“小柯”秀

一个会写科学新闻的机器人

《科学》

西太平洋双俯冲作用驱动加利福尼亚湾裂谷形成

捷克科学院地球物理研究所的 Guido M. Gianni 等发现，西太平洋的双俯冲作用可能是驱动加利福尼亚湾快速裂谷形成的一个被忽视的构造动力。近日，相关研究成果发表于《科学》。

大陆裂谷反映了构造力与岩石圈强度之间的平衡，但大陆破裂的机制仍存争议。800 万至 600 万年前加利福尼亚湾斜向裂谷（GOCOR）的快速裂谷作用，可能源于岩石圈对外部运动学的响应，或长期伸展作用的加速。但这两种情景的动力学机制仍未得到充分理解。

研究指出，GOCOR 的快速裂谷作用与西太平洋双俯冲作用在起始时间上吻合。三维地球动力学模型表明，这种俯冲重组可以在太平洋板块上传递约 5 至 15 兆帕的伸展应力，对 GOCOR 和圣安德烈斯断层南段施加载荷。俯冲重组可能是 GOCOR 快速裂谷作用启动的缺失驱动因素，也可能是其他裂谷事件背后被忽视的构造力。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1126/science.aef5187

《自然》

BAF 复合体通过 CTCF 和黏连蛋白塑造三维染色质结构

美国威尔康奈尔医学院的 Cem Meydan 团队发现，BAF 染色质重塑复合体的功能丧失，会增强基因组绝缘蛋白 CTCF 的染色质结合，进而重塑 DNA 三维折叠结构、改变基因调控，这可能为编码 BAF 组分的基因突变提供了统一的致病机制。近日，相关研究成果发表于《自然》。

BAF 染色质重塑复合体是核小体定位和转录因子结合的关键调控因子。编码 BAF 组分的基因功能缺失（LOF）突变是各类癌症中最常见的突变之一。研究团队在多种哺乳动物细胞类型和组织中干扰 BAF 功能，并观察到一种保守的染色质响应：CTCF 结合位点的可及性增加。这表明经典 BAF（cBAF）破坏是 CTCF 结合增强的关键驱动因素。

为确定 cBAF 缺失后 CTCF 功能如何得以启用，研究团队分析了 CTCF 相互作用辅因子，发现 CTCF 直接结合于完全组装的 PBAF。cBAF 耗竭后，PBAF 被招募至 CTCF 占据增加的位点，这表明 SWI/SNF 亚复合体之间存在拮抗性转换。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1038/s41586-026-11197-w

串联重复变异塑造免疫细胞类型特异的基因表达

澳大利亚加文医学研究所的 Daniel G. MacArthur 团队发现，人类基因组中高度多态、此前难以准确分析的串联重复序列（TR），是塑造免疫细胞类型特异基因表达的重要调控变异来源，并可为免疫与血液相关性状的遗传关联提供机制解释。近日，相关研究成果发表于《自然》。

TR 是遍布人类基因组、高度多态的重复序列，也是基因表达的重要调控因子。研究团队在两个队列中获取到来自 1925 名个体、超过 540 万个血液来源细胞的全基因组和单细胞 RNA 测序数据，并通过荟萃分析刻画了超过 170 万个 TR 位点的变异对免疫细胞类型特异基因表达的影响。

研究团队鉴定出超过 6.9 万个单细胞表达数量性状位点，其中 30.7%特异于 28 种免疫细胞类型中的一种，并利用细胞状态推断揭示了动态调控效应。来自 922 名个体、超过 340 万个细胞核的配对单细胞转座酶可及性染色质测序数据，为近 1/3 的表达相关 TR 揭示了染色质可及性数量性状位点，支持其对顺式调控架构的协同效应。精细定位将 1490 个 TR 定位为 6.1%受检基因表达变异的候选因果驱动因素；共定位分析则突出了 200 多个基因，其中 TR 很可能介导了免疫和血液学性状的遗传关联。

这些结果确立了 TR 是细胞类型特异调控变异和复杂性状遗传结构的关键贡献者。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1038/s41586-026-10438-2

《细胞》

先天免疫感应应答为病毒复制设定超单元阈值

美国国立卫生研究院的 Nihal Altan-Bonnet 团队发现，病毒复制需要一个“超单元”的病毒基因组输入。单个病毒基因组不足以启动复制，先天免疫感应应答为病毒感染设定了数量门槛。这一反直觉机制揭示了病毒感染力与组织嗜性的根本调控原理。近日，相关研究成果发表于《细胞》。

细胞通过触发快速而敏感的先天免疫应答来抵抗病毒感染，该应答由细胞质病毒感应蛋白（CyVSP）、维甲酸诱导基因 I、黑色素瘤分化相关蛋白 5 和蛋白激酶 R 启动。单细胞分析揭示，病毒复制需要显著多于一个的病毒基因组输入，研究团队将其定义为病毒粒子输入复制阈值。该阈值因病毒和细胞类型而异，且独立于病毒蛋白合成。

通过数学建模和实验验证，研究团队发现，超单元的病毒基因组数量会激活 CyVSP 的负反馈调控因子（NFR），从而抑制先天免疫应答，并允许病毒复制。研究团队验证了其模型的关键预测，即下调 NFR 会减少病毒复制，而上调 NFR 让细胞共感染则会促进复制。这些发现揭示了调控病毒感染力和组织嗜性的根本机制。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1016/j.cell.2026.10.004

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

“赫拉”号接近小行星“撞击现场”

首次拍摄两天体清晰照片

本报讯 近日，欧洲空间局（ESA）的“赫拉”号探测器在一项小行星碰撞事件的调查任务中取得了重要进展。它搭载的相机首次将两颗小行星——孪大星（Didymos）和围绕其运行的孪小星（Dimorphos）清晰地呈现为两个独立的天体，而不是单个的光点。

这两颗小行星在美国国家航空航天局（NASA）的“双小行星重定向测试（DART）”任务中被成功改变了轨道。目前，“赫拉”号正在接近它们，以调查 DART 撞击带来的后果，并揭示为什么小行星被撞后的偏移程度远远超过了科学家的预期。

孪大星和孪小星是一个近地双小行星系统。直径约 151 米的孪小星作为伴星，围绕直径约 780 米的孪大星运行。4 年前，NASA 将该系统作为目标，进行了全球首个旨在保护地球免受小行星撞击威胁的测试任务——DART。

2022 年 9 月 26 日，约 570 公斤重的 DART 航天器以约每秒 6.1 公里的速度撞向体积较小的孪小星，导致孪大星和孪小星之间的轨道周期缩短了 33 分钟，同时改变了该双小行星系统在太空中的运行轨迹。孪小星也因此成为太阳系中第一颗因人类活动使轨道发生偏移的天体。

然而，这次撞击也产生了一些科学家至今难以解释的现象，包括这颗小行星的轨道变化比计算机预测的结果要大得多。这引出了一连串质疑：孪小星的物理性质是什么、它是如何响应撞击的。研究人员尚不确定撞击是在孪小星表面留下了一个陨石坑，还是改变了其形状。他们还需要更精确地测量其成分、内部结构和质量，从而弄清这次撞击为何如此有效。厘清这些问题对于制定可靠的行星防御策略至关重要。

在未来几个月内，逐渐接近这个双小行星系统的“赫拉”号将进行详细的“撞击现场调查”，以揭示碰撞究竟给孪小星带来了哪些变化。

这对小行星目前距离地球约 1.97 亿公里。10 月 18 日晚，“赫拉”号的相机拍摄到了这两个独立的天体，体积较小的孪小星首次变得清晰可见，而之前探测器只能将它们识别为一个光点。拍摄时，“赫拉”号距离目标约 1280 公里。

这张突破性的照片是在一系列成功的机动调整之后拍摄的。10 月初，探测器两次点燃推进器，以减速并缓慢靠近观测目标。随着“赫拉”号离目标越来越近，视野将变得更加清晰。11 月 25 日，“赫拉” 号任务团队将公布孪小星的首批详细图像。

“赫拉”号将利用一组科学仪器探测孪小星及其周围环境。它还会释放两颗鞋盒大小的“立方体卫星”，从更近的距离收集观测数据。该调查预计还将包括着陆操作。这些探测能够帮助科学家更好地理解小行星如何响应高速撞击，并改进相关技术。

此外，关注“赫拉”号旅程的人，还可以通过人工智能交互工具 “赫拉太空伴侣” 了解该任务。该工具旨在让公众了解 ESA 的首个行星防御任务。用户可通过该工具使用数十种语言与航天器对话、查看任务进展，甚至询问它在太空中是否感到孤独。 （徐锐）



“赫拉”号接近布满巨石的孪小星的艺术图。
图片来源：ESA 科学办公室



图片来源：Artur Widak/NurPhoto/Shutterstock

■ 科学此刻 ■

穿“硬”袜子跑得更轻松

在袜子的脚掌部位加入紧束带，或许可以让行走与跑步更轻松。研究人员表示，这种袜子能够提升足部硬度，效果相当于减重两公斤所减少的能量消耗。相关成果 11 月 4 日发表于英国《皇家学会会刊 B》。

美国得克萨斯大学奥斯汀分校的 Owen Beck 团队开发了这种袜子，并希望参加 2028 年洛杉矶奥运会的运动员能够使用它。“我们粗略估算，穿上这款新袜子，可使马拉松运动员的完赛时间提前一到两分钟。”

约 600 万年前，人类与黑猩猩分道扬镳。自那以后，人类的双脚变得比其他类人猿更为坚硬，这有助于我们实现两足行走。Beck 与同事唐慧（音）最初设想，能否通过改良鞋子来进一步提升足部硬度。然而以往利用高硬度中底或鞋垫来降低行走及跑步的体力消耗的尝试都失败了，于是二人将目光投向了袜子。

这款袜子采用运动袜常用的合成混纺纱线制成。研究人员在袜子对应脚掌周围 30 毫米宽的区域内紧密编织了 3 条 1 毫米宽的带子。相较于普通袜子，这使得足部承受的压力增加了 24 倍。

为进行测试，研究人员招募了 12 名健康的成年人，分别测试了他们穿增硬袜子、普通袜子和不穿袜子时的行走表现。

受试者穿上鞋子，再分别搭配增硬袜子和普通袜子，在跑步机上走了 5 分钟。研究人员测量了受试者的最大摄氧量，即人体在高强度运动中所能摄取的氧气上限，以此测算他们每一组行走实验消耗的能量，即代谢消耗。

12 名受试者中，有 10 人穿着增硬袜子时的代谢消耗相比穿普通袜子时降低了 2%。研究人员称，这一效果等同于普通人减重两公斤。

Beck 表示，代谢消耗降低，并不意味着穿这款袜子走路、跑步时，获得的健康收益要低。“全身代谢率下降代表行走时耐力更强，高温环境下出汗更少；在付出同等体力的情况下，相比穿市面上的普通袜子，你可以走得更快。”

Beck 解释了这款袜子的作用机理：让脚踝及其肌肉蹬地时速度放缓，这意味着肌肉激活程度下降，代谢能量消耗减少，从而实现更高效的肌肉收缩。与硬底鞋不同，这款袜子可以让脚趾自由弯曲、足弓充分回弹。

“足部硬度更高可以降低行走代谢成本的想法由来已久，但此前从未在实际行走实验中得到验证。该团队的突破在于，他们发现过去借助鞋子开展的相关尝试，会在步态周期的最后阶段限制足部的活动。”英国牛津大学的 Thomas Püschel 评价说。

目前，这款袜子的实际应用效果尚未完全验证。但 Beck 认为，理论上，足部形态因衰老发生退变的人群可以从中获益。不过 Püschel 提醒，该实验不能排除其他干扰因素，例如受试者察觉到自己穿着特殊袜子后下意识改变了行走姿态。“这是一次很有前景的初步验证，但尚不足以证明这款袜子能够使人们的日常行走发生改变。” （王方）

相关论文信息：

https://doi.org/10.1098/rspb.2026.1467

科学家开发出探测系外行星新方法

本报讯 科学家研制出一种探测系外行星的新方法，其灵敏度最高可达传统系外行星成像方法的 15 倍。该方法利用一种机器学习算法去除了望远镜观测到的星光，有望辅助今后的天文台识别类地系外行星。相关研究成果 11 月 4 日发表于《自然》。

直接成像是观测系外行星的一个关键策略，但宿主恒星的亮度常会掩盖它们的存在。即使是最明亮的年轻巨行星，亮度也只有其宿主恒星的十万分之一。解决该问题的一个办法是从系外行星的观测结果中减去宿主恒星的光。但由于天文台的物理限制或是模拟星光的计算限制，之前的尝试都未获得成功。

在这项研究中，美国西北大学的 Rodrigo Ferrer-Chavez 和同事提出了名为“行星成像的物理驱动学习”（FLIP）的影像处理框架，能够生成特定恒星的模拟眩光。

研究人员从一个恒星系统的直接观测结果中合理减去了这种模拟光，让被掩盖的系外行星全都暴露出来。作者用詹姆斯·韦布空间望远镜的近红外相机观测数据测试了 FLIP，并成功获得了 51 波江座 b 的首个影像，后者使用传统方法是无法探测到的。在其他测试中，FLIP 的灵敏度达到了传统太阳眩光去除技术的 2 到 15 倍。

研究人员指出，FLIP 能与詹姆斯·韦布空间望远镜的观测结果结合使用，用于发现温度更低、质量更小、年龄更大的巨行星。今后，该方法或许能用于地基天文台的改造，还能在宜居世界天文台这类计划任务中用于类地天体的成像。不过，进一步的研究应关注如何降低计算成本，并用更大的数据量进行测试。 （赵熙熙）

相关论文信息：

https://doi.org/10.1038/s41586-026-11213-z

北欧部分地区40摄氏度高温发生概率增加

据新华社电 芬兰气象研究所一项新研究显示，受全球气候变化影响，北欧芬兰、瑞典、挪威三国出现 40 摄氏度极端高温的概率大幅上升，目前已增至 1981 年的约 6 倍。

芬兰气象研究所日前发布公报说，欧洲多地近年来已出现 40 摄氏度以上高温，但上述北欧三国迄今尚未观测到如此极端高温。该地区最高气温纪录为 38 摄氏度，于 1933 年和 1947 年在瑞典测得。然而，打破这一历史纪录的风险正在上升。

这项研究分析了欧洲中期天气预报中心 1981 年至 2025 年的季节预报数据。研究估算，在当前气候条件下，该地区某地出现 40 摄氏度或更高温度的概率约为 0.53%，达到 1981 年的约 6 倍。该地区在一年内打破现有 38 摄氏度最高气温纪录的概率约为 4%，相当于约每 25 年发生一次。

研究人员指出，尽管 40 摄氏度极端高温的发生概率仍相对较低，但不能因此认为这种情况不可能发生。相关研究论文已发表在《自然合作期刊 - 自然灾害》上。 （朱昊晨 徐谦）

孩子为何越吃“垃圾食品”越“上头”

本报讯 大脑对不同食物会产生不同反应。一项研究发现，常吃超加工食品的儿童，在面对诱人食物时，大脑的奖赏系统反应更强；一年后，他们的体脂率和身体质量指数（BMI）增幅也更大。这或许可以解释为何爱吃“垃圾食品”的孩子难以控制饮食，且越吃越胖。相关研究成果近日发表于《美国医学会杂志 - 网络开放》。

超加工食品涵盖许多日常食品，如早餐麦片、预包装面包和速食汤等。厂商把这些产品设计得口味诱人、食用方便且保质期长，不少产品还含有人工甜味剂、着色剂等家庭烹饪较少使用的成分。这类食品在美国儿童饮食中占比很高，约占摄入热量的 67%。

此前研究已把超加工食品消费与肥胖、2 型糖尿病和心血管疾病联系起来，但科学家仍想弄清这背后的生物学机制。新研究结合磁共振成像（MRI）、饮食评估和儿童身体成分测量，考察了大脑对食物的反应是否在其中发挥了作用。

“儿童大脑尚处在发育阶段，饮食习惯和口味偏好也在形成过程中。这一阶段，大脑对食物和饮食环境格外敏感。”论文作者、美国南加州大学凯克医学院的 Kathleen A. Page 说，“我们尤其关注儿童身上的这些机制，因为早期干预或许真能改变结果。”

为探究这些关联，研究团队考察了 46 名 7 至 10 岁的儿童。所有受试者入组时体重均处于健康水平，以便研究人员在超重出现前捕捉预警信号。

研究开始时，这些儿童一边观看饼干、薯条等诱人食物的图片，一边接受脑扫描。研究人员同时收集了他们的饮食信息，并记录其 BMI、体脂率、腰围等健康指标。一年后，团队再次测量了这些指标，以观察变化情况。

脑扫描显示出明显规律。超加工食品摄入较多的儿童，观看食物图片时背侧纹状体脑区的活动更强。这一脑区参与调节奖赏和动机，与人对诱人食物的反应密切相关。

更重要的是，这一脑区反应较强的儿童，一年后 BMI 和体脂率的增幅通常也更大。这表明，对食物线索的高度敏感，可能是超加工饮食与后续体重增加之间的一个关联因素。

研究人员进一步分析了脑活动差异能否解释上述关联。将儿童脑区背侧纹状体的反应水平纳入分析后，超加工食品摄入与 BMI 的关联减弱 31%，与体脂率的关联减弱了 44%。

这些变化表明，大脑奖赏反应可以部分解释超加工食品摄入与身体成分变化之间的关系。虽然结果不能证明这类食品直接改变大脑功能，但为先前研究观察到的关联提供了一种可能的生物学解释。

“这项研究不只是确认超加工食品会影响体重增长。”Page 说，“它还让我们窥见，这类食品随时间影响身体成分背后的神经生物学机制。”

研究人员提醒，改善儿童饮食不能全靠单个家庭。超加工食品通常便宜、常见、易做，是经济拮据或节奏紧张家庭的务实之选。

“改变食物环境，让人们更容易获得更加健康、加工程度更低的食品，是解决问题的重要一环。”Page 说。

由于该研究属于观察性研究，因此无法判定超加工食品是否直接导致脑反应增强或体重增加，仅能够确认这些因素之间存在关联，孰因孰果还需更多研究。



图片来源：Shutterstock

Page 计划在后续干预研究中解答这一问题。她准备让经常吃超加工食品的儿童改吃加工程度更低的替代食品，再观察饮食改变是否影响大脑对食物图片的反应，以及这些变化是否与体重增幅减小相关。 （侯慧静）

相关论文信息：

https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2026.40252