避免产物与电解液的分离提纯，因为这部分成本占了总成本的70%以上。为此，曾杰教授团队通过对催化剂和电催化装置的迭代升级，开发了一种铜合金催化剂和固态电解质反应器，实现了从二氧化碳和水中直接制备纯甲酸水溶液，大大节省了产物分离的成本。

在被问到其个人成长经历时，曾杰提到自己出生在河南省商城县，他的父亲是个勤于思考和动手的人，很好地保护了他的好奇心和创造力，为他种下了科学启蒙的种子。曾杰教授在中国科学技术大学获得了凝聚态物理学博士学位，到美国圣路易斯华盛顿大学从事博士后工作。2012年，曾杰教授回到中国科学技术大学进行独立研究。从那时起，他的研究方向就聚焦于二氧化碳催化转化技术。

曾杰表示，未来其团队将与来自世界各地的大型碳排放企业如水泥厂、火力发电厂等进行合作，扩大二氧化碳制甲酸等高附加值化学品的生产规模，以使其能够尽快实现工业应用。

曾杰认为，习近平总书记提出的“碳达峰 碳中和”目标为国内坚持在二氧化碳催化转化领域的研究人员带来了春天。2022年1月，中国科学技术大学成立了碳中和研究院，未来学校将依托这个研究院在碳循环技术领域给予专项经费支持。除了学校层面，在中科院、基金委、科技部，都有针对“双碳”的项目部署，这些项目围绕“双碳”目标，鼓励从生产方式、产业结构、能源结构等方面推进多领域、多学科的交叉研究，从而推进经济社会向全面绿色发展转型。

曾杰表示，在回国工作后的这十年间，他最自豪的成就是培养了一批朝气蓬勃、干劲十足的青年学者。科技的进步既需要创新，又需要传承。曾杰期待他培养的学生在未来会将二氧化碳催化转化的研究持续下去，不断向着“碳中和”的目标前进。

### ◆中国科大学子勇夺全国“挑战杯”竞赛“揭榜挂帅”特等奖和全国二等奖。

3月末，第十七届“挑战杯”大学生课外学术科技作品竞赛决赛在四川大学（线上）举行。来自全国各高校的青年学子齐聚云端同台竞技，展开了激烈角逐。中国科大《大规模测量设备无关量子密钥分发网络》在“揭榜挂帅”专项赛中荣获特等奖。

《大规模测量设备无关量子密钥分发网络》由物理学院和微尺度物质科学国家研究中心的徐飞虎教授指导，由微尺度量子物理专业硕士生鲁奕辰、博士生张立康等人组成跨学科团队。该项目创新性的组网方案，为构建无可信中继的大规模量子通信网络提供了技术可行性，同时该团队将此技术进行了高速芯片化实验演示和网络性能模拟，为后续量子网络的实地验证以及与经典光纤网络相融合奠定基础。



在主体赛中，《铋单原子催化剂用于高效催化二氧化碳还原制备甲酸》获得全国二等奖。

《铋单原子催化剂用于高效催化二氧化碳还原制备甲酸》由微尺度物质科学国家研究中心曾杰教授指导。该项目着眼于二氧化碳资源化利用，利用电催化将二氧化碳转化为甲酸。项目开发了一种高效、高选择性的单原子催化剂，使二氧化碳电化学还原制备甲酸的选择性达到近100%。与二氧化碳电还原的其他方法（如还原到一氧化碳或甲烷）相比，本项目的选择性好，产物甲酸附加值更高，应用前景广阔，未来有望作为氢能的最佳载体。

