

# 《科学》评选 2025 年十大突破

12月18日,《科学》发布编辑团队评选的2025年度十大科学突破,其中包括1项科学突破冠军奖“可再生能源增长势不可挡”及其它9项科学突破入围奖。它们是这一年中最重大的科学发现、进展和趋势。

## 可再生能源增长势不可挡

目前,可再生能源已在多个方面超越了传统能源。根据能源智库Ember的数据,今年,可再生能源在全球发电量上已超过煤炭,并且1月至6月,太阳能和风能的增长足以覆盖全球电力需求的全部增量。今年9月,中国在联合国宣布,通过加倍发展风能和太阳能,10年内将碳排放削减10%。随着非洲和南亚地区的民众意识到屋顶太阳能可以廉价地为照明、手机和风扇供电,这些地区的太阳能电池板进口量激增。在许多人看来,可再生能源的持续增长似乎已势不可挡。

中国强大的工业引擎是驱动力。经过多年发展,中国如今已主导全球可再生能源技术的生产。中国生产了全球80%的太阳能电池、70%的风力涡轮机和70%的锂电池,其价格令竞争对手无法企及。随着产量激增,价格下降,需求也随之起飞,形成了一个良性循环,使可再生能源发展成为一个目前占中国经济比重超过10%的产业。与此同时,风能和太阳能也成为世界大部分地区最便宜的能源。而中国的太阳能发电量在过去10年增长了20多倍,太阳能和风力发电场的总装机容量足以供整个美国使用。

## 定制化基因编辑为极罕见疾病带来希望

今年,一名患有致命代谢疾病的男婴成为全球首位接受个性化基因编辑治疗的患者。这一创举可能为针对独特或极罕见基因突变的个体化基因编辑器研发开辟道路。

患者KJ Muldoon去年在美国费城出生,他的CSPI基因存在缺陷,该基因编码了肝脏分解氨所需的一种酶。患有此类疾病的婴儿必须严格限制蛋白质饮食以避免血液和大脑中氨的积聚,且常常需要进行高风险的肝脏移植。

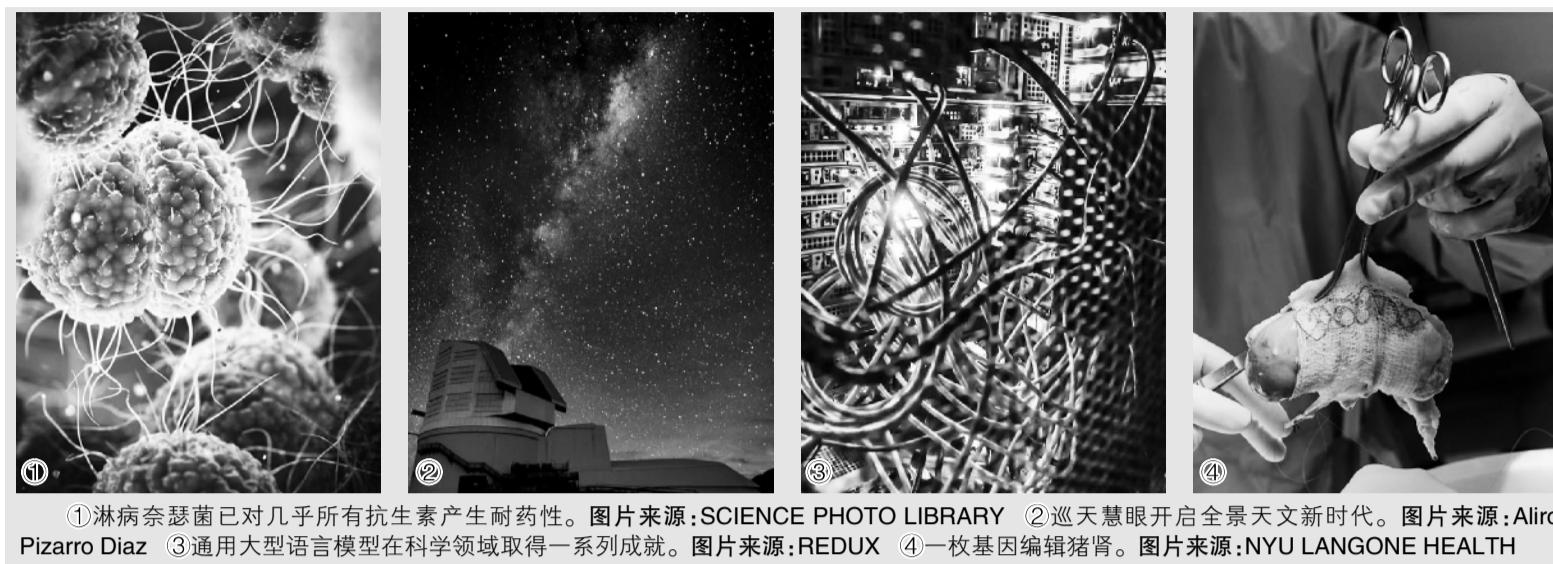
KJ出生后不久,研究人员迅速开发出一种碱基编辑器——CRISPR基因编辑工具的变体,以修正缺陷基因中的一个“拼写错误”。团队在细胞和实验动物中测试了这种定制化碱基编辑器,并于2月获批通过输注脂质纳米颗粒递送碱基编辑器为当时6个月大的KJ进行治疗。在接受额外两剂治疗后,5月,KJ已能摄入更多蛋白质,体重增加,且控制血氨水平所需的药物剂量也减少了。

研究人员目前计划调整用于KJ的碱基编辑器,以治疗另外5名由其他基因缺陷引发类似代谢性疾病的患者。

## 对抗性传播疾病的新武器

今年,两种治疗淋病的新药在大型临床试验中被证实有效,并于本月获得美国食品药品监督管理局批准。这是数十年来针对这种性传播疾病的首批新武器。

5月,《柳叶刀》发表新药Gepotidacin的Ⅲ期临床试验结果。该药物已获批用于治疗尿路感染,对淋病的治愈效果与现有药物相当。作为全



① 淋病奈瑟菌已对几乎所有抗生素产生耐药性。图片来源:SCIENCE PHOTO LIBRARY ② 巡天慧眼开启全景天文新时代。图片来源:Aliro Pizarro Diaz ③ 通用大型语言模型在科学领域取得一系列成就。图片来源:REDUX ④ 一枚基因编辑猪肾。图片来源:NYU LANGONE HEALTH

新一类抗生素的首个药物,Gepotidacin以细菌DNA复制的至关重要两种酶——DNA旋转酶和拓扑异构酶IV为靶点。另一种新药Zoliflodacin同样以DNA旋转酶为靶点,但作用机制不同。12月,《柳叶刀》发表的涵盖5国的Ⅲ期研究表明,该药有效且未引起严重副作用。

与最广泛使用的头孢菌素相比,这两种药物均具有一项重要优势:可以口服片剂形式使用,无需注射。但科学家指出,与此前所有药物一样,它们的有效使用期可能有限。面对淋病奈瑟菌这一狡猾的微生物,寻找新型抗生素的征程永无止境。

与最广泛使用的头孢菌素相比,这两种药物均具有一项重要优势:可以口服片剂形式使用,无需注射。但科学家指出,与此前所有药物一样,它们的有效使用期可能有限。面对淋病奈瑟菌这一狡猾的微生物,寻找新型抗生素的征程永无止境。

肿瘤能诱使包括神经元在内的多种人体细胞生长和扩散。今年,研究人员揭示了神经细胞提供这种援助的方式:通过传递线粒体为细胞提供大部分能量。其结果便是癌细胞获得额外能量,更容易扩散到身体其他部位。这一发现表明,阻断线粒体转移或许能延缓癌症转移。

由于癌细胞分裂迅速、对能量需求巨大,研究人员用自身线粒体缺陷培养的癌细胞进行实验,发现这些传递而来的线粒体能显著提升细胞代谢水平。为探究线粒体转移如何影响癌症生长,他们开发出一种技术,当癌细胞从其他细胞获得线粒体时,会发出绿色荧光。科学家将神经细胞与癌细胞的混合物植入小鼠体内,待其形成肿瘤并转移至其他组织后进行分析。结果显示,在原发肿瘤中仅有5%的癌细胞呈现绿色,表明其获得了神经细胞线粒体,但在肺转移灶中,这一比例升至27%,脑转移灶中高达46%。

其他细胞也会共享线粒体,但新发现提示神经元可能尤为“慷慨”。未来,这一机制有助于研发新型疗法,迫使神经细胞“保管好”自己的线粒体。

## 巡天慧眼:全景天文新时代

今年,智利一座山顶上建成了一台旨在开启全新天文研究范式的望远镜。与多数望远镜聚焦特定目标不同,薇拉·C·鲁宾天文台将持续扫视太空。从明年初起,它将在10年间每

3天对全天空进行一次前所未有的精细扫描。每晚将产生数百万条天体动态警报——标记出移动、变化或突然出现的天体。一年内,鲁宾天文台收集的光学数据量将超历史总和,逐步构建最精细的宇宙三维图谱,并通过在线平台向全球开放。

实现如此高效的巡天需要突破性技术支撑:一套能覆盖45个满月视场范围的无畸变复杂光学系统,以及一台汽车大小、可在数秒内生成3200兆像素图像的巨型相机。光纤将图像数据从智利帕拉山山顶实时传输至美国加利福尼亚,计算机阵列将在图像拍摄后1分钟内完成分析并向天文学家发布警报。面对每晚数百万条警报,天文学家将依托智能算法从海量数据中筛选科学信息。

该天文台将使太阳系已知天体数量倍增——可能有机会发现海王星外假想的第九行星。它将为各类宇宙爆发事件提供最佳观测席位,揭示星系形成、生长、合并及演化为宇宙的全过程,助力科学家探究暗物质如何塑造星系及暗能量如何推动宇宙膨胀。

## 与丹尼索瓦人面对面

2010年,遗传学家宣布,在西伯利亚丹尼索瓦洞穴中发现的手指骨碎片中提取的DNA揭示了一种新的古人类,他们与尼安德特人和现代人类亲缘关系密切。但在随后15年里,丹尼索瓦人始终面目不清。从中国的台湾到西藏等亚洲遗址发现的小块骨骼中也提取到丹尼索瓦人DNA。但由于没有完整的个体甚至头骨,科学家们无法知晓他们的样貌,也无法通过形态特征识别出可能已收藏在博物馆中的丹尼索瓦人化石。

这一局面在今年得以改变——中国研究人员成功从数十年前在黑龙江省哈尔滨市附近发现的古人类头骨中提取出DNA。DNA的来源非常寻常,并非牙齿或内耳骨这些古遗传物质的常见载体,而是从这个名为“龙人”的化石唯一残留的牙齿上刮取的0.3毫克硬化牙结石样本。

这颗发黑臼齿上的化石牙结石将DNA锁在矿物基质中,比多孔的骨骼保存得更久。测序结果显示,“龙人”的DNA与先前测序的丹尼索瓦人遗传信息相匹配。后续研究还将牙结石中的蛋白质与其他丹尼索瓦人化石对比,确认了这具

拥有厚重眉脊、粗壮骨骼和有力下颌的头骨属于丹尼索瓦人。随着“龙人”身份揭晓,研究人员将能更便捷地通过骨骼和牙齿形态识别其他丹尼索瓦人。

## 大型语言模型助力科学研究

谷歌DeepMind在2020年推出的蛋白质结构预测工具AlphaFold2,颠覆了人们对人工智能在科学领域所具有的潜力的认知。它被《科学》评为2021年度科学突破,其开发者随后于2024年获得诺贝尔化学奖。当时很少有人想到,基于数万亿单词训练、仅优化了文本生成能力的通用大型语言模型(LLM)也能在科学领域取得类似成就。然而,随着LLM规模的扩大,这一观念正在发生转变。今年,LLM在广泛科学领域展现出具有博士水平的敏锐洞察力。

在数学领域,DeepMind使用Gemini LLM的进阶版本,在全球最难的高中生数学竞赛——国际数学奥林匹克竞赛中获得金牌,这一成就比2021年专家预测的实现时间(2043年)提前了近20年。OpenAI的GPT-5也在组合数论和图论领域取得原创性突破,解决了困扰数学家数十年的难题。

LLM不仅擅长应试与理论推演,还加速了科学发现的进程。在化学领域,Meta公司基于Llama LLM微调的模型仅通过15次实验就为一种从未报道的复杂反应确定了最优条件,为研究人员节省了数百次耗时数周的实验室时间。在生物学领域,谷歌的“智能体”人工智能(AI)协研员从现有药物中筛选出肝纤维化治疗新候选药物,并在两天内重现了关于细菌DNA寄生传播机制的重要发现,而这一成果原本耗费了研究人员数年时间。

## 计算力学消除粒子物理学疑云

数十年来,粒子物理学家一直渴望发现现有主流理论即标准模型无法解释的现象。今年6月,一项持续多年的实验报告称, $\mu$ 子的磁性并未如先前宣称的那样强于标准模型预测,这或许意味着最近引人遐想的新物理迹象已然消失。但失望之余隐藏着胜利的曙光:理论物理学家终于能通过格点规范理论技术,从头精确计算出 $\mu$ 子的磁性。

$\mu$ 子是电子的一种更重且不稳定的“近亲”。由于量子不确定性,真空中不断涌现又消失的“虚拟粒子”会轻微增强其磁性(该效应记作g-2)。如果这些“虚拟粒子”包含标准模型之外的未知粒子, $\mu$ 子磁性就可能偏离理论预测。但理论预测本身始终极具挑战性,尤其困难的是计算夸克与胶子的贡献。2020年,“ $\mu$ 子g-2理论倡议”组织根据对撞机数据推算出夸克与胶子对 $\mu$ 子磁性的贡献值,但最优数据仍存在矛盾。

与此同时,理论学家通过超级计算机与格点规范理论——一种将连续时空离散化为四维格点的数值技术,实现了从头计算夸克与胶子贡献的突破。得益于计算能力的持续提升与技术方法的无数次改进,近期格点计算对 $\mu$ 子磁性的预测精度已堪比数据驱动方法。5月,该理论倡议组织摒弃数据外推法,转而采用格点计算更新预测值。新预测的 $\mu$ 子磁性高于既往计算,并与随后公布的 $\mu$ 子g-2最终测量结果一致。

## 异种器官移植创下新纪录

作为缓解人类捐赠器官严重短缺的潜在解决方案,异种移植在今年取得了令人瞩目的进展。这得益于基因编辑猪的出现,其组织经过改造后移植安全性更高,引发人体免疫排斥的风险更低。

最引人注目的是,一枚拥有69处基因修饰的猪肾脏在美国一名男性体内正常工作近9个月,直至10月才衰竭,仅比史上最长异种移植纪录少几天。在中国,一名女性移植了含有6处基因修饰的猪肾脏,也维持了近9个月。

这些成果刷新了此前基因编辑猪肾脏的存活纪录。研究者普遍认为,供体猪仍需进行更多尚未确定的基因修饰以延长移植器官存活时间。同时,科学家正尝试开发更安全有效的抗排斥药物,并探索促进免疫耐受的新策略,例如将猪胸腺与肾脏同时移植,以彻底避免使用免疫抑制剂。尽管数十年来,媒体时常过早渲染突破,但今年的成功无疑让异种移植向现实迈出了扎实的一步。

## 耐水稻:对抗高温的基因突破

今年,中国研究人员发现了一个能帮助水稻抵抗高温双重危害(减产与品质下降)的基因。若将该基因通过育种或基因编辑导入商用品种,或将助力水稻在气候变暖的威胁下稳产保收。

过去10年间,该研究团队在中国多地异常高温区域试种了533个水稻品种。通过对表现最优的品种进行杂交育种,他们在第12号染色体上定位到一个关键基因,并将其命名为“QT12”。研究显示,在高温下表现不佳的水稻品种携带的QT12基因变体会被激活,导致淀粉分子排列紊乱,其结果便是产出垩白粒多、质地松脆、口感黏腻的劣质大米。然而,携带高温不易激活型QT12等位基因的品种则能保持良好品质。该等位基因同时具备保产效应,其机制尚待阐明。

当研究人员将这种保护性等位基因导入商用稻品种后,高温环境下其产量最高提升78%,垩白粒比例显著降低。他们在实验稻种中还发现,通过基因编辑敲除QT12基因也能产生类似抗热效益。

(李木子)

# 《自然》发布 2025 年七大“暖心”科学故事

12月17日,《自然》发布2025年值得关注的七大暖心科学故事,从基因编辑的多项突破,到传染病的快速防控,再到政策层面的重大胜利,都让人们为这一年感到高兴。

## 物种数量回升

得益于强有力的保护举措,部分濒危和濒临灭绝物种的种群数量在今年实现回升。

自20世纪80年代起便被列为濒危物种的绿海龟,如今在世界自然保护联盟濒危物种红色名录中的等级已降至“无危”。保护海龟卵,避免其被渔网误捕等一系列措施,已助力绿海龟种群数量逐步恢复。

一种体形与老鼠相仿的澳大利亚有袋类动物——安氏袋鼬,也在今年从“极危”状态转为“无危”。尽管面临干旱缺水和食物短缺的困境,2015年至2021年,其栖息地范围仍扩大了4.8万多平方公里。

此外,9月,各国在海洋保护领域达到一个历史性里程碑——联合国《公海条约》获得60多个国家批准。该条约将于明年1月正式生效,旨在通过法律手段保护国际水域的生物多样性,并计划至少将30%的陆地和海洋面积纳入保护范围。

## 臭氧层空洞缩小

今年,南极臭氧层空洞的面积已缩减至2019年以来的最小规模,表明地球高空的保护性大气层正在持续恢复。

臭氧层空洞于1985年首次被发现,其成因是人类排放的氟利昂等消耗臭氧层物质,这类物质常见于冰箱制冷剂和喷雾型气溶胶中。1987年签署的《蒙特利尔议定书》逐步淘汰了氟利昂的生产与使用,成功遏制了相关物质的排放。自1987年起,臭氧层空洞的年均面积总体呈逐步缩小趋势,2019年曾创下观测史上的最小纪录。



▲ 海洋提供了一系列栖息地,为生物多样性提供重要支撑。图片来源:Olly Scholey  
▼ 中国成为第一个太阳能装机容量超过1太瓦的国家。图片来源:Kun Chen

▲ 基因编辑为罕见病患者带来治愈希望。图片来源:美国费城儿童医院  
◀ 疫苗接种遏制病毒传播扩散。图片来源:Science Photo Library

只要持续研发并使用气候友好型的氟利昂替代品,南极臭氧层空洞有望在21世纪60年代末完全修复。

## 基因编辑捷报频传

“今年是基因编辑技术的突破之年,2025年,这项技术达到了多个医学里程碑。”美国博德研究所的化学生物学家刘如谦表示。巴黎内克尔儿童医院Imagine研究所基因治疗研究员Annarita Miccio补充说:“今年成果斐然,多项临床试验相继行启。”

首先,首款享廷顿舞蹈症基因疗法成效显著,让受者的认知衰退速度减缓了75%。另一项针对T细胞急性淋巴细胞白血病的基因治疗

临床试验也展现出良好前景,参与试验的11名儿童和成人患者,大部分已实现病情缓解。这种

新型CAR-T细胞疗法借助碱基编辑技术对T细胞的多个基因进行修饰,使其能够精准靶向癌细胞。今年,研究人员首次开展了个性化CRISPR技术的临床试验。

其他突破性成果,包括针对罕见免疫疾病慢性肉芽肿病的首款基因疗法进入临床试验阶段;一项临床试验成功修正了一种可导致肺损伤和肝病的致病性基因突变。

Miccio指出,这些临床试验为罕见病突变特异性治疗方案的研发铺平了道路,同时也证明,学术界与产业界的通力合作能够为治愈罕见病患者带来希望。

## 可再生能源发展提速

今年,可再生能源在全球范围内首次超越煤炭,成为第一大能源。这一成就的取得离不开中

国的贡献。今年5月,中国成为全球首个太阳能发电装机容量突破1太瓦的国家。仅上半年,中国新增太阳能装机容量就达256吉瓦,相当于全球其他国家和地区同期新增总量的两倍。在2026年启动的五年规划中,中国计划新增200至300吉瓦的太阳能和风能装机容量。

挪威气候国际研究中心的Glen Peters评价道:“中国以及众多发展中国家正以前所未有的速度推进太阳能、风能和电动汽车的应用。”

今年第二、三季度,欧盟约半数的电力需求由可再生能源满足。据预测,2025年至2030年,全球可再生能源装机容量将新增近4600吉瓦,是2019年至2024年新增总量的两倍。不过,今年化石燃料的温室气体排放量仍创下历史新高。可再生能源能否取代化石燃料并成为全球能源结构的主导,仍有待观察。

## 埃博拉疫情得到控制

今年9月,在医护人员与非洲各政府的不懈努力下,刚果(金)仅用42天便成功控制住埃博拉疫情。9月4日,刚果(金)卫生部确认,此次疫情由扎伊尔型埃博拉病毒引发。该疫情共报告64例确诊病例,最后一例病例于9月25日上报。

乌干达卫生部埃博拉及新冠疫情应对相关负责人Henry Kyobe Bossa表示,疫情发生地区位置偏远,虽给救援人员的抵达造成阻碍,但在一定程度上遏制了病毒的传播扩散。

疫情一经确认,疫苗接种与单克隆抗体疗法便迅速启动,有效降低了重症病例的发生率。Boss表示:“我们在疫情管理、应急响应、社区动员和密切接触者追踪等方面的能力均有提升。”

## 抗疟疾新药获批

今年11月,世界卫生组织批准了首款适用于婴儿的抗疟疾药物。目前,全球约75%的疟疾

死亡病例为5岁以下儿童,新药问世将助力全球向消除疟疾的目标迈进。

英国非营利机构疟疾联盟首席顾问Jane Achan表示,复方蒿甲醚(蒿甲醚-苯芴醇)的婴儿专用剂型填补了一项空白,为此前被忽视的婴儿群体提供了安全有效的抗疟治疗方案,尤其在改善高危人群疟疾治疗效果、提升婴儿患者治愈率及破解疟原虫耐药地区的治疗难题等方面,都将发挥重要作用。

今年开展的一项Ⅲ期临床试验显示,第二款抗疟新药加奈拉西-苯芴醇(GanLum)的治愈率高达97.4%,同时还能有效清除对青蒿素产生耐药性的疟原