

DNA 常见的 C→T 脱氨基损伤比例也较低。这些证据提示,相关酵母可能并未完全休眠,而是在-6°C 保存环境中以极低速率进行代谢更新甚至缓慢增殖。

不过,这一判断仍需谨慎。未参与该研究的拉脱维亚有机合成研究所研究员 Nikolay Oskolkov 指出,目前样本主要来自 2010 年和 2019 年 2 个时间点,还不足以完全证明这些酵母在过去数千年中一直持续分裂。它们也可能是在奥茨被发现后,才在保存环境中逐渐定殖并扩增的“后来者”。

(综合:《Microbiome》  
《Scientific American》、  
ZME Science、Eurac Research)

## 用贝叶斯求解河流复合污染难题

一条河流中究竟有多少污染物在共同发挥作用?在现实水环境中,农药、药物、工业化学品和生活源污染物往往不是单独出现,而是以复杂混合物的形式同时存在。过去,环境风险评估通常习惯先看单一物质浓度是否超过安全阈值,再对少数重点污染物分别管理。但在真实流域中,多个看似“未超标”的化学物质叠加在一起,仍可能对水生生物构成风险。

2026 年 6 月 7 日,挪威水研究所 S. Jannicke Moe、丹麦 Hugin Expert 等机构研究人员在 bioRxiv 发表预印本,提出一种面向流域尺度化学混合物风险的概率建模方法,尝试把“鸡尾酒效应”纳入更可计算、可比较的风险框架。

复合污染评估的难点在于,

环境中的化学组合几乎无穷无尽,而实验室不可能逐一测试所有混合物毒性。生态毒理学中常用 2 种基本思路估算混合效应:一种是“浓度相加”,即认为作用机制相近的物质可按毒性贡献相加;另一种是“独立作用”,即认为不同物质可能通过不同机制分别造成效应。前者通常更保守,后者更适合描述作用方式不同的污染物。但在流域管理中,污染物既可能来自不同来源,也可能分属杀菌剂、除草剂、杀虫剂等不同类别,单靠某一种算法容易低估或高估总体风险。

研究团队开发的贝叶斯网络模型,将浓度相加和独立作用 2 类概念结合起来,用概率而不是单一数值描述风险。模型以风险商为核心指标,即预测环境浓度与保护性毒性阈值之间的比值;当风险商超过设定阈值时,模型给出发生风险的概率。这样的设计使研究人员可以在单一物质、物质类别和总体混合物 3 个层级上同时估算风险,并把空间位置、季节变化、污染物类别和模型不确定性纳入同一框架。

在试点案例中,研究团队以比利时流域为对象,纳入 15 种农药,覆盖杀菌剂、除草剂和杀虫剂 3 类物质,并按流域区、月份和季节计算复合暴露风险。相比传统“一个污染物对应一个风险值”的方式,该方法更像一张动态风险地图:它不仅能判断某一地区、某一季节总体风险是否升高,还能追踪到底是哪类化学品、哪些单体物质对风险贡献最大。

(来源:bioRxiv 预印本)

## 亚洲首个合成细胞技术路线图发布

人类能否从磷脂、蛋白质和 DNA 等生物大分子“零件”出发,从零搭建出一个能够自主生长、分裂的活细胞?这个听起来近乎科幻的问题,正在成为合成生物学检验生命底层设计法则的一块试金石。

过去几十年间,全球合成细胞研究逐步形成了两条互补路径。一条是相对成熟的“自上而下”路径:从天然细胞出发,通过删减、替换或重写基因组,把细胞改造成更简单、更可控的生命系统。抗疟药前体青蒿酸的酵母合成、在微生物中引入合成基因网络生产生物燃料,都是这一方向的代表性进展。

另一条则是更具挑战性的“自下而上”路径:不依赖现成细胞,而是基于基本生物学原理,以天然、修饰或合成的生物分子为构建模块,创建全新的生命系统。与“自上而下”改造现有细胞不同,“自下而上”路线试图从非生命分子出发重构生命过程。也正因如此,这一路径难度更大——事实上,目前科学界尚不清楚能否仅凭“自下而上”的方法真正创造生命。

以德国马克斯·普朗克学会主导的合成生物学大型联合项目 MaxSynBio、荷兰国家级合成细胞计划 BaSyC 等为代表的欧洲研究网络,正是在“自下而上”思路下,围绕膜结构、细胞骨架、蛋白质自组织、分子通信和能量转换等模块展开研究。例如,MaxSynBio 研究者曾在体外重构支撑细

胞膜的简化肌动蛋白皮层,也曾证明与细菌细胞分裂相关的蛋白质可在人工膜腔室中自组织形成动态图案。BaSyC研究者则在脂质体类合成细胞中,实现了由DNA编码蛋白质驱动DNA自我复制。

真正困难的是,如何让膜、基因复制、转录翻译、能量代谢和细胞分裂等模块在同一个类细胞空间内协同运转,并按照正确的时空顺序完成生长—复制—分裂过程。也正因此,合成细胞研究正在从单个模块突破,转向系统整合和标准化协作。

2017年,美国科学家借鉴开源软件社区模式,发起开放式协作网络Build-a-Cell,希望通过开放协作、标准接口和可复用工具,形成类似“生物操作系统”的共同平台。2019年,该网络获得美国国家科学基金会资助,进一步推动合成细胞研究的标准制定、路线图规划和跨团队协作。2024年,Build-a-Cell 指导小组成员Lynn J. Rothschild在《ACS Synthetic Biology》发表综述,系统规划了合成细胞从技术基础设施走向细胞实体的路径图。

在亚洲,中国已建立大规模生物铸造厂和合成生物学定量建模框架;日本在重构中心法则系统方面处于国际领先地位,开发了PURE系统及核糖体组装技术;韩国和新加坡则在人工智能(artificial intelligence, AI)驱动的代谢原型构建、自动化DNA合成等方面具有突出优势。不过,亚洲各国相关研究长期缺乏有效协同,尚未充分形成合力。



亚洲6国协作提出“中央工厂+分布式工作站”模式,破解合成细胞难题

(图片来源:中国科学院深圳先进技术研究院)

由中国科学院深圳先进技术研究院刘陈立领衔,来自中国、日本、韩国、新加坡、马来西亚、泰国等亚洲6国的100多个实验室,联合发布亚洲首个合成细胞10年技术路线图。2026年5月26日,相关研究成果发表于《Nature Biotechnology》。

该路线图提出建设AI驱动的“生物铸造厂”,采用“中央工厂+分布式工作站”模式,由统一平台制备标准化底盘和试剂,各国协同开展设计、合成和测试。其中,AI将融合“白箱模型”与“黑箱模型”,帮助科学家更快找到“造细胞”的关键规律。

广东工业大学从事合成生物学的陈浩宏副教授表示,该工作把定量合成生物学置于方法论核心位置,即用数学模型推演各模块如何共同决定细胞行为。这为合成细胞从“碰运气拼装”走向理性构建提供了理论支点。

技术路线图提出了跨度10年的“原始细胞—自主细胞”2阶段推进路径。第1阶段目标是构建“原始细胞”,形成稳定磷脂囊

泡结构,拥有至少200个基因的最小基因组,且90%以上的蛋白质由无细胞转录翻译系统表达;第2阶段则迈向“自主细胞”,实现内源性核糖体再生,摆脱外源表达依赖,并完成10次以上连续协调的生长—分裂周期。

“最难的一关是核糖体的自主再生,这是目前全世界都还没有攻克的硬骨头。10年内能否如期实现,需要保持清醒。”陈浩宏提醒道。

厦门大学罗周卿教授曾参与世界首个真核生物基因组合成计划。他表示,合成细胞是一项雄心勃勃的科学工程,需要整合成百上千个生物化学反应,实现能量系统与蛋白质复制机器的自持,并让生长、复制、分裂过程在时空上有序衔接。现有生命认知不足、复杂系统构建能力有限、缺乏从头整合蓝图等,都是亟待攻克巨大挑战。

(综合:《Nature Biotechnology》、中国科学院深圳先进技术研究院、MaxSynBio、Build-a-Cell、《ACS Synthetic Biology》)