

# 十年磨一剑！人工合成淀粉“降本增效”攻关记

■本报记者 刘如楠

近日,中国科学院天津工业生物技术研究所(以下简称天津工生所)完成了二氧化碳人工合成淀粉的新一轮测试,淀粉合成产量再创新高,比 2021 年提高了 10 倍以上。

2021 年,二氧化碳到淀粉的从头合成登上《科学》。“十四五”时期,人工合成淀粉项目完成了多轮迭代测试,效率逐年提高、成本逐年下降,距离工业化应用的目标越来越近。

2025 年 10 月 13 日,首届二氧化碳固定和生物转化国际会议在天津召开。会上,中国科学院二氧化碳生物转化国际科学计划宣布正式启动,并发布《二氧化碳生物转化促进全球可持续发展天津倡议》。该国际科学计划由天津工生所牵头实施,旨在联合全球优势科研力量,深入解析二氧化碳固定和转化机制,进而设计构建更高效的人工生物系统,有望在二氧化碳生物转化理论与技术上取得重大突破,为应对气候变化、粮食安全等全球性挑战开辟全新路径。

“这对我们来说是很大的鼓舞,相信未来对我们的科研工作会有很大帮助。”天津工生所研究员蔡韬说。

## 从基础研究到应用攻关

2025 年 10 月 29 日,蔡韬去医院体检。一听他的单位是天津工生所,负责体检的医生立马来了精神,问他:“你们那个淀粉做得怎么样了?什么时候能让大家吃上?”

“我感到老百姓对我们的科研项目真是很关心,整个社会对我们的期望也很高,我们必须把这个责任扛起来。”蔡韬说。

从寂寂无名到广为人知,人工合成淀粉项目已走过了 10 年。转折点出现在 2021 年,这一年,天津工生所通过复杂代谢途径的从头设计与精准调控,在国际上首次实现电 / 氢能驱动二氧化碳从头合成淀粉。

成果发布后,一下子引爆了学术圈和社会舆论,“二氧化碳合成淀粉”迅速成为热门话题。

国内外专家表示,该成果是“典型的‘从 0 到 1’的原创性突破”,是一项扩展并提升人工光合作用能力的重大突破,具有“顶天立地”的重大意义;不仅对未来的农业生产,特别是粮食生产具有革命性影响,而且对全球生物制造产业的发展也具有里程碑式意义。

论文发表后的一段时间,团队成员



二氧化碳人工合成淀粉样品。  
天津工生所供图

的手机总响个不停。除了媒体报道、同行祝贺外,寻求合作的研究团队、生物技术公司、咨询公司也纷至沓来。随之而来的,还有人们对这项成果产业化的期待和质疑。

“这项技术能不能落地并进行产业化测试”“多长时间能够实现‘从 1 到 10’的跨越”“工程化测试的‘卡脖子’技术在哪儿”“淀粉那么便宜,你们人工合成的淀粉那么贵,何必费时费力去做”……蔡韬和团队面临种种拷问与重重压力。

“那段时间我的心始终悬着,很焦虑。产业化测试带来了更大的挑战,急需建立一支专业化攻关队伍,这不是件容易的事。”蔡韬说。

2022 年 8 月,天津工生所在总体研究部管理框架下成立了人工合成淀粉研究中心(以下简称淀粉中心),以加速产业化应用。

“产业化是我们最初的理想,也是最终的目标。初期爬坡那么艰难,走到一半却不走了,怎么甘心?”天津工生所创始所长马延和说。

目前,淀粉中心已经形成了 30 多人的核心团队,联合所内外优势研发力量,重点解决制约人工淀粉成本的核心基础科学问题。

## 提升合成效率,降低生产成本

效率和成本是实现人工合成淀粉产业化示范的决定性因素,无论是近期、中期还是远期目标,本质都是提高

合成效率和逐步降低成本。

如果人工合成淀粉的成本能够降低至农业种植水平,将会大幅节约耕地和淡水资源,减少农药、化肥等对环境的负面影响,提高人类粮食安全水平。同时,人工合成淀粉的原料是工业废气中的二氧化碳,有利于破解我国资源环境约束,实现“双碳”目标。

2022 年底,二氧化碳人工合成淀粉工程化测试平台建成并启动测试。

决定人工合成淀粉效率和成本的关键在于酶,合成反应的每一步都离不开它。人工合成淀粉的过程需要 10 余种酶的参与,其中有一种人工酶——甲醛聚合酶,在反应体系中用量占一半,是不折不扣的“扛把子”。

“甲醛聚合酶极其重要,又极其顽固,我们想尽各种办法改造它。目前该酶的活性在 2021 年的基础上得到了大幅提高。”蔡韬介绍,“这意味着,它在整个反应体系中的用量将明显减少,酶成本将进一步降低。”

此外,在发酵罐中进行测试时,由于酶作用的环境发生变化,其能否“抗打抗压”十分重要。如果酶的稳定性不足,就很容易失活。

“为了增强酶的稳定性,我们设计了几千个酶的突变体,并对这些突变体一一验证。根据初次验证结果,我们再次复盘、设计、测试、验证,好中选优、优中选强,选择性能最佳的酶进行放大测试。”蔡韬说。

除了提高酶活性、增强酶稳定性之外,降低成本的另一个途径是将酶固定

下来。简言之,就是把“一次性”的酶变成能够“重复利用”的酶。4 小时、12 小时、一天、一周……科研人员在实验室进行的每一次测试、改造,都在不断延长中试线上酶的寿命。

### 科研方式在变,组织模式不变

与许多依赖研究组长负责制的科研组织模式不同,二氧化碳合成淀粉项目一开始便以建制化模式展开,采用“总体研究部-研究组群-平台实验室”三维科研组织模式。

淀粉中心在三维科研组织模式下,组织和集中优势力量,进行资源、人员和装备的统筹和调配,打破研究组独立分散、无法有效组织重大项目、研究开发与产业应用不能有效结合的科研碎片化模式,加速推进项目攻关。

蔡韬介绍:“我们将具体的科研任务拆解、细化,再与所内外优秀科研团队合作,最后在淀粉中心进行系统集成,完成项目实施。这样一来,最终的结果不是简单的‘拼盘’,而是一道完整的‘菜’。”

从人工合成淀粉工作启动至今,科研组织模式一以贯之。近几年,人工智能广泛应用于知识获取、数据分析、成果转化等方面,提升了科研效率,改变了传统科研方式。

以酶的改造和设计来说,原来需要基于数据库或已发表的文献,通过研究酶的结构、催化机制,设计定点突变来改造蛋白,再通过实验验证其活性。这个过程不仅费时费力,而且由于认知边界的局限,效果往往不尽如人意。但如今,研究人员借助人工智能大模型预测出突变组合,加速了试错过程,使得实验目标更明确、效率更高。

虽然人工智能节省了非常多的人力物力,但作为淀粉中心负责人,蔡韬仍轻松不起来。“这么多年来,我们一直在重压下前进。‘从 0 到 1’难,降成本也难,最终要实现工业化应用更难。”蔡韬说,“尽管如此,我们还是要迎难而上。只有做了才有希望,不做什么都没有。”

蔡韬表示:“人工合成淀粉科研团队始终坚信——梦虽遥,追则能达;愿虽艰,持则可圆。”



## 我国人工智能企业数量超 6000 家

据新华社电 2025 年,我国人工智能产业活力迸发、亮点纷呈。国内企业发布多款人工智能芯片产品,智能算力规模达 1590EFLOPS,国内大模型引领全球开源生态,人工智能企业数量超过 6000 家,核心产业规模预计突破 1.2 万亿元。1 月 21 日,工业和信息化部副部长张云明在国新办新闻发布会上作出以上表述。

张云明介绍,人工智能应用不断拓展,目前已覆盖钢铁、有色金属、电力、通信等重点行业,逐渐深入到产品研发、质量检测、客户服务等重点环节。产业生态加速繁荣,国家人工智能产业投资基金启动运行,资金规模达 600 亿元;深入实施人工智能标准化专项行动,2025 年累计研制发布 40 余项关键国家标准、行业标准。

对于人工智能创新发展可能带来的就业等问题,张云明认为,技术进步往往会伴随就业结构的重构、就业岗位的迭代,但重构不等于消失,迭代不等于替代。

他表示,工业和信息化部将坚持应用牵引,充分发挥人工智能融合赋能作用,在推动组织模式、工作方式、生产范式重构的同时,不断提升劳动者的人工智能素养,培养更多既懂人工智能又懂制造业的复合型人才。

(周圆 王舒一)

## 新研究助力工业烟道气二氧化碳资源化利用

本报讯(记者孙丹宁)中国科学院院士、中国科学院大连化学物理研究所研究员包信和,研究员高敦峰,副研究员张国辉等与复旦大学教授汪国雄合作,在二氧化碳电催化转化方面取得新进展。他们利用离子液体调控催化反应微环境,实现了碳酸氢盐介导的高效二氧化碳捕集-电解“一体化”制一氧化碳,为低能耗、大规模的工业烟道气二氧化碳资源化利用提供了新思路。近日,相关成果发表于《德国应用化学》。

工业烟道气二氧化碳捕集与转化是实现国家“双碳”目标的关键路径。传统工艺通常采用“捕集-释放-压缩-电解”的串联路线,流程复杂、能耗和成本高。碳酸氢盐介导的二氧化碳捕集-电解“一体化”路线是一种新兴的反应性碳捕集技术。该路线将二氧化碳的捕集过程与电催化转化过程耦合,可降低获取高纯二氧化碳原料气的能耗和成本,但如何实现高效的碳酸氢盐捕集液电

## 科学家用单细胞技术绘制马铃薯-晚疫病菌互作图谱

本报讯(记者李晨)近日,中国科学院院士、中国农业科学院深圳农业基因组研究所研究员黄三文团队与南京农业大学教授董亚娟课题组合作,在单细胞分辨率下解析了马铃薯叶片与晚疫病菌互作的宿主微环境动态变化,提出了晚疫病病程新模型。近日,相关研究成果在线发表于《自然-植物》。

马铃薯作为全球最重要的非谷物作物之一,长期受到晚疫病的严重威胁,每年因此损失近百亿美元。虽然人们自 1845 年开始研究晚疫病,但其致病机理和病程发展模式仍不清楚。传统晚疫病致病机理研究多基于组织水平的转录组分析,难以充分揭示细胞异质性和空间协调性,而单细胞空间转录组技术为解析晚疫病病程中的精细机制提供了支持。

研究团队通过对接种晚疫病菌的马铃薯叶片进行空间转录组分析,成功获得了 73271 个高质量单细胞数据。通过整合细胞形态标记和基因表达谱,他们鉴定了叶片中的主要细

## 导致癌症治疗失败的关键细胞浮出水面

■本报记者 李思辉 通讯员 高雅婧

恶性肿瘤治疗失败与复发的一个重要根源,在于肿瘤细胞的高度可塑性——它能够在不同功能状态间转换,从而适应环境与治疗压力。

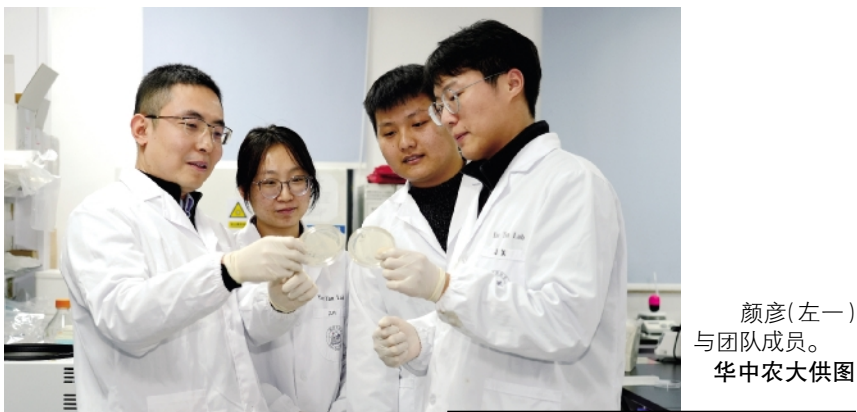
此前研究已发现肿瘤中存在多种细胞状态,不过,是否有某种关键细胞状态主导着肿瘤的演进方向?由于缺乏能够在活体肿瘤中精准标记、长期追踪并对特定细胞状态进行功能干预的研究体系,该问题一直未能得到验证。

华中农业大学教授颜彦团队联合美国纪念斯隆-凯特琳癌症中心研究人员,通过构建一套高度集成的新型小鼠遗传报告系统,首次精准定位并证实,在肺癌中存在一类拥有“高可塑性细胞状态(HPCS)”的特殊肿瘤细胞(以下简称 HPCS 细胞)。它们连接并调控不同细胞状态的相互转变,如同肿瘤内部的交通枢纽,是驱动肿瘤进展、造成肿瘤细胞多样性,以及产生治疗耐受的关键源头。1 月 22 日,相关研究成果发表于《自然》。

### 发现维持肿瘤进展的指挥中枢

颜彦介绍,他们与合作者构建了一套高度集成的新型遗传报告系统,实现了对特定肿瘤细胞状态的原位精准标记、纵向谱系追踪及定点特异性清除。该系统就像给肿瘤细胞装上了可追踪“芯片”和定点清除“开关”,为系统解析肿瘤细胞状态转换的因果关系提供了关键技术支撑。

利用该系统,研究团队鉴定出一类



颜彦(左一)与团队成员。  
华中农大供图

HPCS 细胞群体。它们展现出惊人的“变身”能力,不仅能产生肺癌发展各阶段的所有细胞类型,在晚期肺癌中还能“逆向变身”为分化程度更高的状态,呈现出双向、非线性的可塑性特征。

如果把肿瘤比作一张动态的交通网络,不同细胞状态像分布其中的不同城市区域,而状态转换就如同连接各区的公路系统。研究发现,HPCS 细胞并非普通节点,而是位于中心的枢纽站。细胞经此枢纽,可向不同分化路径“发车”,也可在特定条件下“回流”,从而持续维持肿瘤群体的异质性与演进潜能。该发现确立了 HPCS 细胞是肿瘤细胞状态转换与命运决定的关键枢纽。

有趣的是,HPCS 细胞本身并非处于高度增殖状态,而是保持“低活性预备”状态。一旦脱离该状态,这些细胞便会迅速启动增殖程序,成为直接驱动肿

瘤生长的主力。这一发现揭示了一种有别于传统癌症干细胞理论的新组织原则:HPCS 细胞并非直接参与肿瘤扩张的“战斗单元”,而更像一个持续供应高增殖潜能细胞的指挥中枢,间接而持续地维持肿瘤进展。

### 挑战“残留病灶不可避免”的传统观点

进一步的研究表明,在肿瘤发生早期清除 HPCS 细胞虽不影响肿瘤形成,却能有效阻断其向恶性阶段演进;而在晚期肿瘤中靶向清除这类细胞,则可显著抑制肿瘤生长。这些结果表明,HPCS 细胞不仅是肺癌由早期病变向恶性肿瘤转变的关键枢纽,也是晚期肿瘤维持异质性与增殖能力的细胞源头。

临床治疗中,规范化疗或靶向药物

虽能清除大部分癌细胞,但少数残存细胞仍可形成“最小残留病灶”,成为日后复发的根源。该研究发现,HPCS 细胞正是这类残留细胞的主要来源。

值得注意的是,该细胞状态高表达尿酸酶受体(uPAR)表面蛋白,相当于为其赋予了可被特异性识别的“分子标识”。基于此,研究团队采用靶向 uPAR 的 CAR-T 免疫细胞进行治疗,成功清除了 HPCS 细胞,并显著延缓肿瘤进展。更令人鼓舞的是,将该靶向清除策略与规范化疗或靶向药物联合应用,在动物实验中几乎实现了肿瘤完全清除。

这一发现从功能层面挑战了“残留病灶不可避免”的传统观点,首次证实驱动治疗耐受的核心细胞状态具备可靶向性。研究提示,通过精准干预肿瘤可塑性的关键枢纽,有望从根本上抑制肿瘤的进化与适应能力,为预防复发和克服耐药开辟了新路径。

研究还发现,HPCS 细胞的分子特征在多种实体瘤中高度保守,并与正常组织损伤修复过程中短暂出现的“再生细胞状态”高度相似。这一发现提示肿瘤可能通过“劫持”机体固有的再生与修复程序,获得持续进行细胞状态转换的能力,从而在治疗压力下不断“进化升级”,获得长期生存优势。

这项研究为理解癌症可塑性的组织规律提供了全新理论框架,也为开发靶向肿瘤细胞状态转换的新型治疗策略奠定了基础。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09985-x>

封面

换个方法给植物看病

目前测量植物健康状况的方法仍存在局限性与侵入性,无法进行长时间的全面监测。新加坡科技研究局的研究人员设计了一种电极,可以对多种植物进行长达 1 个月的非侵入性生理和健康状况研究。长期监测结果显示,植物的电生理信号与水分状况之间存在关联,意味着追踪植物电信号可能是一种更快捷的方法,可用于研究植物健康状况和植物对长期环境因素的应激反应。

最新一期《科学进展》的封面图片展示了经过 3 天电噪比测试后,一株烟草植株显示出轻微的衰老迹象。

(王铤)

图片来源:《科学进展》