

DNA 的形状可能和密码一样重要

迄今最详细人类基因组三维组织图谱问世

本报讯 在一项近日发表于《自然》的研究中，科学家绘制出迄今最详尽的人类 DNA 在活细胞中折叠、环绕和移动的图谱，揭示了一个隐藏的遗传控制层面，为了解 DNA 在活细胞中的运作方式提供了一个新的窗口。

在活细胞中，DNA 并不是以直线形式存在的，相反，它会弯曲成环状并在细胞核中形成不同的区域。这种物理排列有助于调控基因的激活或关闭，从而影响发育、细胞特性及患病风险。为了解这种复杂性，美国西北大学的科学家与“4D 核组计划”合作，绘制了人类基因组的三维组织方式及其随时间变化的图谱。此前，为深入了解细胞核如何形成结构并发挥功能，美国国立卫生研究院于 2015 年启动了“4D 核组计划”。

研究团队结合多种先进的基因组技术，基于人类胚胎干细胞和成纤维细胞，构建了一个统一且详细的数据库，能够从多个角度捕捉基因组的组织结构。



科学家公布的图谱，展示了 DNA 在人类细胞内如何折叠和移动。图片来源：PIXABAY

“了解基因组在三维空间中如何折叠和重组对于理解细胞功能至关重要。这些图谱提供了前所未有的视角，让我们能够了解基因组结构如何在时空尺度上帮助调节基因活性。”论文共同通讯作者、美国西北大学的岳峰(音)说。

这项研究为了解基因如何在细胞生长、发挥功能和分裂过程中相互作用、折叠及改

变位置提供了全新视角，有望加快致病基因突变的发现，并揭示遗传性疾病背后的隐藏机制。

该研究揭示了每种细胞类型中的 14 万多个染色质环，以及锚定这些环的特定元素及其在基因调控中的作用；染色体结构域的详细分类及其在细胞核内的位置；单细胞水平上全基因组的高分辨率三维模型，以及单个基因相对于邻近基因和调控区域的排列方式。这些发现表明，基因组结构在不同细胞之间存在差异。这些差异与转录和 DNA 复制等基本细胞活动密切相关。

由于没有单一的实验方法能够全面捕捉基因组的四维组织结构，研究人员还比较了所使用技术的优势和局限性。通过广泛的基准分析，他们确定了哪些方法最适合检测环状结构、界定区域边界或发现 DNA 在细胞核内位置的细微变化。这些信息能够指导该领域未来的研究。

研究团队还开发了计算工具，仅根据 DNA 序列即可预测基因组折叠方式，无需进行复杂的实验就能预估遗传变异(包括与疾病相关的变异)如何改变基因组三维结构。岳峰表示，这能够加快识别致病突变的速度，并揭示此前难以发现的遗传性疾病背后的生物学机制。

该研究进一步强化了遗传学中的一种日益流行的观点，即仅读取 DNA 序列是不够的，基因组的物理形态也起着至关重要的作用。该研究使科学家对遗传指令在活细胞内是如何工作的有了更全面的了解。

岳峰希望这些工具未来能帮助研究人员揭示基因组折叠错误是如何导致癌症、发育障碍及其他疾病的，从而基于基因组结构开发出新的诊断策略和治疗方法。

岳峰说：“我们很高兴看到这一领域的研究取得了如此重要的进展，这为理解基因组的复杂性提供了新的视角。”

环球科技参考

中国科学院西北研究院文献情报中心

欧盟发布“欧盟资源行动计划”

近日，欧盟委员会发布了“欧盟资源行动计划”，旨在加速并强化欧盟关键原材料(如稀土、钴或锂)的供应保障工作。

该计划明确了三方面的具体举措。一是保护欧洲工业免受地缘政治和价格冲击。2026 年初，欧盟委员会将设立一个欧洲关键原材料中心，以提供市场情报，利用量身定制的工具同私人及公共合作伙伴共同引导战略项目并为其融资，并作为投资组合管理者，通过联合采购和储备等方式来管理多元化且有韧性的供应链。

二是降低投资风险、加快审批流程，推动关键原材料项目实施。欧盟委员会将通过调动金融去风险工具和消除监管瓶颈，加速推进对欧盟具有重要意义的项目。这些项目有望在 2029 年前降低欧盟对关键原材料的依赖程度，最大降幅可达 50%。

三是与其他国家合作，建立强大且多元化的供应链，以实现供应多元化并加速产业化合作。

(刘学)

地球内核可能具有类似洋葱的多层结构

德国明斯特大学的研究人员揭示了地球内核中地震波运动方式产生明显偏差的原因：地震各向异性的差异可能与地球内核成分分布的梯度有关。相关研究成果近日发表于《自然-通讯》。

尽管地球内核地震各向异性的特征已被充分证实，但其成因至今尚未明确，科学家推测可能与铁合金晶体的排列方式有关。为此，研究人员利用压力高达 128 吉帕、温度高达 1100 开尔文的径向 X 射线衍射技术，研究了硅和碳对密排六方晶体(hcp)铁塑性变形的影响。

研究结果表明，铁-硅-碳合金中的压缩波各向异性较低，约为 2%，与在地球内核外部区域观察到的地震各向异性一致。结合发现 hcp-铁所表现出的更高各向异性，这些发现表明，地球内核中与深度相关的弹性各向异性可能归因于在结晶过程中形成化学成分的分层，即硅和碳浓度的径向梯度。

研究人员表示，地球内核可能具有类似洋葱的多层结构。该研究有助于深入认识地球内核结构以及地球深部圈层的运行机制。

(王晓晨)

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41467-025-67067-y>

研究揭示太空风化如何塑造月壤远紫外反射特性

美国西南研究院与得克萨斯大学圣安东尼奥分校的研究人员，通过分析阿波罗 11、16、17 任务带回的月壤样品，揭示了太空风化如何在颗粒与纳米尺度改变月壤的远紫外(FUV)反射与散射表现。

该成果为解读月球区域与全球 FUV 地图提供了关键机制支撑，并有助于提升月球极区永久阴影陨坑水冰遥感信号判读的可靠性。相关研究成果近日发表于《地球物理研究杂志:行星》。

为厘清“风化程度差异为何会在 FUV 地图上表现为明暗不同、散射不同”，研究团队综合运用实验室远紫外光谱测量与高分辨率显微分析技术，对阿波罗样品中的单颗粒开展精细观测与化学成分检测。结果显示，风化程度较高的月壤颗粒表面会生成并富集纳米相铁等风化产物，这些纳米相物质会更强吸收远紫外光，使成熟(强风化)月壤在 FUV 下整体更暗；相对新鲜或风化较轻的颗粒纳米相铁包裹体更少，因此在 FUV 下更明亮。

研究人员表示，该研究不仅加深了对月表太空风化过程的认识，也为未来月球探测任务提供了可直接应用的遥感译码依据。此外，研究建立的“实验室光谱-纳米显微结构-轨道遥感”联动思路与技术路线，也可对其他无大气天体的表面物质研究提供借鉴。

(刘文浩)

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1029/2025JE009304>



印度尼西亚仍然有用小船捕鲸的习俗。

图片来源：Oscar Siagian

科学此刻

巴西发现最古老捕鲸鱼叉

一项 1 月 9 日发表于《自然-通讯》的研究称，考古学家发现了大约在公元前 2900 年使用的鱼叉，有可能代表了迄今最早的捕鲸证据。这些捕鲸活动发生在南大西洋的温暖水域，与早期捕鲸多见于北方寒冷海域的传统认知相去甚远。

“这可能是非常早的捕鲸证据，比北半球的任何证据都要早。”加拿大曼尼托巴大学的 Gregory Monks 说。

考古学家此前曾在南美洲的早期遗址中发现过鲸骨，但一直认为这些残骸是搁浅或被冲上岸的鲸留下的。“人们普遍认为，生活在巴西海岸的古人只会收集搁浅的动物，因为此前从未发现过用于捕鲸的大型鱼叉。”论文作者、西班牙巴塞罗那自治大学(UAB)的 André Carlo Colonese 说。

而相反的证据来自被称为“贝丘”的贝壳堆遗址，后者位于巴西圣保罗以南几百公里的沿海湿地地区，堆放着大量鱼类残骸和被丢弃的胎儿。上世纪四十年代，在这些贝丘的拆除过程中，当地一位业余考古爱好者从中抢救出大量形状奇特的骨骼，并捐赠给当地博物馆。

这些材料在仓库中存放了几十年，直到 Colonese 等人开始与附近巴拉那联邦大学的考古学家合作，寻找巴西海岸的史前捕鱼证据。“当时，馆员从仓库拿出一些

积满灰尘的箱子，里面装着鲸骨制品。”Colonese 说，其中几块粗壮笔直、长度与前臂相当的骨头被削尖了，这引起了他的注意。“他们把这些骨头拿出来的一刻，我就断定这是鱼叉。”

这些长长的骨杆与最近在南美洲发现的用于从小船上捕鲸的工具相似。这些骨杆用绳子捆绑在一起形成钩状，并可能会接上一根长柄。鱼叉的另一端会连接一个充气的漂浮装置，该装置由此前捕获的鲸类动物的内脏器官如膀胱制成，使得被刺中的鲸无法潜入水中，最终在水面上被杀死。

为确定这些鱼叉是由哪种动物的骨头制成的，UAB 的 Krista McGrath 采用了一

种无损蛋白质提取技术。他将样本放入塑料袋中摩擦，或用类似砂纸的薄膜打磨，随后对残留物进行分析。从鱼叉及其他骨骼碎片中提取的蛋白质，不仅证实它们是鲸骨，还可以让研究人员识别出具体的鲸种。

研究发现，这些鲸骨偏重，大部分来自南露脊鲸。这是一种行动缓慢的鲸，习惯在南半球的冬季靠近海岸繁殖和抚育幼鲸。“南露脊鲸非常喜欢靠近海岸活动，它们游得很慢，被鱼叉刺中后会漂浮起来直至死亡，这让猎人很容易将它们拖到岸边。”挪威卑尔根大学的 Youri van den Hurk 说。

结合新发现的鱼叉，研究人员认为，贝丘中的鲸遗骸并非随机冲上岸的，而是约 5000 年前人类经常捕鲸的产物。“我们找到了合适的工具和物种。”McGrath 说，“我相信当时的人们已经拥有了船只，并且具备出海捕鲸的能力。”

Monks 认同这项研究为古代捕鲸提供了有力的间接证据，但他表示，如果没有鲸骨被鱼叉刺穿的直接证据，就不能下定论。“这些证据极具说服力，但所有骨头都没有被刺穿或损伤的痕迹。那么，那根‘作案’的鱼叉又在哪里呢？”(王钰)

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41467-025-67530-w>

运动缓解抑郁,效果堪比吃药

本报讯 很多人在运动后都会感觉心情变好。1 月 8 日,由医学数据库《考兰图书馆》公布的一项研究,进一步揭示了运动的巨大潜力——即便是散步、园艺等轻度运动,也能像心理治疗或抗抑郁药一样有效缓解抑郁症状。

这些试验的设计各不相同,但通常要求参与者每周进行运动,并持续数周到数月。运动形式从低强度(如园艺)、中等强度(如快走)到高强度(如短跑或踢足球)。Clegg 说,瑜伽或拉伸的试验未被纳入,因为这些活动通常涉及冥想和呼吸训练,而研究团队希望更专注于体育活动本身的影响。

研究团队发现,运动似乎能适度减轻抑郁症状的严重程度。“他们发现了一种有临床意义的变化——人们真从中感觉到不同。”英国伦敦国王学院的 Brendon Stubbs 说。

接下来,研究团队挑出了 10 项比较运动与 CBT 的试验;另外分析了 5 项部分参与者服用了抗抑郁药但完全不运动的试验。结果显示,平均来看,定期运动的效果与其他两种疗法一样。“它们之间没有差异。”英国伦敦大学学院的 Emily Hird 说。

进一步分析发现,轻度和中度运动似乎比高强度运动更有效。Stubbs 认为,这可能是因为前者更容易坚持。“如果一开始强度很大,人们就会退出或停止运动,这可能就是为什么你看不到它和低强度运动一样的效果的原因。”

研究还表明,肌肉在运动时会释放一些被称为“肌因子”的化学物质,有助于清除被认为与抑郁症状相关的炎症。Stubbs 说,其中一种名为“脑源性神经营养因子”的肌因子还能促进新的脑细胞生长,这可能有助于大脑重新连接,摆脱消极的思维模式。Clegg 团队发现,相比其他运动,力量训练能释放更多肌因子,因此比单纯的有氧运动更有效。

总体而言,这些发现支持了用运动治疗抑郁的指导方针。Hird 表示,未来还需要更大规模的研究以更好理解哪些类型的运动最有效、对谁有效,以及为什么有效。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1002/14651858.CD004366.pub7>

“小柯”秀

一个会写科学新闻的机器人

《细胞》

神经系统感觉稳态和轴突再生的代谢检查点

英国帝国理工学院的 Simone Di Giovanni 团队揭示，戊糖磷酸途径的糖酵解分流是神经系统感觉稳态和轴突再生的代谢检查点。近日，相关研究成果发表于《细胞》。

在神经系统中，稳态维持与损伤修复被认为依赖不同的分子调控程序。研究团队发现，戊糖磷酸通路(PPP)在外周感觉轴突中具有意想不到的双重作用：既支持损伤后的稳态机械感觉，又促进损伤后的轴突再生。研究团队发现，PPP 在坐骨神经轴突中丰富且活跃，通过产生还原型辅酶Ⅱ维持氧化还原平衡，从而支持生理性机械感觉。

然而，坐骨神经损伤后，PPP 通过核糖-5-磷酸为核糖核苷酸合成提供原料，成为轴突再生所必需的代谢通路。相比之下，脊髓损伤后该途径处于失活状态，这可能是中枢再生失败的原因之一。

通过神经元过表达转酮醇酶，或口服核糖补充剂重新激活 PPP，能够促进代谢重编程，恢复感觉和运动轴突的生长，并改善脊髓损伤后的神经功能恢复。

这些发现揭示了 PPP 作为感觉神经元生理与再生过程中关键代谢检查点的作用，突显了其在修复中枢神经系统损伤方面的潜力。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2025.12.003>

《自然-生物技术》

转甲状腺素蛋白淀粉样变性小鼠模型的靶向缺失

日本东京大学的 Tomoji Mashimo 团队研究了基于 CRISPR-Cas3 编辑的转甲状腺素蛋白淀粉样变性小鼠模型中的靶向缺失。近日，相关论文发表于《自然-生物技术》。

研究团队评估了 CRISPR-Cas3 对 TTR 基因突变的修饰效果，该突变会导致转甲状腺素蛋白淀粉样变性。

通过 CRISPR RNA 的优化，研究组在体外实现了 TTR 基因座 58.9%±0.5%的编辑效率，诱导产生了大量缺失，从而消除了 TTR 的表达。

与 Cas9 不同，Cas3 主要产生定向缺失，缺失片段长度可达 75kb，且未观察到可重复的脱靶突变，而 Cas9 则在多个脱靶位点诱导产生插入或缺失。在体内，单次基于脂质纳米颗粒的治疗实现了 48.7%±1.1%的肝脏基因编辑效率，并使血清 TTR 水平降低了 80.1%±4.6%。

在 TTR 外显子人源化的小鼠中，Cas3 编辑降低了血清 TTR 水平，且未产生框内突变，同时减轻了巨噬细胞相关的 TTR 沉积。

这些发现表明 Cas3 是一种高效且独特的体内基因组编辑系统。与 Cas9 相比，Cas3 机制独特，能够产生长片段缺失而非小的插入或缺失，从而降低了框内突变导致蛋白质功能残留的风险。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41587-025-02949-6>

更多内容详见科学网小柯机器人频道：
<http://paper.sciencenet.cn/Alnews/>

完善环境治理体系，开启固废全链条治理新时代

(上接第 1 版)

专项整治、精准攻坚突出环境问题。“固废十条”针对五大重点领域进行专项整治，精准靶向攻坚固废污染痛点。行动聚焦非法倾倒处置、生活垃圾填埋场污染隐患、建筑垃圾、历史遗留固废堆存场所、磷石膏综合治理五大领域，逐一明确“一场一策”整治路径。其中，到 2027 年重点区域需完成存量磷石膏库整治，多数停用的生活垃圾填埋场全部完成封场治理；到 2030 年完成全国 60%以上的历史遗留固体废物堆存场所治理。

同时坚持标本兼治，在严打违法行为的基础上，完善固废资源化利用体系与长效监管机制，强化公众参与和警示教育，推动整治成果转化为生态治理效能，筑牢环境安全底线。

产业影响：激活循环经济新动能

“固废十条”将重塑环保产业格局，使资源循环利用迎来爆发。

再生资源回收利用领域，动力电池回收、废旧家电拆解、“互联网+回收”模式将受益于生产者责任延伸制度的完善；大宗工业固废与建筑垃圾处理领域，高新资源化技术企业将主导市场；环保技术与装备制造领域技术创新加速，尾矿处理、有价组分提取等创新企业将迎来新的发展契机。

同时，政策强调加强固体废物全生命周期信息化监管，将催生数智监控设备升级需求。“政府引导+企业主体+市场驱动”格局确立，将推动环保产业从基建依赖转向质量效益型增长。

“固废十条”的落地，标志着我国固废治理进入系统化、规范化、市场化新阶段。从源头减量到资源化利用，从智慧监管到专项整治，全链条治理体系不仅破解治理难题，更激活循环经济动能。

随着政策的深入实施，固废将彻底摆脱“环境包袱”标签，成为支撑经济社会绿色转型的“绿色资产”，为美丽中国建设和“双碳”目标实现提供坚实保障。

(作者系中国科学院生态环境研究中心研究员)