

· 科技评述 ·

Science 2022 年十大科学突破解读

[编者按] *Science* 杂志每年会在年底评选出当年十大科学突破。2022 年 12 月 15 日, *Science* 杂志公布了其评选出的 2022 年十大科学突破。为了让广大读者更深入地了解十大科学突破的科学价值, 本刊特邀各领域著名科学家分别对其进行解读, 以激发科研人员的创新思维, 促进学术交流。

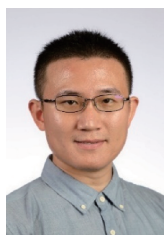
1 詹姆斯韦伯太空望远镜

经过无数挫折、近 30 年的发展、100 亿美元的巨额花费以及 150 万公里的危险太空之旅, 新的詹姆斯·韦伯空间望远镜 (James Webb Space Telescope, JWST) 终于打开了它的金色红外眼, 以令人惊叹的、前所未有的细节瞥见了宇宙以及它深不可测的过去。然而, 与其前身哈勃空间望远镜不同, JWST 聚焦于红外波段, 包括从第一批恒星和星系发出的光。在 2022 年 6 月下旬上天后很短的时间内, 研究人员开始发现数千个比以前记录的任何星系都更遥远、更古老的新星系, 其中一些可能比哈勃望远镜发现的最古老的星系早 5 千万到 1 亿多年。更重要的是, JWST 能够从天体 (从诞生的恒星到系外行星) 收集足够的光线, 以揭示它们是由什么组成的, 以及它们如何形成演化的。这些数据已开始非常详细地揭示距离地球数百光年的行星的大气成分, 为研究它们支持生命的能力提供了可能性。

专家点评:



方陶陶 厦门大学天文学系教授、系主任, 国家杰出青年科学基金获得者、科技部中青年科技创新领军人才。任中国天文学会十四、十五届理事会常务理事、中国空间站望远镜科学委员会委员等职。长期从事星系形成演化、宇宙大尺度结构等相关研究。



王鑫 中国科学院大学副教授, 国家级海外引进人才。主要从事空间望远镜数据处理算法开发、第一代恒星搜寻、星系形成与化学演化、引力透镜与暗物质空间分布等领域的研究。被选为詹姆斯·韦伯空间望远镜 (JWST) 大师班成员, 应美国航空航天局 (NASA) 授权负责为 JWST 培养观测人才。目前以首席科学家身份主

持两项哈勃空间望远镜 (HST) 中型级别观测项目, 作为核心成员参与数项珍宝级和大型 JWST、HST 观测项目。

在 20 世纪 90 年代早期, 当在光学波段的哈勃望远镜已经成功运行并取得了许多重要发现后, 科学家们开始构思下一代更强大的空间望远镜。由于在天文研究的两个最前沿领域, 宇宙第一代星系和恒星的形成, 以及系外行星, 其光谱特征主要聚焦于红外波段, 一台威力强大的空间红外望远镜成为很自然的选择。经过近三十年的艰苦努力, 由美国国家航空航天局 (National Aeronautics and Space Administration, NASA)、欧洲航天局 (European Space Agency, ESA) 和加拿大航天局 (Canadian Space Agency, CSA) 共同建造的詹姆斯·韦伯太空望远镜 (James Webb Space Telescope, JWST, 以下简称“韦伯望远镜”) 终于在 2021 年 12 月 25 日成功发射。这是迄今为止发射入太空的最复杂、最昂贵的科学任务, 总耗资约达 100 亿美元。

韦伯望远镜的成功发射不仅仅是科学上的重大突破, 也是一个工程上的“奇迹”。为了提高空间探测的灵敏度和分辨率, 韦伯望远镜的镜面直径为 6.5 米, 几乎是哈勃镜面直径的三倍。工程师们必须让它在发射时能够折叠起来。由于在红外观测的低温需要, 韦伯望远镜必须到距离地球 150 万公里的拉格朗日点 L2 展开观测; 在长达一个月的旅途中, 韦伯望远镜逐步展开了其太阳能电池板及 18 个镜面成分。这个过程有 300 多个关键步骤, 任何一个步骤的问题都可能会造成任务失败。最后经过数月的紧张检测和调试, 在 2022 年 6 月韦伯望远镜终于正式展开科学观测。

与哈勃望远镜一样, 韦伯望远镜是一台通用型空间望远镜, 包括四个科学终端设备, 覆盖了从近红外到中红外 (0.6~28 μm) 的波长范围, 并提供极为丰富的光谱和成像观测模式, 有很多功能都是人类有史以来首次在空间望远镜中实现的, 其科学效能具有划时代的水准。甫经正式展开科学观测, 韦伯望远镜就取得系列突破性成果。2022 年 7 月 12 日, NASA 公布了其第一批多波段观测合成图像。该批图像主要包括 5 套照片, 涉及不同尺度的 5 类

天体或天体系统,包括 SMACS0723 星系团透镜河外星系深场观测(图 1)。在这之后,基于保证时间观测项目和早期释放科学项目所采集的数据,天文学家不断产出丰硕的科学成果。

在星系科学领域,韦伯望远镜很快就突破了以前观测遥远星系的极限,通过光谱数据证认了红移最高的活动星系核($z=8.68$),并证认了 4 个红移高于 10 的星系,其中最高红移的星系达到了 $z=13.2$,是目前经过光谱认证的最高红移星系记录保持者,在该红移宇宙的年龄仅仅为 3 000 万年。另外韦伯望远镜还使用光谱证认了红移最高($z=7.3$)的被动演化星系,并首次发现了宇宙再电离时期星系的尘埃吸收结构($z=6.7$)。这些最新的观测结果极大地拓宽了星系形成与演化领域的新边疆,帮助天文学家精确刻画宇宙早期星系形成与演化过程中重要的物理机制。

在系外行星方面,韦伯望远镜很快就在四个不同的波长下成像巨大行星 HIP 65 426 b,也捕获了穿过系外行星大气的恒星光谱,并发现以前从未在系外行星中探测到的二氧化碳等气体。在过去,对系外行星大气层的研究仅限于类似木星的热木星,由于其史无前例的空间灵敏度,韦伯望远镜也开始瞄准较小的、类似地球大小的行星。2023 年 1 月,韦伯望远镜首次确认了一个系外行星(LHS 475 b),其大小几乎与地球完全相同。在美国宇航局的凌星系外行星巡天卫星(Transiting Exoplanet Survey Satellite, TESS)的数据中发现该候选体后,韦伯望远镜仅通过两次凌星观测就轻松证实这个系外行星的存在。

韦伯望远镜目前的设计寿命是十年,但有理由



图 1 韦伯望远镜首个公开发布的河外星系深场图像——位于红移 0.39 处的 SMACS 0723 星系团中心场(左图为之之前哈勃空间望远镜观测的多波段合成图像;右图为韦伯望远镜在同一天区进行的多波段观测合成图像。SMACS 0723 星系团的引力透镜效应放大并扭曲了一些背景高红移星系,对某些背景星系产生了弧状结构和多重像。两幅图相比可以轻而易举见韦伯望远镜在河外星系深场观测方面的威力。)

相信它是未来十几年最具革命性的天文观测设备之一,将带来许多令人激动的科学发现。这些突破包括探索宇宙的起源、星系的演化、系外行星的演化及宜居性,展开系外生命的寻找等。

我国在空间天文探索方面起步较晚,但已取得长足的进步。我国的暗物质粒子探测卫星以及“慧眼”硬 X 射线调制望远镜先后于 2015 和 2017 年发射,并在暗物质探测、中子星及黑洞等致密高能天体观测方面取得重大突破。特别值得一提的是,我国首个空间光学望远镜——中国空间站巡天望远镜(Chinese Survey Space Telescope, CSST),已进入全面研制阶段,预期将于 2024 年发射升空。刚刚在北京举办的首届 CSST 科学年会吸引了全国五百多名科研人员参加。这台 2 米的空间望远镜将提供大视场和高像质的优异性能,将极大地推动我国在空间天文方面的科研实力。另外,正在计划中的“爱因斯坦探针”及“宇宙热重子搜寻卫星”等空间项目也将极大拓展我们对宇宙的认识。

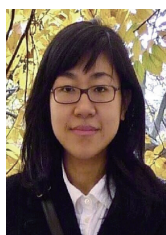
2 发现可能导致多发性硬化的病毒

多发性硬化症(Multiple Sclerosis, MS)是一种中枢神经系统慢性炎症性脱髓鞘疾病。EBV 病毒(Epstein-Barr Virus, EBV)感染一直被认为是 MS 可能的病因。为了探究 EBV 感染与 MS 之间的因果关系,哈佛大学科学家研究了不同时期共约 1 000 多万美国军人 20 年的医疗记录,并使用储存血液样本分析 EBV 感染状态以及 EBV 感染与军人服役期间 MS 发病之间的关系。结果发现,感染 EBV 后罹患 MS 的风险增加了 32 倍,提示 EBV 是导致 MS 的原因。

专家点评:



蓝柯 武汉大学教授、病毒学国家重点实验室主任、武汉大学生物安全三级动物实验室/动物实验中心主任,国家杰出青年科学基金获得者、长江特聘学者、国家高层次人才特殊支持计划科技创新领军人才。主要从事致瘤性疱疹病毒、重要新发病毒的感染及致病机理研究,在 *Nature*、*The New England Journal of Medicine*、*Science Translational Medicine* 等学术期刊发表论文 120 余篇。学术兼职包括:中国微生物学会病毒学专委会副主委、湖北省生物工程学会理事长、*Journal of Virology* 及 *Viruses* 编委、*Journal of Medical Virology* 和 *Science Bulletin* 副主编、*Cell Insight* 执行主编等。



庄柯 武汉大学生物安全三级动物实验室/动物实验中心讲师。主要从事 AIDS 猴模型构建、HIV 致中枢神经系统损伤及 HIV/EBV 致淋巴瘤机制的研究,研究成果发表在 *Journal of Virology*、*Journal of Acquired Immune Deficiency Syndromes*、*Retrovirology* 等学术期刊上。先后主持国家自然科学基金面上项目、湖北省卫生计生委面上项目、中央高校基本科研业务费专项资金项目。

既往多项研究表明 EBV 与 MS 之间可能存在联系,但要确定其因果关系挑战性极大。因为在成年人中,超过 95% 的人感染 EBV,但仅极少数人会罹患 MS。能证实这种因果关系最可靠的办法是确定 EBV 阴性个体只有在感染 EBV 后才有可能发生 MS。哈佛大学团队的这项研究就是针对 EBV 阴性个体队列中 MS 发病率的纵向调查,他们通过查阅 1 000 多万美国军人的 20 年医疗记录,确定 955 人罹患 MS。分析 MS 患者及其对照组血液样本中 EBV 感染状态,发现发生 MS 的个体血清 EBV 阳转率高达 97%,而未发生 MS 的个体血清阳转率仅为 57%。使用条件 Logistic 回归方法分析数据得出的结论是,EBV 感染导致 MS 风险增加了 32 倍,但感染其它病毒(包括巨细胞病毒等)后 MS 的风险不变。这项研究是一个里程碑式的突破,提供了迄今为止最令人信服的 EBV 和 MS 间因果关系的证据,因此被 *Science* 杂志评选为 2022 年十大科学突破之一。

这一研究成果无疑对 MS 的基础和临床研究有着深远的影响。多年来 MS 被认为是一种病因不明

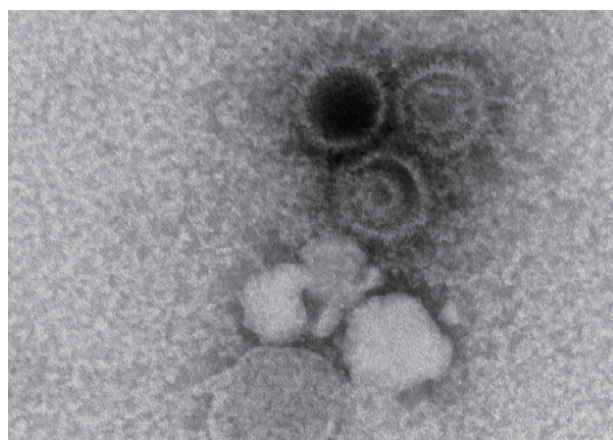


图 2 EB 病毒粒子的电子显微镜图像,新的研究确定了 EB 病毒和 MS 之间的因果关系(图片来源: *Science* 官网)

的自身免疫性疾病。该研究至少在流行病学上证实了 EBV 是 MS 的主要致病因素,必将推动进一步的科学实验验证,以及 EBV 诱发 MS 发病机制的阐明。2022 年在 *Nature* 上发表的一项研究结果曾揭示 EBV 核抗原 1(EBNA1)部分蛋白结构类似于神经元髓鞘中的 GlialCAM 蛋白,当免疫系统产生的特异性抗体攻击 EBV 时,也会靶向髓鞘中的 GlialCAM 蛋白,从而导致神经损伤。相信相关机制的研究结果还会不断涌现。

我国在 EBV 相关 MS 方面的研究尚较缺乏,但我国科学家在 EBV 相关其它疾病的研究领域中已取得了一些重要成果。在基础研究方面,我国科学家发现了广东地区鼻咽癌 EBV 高危亚型;鉴定出 EBV 感染上皮细胞的关键受体蛋白 EphA2;揭示了 EBV 阳性肿瘤细胞与 EBV 共进化的特征等。在疫苗、药物和中和抗体研究方面,我国科学家从 EBV 感染者的单个 B 淋巴细胞中分离并鉴定能高效阻断 EBV 感染的人源中和抗体;研发了一种能同时靶向 EBV 两种蛋白的肽类药物等。这些成果为未来开展 EBV 相关 MS 的研究奠定了一定的基础。

总之,目前已证明 EBV 感染是诱发 MS 所必需的。然而,研究 EBV 在 MS 中的致病机制仍然具有挑战性。为什么在 95% 的成年人都曾感染 EBV 的条件下,MS 发病率并不高?其它如遗传、环境、免疫功能及 EBV 突变株等因素可能也在 MS 发病中起一定作用。尽管还有许多致病机制的问题尚未解决,但是科学家相信可以通过阻止 EBV 感染来预防和治疗 MS。如果一种 EBV 疫苗被证明有效并给全世界的儿童接种,那么 MS 甚至可能像脊髓灰质炎一样被彻底消灭。因此,靶向 EBV 的疫苗和特异性药物将是未来颇具前景的研发方向。

3 黑死病如何改变欧洲人基因的新见解

700 年前,黑死病席卷欧洲,并夺走了几乎三分之一人口的性命。之后,科学家们便一直在研究那些幸存者是如何逃过这场致命瘟疫的。但是想要从当代人身上检测到相关基因影响是几乎不可能的,所以研究古 DNA 是一条更可行的方案。今年,研究人员就分析了 500 多具遗骨中的古 DNA,这些遗骸分别埋葬于黑死病来临前、期间和之后。结果发现,幸存者携带变异基因的可能性更大,这些基因将会增强他们对鼠疫菌的免疫反应。

专家点评:



杨瑞馥 军事医学研究院微生物流行病学研究所研究员,国家杰出青年科学基金获得者。主要从事细菌进化溯源和致病机制的研究,在 *The New England Journal of Medicine*、*Science* 等杂志发表 SCI 论文 300 余篇。国家卫建委食品安全风险评估委员会委员,中国卫生标准委员会传染病标准专业委员会委员等,《微生物学学报》等杂志副主编。获国家技术发明奖二等奖 1 项,已成功转化。

杨瑞馥 军事医学研究院微生物流行病学研究所研究员,国家杰出青年科学基金获得者。主要从事细菌进化溯源和致病机制的研究,在 *The New England Journal of Medicine*、*Science* 等杂志发表 SCI 论文 300 余篇。国家卫建委食品安全风险评估委员会委员,中国卫生标准委员会传染病标准专业委员会委员等,《微生物学学报》等杂志副主编。获国家技术发明奖二等奖 1 项,已成功转化。

历史上传染病的暴发不断重塑着人类基因组。由鼠疫菌导致的鼠疫曾有三次世界大流行,给人类带来深重灾难。尤其是 700 年前的黑死病导致欧洲三分之一到一半的人口死亡。学术界一直认为黑死病的暴发会导致欧洲人基因组的改变。

2022 年 10 月加拿大和美国的国际合作团队通过采集英国和丹麦黑死病暴发之前、期间和之后的 500 多例骨骼中的古代 DNA 标本,鉴定了黑死病后发生的 245 个变异位点,说明黑死病是一种强选择压力塑造了一些免疫相关基因座位周围基因的多态性。限于标本数量,该研究在伦敦样本中仅发现了 4 个基因座位在黑死病前后发生了明显分化,并用丹麦标本进行了验证。该团队通过鼠疫菌感染的人免疫细胞转录组证明了其中 3 个基因座位周围基因表达发生了变化,并用李斯特菌、沙门氏菌和流感病毒感染人免疫细胞,验证了这些基因座位的表达变化。测序分析表明,编码内质网氨肽酶 2 (Endoplasmic Reticulum Aminopeptidase 2, ERAP2) 基因的变异受到强选择。转录组分析发现鼠疫菌感



图 3 伦敦挖掘的 14 世纪死于鼠疫的病人遗骸用于古 DNA 的研究,发现了鼠疫对免疫基因表达调控的选择作用(图片来源:Science 官网)

染后 rs2248374 和 ERAP2 表达强关联,ERAP2 在 rs2248374 保护等位基因型 C 中的表达水平比推定有害的 T 等位基因型中高 5 倍。ERAP2 在全球人群中两个单倍体型, A 型表达全长的 ERAP2 蛋白,与 rs2248374 C 等位基因关联;而 B 型因终止突变仅表达截短蛋白,与其 T 等位基因关联。已有研究表明,ERAP2 具有免疫细胞识别,抗原递呈和 CD8⁺ T 细胞激活和抗病毒的作用。因此,研究团队用鼠疫菌感染不同 ERAP2 等位基因型人巨噬细胞,观察到在 C 等位基因型中细胞因子表达升高,验证了保护等位基因型有利于限制鼠疫菌胞内繁殖,并增加其抗原递呈,诱导了人体对该菌的保护性免疫反应。

该研究首次提供了重大传染病对人类基因的选择压力及其对免疫相关基因座位周围基因表达重塑的证据。遗憾的是,由于人和小鼠的 ERAP 基因型不同,没能用动物验证这种选择性保护作用。该研究对近 3 年来新型冠状病毒感染大流行给人类基因潜在的压力及重塑的研究具有启示意义。

ERAP2 基因的变异有利于人类对鼠疫具有一定抵抗作用,同时也带来患其他疾病的风险,如克罗恩氏病。该文发现的其他基因变异(如 CTLA4 附近的 rs11571319)也是类风湿关节炎和系统性红斑狼疮的风险突变。因此,该研究的另一个意义就是将传染病大流行选择压力所致基因变异与现代人对于一些疾病的易感性有效关联。

国内缺乏传染病考古标本的详细记载,限制了古微生物学和古代传染病对我国人群选择压力的研究。由于技术的进步,通过核酸测序、单细胞转录组学以及转基因小鼠动物实验验证基因的功能,对古 DNA 研究的发现及其变异基因型功能验证具有极大的帮助。以本研究为例,如果再通过 ERAP2 人源化小鼠验证选择变异对鼠疫菌感染的保护或易感作用,就能提供直接证明黑死病选择压力作用的证据。古微生物学和历史上重大传染病对人类基因重塑的研究对我们制定未来传染病防控策略及其监测规划具有重要的启发价值。

4 惊人的巨型细菌

2022 年 6 月,科学家们在加勒比海瓜德罗普岛红树林中沉没的腐烂树叶上,发现了迄今为止最大的、细丝状的、肉眼可见的单细胞细菌,该细菌被命名为 *Thiomargarita magnifica*。该菌平均细胞

长度大于 0.9 厘米,最长可达 2 厘米,比通常的细菌大 5 000 倍,拥有巨大的基因组以及超过 50 万个基因组拷贝,展现出前所未有的基因组多倍体特征。该菌将基因组 DNA 和核糖体包装入靠近质膜的众多膜囊中,形成独特的细胞器结构,并通过染色体不对称分离形成子细胞。这项研究颠覆了以往对细菌大小的认知,改变了原核生物无细胞器的传统观念。

专家点评:



朱永群 浙江大学求是特聘教授,生命科学研究院资深研究员,国家杰出青年科学基金获得者。主要从事细菌与宿主互作机制研究,在 *Science*、*Cell*、*Molecular Cell*、*Nature Microbiology* 等期刊上发表 20 余篇论文,获得谈家桢生命科学创新奖、中国青年科技奖、药明康德生命科学奖、教育部自然科学一等奖、国家自然

科学基金优秀青年科学基金、英国皇家学会牛顿高级学者等荣誉和资助。

近日揭晓的 *Science* 杂志 2022 年十大科学突破,以“惊人的巨型细菌”为题,介绍了由美国劳伦斯—伯克利国家实验室、法国安的列斯大学以及美国加州大学旧金山分校的科学家们联合发现的一种名为 *Thiomargarita magnifica* 的巨大细菌。

该巨型细菌的发现颠覆了人们对细菌大小的传统认识。微生物通常是肉眼不可见的,比如细菌大小通常大约在 0.5 至 5 微米,需要使用显微镜才能观察到。相对而言,真核细胞比细菌要大很多,通常为 10~200 微米,一些非常大的真核单细胞甚至可达几厘米。在 *Thiomargarita magnifica* (可翻译为巨大硫珠菌) 被发现之前,人们发现最大的单个细胞细菌为同一菌属的纳米比亚硫珠菌 (*Thiomargarita namibiensis*), 它的平均长度为 180 微米,最大长度可达 750 微米,而新发现的 *Thiomargarita magnifica* 的平均长度足足比它大 50 倍,完全肉眼可见。

Thiomargarita magnifica 不仅体积大,而且基因组也异常庞大,突破了人们对原核生物基因组的以往认知。其基因组所含碱基对数为近 12 Mb,编码了高达 11 788 个基因,是原核生物通常基因数(约 3 000 多个基因)的三倍多,目前 *Thiomargarita magnifica* 近一半的基因功能尚不能被注释,有待进一步研究。*Thiomargarita magnifica* 的基因组大小甚至可以跟部分真核细胞基因组相匹敌,比如与同为 12 Mb 的酿酒酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) 的

基因组。*Thiomargarita magnifica* 所含的基因数目大大超过了常用模式真菌构巢曲霉(约含有 9 500 个基因)基因数。

另外 *Thiomargarita magnifica* 还是个独特的基因组多倍体细胞,其细胞每毫米的长度上平均含有 3 万多个基因组拷贝,而全长 2 厘米的细菌内含有超过 50 多万个基因组拷贝。这种多倍体的特性可以允许该菌通过同源重组来平衡基因组拷贝数量,并保证其基因组的保守性。以往发现有些体型大的细菌也常常是基因组多倍体,但一般只有十个到几万个基因组拷贝,而 *Thiomargarita magnifica* 基因组拷贝数比之前已知细菌最大基因组拷贝数还要高出至少一个数量级。

Thiomargarita magnifica 的发现还完全改变了细菌无细胞器的概念。像真核细胞一样,*Thiomargarita magnifica* 细胞内具有复杂的含膜细胞器结构。在该菌细胞中央含有巨大的液泡,沿整个细胞长丝连续分布,大约占细胞总体积的 70% 左右,而在靠近细胞质膜附近,形成了一个被命名为 pepin 的膜囊。*Thiomargarita magnifica* 将基因组 DNA 和核糖体包装入这些膜囊中,这些区室化的膜囊在质膜附近形成了复杂的内膜网络,*Thiomargarita magnifica* 利用这些膜囊和内膜网络上的 ATP 合成酶产生 ATP 分子提供能量,这一特征跟真核细胞利用线粒体产生 ATP 的过程是非常相似的,完全不同于之前人们所揭示的细菌将基因组 DNA 置于细胞质中、通过细菌质膜上 ATP 合成酶产生 ATP 的情况。

Thiomargarita magnifica 的这些特性打破了原核生物的传统概念,突破之前人们对微生物的认知,可能反映了原核细胞到真核细胞的数十亿年进化的过渡形式。然而 *Thiomargarita magnifica* 近一半的



图 4 长线状的 *Thiomargarita magnifica* 细胞跟硬币大小对比,*Thiomargarita magnifica* 的平均长度可达厘米,挑战了细菌的传统概念(图片来源:Science 官网)

基因功能有待阐释,调节和稳定巨量的基因组拷贝数的机制也不清楚。Thiomargarita magnifica 周围没有附生细菌,其基因组有 25.9% 的序列属于生物合成基因簇,编码了数十种模块化非核糖体肽合成酶和聚酮合酶系统,说明其含有大量的次级代谢途径,可用于挖掘新型抗生素或活性化合物。

我国在超大细菌方面的研究非常少,在全新菌株鉴定和研究上的重要成果也不多。跟国际同行相比,我国在新型菌株以及关键功能性菌株方面明显缺乏核心竞争力,相关的基础研究有待加强。我国国土辽阔,环境资源丰富,生物遗传背景极为多样,为我们发现新型细菌创造了很好的基础和优势。期待在不久的将来,中国科学家们在此方向取得重要突破。

5 200 万年前环境 DNA 重现古老生态系统

一般来说,DNA 的保存期限为 100 万年左右,因为更早的 DNA 中,遗传物质严重降解。2022 年,科学家们在北极的沙漠冻土中,成功提取到了至少 200 万年前的 DNA 片段。而通过这些 DNA 片段,科学家们还原出了非常与众不同的生态系统,其中有驯鹿、野兔甚至乳齿象。此前很难有人会想到,这种已经灭绝的大象近亲的活动范围,会延伸到如此北部的地方。

专家点评:



付巧妹 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所研究员、分子古生物学实验室主任、国家杰出青年科学基金获得者、国家重点研发计划首席科学家、发展中国家科学院(TWAS)青年通讯院士、美国霍华德·休斯医学研究所(HHMI)国际青年学者。主要从事演化遗传与群体遗传学研究,在古 DNA 探索人类起源与演化问题上取得一系列突破性成果,如破译东亚、世界最早现代人基因组等,在 *Nature*、*Cell*、*Science* 等国际期刊发表学术论文 60 余篇(包括 ESI 高被引论文 12 篇),获国家发明专利授权 2 项。曾被 *Nature* 评为“中国十大科学之星”之一,获中国青年·五四奖章、中国青年科技奖—特别奖、陈嘉庚青年科学奖—生命科学奖、首届科学探索奖等。

最近,哥本哈根大学埃斯克·维勒斯列夫(Eske Willerslev)团队与合作者通过提取 200 万年前冻土里的古 DNA,重建格陵兰岛北部更新世早期的森林生态系统,入选 *Science* 杂志“2022 年度十大科学突破”。这项研究用迄今最古老的环境 DNA 绘制出

现存生态系统所无法类比的远古生态景观和多样化物种世界,不仅刷新了古 DNA 研究的时间上限,显示出环境古 DNA 追溯远古生物群落演化的强大威力,而且为现代物种应对未来气候环境变化的适应性研究提供了重要线索。

环境古 DNA 是指从冰川、冻土、湖泊沉积物、泥炭沉积物、遗址文化层、牙结石、粪便化石等古环境样品中提取得到的混合有多物种的古 DNA。早在 20 世纪 90 年代,科学家们已经开始利用最新的分子生物学技术提取测序古环境样品中的动植物(包括人类)与微生物 DNA。2003 年,维勒斯列夫等从西伯利亚冻土和新西兰洞穴沉积物中提取到许多已灭绝的哺乳动物和鸟类的 DNA 片段,首次证实环境古 DNA 重现远古生态系统、揭示灭绝物种生存与演化历史的广泛可能。二十多年来,国内外古遗传学家们不断探索开发和利用更高效的提取和富集技术,从世界不同遗址的古环境样品获得遗传信息更丰富、更多样化的古 DNA。比如维勒斯列夫团队相继从格陵兰岛、阿拉斯加内陆育空河岸、墨西哥北部洞穴等地近万年至百万年前的沉积物里获得许多灭绝动植物的谱系类型与时空分布信息;德国斯万特·帕博团队创新开发沉积物古 DNA 杂交捕获方法从西伯利亚和欧洲多处洞穴沉积物里捕获尼安德特人古人类 DNA,我们实验室团队从青藏高原白石崖溶洞晚更新世沉积物里获得东亚首例丹尼索瓦人 DNA 等,揭示灭绝古人类的种群多样性及迁徙分化历史。这一系列研究不断突破环境古 DNA 研究的时空尺度和研究深度,为 2022 年的突破性工作奠定了重要的理论和技术基础,为探秘过去的地球生态景观与多样性物种的演化历史打开全新的窗口。

DNA 究竟能保存多久?这是古遗传学领域尤其关注的问题。此前科学家根据 DNA 的半衰期推算,在如冻土之类的理想条件下,DNA 理论上可以



图 5 冻土古 DNA 重现 200 万年前格陵兰岛上一个独特的动植物群落(图片来源:Science 官网)

存活 100 万年。然而,瑞典洛夫·达伦等在 2021 年西伯利亚冻土中的 120 万年前猛犸象白齿里成功提取 DNA,首次突破古 DNA 研究的百万年极限;维勒斯列夫等 2022 年再发表从北极地区 200 万年前冻土里提取的动植物与微生物 DNA,得以再次跨越 200 万年的门槛,为我们开启了追溯远古时代地球与生命历史的新篇章。

这一篇章极具开创性意义,不仅在于它为我们深度观察过去生物的遗传多样性,细节性揭示灭绝生物群落的分布、演化与适应提供了新的视角,而且在于它所揭示的生态景观重塑了我们对古老环境与物种相互作用的认识,为我们预测当前全球变暖对现代物种可能带来的影响提供帮助。结合气候记录与古 DNA 证据,研究表明 200 万年前的格陵兰岛北部皮里地区经历了剧烈的气候变化,气温大幅上升,与我们预计将在全球变暖中面临的地球气候非常相似。当时,这原是一片生长着杨树、桦树、雪松,各种北极和北方灌木和草本植物的沿海森林,生活着乳齿象、驯鹿、野兔、旅鼠等动物,区域内还有着温暖的地表水环境,存在着绿藻、珊瑚和大西洋鲎种群等海洋生物,这种北极物种和温带物种并存的独特生态系统已不复存在。但进一步探究这些幸存的物种如何在不同的生态环境中适应性进化,将为我们制定应对未来气候变化的相关策略提供启示和借鉴。此外,乳齿象 DNA 的发现亦为我们带来新的认识,此前化石记录表明这种已灭绝的远古动物活动范围因间冰期的气候变化,从中美洲的亚热带北迁至阿拉斯加,而环境古 DNA 研究弥补了化石的缺憾,为乳齿象向更北部格陵兰岛的迁徙扩张提供了新的证据。

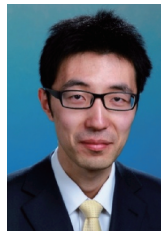
这项研究无疑为环境古 DNA 研究树立了新的灯塔,让我们期待未来有更古老、更丰富生物物种的 DNA 被发现,用以揭示地球上各种生命形式起源与演化的更多谜团,朝着更久远的历史继续探索。

6 更易于耕种的多年生稻

世界上主要的粮食作物——水稻、小麦、玉米,都是一年生作物,在每次收获后都必须重新种植。这对农民来说是繁重的劳作,还可能导致土壤侵蚀等环境问题。多年生作物可以减轻这些负担,但培育足够长寿和高产的作物一直是一个巨大挑战。该研究详细报道了胡凤益团队 20 多年来通过种间远缘杂交创制多年生稻的研究成果。基于亚洲栽

培稻与长雄野生稻种间杂交,研究团队成功创制了多年生水稻,培育了系列多年生稻品系,审定了 3 个多年生稻品种,在全球多年生粮食作物育种领域具有里程碑意义。多年生稻品种“PR23”连续种植 4 年,每年收获 2 季,平均每季产量为 6.8 吨/公顷,与一年生稻产量(6.7 吨/公顷)相当。目前该品种正在快速推广,2021 年,中国南方种植了 1.5 万公顷,相比 2020 年增长了四倍。PR23 和类似品种也正在非洲进行试验。

专家点评:



黄学辉 上海师范大学生命科学学院教授、博士生导师,国家杰出青年科学基金获得者。主要从事水稻遗传学研究和生物信息学技术开发,以通讯作者在 *Nature*、*Cell*、*Nature Genetics* 等期刊发表学术文章多篇。获得国家自然科学奖一等奖、张海银种业促进一等奖等奖项。



魏鑫 上海师范大学生命科学学院教授、博士生导师,国家优秀青年科学基金获得者。主要从事作物遗传学研究和品种培育工作,以第一作者在 *Nature Genetics*、*Nature Communications* 等期刊发表学术文章多篇。育成作物新品种 3 个并推广应用,获得湖北省科技进步奖一等奖 1 项。

水稻是人类重要的粮食作物,据估计全球水稻种植面积目前已达 24 亿亩,养活了近一半的世界人口。《荀子》一书中写道“春耕、夏耘、秋收、冬藏,四者不失时,故五谷不绝,而百姓有余食也”。水稻成熟收获之后,植株枯萎还田,到来年春天还需从头耕种。人们就一直在设想,能不能像种果树那样,水稻播种一次后可多次收获,这样就无需每年重复播种育秧、耕田移栽,可省去很多农业劳作环节,节省人力物力。

道法自然,这种能连续生活多年、多次开花结实的多年生特性其实在水稻的近亲中就广泛存在。栽培水稻所在的稻属有二十多种野生稻,其中很多都具有多年生的特性。真正的难点在于如何把野生稻中的多年生特性导入到栽培稻中。为了解决这个难题,我国云南大学胡凤益团队二十余年一直在做着艰辛探索。

难点之一是供体的选择。利用普通野生稻的匍匐茎和长雄野生稻的地下茎等方式都有可能实现多年生特性。然而,匍匐茎对冬季的低温和干旱敏感,通过反复试错,证明地下茎才是切实可行的方式。

因此,胡凤益团队选用了长雄野生稻和栽培稻进行杂交,将长雄野生稻通过地下茎进行无性繁殖的特性导入栽培稻中。

另一个难点是需要反复杂交、回交过程中既维持栽培稻高产、优质的特点又完整添加地下茎发育的特性。整个选育过程涉及多个世代大量中间材料的选择,单纯依靠表型筛选容易产生误判。胡凤益团队鉴定出了控制地下茎发育的遗传位点,利用这些位点上的分子标记进行辅助选择,不断地用分子标记去跟踪,保证了多年生特性的稳定遗传,同时还提高了后代品系的选育效率。

克服了一个又一个困难,胡凤益团队最终取得了突破性的进展,培育出了单次播种后可越冬、免耕、能连续收获多次的多年生稻。规模化试种后,多年生稻取得了不俗的成绩。其中的一个品种“多年生稻 23”于 2022 年 9 月被国家农业农村部指定为全国推广新品种,预计将进一步扩大推广面积。

接下来,科学家有望通过图位克隆等方法发掘到长雄野生稻中地下茎发育的关键基因,利用分子育种将多年生特性精准导入到更多的栽培稻品种中。此外,目前的多年生稻遇到连续 5 天低于 4℃ 的低温天气时,再生性会受到显著的影响,限制了多年生稻在华中、华东等水稻种植区的推广,提高耐寒性将是多年生稻研究的重要课题。幸运的是,野生稻中也发现了强耐寒性的种质资源。例如,位于江西东乡和湖南茶陵等地区的普通野生稻,可以在 -9℃ 的低温下安全过冬,具有很强的耐寒性。如果将这些野生稻的耐寒基因资源导入多年生稻,有望提高其耐寒性。

多年生稻的成功培育也是半个世纪以来中国科学家在植物遗传育种领域取得的研究成果的一个缩影。相信在不久的将来,中国科学家在植物重要性状的分子解析和突破性品种的培育上还会取得更多原创性的发现和成果,为探索生物学基本科学问题和解决粮食问题做出更大贡献。

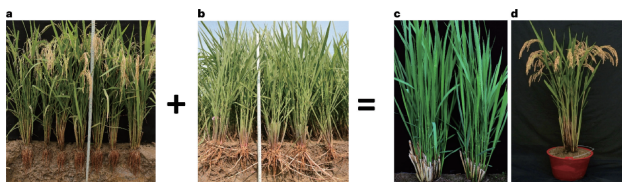


图 6 通过一年生的栽培稻(a)和多年生的长雄野生稻(b)的杂交选育出多年生的栽培稻(c, d)(图片来源: <https://www.nature.com/articles/s41893-022-00997-3>)

7 人类首次行星防御实验成功

科幻片中的剧情,在 2022 年成为了现实。2022 年 9 月 26 日,由 NASA 发射的 DART(戏称“打他”)航天器,成功撞击距地 1 100 万千米的一颗小行星,并使其偏离轨道。这意味着,如果未来发现近地小行星撞击地球的威胁,人类将有可能有应对之策。毕竟之前有研究表明,6 500 万年前“希克苏鲁伯小行星撞击”事件直接导致了恐龙的灭绝。尽管这次撞击是一次性任务,但是它为科学家们提供了关键数据参考,能为以后设计任何撞击小行星任务动量模型提供数据支撑。

专家点评:



季江徽 中国科学院紫金山天文台研究员、博士生导师。现任中国科学院行星科学重点实验室主任、中国天文学会行星专业委员会主任。研究方向为太阳系小天体、系外行星与原行星盘,发表论文 100 余篇。研究成果多次入选年度十大天文科技进展,获得江苏省科学技术奖二等奖(第一完成人)。现任 *Scientific Reports*、*Research in Astronomy and Astrophysics*、《天文学报》等期刊编委。

2022 年 9 月 26 日,美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)的“双小行星重定向测试”(Double Asteroid Redirection Test, DART)探测器撞击上了迪莫弗斯(Dimorphos)小行星,入选了 *Science* 杂志 2022 年“十大科学突破”,标志着人类首次行星防御实验成功。

双小行星系统 Didymos(编号 65 803)距离地球 1 100 万千米,主星 Didymos 直径为 780 米;卫星迪莫弗斯的直径为 160 米,是一个近球形的碎石堆。DART 以 6.2 千米/秒的速度撞向迪莫弗斯,撞击产生的喷射流由于反冲作用转移了部分动量,使其沿轨道方向的速度瞬时减小了 2.70 ± 0.10 毫米/秒,导致两颗小行星相互绕转的周期缩短了 32 分钟,这证明了撞击对于偏转小行星轨道是极为有效的。

DART 利用搭载的光学导航相机和智能导航技术,传回了迪莫弗斯的图像并确定了撞击点(图 7)。詹姆斯·韦伯太空望远镜(James Webb Space Telescope, JWST)和哈勃望远镜(Hubble Space Telescope, HST)也分别在红外和可见光波段对撞击进行观测,研究碰撞后小行星的喷射物质(图 8、图 9)。

近地天体对地球环境及其生物圈带来显著影响,其中直径大于 140 米且离地球轨道小于 750 万

千米的潜在威胁天体 (Potentially Hazardous Asteroids, PHA) 对地球有可能构成直接威胁。迄今,天文学家发现了 31 637 颗近地天体,约 8% 为 PHA。据估计,已发现的 PHA 的总数尚不足理论

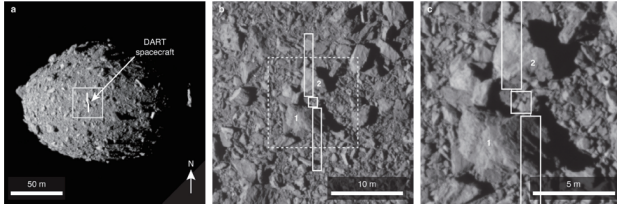


图 7 DART 调整轨道和指向以锁定撞击点^[1]

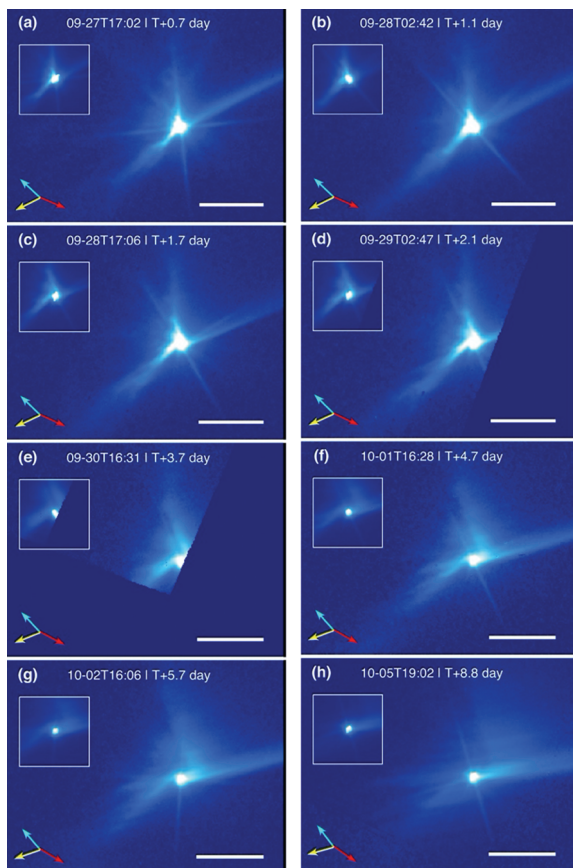


图 8 HST 观测的碰撞后第 0.7 天到第 8.8 天喷射物质的演变^[2]

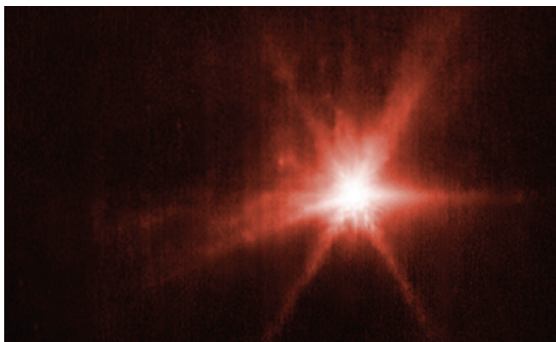


图 9 JWST 在红外波段观测的撞击尾迹 (NASA/ESA/CSA)

估计数量的三分之一,直径大于 40 米的近地天体的发现数量仅占 3%。未来 100 年内,仍有 17 颗 PHA 没有排除与地球相撞的危险,若改变它们的轨道,目前最有效的技术手段是利用航天器直接撞击小行星。

DART 是第一个使用人造探测器在地球以外撞击近地小行星的空间任务,最终改变小行星的运行轨道。这次实验证明了 DART 技术的可行性,若在未来发现其他对地球构成威胁的近地小行星,使用这一轨道偏转的方法可消除其带来的威胁,进而拯救整个人类文明。

小行星是太阳系的“活化石”,蕴含了地球生命和水体起源的重要线索,也蕴藏着“婴儿期”太阳系的关键信息,具有科学研究价值。同时,探测发现和研究近地天体的组分、结构及其演化是天文学前沿课题。小行星防御关乎人类共同命运,发现并监测近地天体体现了人类对其所赖以生存的地球周边太空环境的密切关注,探测和研究近地天体是探索和平利用太空的重大需求。因此,建立全球天地一体化小行星监测预警网与小行星防御系统非常必要。

中国科学院紫金山天文台的近地天体望远镜是国内发现近地天体的主力设备,也是中国加入国际小行星预警网开展数据共享的唯一主干设备,目前已发现近地天体 37 颗。2023 年 4 月,中国科技大学—紫金山天文台共同研制的 2.5 米“墨子”望远镜落成,预计将在小行星探测和监测预警作出重要贡献。早在 2012 年,中国“嫦娥二号”探测器近距离 (千米内) 探测具有潜在威胁的近地小行星图塔蒂斯^[3],这是小行星空间探测和防御的有益尝试。2025 年前后将要发射的天问二号探测器和中国空间站工程巡天望远镜亦必将发挥关键作用。

应该看到,我国在该领域与国际先进水平仍存在较大差距。首先,我国近地天体监测预警观测能力薄弱,具有大范围搜索能力的设备口径小、数量少、站址单一、探测能力有限,观测设备能力亟待提升。其次,我国尚未建立建制化的近地天体监测预警体系,在国际组织中交流和数据共享过程中处于较低地位,急需加强国际合作。第三,缺少国家近地天体科学数据与研究中心,需合理布局学科方向,加强基础科学研究与人才队伍建设。

国家航天局宣布,我国将着手组建近地小行星防御系统,完善建立地基天基对小行星的监测预警系统。在“十四五”末期,我国拟实施一项地外小行星防御任务,计划对某一颗有威胁的小尺寸的小行星,既进行抵近观测,又实施就近撞击,改变其轨道

进行技术实验,为小天体防御全球科技治理贡献中国智慧、中国方案和中国力量。

8 RSV 疫苗取得突破进展

呼吸道合胞病毒(RSV)通常只会引起轻微类似感冒的症状,但在婴儿中,这种病毒会引发肺部的小气道炎症,在老年人中,它会恶化现有的肺部和心脏疾病。50多年前,一种预防RSV的实验性候选疫苗在临床试验中导致两名儿童死亡,导致了80%的接种者住院,此后,RSV疫苗的研发中断了数十年。之后发现了其中的关键原因:由整个RSV病毒的化学灭活版本制成的疫苗只能引发相对较弱的抗体,不仅不能阻止病毒感染,还会帮助RSV破坏呼吸道。美国国家过敏和传染病研究所的Barney Graham等人在2013年取得的一项关键进展,使得新的RSV疫苗能够避免上述问题。基于这一发现,葛兰素史克(GSK)和辉瑞开发的两种RSV疫苗在大规模临床试验中证实,它们可以安全地保护受RSV影响最严重的两个群体:婴儿和老年人,而且都预防了60岁以上人群的严重疾病,没有引起严重副作用。这些RSV候选疫苗可能会在明年获得世界各地监管机构的批准。

专家点评:



夏宁邵 教授,厦门大学国家传染病诊断试剂与疫苗工程技术研究中心主任,传染病疫苗研发全国重点实验室主任。入选中国医学科学院学部委员,国家杰出青年科学基金获得者,长江特聘学者。以通讯或共通讯作者在 *The New England Journal of Medicine*、*The Lancet*、*The Lancet Respiratory Medicine*、*The Lancet Infectious Diseases* 等高水平期刊发表论文 50 余篇,近九年连续入选爱思唯尔中国高被引学者,是首位且两度入选 *Nature Biotechnology* 全球转化研究者 TOP 20 榜单的中国内地学者(2016、2020),以第一完成人获国家技术发明奖二等奖、国家科技进步奖二等奖、全国创新争先奖、中国专利金奖、全国抗击新冠肺炎疫情先进集体、求是杰出科技成就奖集体奖等。

夏宁邵 教授,厦门大学国家传染病诊断试剂与疫苗工程技术研究中心主任,传染病疫苗研发全国重点实验室主任。入选中国医学科学院学部委员,国家杰出青年科学基金获得者,长江特聘学者。以通讯或共通讯作者在 *The New England Journal of Medicine*、*The Lancet*、*The Lancet Respiratory Medicine*、*The Lancet Infectious Diseases* 等高水平期刊发表论文 50 余篇,近九年连续入选爱思唯尔中国高被引学者,是首位且两度入选 *Nature Biotechnology* 全球转化研究者 TOP 20 榜单的中国内地学者(2016、2020),以第一完成人获国家技术发明奖二等奖、国家科技进步奖二等奖、全国创新争先奖、中国专利金奖、全国抗击新冠肺炎疫情先进集体、求是杰出科技成就奖集体奖等。



郑子峥 副教授,厦门大学公共卫生学院实验医学系副主任,国家传染病诊断试剂与疫苗工程技术研究中心病毒与宿主相互作用研究方向负责人。主要从事病毒的感染机制与诊治靶点研究。在 *Science*、*Nature Communications*、*PNAS*、*Cell Reports* 等高水平期刊发表 SCI 论文 30 余篇,合计引用 1 200 余次,获得国内外发明专利授权 10 余项。

发明专利授权 10 余项。

2022年是呼吸道合胞病毒(RSV)疫苗领域迎来突破之年。辉瑞(Pfizer)、葛兰素史克(GSK)以及莫得纳(Moderna)公司先后完成并且披露了III期临床试验的积极性数据,疫苗取得的突破性进展成功入选 *Science* 2022年“十大科学突破”。

RSV病毒是一种常见的儿童下呼吸道感染病原体,是导致全球婴儿入院治疗的首要致病因素。据统计,全球每年约有10.2万儿童死于RSV感染。同时RSV也会导致老年人和免疫系统受损的成年人严重的健康问题。长期以来,研发RSV疫苗一直是医学界的追求,但由于病毒本身的复杂性,研究进展缓慢。20世纪60年代,第一代RSV疫苗采用了全病毒灭活的策略,称为FI-RSV。该疫苗在婴幼儿接种后并没有产生保护性应答,反而使得接种儿童在随后的初次感染中产生了增强的呼吸道疾病(Enhanced Respiratory Disease, ERD)并导致两名婴儿死亡。这使得RSV疫苗的研发陷入停滞,之后30多年的时间里,RSV疫苗的研发工作一直在谨慎推动中,但2021年前几乎所有进入临床试验阶段的疫苗均以失败告终。

RSV的膜表面蛋白F是近年来RSV疫苗研发的主要靶蛋白。该蛋白作为I类膜蛋白在介导病毒膜融合的过程中会发生剧烈的构象转变,从Pre-F构象转变成Post-F构象,从而完成病毒的早期感染过程。由于Pre-F存在结构不稳定性,研究者长期将Post-F作为F蛋白的主要构象并应用于疫苗研究中,这也最终导致了疫苗的有效性不足。2013年,厦门大学与美国国立卫生研究院(National Institutes of Health, NIH)合作,鉴定出一株可稳固Pre-F的高中和单抗,从而解析Pre-F的分子结构,并应用于疫苗免疫原设计中,获得了稳定Pre-F构



图10 RSV疫苗可以帮助婴儿远离重症监护室(图片来源:Science官网)

象的 F 蛋白——DS-Cav1, 该蛋白在小鼠和食蟹猕猴上诱导出了前所未有的血清中和应答。该成果也入选了 *Science* 2013 年“十大科学突破”, 标志着 RSV 疫苗研究从经验主义转向理性设计, 拉开了结构指导疫苗设计的序幕。

截至 2023 年初, 共有六款候选疫苗正在进行 III 期临床试验, 其中五款采用了稳固的 Pre-F 形式。Pfizer、GSK 以及 Moderna 公司率先披露的 III 期临床试验的数据中, 三种疫苗均展现了优于以往的保护效力。GSK 的疫苗应用增强 T 细胞应答型佐剂加强 RSV A2 的 Pre-F 蛋白免疫, 在 60 岁以上人群中针对 RSV 相关下呼吸道疾病的保护率超过 82%。Pfizer 采用了无佐剂形式的 Pre-F 蛋白双价疫苗策略, 在针对 60 岁以上老年人和孕妇的临床试验中都得到了较好的数据, 孕妇接种该疫苗后通过母传抗体对 90 天内新生儿 RSV 相关严重下呼吸道疾病的保护率可达 81%, 6 个月内的保护率仍有 69%。Moderna 公司采用了与其新冠疫苗相同的 mRNA 疫苗技术, 在针对 60 岁以上老年人的 III 期临床试验中的相关下呼吸道保护率达到了 84%。

这一系列令人振奋的结果为缓解 RSV 疾病负担带来了希望, 也标志着疫苗研发进入了精确抗原设计时代, 但 RSV 的疫苗研究仍然面临一系列问题。首先现有临床数据只评估了一个 RSV 流行季的保护性, 疫苗的跨季保护效果仍然未知。部分前期研究结果依然提示, 即使由 Pre-F 所诱导的高效中和抗体, 依然存在随着滴度降低导致 ERD 的相关风险。GSK 和 Pfizer 在 III 期临床中分别设计了连续 2~3 个 RSV 流行季的持续监测, 其监测结果值得关注。其次疫苗安全性仍有待考证, GSK 针对孕妇开发的无佐剂形式 RSV PreF3 疫苗因为安全问题, III 期临床试验提前停止。目前仍然不清楚造成安全性问题的原因, 还需要更进一步的研究分析。此外, 最重要的是, 目前还没有针对儿童的疫苗进入临床 III 期, 而未感染过 RSV 的新生儿才是对疫苗有最大需求的人群, 同时该人群也是对 RSV 疫苗的最大挑战, 他们不成熟的免疫系统以及至今不能完全解释、避免的 ERD 问题依然是 RSV 疫苗研发中的重要不确定因素。因此, RSV 疫苗的研发依然任重道远。

9 创造性人工智能的快速发展

2022 年 AI 圈最大的趋势, 非生成式 AI (AI Generated Content, AIGC) 莫属。它意味着, AI 进

军到了此前被视为“人类独占”的领域, 如艺术表达、科学发现。最初 AI 这种渗透是缓慢的, 但在今年逐渐形成了一场抢地战。Dall-E 2 先声夺人, 以逼真、契合的效果, 掀起了文本—图像模型的新趋势。紧接着 Stable Diffusion 在更大众层面掀起狂潮——当然也引发艺术圈争议。但用扩散模型生成精美的图像视频, 已经成为了今年科技巨头都在冲的领域, Meta、Google 都在接二连三发布相关模型。以及在科学探索、数学、编程方面, AI 也在大举阔步。2021, AlphaFold2 就获得了 *Science* 年度最大突破。2022 年, DeepMind 相继发布了 AlphaTensor、AlphaCode。其中, AlphaTensor 打破矩阵乘法计算 50 年记录, 可用于计算机图形学、物理模拟和机器学习。AlphaCode 则在编程比赛中, 成绩超过了一半人类选手。尽管 AIGC 目前还尚存许多争论, 但毋庸置疑的是, 它能开拓人类的创造力。这种现象, 或许就像过去人类接受织布机、照相机等发明的过程一样。

专家点评:



俞扬 南京大学人工智能学院教授。主要从事机器学习、强化学习的研究工作。研究工作获 4 项国际论文奖励和 3 项国际算法竞赛冠军, 入选 IEEE“国际人工智能十大新星”。

2022 年, *Science* 将“创造性人工智能”选为十大科学突破之一。与其他科学突破相比, 这个题目不是单一的发明, 而是人工智能技术在“创造性”领域的应用。代表性系统包括 OpenAI 的 DALL-E、MidJourney 网站和开源的 Stable Diffusion 系统, 这些系统可以根据人类用户提供的文本描述生成图像。DeepMind 的 AlphaCode 和微软的 Copilot 可



图 11 MidJourney 生成的“2123 年南京俯瞰图”

以根据文本描述生成代码,而 AlphaFold 支持新蛋白质结构的生成。DeepMind 的 AlphaTensor 则是发现了更快的矩阵乘法。

利用人工智能技术辅助人类产生创造性成果这一方向有长期的研究。经典的应用主要基于搜索算法,以突破人类思维的局限,找到在人类定义的解空间中更好的解决方案。例如,美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)在 2006 年使用进化算法优化天线,获得了与人类设计不同的紧凑而高效的 ST5 天线。在低维空间搜索未知的更好解已相对成熟,AlphaTensor 发现更快的矩阵乘法即属于此类研究。然而,在高维度空间对象(如文本、代码和图像)中“创作”还需要在高维度空间中评估所创建对象的真实性,需要克服准确计算和高维度空间概率采样的困难。

生成对抗网络(Generative Adversarial Network, GAN)于 2014 年问世,引入了判别模型来区分真实图像和生成图像,突破了建模高维度空间概率分布的难题。GAN 可以学到从随机数到逼真图像的映射函数,使得在随机数空间中采样可生成不同的图像。然而,对抗学习过程容易不稳定。2020 年出现的扩散模型从随机数逐渐还原出目标图像,极大地提高了训练的稳定性,成为图像生成的主要模型。2017 年,Google 提出了用于自然语言理解任务的注意力网络 Transformer,对于顺序文本数据具有出色的建模能力。2019 年左右,Google、OpenAI 等组织开始扩大模型规模,不断将训练数据和模型规模推向极限。2022 年,这些模型的输出产生了惊人的效果,OpenAI 基于 Transformer 的 ChatGPT 模型具有流畅的问答能力和广泛的知识,而 DALL-E 和 MidJourney 可以从语言中生成逼真

的图像。

创造性人工智能技术的发展可以在艺术创作、文化遗产、教育等领域发挥积极作用。它极大地提高了高质量作品的生产效率,帮助人类在各个领域扩展创造力,促进技术创新和进步。在这方面,中国的多所高校和研究所正在进行相关领域的基础研究,产品领域也有百度的“文心一言”等模型。随着算法、计算能力和数据量的不断进步,预计在不久的将来将出现更多、更好的创造性人工智能产品。

可以看出,“创造性”人工智能技术并非像人类一样产生创新能力,而是辅助人类在定义的空间中进行探索。作为辅助工具,当前生成模型的可控性不足。为了生成符合预期的图像,用户通常需要反复调整他们的描述。如何更好地控制人工智能模型的创造性输出是未来的一个重要研究问题。解决这个问题将使人工智能辅助创造力的能力和效率提升到一个新的水平。在应用层面,保障训练数据(原创图像、文章、代码)的版权、抑制虚假信息的生成、消除生成结果中的歧视和刻板印象,将使“创造性”人工智能技术被广泛的接受和应用。

参 考 文 献

- [1] Daly RT, Ernst CM, Barnouin OS, et al. Successful kinetic impact into an asteroid for planetary defense. *Nature*, 2023, doi:10.1038/s41586-023-05810-5.
- [2] Li JY, Hirabayashi M, Farnham TL, et al. Ejecta from the DART-produced active asteroid dimorphos. *Nature*, 2023, doi:10.1038/s41586-023-05811-4.
- [3] Huang JC, Ji JH, Ye PJ, et al. The ginger-shaped asteroid 4179 toutatis: new observations from a successful flyby of Chang'e-2. *Scientific Reports*, 2013, 3(1): 3411.

A Commentary of 2022 *Science's* Top10 Scientific Breakthroughs of the Year

(责任编辑 崔国增 张强)