

科学家团队构建“微生物特种兵”

助力工业污水处理技术升级

高盐废水作为工业废水中的一种特定类型,主要来自化工厂及石油和天然气的采集加工等,包含悬浮物、有机物、重金属、有害化学物质和营养盐等污染物,对环境和生态系统造成了巨大的影响。因此,去除高盐废水中的有机污染物对生态环境可持续发展至关重要。

5月7日,中国科学院深圳先进技术研究院客座研究员戴俊彪与上海交通大学教授唐鸿志团队合作在学术期刊《自然》上发表最新研究,团队成功构建了可同时降解五种有机污染物的新型工程菌株,并通过实际工业废水样本验证,展示了该菌株对高盐废水中复合污染物的高效降解能力,为破解传统微生物处理技术存在的“盐抑制效应”提供了中国方案。深圳先进院为该研究第一单位。

可高效降解污染物的“微生物特种兵”

自然界的微生物虽然能分解高盐废水中的部分污染物,但它们就像“偏科生”——每个菌种通常只擅长处理一两种特定污染物。当面对高盐废水中油污、重金属、放射性物质等组成的“混合垃圾”时,这些天然微生物就显得“力不从心”。此外,因微生物降解所涉及的基因种类和数目较多,常规基因工程技术对菌株设计和改造的速度和深度非常有限。

近年来,合成生物学技术飞速发展,为降解菌株的构建提供了可能。科学家们能够通过合成生物技术给微生物设计“智能工具箱”——不仅能给细菌安装多种污染物分解能力,还能让这些功能像“乐高积木”一样精准搭配。

基于此,研究团队通过底盘

菌株筛选与耐盐机制解析,精准锁定了具有最快繁殖速率、高盐耐受和易基因编辑等特性的理想底盘细胞——耐盐菌株“需钠弧菌(Vmax)”,并基于弧菌类细菌能吸收整合外源DNA的自然转化能力,通过调控基因精准构建可调控的具有高效自然转化能力的菌株VCOD-2。研究人员通过测试发现,这一菌株可高效整合外源DNA片段到细菌基因组,相较于自然界中微生物,转化效率可提升数倍。

进一步研究中,研究团队将来自不同物种的降解基因模块进行适配优化,创新开发了迭代自然转化法,利用同源替换策略,将5个功能基因簇迭代整合到细菌基因组中,在单一菌株中构建了覆盖单环到多环化合物的五条人工代谢通路,得到的

“微生物特种兵”VCOD-15,可实现五种典型芳香类有机污染物——联苯、苯酚、萘、二苯并呋喃和甲苯的同时降解,涵盖了从单环到多环化合物的广泛底物范围。

“VCOD-15菌株的开发不仅给高盐废水污染的修复提供了新的解决方案,而且建立了在抗逆底盘菌株基因组上整合多条污染物降解基因簇,并实现功能适配、应用测试的全流程研究范式。期待这种研究范式可以为更多底盘菌株的改造所借鉴,并推广至更多污染物共存场地的生物降解与修复,为我国环境生物技术的发展以及生态环境保护作出贡献。”中国科学院院士、中国科学院大学资源与环境学院院长江桂斌评价道。

提供精准“去污”生物方案

研究团队通过实际工业废水样本系统验证了“微生物特种兵”工程菌株VCOD-15从实验室到实际污染场地的全场景降解效果。

例如,在污染物降解能力方面,这种“微生物特种兵”展现出多靶点同步处理优势——在48小时内对5种目标污染物的去除率均超60%,其中对联苯实现完全降解(100%),甲苯、二苯并呋喃等复杂污染物降解率近90%,较天然菌株提升2至3倍效能。

面对极端工业环境挑战,VCOD-15在盐度高达102.5克每升的氯碱废水中仍保持活性,成功克服了传统菌株“遇盐即失活”的瓶颈;在活性污泥反应器中,12小时内可完全去除高浓度污染物;多平行生物反应器测试显示,48小时内工业废水中污染物残留量均低于检测范围的2%,且菌株在复杂微生物群落中占比稳定(40%以上),体现其强大的环境竞争力。

“这些验证数据表明,团队开发的基于需钠弧菌的复合污染物工程菌构建平台,实现了从代谢通路的挖掘、设计和合成,到单一、复合污染物降解菌株的构建、测试,以及在实际工业废水样本处理应用的全流程,有望为石化、氯碱等高盐废水处理、海上石油泄漏、微塑料污染等全球性挑

战提供全新生物解决方案。”论文共同通讯作者唐鸿志表示。

“研究团队为构建多功能工程菌株打造了通用技术平台,不仅实现了同一菌株内多代谢通路的高效整合,还支持菌种功能的持续升级,其应用范畴可突破污染物降解领域,向天然产物生物合成、高值化合物细胞工厂构建等合成生物学前沿领域延伸,展现出‘一技术平台驱动多产业革新’的潜力。”论文共同通讯作者戴俊彪表示。

未来,该成果的核心技术可延伸应用于海上溢油污染治理、工业场地修复、微塑料生物降解等多个生态环保场景,不仅为破解复合污染治理难题提供了智能生物工具,更推动环保产业从末端治理向生物智造升级,助力“无废城市”建设与“双碳”目标实现。

中国科学院深圳先进技术研究院助理研究员苏聪博士,上海交通大学致远荣誉计划博士生崔浩天和副研究员王伟伟博士为本文共同第一作者。中国科学院深圳先进技术研究院/中国农业科学院深圳农业基因组研究所(岭南现代农业科学与技术广东省实验室深圳分中心)戴俊彪研究员和上海交通大学唐鸿志教授为本文的通讯作者。

本报记者 刘肖勇
通讯员 赵梓杉

粤港澳大湾区

建设富有活力和国际竞争力的一流湾区和世界级城市群 打造高质量发展的典范

