

解开大脑衰老谜题有了新线索

全球首个灵长类全生命周期脑细胞图谱出炉

■本报记者 李媛 通讯员 唐羽琴

人为什么会衰老？同样步入老龄，为什么有的人思维依旧清晰敏捷，有的人却早早出现认知衰退？这些让人疑惑的问题，科学界始终没能给出清晰的答案。

近日，西安电子科技大学联合基因组多维解析技术全国重点实验室、人畜共患传染病重症诊治全国重点实验室等单位，历经数年攻关，成功绘制出全球首个覆盖全生命周期的食蟹猴脑多模态细胞图谱，系统解析了灵长类衰老的细胞调控规律及其与脑疾病的关系。相关研究成果发表于《细胞》。

“整个研究中最不确定的是，这么复杂的数据最后会不会只是一堆零散现象，能不能形成一个清晰的生物学故事。”论文共同第一作者、西安电子科技大学博士生马雯承担了该研究的部分核心数据分析工作。面对近 300 万个细胞核带来的海量数据，她和团队反复识别、比对与拼接，直到一个反复出现的信号排除了偶然的可能性，他们才向着揭开大脑衰老的秘密迈出了重要一步。

填补三重空白

在这项研究之前，学界已经发现大脑衰老不是单一事件，而是很多过程共同逐步变差，这些变化还与阿尔茨海默病等神经退行性疾病存在交叉。但真正卡住研究者的是三重空白：一是缺少覆盖全脑、多区域、单细胞精度的系统数据；二是缺少一种既接近人类又能被完整追踪终生的实验模型；三是过去大多只看到“哪些基因表达变了”，却不知道更上游的调控开关是不是也同步变化了。这个“开关”可以理解成决定基因该不该被打开、打开多大的一个 DNA 片段，专业术语为“调控位点”。

“我们想要补的，正是这些空白。”

马雯说。团队选定食蟹猴为主要研究对象，这是一种在脑组织结构和分子机制上更接近人类的灵长类动物。他们选取 23 只雌性个体、8 个脑区，同步开展两种单细胞组学测序，第一次把“全生命周期”纳入数据里。其中，28 岁以上的食蟹猴已达人工饲养寿命极限，极为罕见，为解析极端长寿背后的分子基础留出一扇从未打开过的窗。后续跨物种对比也证实，食蟹猴的正常衰老过程与人类存在相当程度的转录相似性，同时能与阿尔茨海默病的分子机制明确区分。该研究不是简单地“替代人”，而是理解人类正常大脑衰老机制的近似模型。

“我主要负责大规模单细胞核 ATAC-seq，以及 snRNA-seq 和 snATAC-seq 的整合分析。”马雯解释说，一种技术关注“哪些基因被打开或关上”，另一种技术关注“染色体上哪些区域被松开、允许被读取”，两者对照才能既看到结果，又看到结果背后的“开关”。从近 300 万个细胞核里识别细胞类型、比较年龄变化、联系脑区与疾病风险，相当于在一座从未被测绘过的城市里画出第一版街道图。

读懂 48 万余个细胞

“直接数差异基因就像数一个房间里有多少盏灯坏了，这个数字有用，但不能告诉你坏的是小夜灯，还是总电闸。”马雯说。因此，团队侧重采用一种衡量细胞整体转录扰动强度的方法，从而能够捕捉到“变化集中在关键功能网络”这种单纯靠基因数量无法识别的信号。

由此也打破了神经元数量“看似稳定”的表象：许多神经元内部的转录状态早已被悄悄重塑，突触信号、蛋白折叠、能量代谢等程序都在改变。“就像一台机器，从外面看还在正常运转，但内部的齿轮、

管路都在磨损，运行系统已经老化。”马雯说。更让人意外的是，这种剧烈重塑集中发生在青年迈向中年的阶段，远早于人能察觉到的功能衰退发生的时间。

团队发现，前额叶皮层里参与突触形成的关键信号在衰老进程中普遍下调。“不只是某个神经元内部变老了，而且神经元之间建立联系、维持突触的信号也变弱了。”另一个变化发生在大脑里负责“打扫卫生”的小胶质细胞，它分泌的抑炎信号也明显减弱。团队由此提出一个尚待验证的假说：髓鞘受损压低抑炎信号，炎症控制变差后又反过来影响髓鞘维护，三者可能构成自我强化的恶性循环。

沿着这条线索深挖，大脑深处那片常年被忽视的脑桥与延髓区域，在细胞比例、转录扰动、髓鞘谱系、细胞通信等多个完全独立的分析维度中反复显现，成为衰老负担最重的区域。“开始我们预测前额叶、海马这些和认知更直接相关的区域最突出。”马雯说，但不同分析方法都指向同一个区域，并非某一个指标的偶然偏高。这不是某一细胞的孤立损伤，更像“整个交通系统同时出问题”，意味着未来干预可能需要组合手段，而非单靶点药物。

团队还发现，衰老不是简单地把所有的灯“调亮”或“调暗”，而是在不同细胞、不同脑区里重新布了一套线路。一个格外能说明问题的例子是，同一个小胶质细胞相关基因附近有好几个“开关”可以控制它，其中一个开关在前额叶皮层，随着年龄增长稳定地被“调灭”，而另一个开关在脑桥和延髓，却是先“调暗”后又“调亮”。“这说明基因调控不是‘一个基因一个开关’，而是‘一个基因有好几个开关，不同房间用不同的那一个’。”

更值得关注的是，一处与阿尔茨海默病风险直接相关的“开关”，在海马的小胶

质细胞里随年龄逐渐被“调灭”，但却在脑桥和延髓的同类细胞中被越调越“亮”。“这提示我们，疾病易感性可能来自风险位点和局部脑区环境的交互，而不是由风险位点本身单独决定一切。”马雯说。

面对如此庞杂的证据体系，马雯和团队没有依赖单一分析下结论，而是让细胞比例、整体转录扰动、细胞通信、调控变化、跨物种比较这些结果彼此印证。最终，他们系统识别出 48 万余个细胞类型特异的基因调控“开关”，为后续研究提供了一份前所未有的精细数据集。

人类衰老认知推进一大步

团队跨物种对比还证实了一个打破常识的结论：阿尔茨海默病的分子病变机制并非正常大脑衰老的加速版本，而是一套完全独立的病变通路。这也解释了为什么单纯延缓衰老无法真正阻断神经退行性疾病的发生发展。研究还发现，雌性食蟹猴的大脑衰老分子变化比雄性更突出，这与临床上女性阿尔茨海默病发病率更高的现象高度吻合。

如今，团队搭建的专属数据库已向全球免费开放，原始数据与分析代码也同步公开。团队期待更多研究者能用这份数据，找到过去难以获得的坐标，在灵长类全生命周期中追踪同一种细胞的衰老轨迹，把基因表达变化和染色质开放变化对应起来，把疾病风险位点放回具体脑区加以解释。

马雯表示，尽管团队并没有直接给出“怎样干预就能健康老去”的答案，但该研究将回答相关问题向前推进了一大步——从笼统描述“大脑会衰老”，推进到明确哪些脑区、哪些细胞、哪些通路最值得进一步探索。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1016/j.cell.2026.07.045>

《求是》杂志发表习近平总书记重要文章《在加强基础研究座谈会上的讲话》

新华社北京 9 月 15 日电 9 月 16 日出版的第 18 期《求是》杂志将发表中共中央总书记、国家主席、中央军委主席习近平的重要文章《在加强基础研究座谈会上的讲话》。

文章强调，基础研究是整个科学体系的源头，是所有技术问题的总机关，是全球科技竞争的前沿阵地。衡量一个国家的科技实力，一个重要标准就是看基础研究水平。要成为世界科技强国，基础研究必须搞上去。党的十八大以来，党中央高度重视基础研究，通过优化科研布局、加大投入保障、创新体制机制等，推动我国基础研究水平显著提升。同时要看到，与世界科技强国相比，我们的基础研究仍然存在差距。要增强危机感和紧迫感，以更大力度、更实举措加强基础研究，提升我国原始创新能力，进一步打牢科技强国建设根基，加快实现高水平科技自立自强。

文章指出，要优化基础研究系统布局。进入大科学时代，基础研究组织化程度越来越高，需要我们加强统筹谋划和顶层设计，加快形成战略性、前瞻性、体系化布局。要把准目标方向，坚持“四个面向”战略导向，从国家急迫需要和长远需求出发，进一步明确基础研究的主攻方向和重点领域。强化力量协同，发挥新型举国体制优势，强化国家实验室、国家科研机构、高水平研究型大学等引领作用，鼓励和规范发展新型研发机构，推动企业主导的产学研深度融合，打通基础研究、应用开发、成果转化的创新链条。健全学科布局，完善学科设置调整机制，加强基础学科建设，促进应用学科与基础学科协调发展，鼓励多学科交叉融合和跨学科研究。

文章指出，要壮大基础研究人才队伍。基础研究归根结底靠高水平人才。要一体推进教育科技人才发展，全方位做好培养、引进、使用工作，努力使基础研究人才数量充足、素质优良、结构合理。着力提高自主培养质量，遵循人才成长规律，全面提高教育质量，源源不断培养基础研究后备力量，优化科教协同育人机制，注重在科研一线发现和培养高水平人才。大力扶持青年人才，坚持任务牵引、以老带新，为青年科技人员的成长成才铺路搭桥。积极营造良好氛围，不断改善基础研究人员的工作和生活条件，大力弘扬科学家精神，激发青少年的好奇心、想象力和探索欲，让投身基础研究成为更多青少年的追求。

文章指出，要拓展基础研究国际合作。主动融入全球创新网络，在开放合作中提升原始创新能力。深化政府和民间基础研究国际交流合作，联合各国开展气候变化、能源环境、生命健康等重大科学问题攻关，加大国家科技计划对外开放力度，牵头发起和加入国际大科学计划、大科学工程，积极参与全球科技治理。

文章强调，加强基础研究，需要全党全社会共同努力。各级党委和政府要加大政策支持力度、做好服务保障，推动党中央决策部署落到实处。

中子星如何从星团走向银河

■本报记者 崔雪芹



艺术家描绘了星团潮汐尾上的脉冲星和接力观测的三组望远镜。 课题组供图

银河系盘上散落着数以千计的中子星，它们究竟如何离开出生的环境，最终成为银盘中子星群体的一员？近一个世纪前，中子星和恒星星族的概念先后进入现代天文学，但连接二者的演化环节却长期缺少直接的观测证据。

中国科学院紫金山天文台副研究员符晓婷与清华大学教授李荫硕领衔的国际研究团队，首次在古老疏散星团的潮汐尾中定位到一颗脉冲星，多重证据表明，它正在“离家出走”，随着星团的潮汐剥离逐渐进入银河系盘。近日，相关研究成果发表于《科学通报》。

“银河系盘上数以千计的中子星长期缺少可以追溯出生环境的‘户籍记录’。这项研究第一次把一颗中子星和正在瓦解的出生星团直接联系起来，看到了它从星团走向银河系盘的过程。”论文通讯作者符晓婷告诉《中国科学报》。

在论文另一位通讯作者李荫看来，这项工作连接了两个长期以来相对独立的问题：超新星怎样产生中子星，以及这些中子星离开出生环境后，怎样成为今天散布在银河系中的中子星群体。

星团中的中子星哪去了

恒星通常不是孤立诞生的，银河系盘中的大量恒星形成于疏散星团。随着星团绕银河系运行，在内部动力学和银河系潮汐力作用下，成员恒星被不断剥离，最终散入银河系盘。作为恒星演化后的“遗骸”，中子星理论上也应经历类似过程。

但长期以来，人们很少能够把一颗孤立中子星与它曾经所属的疏散星团直接联系起来。一个关键原

因在于中子星诞生时获得的“初生踢速”。大多数中子星形成于核心坍缩型超新星。由于爆发存在不对称性，会在炸裂瞬间赋予新生中子星每秒数百公里的反冲速度，将其瞬间抛出星团。

然而，并非所有中子星都有如此高的踢速。例如，电子俘获型超新星等低速形成通道可能会产生初生速度只有每秒数公里的中子星，使其有机会在星团中长期留存，直到后者被银河系的引力逐渐瓦解并在外围被潮汐力拉出延伸的“潮汐尾”，这时留在星团“老家”的中子星也会随之离开。

接力寻踪

为寻找留在潮汐尾中的中子星，一场跨越全球的望远镜接力正式开启。

研究团队将目光锁定在已有约 80 亿年历史、具有明显潮汐结构的古老疏散星团 NGC 6791 上。“中国天眼”500 米口径球面射电望远镜（FAST）探测到自转周期约 1.9 秒的孤立脉冲星 PSR J1921+3745；南非的 MeerKAT 射电望远镜对其进行角秒级的精确定位；位于美国夏威夷的光学望远镜 CFHT 则深度描绘出星团外围的恒星分布。当三组数据叠合，这颗脉冲星恰好位于 NGC 6791 星团东侧显著的潮汐尾上。

位置重合并不是唯一证据。脉冲星色散量推算的距离与星团恒星得到的距离相符，无关的脉冲星随机落入该区域的概率很小，其周围也没有年轻星族新形成中子星的迹象。多项独立证据共同支持这颗脉冲星与星团存在物理关联。

（下转第 2 版）

科学家揭示火星大气物质输运规律

本报讯(记者刁雯蕙)近日，南方科技大学地球与空间科学系副教授范斯腾与合作者在火星大气环流及物质输运研究方面取得重要进展。他们发现，火星上的大气哈德莱环流在行星尺度上限制了物质在环流内外之间的混合，同时造成南北极区之间的长程输运。相关成果发表于《自然－地球科学》。

火星就像一个天然实验室，用来研究和理解大气物理、气候变迁、行星演化及宜居性。火星大气中的沙尘和水汽与气候、大气环流及地表环境之间存在密切的相互作用。沙尘会吸收并散射辐射，进而改变大气温度与环流；水汽则将大气与极区冰盖及火星长期的水含量连接起来。

这些物质的输运深受火星大气行星尺度哈德莱环流的影响。火星大气中可以观测到行星尺度上明显的不均匀分布，沙尘与水汽似乎受到单一哈德莱环流的分隔。另外，水汽与氩气在南北两极的浓度还会出现同步的季节性变



研究示意图。 南方科技大学供图

化。这些现象显示，火星大气中行星尺度的物质输运可能由平均流所控制。然而，目前尚未建立一套能够普遍解释这些现象的机制。

针对上述问题，团队研究出一套拉格朗日粒子追踪方法，用来追踪随火

星大气流动的粒子轨迹。粒子追踪的分析显示出了两个主要研究结果。其一，哈德莱环流边界形成了一道物质的动力屏障。在 30 个地球日内，从环流内部与外部释放的粒子中，分别只有约 15% 与 20% 能跨越这道边界。这种现象出现在火星一年约 80% 的时间里。在其余约

20% 的时间里，则为较弱的双环流结构，并呈现不同的隔离形态。

其二，研究人员在哈德莱环流上方发现了南北极区的遥相关，即相隔数千公里的大气现象之间存在连通。在这条输送路径上，粒子可以在 10 个地

盖茨基金会将投入 10 亿美元推动 AI 发展与应用



本报讯 9 月 15 日，盖茨基金会宣布，计划在未来两年至少投入 10 亿美元，推动人工智能(AI)以及基于 AI 的解决方案更加广泛、公平地惠及全球人群，让更多人能够获得过去难以触及的知识、机会和解决方案。

当天，盖茨基金会发布第十份年度《目标守护者报告》。报告题为《创造改变——AI、公平与刻不容缓的抉择》，指出 AI 未来将惠及谁、何时惠及，并非早已注定。相反，我们今天作

出的选择至关重要，而能够影响这一进程的窗口期十分短暂。报告还通过其支持的合作伙伴案例，展示了 AI 如何在诊所、课堂和田园等情景中改善人们的生活。

报告提出，要让更多人真正从 AI 中受益，今后要着重做 3 件事。首先，让 AI 工具支持所有语言。训练早期大语言模型的 90% 以上的数据来自英语信源。这意味着，很多最有可能从 AI 中受益的群体，在这些工具赖以构建的知识库中几乎没有得到体现。

其次，AI 工具应基于本地数据，为本地情况而设计。真正有用的 AI，必须及，并非早已注定。相反，我们今天作

当地的数据和专业知 识，也需要让各国和社区有能力决定管理和保护这些数据的最佳方案，包括数据的存储方式、共享条件以及共享给谁。

最后，投资于人才和可及性，让社区决定 AI 如何为其服务。医生、农民、教师和开发人员不仅要能够用上 AI，还要有能力判断其是否有效，并结合当地情况不断调整和改进。同时，AI 技术本身也必须足够可负担。这既需要科技企业采取行动，也离不开政府和慈善机构的投入。

盖茨基金会的资金将用于支持那些已经着手缩小 AI 可及性差距的合作伙伴，并确保 AI 工具反映最需要的人群的知识和重要事项。此次作出的承诺