

# 《科学》发布 2024 年十大科学突破

12月12日,《科学》发布编辑团队评选的2024年度十大科学突破,包括长效人类免疫缺陷病毒(HIV)预防针剂等10项成果。

## 长效 HIV 预防针剂试验成功

虽然人类在努力控制 HIV 新发感染,但由于有效的疫苗尚未问世,加之相关药物价格昂贵,每年仍有 100 多万人感染 HIV。今年,一种具有创新机制的注射用 HIV 药物——来那卡帕韦(Lenacapavir)展现出显著的预防效果,每次注射可提供 6 个月有效保护。《科学》认为,艾滋病逐步从一种颠覆社会的疾病转变为一种罕见病症。

来那卡帕韦是一种暴露前预防药物,由美国吉利德科学公司研发。2024 年 6 月,一项针对非洲 5000 多名青少年女性的大型疗效试验报告称,来那卡帕韦实现了 100% 的有效保护,将 HIV 感染率降至 0。3 个月,一项在南美洲、亚洲、非洲和美国进行的类似试验进一步证实了这一效果。结果显示,在与男性发生性关系的性别多样化人群中,该药物有效性达 99.9%。

《科学》认为,该药物的成功源于基础研究的重大突破,即对其所靶向的 HIV 衣壳蛋白的结构与功能有了全新的深入理解。鉴于许多其他病毒也拥有各自的衣壳蛋白,这些蛋白围绕着遗传物质形成保护层,因此来那卡帕韦的成功应用意味着,类似的衣壳抑制剂有望对抗其他病毒性疾病。

预计监管部门最早到 2025 年中期才会批准来那卡帕韦,其价格尚未公布,因此能否加速终结艾滋病的流行尚不可知。美国国家过敏和传染病研究所所长 Jeanne Marrazzo 提醒,来那卡帕韦不能替代疫苗。真正的疫苗应该可以为每一个人接种,并且价格低廉,只须注射几针即可提供持续多年的保护。

## 免疫细胞治疗自身免疫性疾病

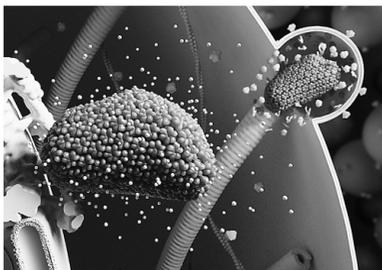
自身免疫性疾病的特点是免疫系统攻击健康的身体组织,免疫抑制药物在阻止疾病进程方面效果有限,甚至还可能产生副作用。今年的研究显示,嵌合抗原受体 T 细胞(CAR-T)疗法在重症患者中疗效显著,开启了自身免疫疾病治疗的新篇章。

CAR-T 疗法在大约 15 年前首次作为血液肿瘤治疗方法出现,是一种完全不同的疾病治疗方法。医生从患者的白细胞中分离出免疫系统的“哨兵”——T 细胞,对其进行基因改造,再将它们回输给患者,从而寻找并破坏 B 细胞。B 细胞是某些白血病和淋巴瘤的根源。在自身免疫性疾病中,B 细胞通过释放有毒的抗体攻击关节和内脏。

今年 2 月,德国研究人员报道了 15 名狼疮、硬皮病或损伤性肌炎患者的临床研究结果。这些患者在 4-29 个月之前接受了 CAR-T 治疗。所有 8 名狼疮患者均进入无药物缓解状态;其他患者仍有症状,但都不再需要使用免疫抑制剂。

## 詹姆斯·韦布空间望远镜探测宇宙起源

詹姆斯·韦布空间望远镜(JWST)专为研究宇宙最初的几十亿年而设计。自 2021 年底发射升空后,JWST 发现的宇宙最早期明亮星系比预



长效 HIV 预防针剂试验成功。



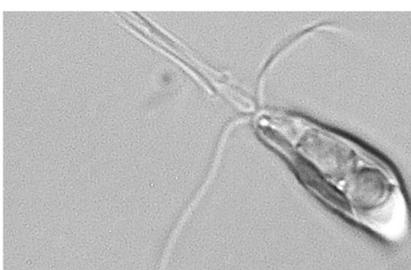
“星舰”发射。



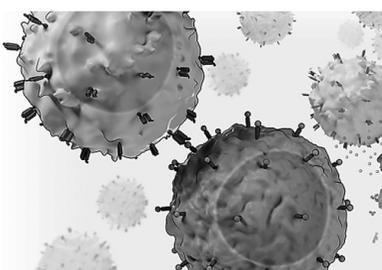
针对特定害虫的 RNA 杀虫剂。



JWST 的首批图像之一。



硝基体(右下圆形物体)。



CAR-T 靠近并破坏 B 细胞。 图片来源:《科学》

期的多 1000 倍。根据这些星系不同寻常的亮度,研究人员估计其中一些是与银河系大小相仿的“庞然大物”。在目前的星系演化理论下,无法解释为什么它们能够如此迅速地生长。

研究人员将远古光波按照波长分类进行光谱分析,结果发现早期星系含有大量气体和尘埃,包括碳、氧等元素。这些元素只能在更早期的恒星内部形成,恒星死亡后以超新星的形式发生爆炸,广泛散布星际物质。这些发现表明,宇宙诞生之初的环境能够快速形成巨大的恒星。

## 农业用 RNA 杀虫剂上市

一般杀虫剂在消灭害虫的同时可能对非目标生物造成伤害。今年,美国国家环境保护局批准了一种基于 RNA 的杀虫喷雾剂,后者可针对特定害虫的基因进行精准设计。

当害虫咀嚼 RNA 杀虫剂喷洒过的叶子时,其体内一种关键蛋白的表达被阻断,从而在几天内死亡。这种机制被称为 RNA 干扰(RNAi),是大多数细胞用来调节基因表达和保护自身免受病毒侵害的自然过程。这种方法比现有化学杀虫剂更安全、更有效。

今年批准上市的首个 RNA 杀虫剂针对的是马铃薯甲虫。这种甲虫已经对现有化学药剂产生了抗药性,每年在全球范围内造成 5 亿美元的农作物损失。实验室测试显示,如果暴露于足够高的剂量下,马铃薯甲虫可以进化出对 RNA 的抗性。这在自然环境中马铃薯甲虫是否会很快产生抗性目前尚不清楚。

除了甲虫,研究人员还针对小菜蛾、草地贪夜蛾等破坏性极高的蛾类研发杀虫剂。但鳞翅目动物的肠道酶很容易在 RNA 伤害它们之前将

其破坏,因此将 RNA 包裹在一个微小保护壳内的杀虫剂设计成为热门研究方向。

## 固氮细胞器改写教科书

空气中 78% 是氮气,但植物并不能直接利用这些氮元素。某些细菌能够固定大气中的氮,将其转化为植物可利用的氨,用于合成蛋白质及其他分子。此前,尚未发现任何真核生物具备这种能力。今年,一项改写教科书的发现诞生了——美国科学家发现了第一种固氮真核生物“硝基体”。这是海藻细胞中独特的固氮结构。

DNA 研究表明,这种新发现的细胞器大约在 1 亿年前因海藻和固氮蓝细菌的共生而产生。藻类细胞吸收了这些细菌,使其失去基因和生化能力,只能依赖藻类生存,跟随藻类的时间周期繁殖。这使它们成了为数不多的已知内生细胞器之一。

该发现有助促进植物的基因改造,设计出能够自行固氮的农作物,从而提高作物产量,减少对氮肥的需求。

## 新磁性的发现

一直以来,铁磁性和反铁磁性被认为是材料的两种主要磁序。2019 年,研究人员预测存在第三种磁性类型,即交变磁性,兼具铁磁性和反铁磁性两者的特性。今年,科学家首次观测证实了交变磁性的存在。他们通过测量费米面,在碲化锰和碲化铋等材料中观察到上述现象。交变磁体既具有反铁磁体的稳定性和快速自旋翻转的速度,又可以像铁磁体一

样轻易进入不同状态,通过在不同方向施加电流即可控制。

研究人员表示,产生交变磁性的交变磁体可用于制造高容量快速存储设备或新型磁性计算机。

## 最早多细胞真核生物的发现

今年初,《科学进展》报道了中国科学院南京地质古生物研究所科研团队在华北燕山区 16.3 亿年前地层中发现的多细胞真核生物化石,将多细胞真核生物出现的时间提前了 7000 万年。

当今地球上大部分的复杂生命,如动物、植物、真菌等均是多细胞真核生物。真核生物的多细胞化是生命向复杂化和大型化演化的必要条件。但学术界一直有个疑问:真核生物最早是何时发生多细胞化的?过去研究人员一直认为,真核生物最初以单个细胞的形式存在了约 10 亿年,随后才逐渐形成细胞链。然而,这项新发现表明,简单的多细胞真核生物早就存在。

《科学》指出,早在几十年前,在中国燕山发现的“壮丽青山藻”同样拥有 16 亿年的历史,但由于研究发表在一本不太知名的期刊上,并未引发广泛关注。2015 年,中国古生物学家重返该地区,又发现了 278 个壮丽青山藻标本,并对其进行了详细分析。此次研究观察到的化石由多达 20 个圆柱形细胞组成,类似于植物中的细胞壁。部分化石中还含有类似孢子的球体,这表明多细胞丝具有专门的生殖结构。

上述研究结果结合最近在其他地区发现的类似年龄的生物化石证据表明,真核生物向多细胞演化的第一步可能发生在更早的时间点。

## 地幔波动能影响大陆轮廓形成

板块构造对大陆的撕裂,缓慢但激烈。过去,研究人员认为这一过程具有高度局部性:沿裂谷带上涌的热地幔岩石产生岩浆,而远离裂谷带的大陆内部则保持寒冷且相对稳定。然而,今年发表的一项研究颠覆了这一传统观点,指出这种局部的剧烈活动实际上在地幔中引发了扩展的波动,进而影响整个大陆的地貌。

这篇今年 8 月发表于《自然》的研究提出,当裂谷形成时,上涌的地幔物质与冷的大陆板块接触,导致旋转的岩石对流。这些旋涡状的对流以极慢的速度沿大陆基底移动,类似船底的湍流,在对流上方造成多种地质效应。这一理论可以解释一些位于古老、寒冷大陆内部的高原,如南美的巴西高原、印度的西高止山脉的形成。这些波动在经过时剥离了基底上的重质岩石,留下轻质岩石,后者随后上升 1-2 千米,形成高原。

地幔波动引起的隆起还可以解释某些时期的侵蚀加剧以及随之而来的海洋生物灭绝事件,同时也可能是板块中心地震活动的一个触发因素。这表明,大陆与地幔之间的互动远比地球科学家之前所认为的活跃。

## “星舰”实现“筷子夹火箭”

今年,美国太空探索技术公司(SpaceX)“星舰”在 33 个引擎的强劲推力下轰鸣着升空了 4 次,最终在 10 月 13 日的发射中成功实现“筷子夹火箭”——助推器以超音速从高空下降,通过重启部分发动机减速至几乎静止的悬停状态,由发射塔塔架将其精准捕获。

SpaceX 已通过部分可重复使用的运载火箭,将货物送入轨道的成本降低到以前的 1/10。而一艘完全可重复使用的星际飞船预计可将成本再降低一个数量级。技术关键在于助推器以及上级火箭的回收与快速再利用。《科学》认为,这次成功实现“筷子夹火箭”有望大幅降低太空科学研究成本,标志着成本可负担的重型火箭新纪元的到来。

## DNA 帮助古人重建家谱

从古代人类骨骼和牙齿中提取的 DNA 为了解远古的人口流动、传染病演变和史前饮食提供了见解。今年,大量研究为几千年前去世的人们重建家谱,反映了古 DNA 提取技术的进步和分析成本的下降。

过去,古 DNA 研究的对象为分散的个体。随着古代人类基因组数量呈指数级增长,研究人员已经能够通过研究不同人共有的遗传信息片段,推断两个人的亲缘关系。通过添加考古信息,例如骨骼年龄、墓地位置或埋在附近亲属的遗传关系,遗传学家和考古学家共同重建了八代家谱。

这揭示了更多古代社会信息,仅靠考古学永远无法得到答案。例如,将德国南部凯尔特酋长的 DNA 数据与他们墓地的细节相结合,可以发现 2500 年前,该地区最有势力的男性是通过母亲继承权力的,显示了母系社会的组织形式。而对石器时代欧洲农民的亲属关系分析表明,父系是主流社会形式。随着研究人员对更多个体进行样本测定,遥远的亲属关系将更加明朗。(陈效欢)

# 他们让触觉不断延伸

(上接第 1 版)

“以往,截肢者使用机械手虽能实现抓取动作,却无法感知力度变化,因此,抓取鸡蛋等易碎物品时,难免使其损坏。而我们设计的表皮触觉 VR 系统能够通过机械手上的传感器检测抓取力度并及时反馈给佩戴者,使他们精确感知力度,从而更加细腻地体验与世界的互动。”解兆谦说。

研究团队还邀请了一位女孩与其祖母视频通话,当女孩轻触屏幕时,祖母能通过手臂上的设备感受孙女的抚摸,实现了让触觉“穿越”屏幕。“如同《头号玩家》场景中韦德能在真实世界中感受萨曼莎在虚拟世界的触摸,人们也能通过我们的表皮触觉 VR 系统,在生活中体验到那份触感。”解兆谦说。

## 多激励模式的新探索

2020 年,解兆谦加入大连理工大学时,该校正在积极推进医工融合和交叉学科建设。这吸引了解兆谦,当时的他正在力学与生命健康前沿交叉领域拓展柔性电子力学新方向。

在此前研究的基础上,解兆谦团队在生命健康方向上有了更长远的思考:视觉受限的患者能否依赖触觉实现导航?平衡感或脚步感觉缺失的患者能否借助触觉重新找回稳定的步伐?

他们将人体皮肤作为弹性储能元件,结合软磁铁、永磁体及线圈,形成具有压缩和放松两种状态的双稳态结构。在压缩状态下,皮肤被压入一定深度,无须外界能量输入就能给皮肤一定深度的静态激励。而在线圈中通入微电流,可实现压缩和放松两种状态的随意切换,实现对皮肤不同层面的触觉激励。此外,在双稳态结构的不同状态下,在线圈中通入交变微电流,可以为皮肤提供不同深度的动态振动激励。这种双稳态结构设计不仅显著降低了系统功耗,而且轻易就实现了对皮肤不同层面的动态及静态激励。

同时,该器件利用压阻耦合力学结构,巧妙实现了对皮肤剪切力与法向力的耦合作用,极大丰富了触觉激励的多样性和精准度,为用户带来了更加真实、细腻的触感体验。

通过封装触觉激励单元和内部电路,团队打造了具有多激励模式的触觉皮肤电子器件。该器件采用轻质的柔性延展力学结构设计,整体轻薄且易于穿戴,可以像创可贴一样贴附在皮肤上,实现了

与皮肤的无缝保形贴合,确保了在长时间使用过程中的稳定性和可靠性。

《自然》审稿人评价:“这项工作对下一代触觉界面具有重要意义。它能够以高效的方式在皮肤上提供稳定的压力和剪切力,并通过简单的可穿戴贴片实现真正的‘按压’感知。”

“经过人体测试实验,我们证明了通过智能手机的 LiDAR 技术感知前方障碍物,并与触觉皮肤电子器件协同工作,能够为视力障碍者提供精确且可靠的导航指引。同时,我们可以利用智能手机内置的惯性测量单元实时监测用户的身体姿势变化,并与触觉皮肤电子器件相结合,为用药后平衡感受损的患者提供平衡感官替代方案。”解兆谦说。此外,通过测量单元精准追踪脚步的方向及其与地面的相对角度,并配合触觉皮肤电子器件,该研究还可以辅助脚部感官缺失的患者调整步态,有效预防跌倒,从而实现对其脚部感官功能的精准替代。

## 发顶刊后的下一步

除应用于医学领域外,该触觉皮肤电子器件在人机互动方面也将大有作为。人类远程操纵机械手进行抓取,机械手上的传感器将接触物体时的压力反馈给控制系统,控制系统再将信号反馈至触觉皮肤电子器件,对人体皮肤实现多模式的触觉激励,使人能够更真切感受到机械手的压力变化。

“目前,我们的贴片大约是 10cm x 10cm 大小,这使得使用者的感受更加真实。并且,我们的触觉皮肤电子器件由多个独立的触觉激励单元组成,未来想要继续扩大面积只需要增加触觉激励单元,就像搭积木一样,可以满足各种尺寸需求。”解兆谦告诉《中国科学报》。

在 5 年时间里,解兆谦带领团队发了两篇《自然》论文及两篇《科学》论文。在他看来,发顶刊最重要的是有新的概念和想法,选题要对人类和社会进步有关键性的推动作用。

“目前,更需深思的是论文发表后的下一步。我的真正愿景是将这些科研成果转化为市场应用,将理论思路变为新质生产力,这才是我们投身科研的终极追求。”解兆谦说。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1038/s41586-024-08155-9>

# 科学此刻

## 面部识别追踪 创纪录鲸类迁徙

近日,一项发表于英国《皇家学会开放科学》的研究中,海洋生态学家使用面部识别软件成功追踪到一头跨越了 1.3 万公里、从哥伦比亚迁徙到坦桑尼亚的座头鲸,打破了此前 1 万公里的纪录。

加拿大渔业及海洋部鲸类研究项目的海洋哺乳动物生物学家 Christie McMillan 指出,科学家此前曾花费大量时间仔细查看鲸尾照片,试图通过查找独特的颜色图案、缺口、伤疤和其他标记匹配同一头鲸的图像。

澳大利亚南十字大学的 Ted Cheeseman 认为一定有更好的识别方法。Cheeseman 几十年来一直领导着南极洲及其他极地地区自然旅游项目。他突然意识到,游客或许可以提供大量追踪鲸的数据。因此,他推出了 Happywhale,该程序软件可实时将每张鲸尾照片与来自世界各地的 90 多万张照片进行了比较。Cheeseman 表示,这些照片涵盖了 10.9 万头鲸,其中包括一头名为 Old Timer 的鲸,其数据最早可追溯到 1972 年。它于今年夏天再次被发现。在新研究中,Happywhale 识别出了这只创纪录的座头鲸。

在 2013 年和 2017 年,有照片显示它在哥伦比亚的夏季繁殖区附近活动。2022 年,研究人员在坦桑尼亚桑给巴尔附近的繁殖区发现了它。这头鲸有非常独特的尾鳍,因



图片来源: NATALIA BOTERO-ACOSTA

此研究人员可以自信地将其与 10 年前在东太平洋拍摄到的鲸相匹配。

这一发现令人惊讶,因为座头鲸通常会固定在一片海洋区域生活,而哥伦比亚种群通常只在南美洲的繁殖区和南极洲附近的觅食地之间迁徙。

Cheeseman 指出,研究人员有时会发现一头鲸从一个群体转移到附近的另一个群体。但要到达坦桑尼亚,这头座头鲸必须穿过大西洋的两个鲸群体。“这比以往记录的任何座头鲸的行为都让人感到‘陌生’。”

研究人员并不清楚这头鲸在未被观测到的时候去了哪里。论文作者、莫莱尼克巴鲁托科学研究中心(BCSS)的 Ekaterina Kalash-

nikova 表示,它很可能先游到了南极洲,然后前往另一个种群所在的西南印度洋。“这头鲸的迁徙距离可能比 1.3 万公里还远。”

科学家们不清楚这头鲸为什么会四处游荡。未参与此次研究的美国汉普顿-悉尼学院海洋生物学家 Alexander Werth 推测,这位勇敢的“探险家”是一头孤独的雄鲸,正在极力寻找配偶。

未参与该研究的挪威北极大学的 Lisa Kettner 表示,这一发现“确实可以帮助我们了解这些动物所能达到的极限,下一步是了解此类动物迁徙背后的驱动因素”。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1098/rso.241361>