中国科学报

CHINA SCIENCE DAILY

中国科学院主管　中国科学报社出版　国内统一连续出版物号 CN 11－0084　代号 1－82

扫二维码 看科学报　扫二维码 看科学网

主办：中国科学院　中国工程院　国家自然科学基金委员会　中国科学技术协会

总第 8819 期　2025 年 8 月 21 日　星期四　今日 4 版

新浪微博 http://weibo.com/kexuebao　科学网 www.sciencenet.cn

全球首张维管植物整合细胞图谱绘就

本报讯（见习记者江庆龄）中国科学院分子植物科学卓越创新中心研究员王佳伟团队绘制出世界上首张维管植物整合细胞图谱，并通过系统鉴定维管植物各类细胞的底层基因，突破了基因高效挖掘的瓶颈，为植物发育生物学研究提供了全新的研究范式。相关研究成果近日发表于《细胞》。

得益于双子叶模式植物拟南芥和单子叶模式植物水稻的遗传学研究，植物发育生物学在过去 40 年取得了长足发展。然而，随着正向遗传学筛选的日趋饱和，基因功能的冗余性逐渐成为植物新基因挖掘的巨大障碍。许多植物高质量单细胞制备难度大，同时相当一部分植物的基因组庞大且相关测序尚未完成，为植物单细胞图谱的绘制带来了巨大挑战。

研究团队开发了高效的原生质体制备技术，并建立了一套无需参考基因组即可进行单细胞转录组数据分析的流程。在此基础上，研究团队成功绘制了来自石松类植物（石松和银边卷柏）、蕨类植物（肾蕨）及裸子植物（油松）的 4 张全新单细胞图谱，进而实现了维管植物的整合单细胞图谱构建。维管植物的起源可以追溯到约 4 亿年前，而这张整合细胞图谱是目前已知跨越演化时间最大的植物整合单细胞图谱。

研究团队进一步在蕨类和裸子植物中发现了以前从未发现的新细胞类型，即韧皮部中的类伴胞细胞。此外，基于跨物种保守性和基因表达模式相似性，研究团队首次揭示了维管植物各类细胞的底层基因集，且大部分已知拟南芥各类细胞类型的关键调控基因都可以在此基因集中找到。值得一提的是，维管植物底层基因集能够有效应对当前基因挖掘中的瓶颈问题，用于高效发现全新的发育基因。研究团队以各类细胞底层基因集为参考，开发了一个维管植物通用的细胞类型自动化注释工具，能够在短时间内对一个未知图谱进行初步注释。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1016/j.cell.2025.07.036

科学家研发出超分子动态抗污染层

本报讯（记者孙丹宁）近日，中国工程院院士、哈尔滨工业大学教授马军团队提出利用超分子动态性强化“抵御－驱除”协同抗污染机制的策略，突破了常规协同抗污染机制依赖切向流和抑制膜通量的两大弊端，为水处理膜在低能耗、高稳定性运行方面提供了新方案，在市政污水、工业废水处理等领域具有广阔应用前景。相关研究成果发表于《自然－通讯》。

基于亲水－低表面非均相微区的“抵御－驱除”协同抗污染机制，在提高水处理膜稳定性与延长寿命方面具有潜力。然而，这一抗污染机制存在两个弊端。其一，因水的跨膜传输会将污染物紧压在膜表面，需要较高的切向流促进污染物脱附。其二，低表面能组分易在膜过程中团聚并贴合在膜表面，阻塞水通道，使膜通量难以提升。

针对上述问题，团队提出使用超分子而非高分子在水处理膜表面构建抗污染层的策略。超分子为聚二甲基硅氧烷（PDMS）和环糊精（CD）组成的聚轮烷。PDMS 为低表面能线性大分子，CD 是亲水环状小分子，CD−PDMS 聚轮烷呈线穿环结构。CD 可沿 PDMS 链滑动、旋转和振动，形成相对动态亲水－低表面非均相微区。这一结构使污染物与膜表面的接触不稳定，辅以 CD 的布朗运动，能够在低切向流甚至静态条件下有效驱除膜表面污染物；还可防止低表面能组分团聚，通过氢键作用携带并促进水分子传输。

该研究揭示了 CD 类型、CD/PDMS 摩尔比 −CD/PDMS 聚轮烷动态性－膜综合性能间的级联关系，确定了最佳抗污染层结构。实验结果表明，膜综合性能在超分子抗污染层动态性最强时达到最高值，优秀抗污染效果普适于酵母菌、腐植酸、海藻酸钠、乳化油等多种污染物，并且在松花江水、市政污水和鲁奇炉煤气化污水等实际水体的 72 小时错流实验中表现出优越的稳定性，每个反洗周期中衰减率仅为 3%至 7%，化学清洗后通量恢复率接近 100%。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1038/s41467−025−62231−w

厌氧微生物唱起“独角戏”

■本报记者 李晨

在地球的深海热泉、湿地，或者动物肠道和沉积物等环境中，生活着一群“无氧居民”——厌氧微生物。它们能分解有机废物，产生甲烷等可再生能源，还能参与温室气体的生成和消减。从污水处理到畜禽养殖、从沼气利用到肠道健康，都离不开它们。

然而，人类想要分离得到有益的厌氧微生物却很困难，因为它们异常难养。近日，农业农村部成都沼气科学研究所（以下简称沼科所）厌氧微生物创新团队联合荷兰瓦赫宁根大学团队找到了新办法。他们把厌氧微生物的生长曲线当“指挥棒”，利用自创的“鸡尾酒法”定向分离产甲烷古菌。相关研究成果在线发表于《微生物趋势》和《自然－试验流程》。

唯厌氧微生物难养也

虽然肉眼看不见，但厌氧微生物是全球碳、氮、硫循环的重要驱动者，与人类关系非常密切。

论文第一作者、沼科所博士生巫可佳告诉《中国科学报》，这些“无氧居民”对生活条件要求极高——一点氧气都不能碰，通常需要特定温度、酸碱度、营养条件才能生长和生存。

厌氧微生物大多生活在湿地、深海、肠道、热泉等缺氧环境中，好像一群“隐居高手”，生长缓慢、数量不多，有些还离不开特定“伙伴”。因为它们需要与其他微生物互相交换营养物质或代谢产物，通过共培养或者共生才能生存，好比“搭档”，缺了对方就活不下去。

这种生存方式使厌氧微生物在实验室环境中难以存活，一旦被请进实验室，常常就消失了。如果想把它们培养成纯菌状态，那就更难了。

论文通讯作者、沼科所研究员承磊在接受《中国科学报》采访时说，获得纯培养物，是研究新型微生物生理、代谢、生态功能，以及利用其清洁能源生产、污染治理、健康保障等能力的资源基础。

传统分离方法像一场“短跑赛”，要求目标厌氧菌一开始就具备绝对生长优势，一步到位打败所有竞争者，这让许多“慢热型选手”始终无缘亮相。承磊解释说，厌氧菌通常生长慢，生长条件苛刻，容易被“快生长”的非目标菌淹没。

2016 年，团队着手从一份 2007 年取自我国胜利油田的样本中分离产甲烷古菌。由于这份样本对“投喂”的甲醇异常敏感，并且能产生甲烷，团队认为，这可能隐藏着产甲烷古菌的新生存模式。

要想搞清楚这里的厌氧古菌究竟如何产生甲烷，首先要把它从成分复杂的样本中分离出来。让如此难养的厌氧微生物在实验室环境中分离并生存，是他们迫切想解决的难题。

微生物分离就像赛跑，红色的是目标微生物，其他则是“竞争对手”。　受访者供图

生长曲线当“指挥棒”

“我们在多年分离实验中发现，单一方法往往不够。”承磊说，因为分离过程中既要保证目标菌生长，又要抑制非目标菌，而一个样品中的非目标菌是多种多样的，利用单一方法很难去除，因此需要灵活组合多种“配方”，如稀释、限制养料、加抑制剂，像调制鸡尾酒一样，根据情况调整分离策略，逐步去除不同的非目标菌。

巫可佳说，团队通过定期取样，用分子生物学方法或流式细胞计数等方法监测目标菌和其他菌的细胞数量变化，按时间和细胞数量变化画出生长曲线。

研究团队提出用生长曲线当“指挥棒”，实时观察目标菌和非目标菌的生长动态。在不同阶段创造条件，让目标菌占据“相对优势”，或者让非目标菌对目标菌的抑制更轻微，一步步“请走”非目标菌，直到目标菌能单独站上舞台。

巫可佳解释说，他们把难培养微生物的分离过程分为多个阶段——先摸清目标微生物的生长“喜好”，再通过稀释、限制养料、精准抑制等手段逐步减少“陪客”，最后只留下目标微生物。“这套方法的特别之处在于，不要求目标菌一开始就跑得最快，而是通过阶段性调整，让它在不同‘赛段’都能保持相对优势。”

针对不同类型的非目标菌，他们有不同“招数”，有的改变营养条件，如底物、生长刺激因子；有的改变物理化学因子，如温度、pH 值、盐浓度等，或者梯度稀释；有的加抗生素或溶菌酶，抑制非目标菌。

“我们第一次用多年摸索的方法成功分离到非广古菌门的新型产甲烷古菌，并通过分离获得的菌株解析其生理和代谢机制。”承磊所说的这项工作成果在 2024 年 7 月发表于《自然》。

后来，研究人员总结和提炼了该团队十多年厌氧微生物分离经验，形成了“基于生长曲线”和“相对生长优势”的微生物纯培养理念。

基于底层逻辑的分离方法

巫可佳说，挖掘出新型产甲烷古菌的这套方法基于分离微生物的底层逻辑，即如何从一个复杂群落中获得目标菌。这一理念适用于微生物生长分离的各个阶段，不仅适用于厌氧微生物分离，也适用于好养、兼性厌氧等微生物分离。“期待未来可以帮助更多微生物资源实现分离。”

承磊强调，此方法的建立受益于测序技术的发展，使得人们可以鉴定复杂群落中的目标菌和非目标菌，进而达到分离的目的。

《微生物趋势》审稿人说，这篇论文关注了一个长期被系统性忽视的重要主题。科学界普遍存在偏见，即所谓“不可培养”的微生物，是真的无法培养，还是付出的代价太大，以至于不值得尝试。“不可培养”这个说法本身就暗示了不可能性，从而加剧了这种不幸的局面。

“虽然宏基因组学在发现新型微生物方面非常有用，但在一定程度上削弱了科学家继续开展更费时、更具智力挑战性的分离培养研究的动力。更遗憾的是，学界并没有充分认识到理解宏基因组信息与分离培养株生理学存在的巨大鸿沟。”审稿人说，这篇论文不仅引发了大家对这些不足的关注，而且提出了切实可行的实验思路来弥补缺陷。这是一项“极有价值、恰逢其时、姗姗来迟的重要贡献”。

而《自然－试验流程》审稿人评价，这项研究提出的“生长曲线引导分离”方法非常有趣，为难培养的古菌分离提供了新视角。

承磊说，如今这套方法不仅适用于产甲烷古菌，还能推广到热泉、深海、动物肠道等多种缺氧环境微生物的分离培养。他的实验室已经从热泉和油藏等特殊环境中分离了多株难培养微生物。

承磊希望这种方法能成为难养厌氧微生物分离的通用策略，还可结合人工智能和高通量平台实现微生物的大规模高效定向分离，帮助科学界“解锁”更多隐藏在自然界的微生物角色，丰富人们对地球生命的认识，为气候研究、能源开发和环境保护等提供新菌种资源。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1038/s41596−025−01224−x

https://doi.org/10.1016/j.tim.2025.06.006

看封面

罕见分子促进化

最新一期《科学进展》的封面展示了生长在美国哈佛大学阿诺德植物园的加拿大蝙蝠葛藤蔓。虽然植物的代谢多样性早已为人熟知，但含氯化合物等天然卤化物在植物界仍极为罕见。

加拿大蝙蝠葛能够产生一种少见的卤化分子，为研究卤化酶进化的遗传机制提供了契机。论文揭示了偶然的进化历程是如何“翻山越岭”的，这启发了人们对天然酶与人工酶的理解。　（王体瑶）

图片来源：《科学进展》

寰球眼

《科学》修正量子计算重要论文

本报讯 近日，一项声称提供了马约拉纳准粒子存在证据的关键研究，在发表于《科学》杂志 5 年后，进行了广泛修正。

马约拉纳准粒子的韧性使其成为构建量子比特的理想候选者。不过，旨在证明其存在的研究一直未得出确凿结论。

2018 年 9 月，丹麦哥本哈根大学物理学家、时任微软研究员 Charlie Marcus 领导的一个团队，在预印本服务器 arXiv 上描述了一种生成马约拉纳准粒子的新方法。一年半后，他们加入理论模拟证明了该结果，并在《科学》发表了这项研究。然而，美国匹兹堡大学的 Sergey Frolov 和德国于利希研究中心的 Vincent Mourik 对论文数据的有效性提出了质疑。

2021 年 7 月，《科学》针对该论文发布了一篇社论，对潜在问题提出了警告。据《自然》报道，现在《科学》撤销了这一警告，作者则对论文的补充材料发布了一份长达 20 页的更正。

论文作者对这一结果感到欣慰。论文作者之一、哥本哈根大学的 Saulius Vaitiekenas 说：“这并非纠正任何错误。我们是在总结并提供更多信息。”而 Frolov 认为，论文中的数据并未全面反映出设备的电子行为，并要求撤回该论文。“我不相信这些数据。”

《科学》负责监督物理科学投稿的编辑 Jake Yeston 表示，该期刊决定不撤回这篇论文，因为“没有一个明确的学界共识认为它是错误的”。同时 Yeston 说，原始论文的一个问题是缺失信息，现在已得到解决。

此前，哥本哈根大学的一项内部调查认为“论文没有问题”，研究团队已经提交了全部数据。2021 年 10 月，Yeston 向哥本哈根大学提出申诉，要求“由专家进行独立、透明的调查”。

2022 年 6 月，该大学组建了一个由独立物理学家组成的调查组开展这项工作，在长达一年的调查中未发现任何学术不端行为。但调查组指出，该团队对数据的选择导致“结论没有充分反映结果的可变性”。不过，被排除的数据并未破坏论文的主要结论。

然而对于 Frolov 和 Mourik 来说，一大问题仍是哥本哈根大学团队选择的“隧穿区”，即设备被扫描时所处的低电导率范围。而此次更正包含了对隧穿机制的详细描述。

尽管奥地利科学技术研究所（ISTA）的一个团队已经研究了类似的纳米线，但还没有一个研究团队能重现哥本哈根大学团队的结果。Marcus 认为，ISTA 的研究并不是哥本哈根大学研究的完全重现，他很乐意为其他团队提供纳米线以尝试重现，但迄今无人接受。

事实上，哥本哈根大学团队工作的不确定性，很大程度上源于物理世界的混乱。“目前，对于所有探索马约拉纳准粒子的实验来说，这都是一个无法回避的现实。”调查组在报告中写道，“重要的是，作者要提高警惕，避免确认偏差。”　（文乐乐）

“多兵种协同”！我国肿瘤治疗向精准医学迈进

■新华社记者 顾天成 徐鹏航 彭韵佳

杀伤肿瘤细胞却也可能误伤免疫系统。在肿瘤治疗中，“伤敌一千自损八百”是一道全球难题。

纳米药物递送、人工智能自适应调整、光纤定位脑肿瘤……今年以来，我国临床医疗一线涌现出一批自主创新的科研成果，让肿瘤患者有更小的治疗痛苦、更低的毒副损伤、更高的生存质量，这是医学创新的希望与力量。

“人工细胞快递员”：激活人体免疫系统协同作战

子宫内膜癌是妇科三大恶性肿瘤之一，近年来发病率在我国呈现上升态势。

如何精准命中癌细胞、保护正常组织，为患者争取更多生存希望？近日，国际学术期刊《先进材料》发表了北京大学人民医院王建六团队联合中国科学院化学研究所肖海华团队、中国医学科学院放射医学研究所黄帆团队的研究成果：基于合成高密度脂蛋白的纳米盘载体。

这些纳米盘载体，好比一群直径仅 10 纳米、形似“圆盘”的“特种兵”悄然潜入肿瘤组织，不仅携带化疗“弹药”精准打击癌细胞，更能激活人体免疫系统协同作战。

北京大学人民医院党委书记、妇产科疾病研究所所长王建六介绍，三大团队联合，选用能诱导 DNA 损伤并激活免疫的四价铂前药作为核心“弹药”，通过仿生设计，将其与磷脂等自组装成“人工细胞快递员”。

这项技术破解了传统化疗的治疗困境，在子宫内膜癌等肿瘤治疗中获得较高的抑制率。

“人工智能通信兵”：实时更新放疗方案

除了化疗领域的药物突破，放疗领域与人工智能的结合也擦出新“火花”。

宫颈癌防治，是守护广大女性健康的“必答题”。针对局部晚期宫颈癌放疗中靶区易变化的临床难题，北京协和医院率先引入基于迭代锥形束 CT 的人工智能在线自适应放疗平台。通过锥形束 CT 快速高清成像，结合人工智能算法实时更新放疗方案，在线自适应调整不到 20 分钟。

专家表示，这如同为放疗计划更新派去了“人工智能通信兵”，用它的“千里眼”和“顺风耳”建立起四通八达的“通信神经网”。

“这项技术能更加精准地照射肿瘤靶区，实现动态个体化调整，更好地保护正常组织和器官。”北京协和医院康复医学与理疗学系主任张福泉说，应用这项技术治疗腹部和盆腔肿瘤，急性胃肠反应、泌尿系统反应发生率下降。

“高级别侦察兵”：不开颅实现脑肿瘤靶向消融

复发高级别胶质瘤生长迅速、治疗难度大，被称为大脑“癌中之王”。

首都医科大学宣武医院神经外科单永治团队近期发表了国产激光间质热疗治疗复发高级别胶质瘤的研究结果：通过机器人精准定位并辅助置入导向钉、套管和光纤，磁共振确认光纤位置和消融范围，通过 3 毫米的小孔即可实现胶质瘤的不开颅精准消融与破坏。

这就相当于设置了“高级别侦察兵”，提升靶向消融的精准度。结果显示，32 例病人完成相关治疗后经一年时间随访，平均生存期和单纯保守治疗相比延长。

据悉，激光间质热疗技术最早产生于北美，对高端医疗设备的要求较高。宣武医院神经外科主任医师单永治表示，团队正努力探索使用普通核磁进行操作的方法，推动技术进一步普及。

“狙击手”：提升治疗效果

今年以来，我国肿瘤靶向药也捷报频传。北京大学肿瘤医院沈琳团队牵头对我国首创同时靶向 EGFR 和 HER3 的抗体偶联药物进行了研究，相关成果有望对解决晚期食管癌鳞癌患者的耐药性等问题产生积极效用。

5 月，中国自主研发抗体偶联药物注射用瑞康曲妥珠单抗获批上市；6 月，治疗组织细胞肿瘤及神经纤维瘤双适应症的国产靶向药物芦沃美替尼片开出首批处方……这些创新药恰似“狙击手”，为难治和易复发型癌症患者带来希望。

数据显示，过去 10 年，我国抗肿瘤新药获批增幅明显，累计已达 200 余种。

中国科学院院士陈竺认为，要持续推动癌症科研攻关，加快关键技术创新，惠及更多患者。

从纳米递送技术，到智慧闪耀的 AI 放疗平台；从直捣黄龙的光纤消融，到不断涌现的靶向新药——中国肿瘤治疗的科研工作者聚焦临床“真问题”，在精准医学的征途上不懈努力和奔跑。