

· 成果快报 ·

2021 年度中国科学十大进展

2022年2月28日,科学技术部高技术研究发展中心(基础研究管理中心)发布2021年度中国科学十大进展:火星探测任务天问一号探测器成功着陆火星;中国空间站天和核心舱成功发射,神舟十二号、十三号载人飞船成功发射并与天和核心舱成功完成对接;从二氧化碳到淀粉的人工合成;嫦娥五号月球样品揭示月球演化奥秘;揭示SARS-CoV-2逃逸抗病毒药物机制;FAST捕获世界最大快速射电暴样本;实现高性能纤维锂离子电池规模化制备;可编程二维62比特超导处理器“祖冲之号”的量子行走;自供电软机器人成功挑战马里亚纳海沟;揭示鸟类迁徙路线成因和长距离迁徙关键基因等10项重大科学进展入选。

“中国科学十大进展”遴选活动由科学技术部高技术研究发展中心(基础研究管理中心)牵头举办,至今已成功举办17届,旨在宣传我国重大基础研究科学进展,激励广大科技工作者的科学热情和奉献精神,开展基础研究科学普及,促进公众理解、关心和支持基础研究,在全社会营造良好的科学氛围。

中国科学十大进展遴选程序分为推荐、初选和终选3个环节。2021年度,《中国基础科学》《科技导报》《中国科学院院刊》《中国科学基金》和《科学通报》等5家编辑部共推荐了310项科学研究进展,所推荐的科学进展皆是在2020年12月1日至2021年11月30日期间正式发表或完成的研究成果。

2021年12月,科学技术部高技术研究发展中心(基础研究管理中心)组织召开了2021年度中国科学十大进展初选会议,组织专家从推荐的310项科学进展中遴选出30项进展进入终选。终选邀请中国科学院院士、中国工程院院士、国家重点实验室主任、国家重点研发计划有关重点专项总体专家组成员和项目负责人、原973计划顾问组和咨询组专家、及项目首席科学家等3500余位知名专家学者对30项候选科学进展进行网上投票,得票数排名前10位的入选“2021年度中国科学十大进展”。

1 火星探测任务天问一号探测器成功着陆火星

2021年5月15日7时18分,天问一号探测器

成功着陆于火星乌托邦平原南部预选着陆区,我国首次火星探测任务着陆火星取得成功。任务采用了“气动减速—伞降减速—动力减速—着陆缓冲”四级串联减速技术路线,建立了设计迭代改进流程和多学科综合优化方法,提高了系统应对故障工况和进入条件极限拉偏下的安全着陆能力。天问一号探测器着陆火星,是我国首次实现地外行星着陆,迈出了我国星际探测征程的重要一步,实现了从地月系到行星际的跨越,在火星上首次留下中国人的印迹,使我国成为第二个成功着陆火星的国家,是我国航天事业发展的又一具有里程碑意义的进展。



图1 天问一号探测器

2 中国空间站天和核心舱成功发射,神舟十二号、十三号载人飞船成功发射并与天和核心舱成功完成对接

2021年4月29日,中国空间站天和核心舱在海南文昌航天发射场发射升空,准确进入预定轨道,任务取得成功。天和核心舱发射成功,标志着我国空间站建造进入全面实施阶段,为后续任务展开奠定了坚实基础。6月17日,神舟十二号载人飞船发射成功,并与天和核心舱成功完成对接,顺利将聂海胜、刘伯明、汤洪波3位航天员送入太空,这是天和核心舱发射入轨后,首次与载人飞船进行的交会对接。我国的载人航天飞船脱离试验阶段,开始实现太空往返常态化,我国正式进入太空站时代。10月16日,神州十三号载人飞船发射成功,并采用自主快速交会对接模式成功对接于天和核心舱径向端

口,顺利将翟志刚、王亚平、叶光富 3 位航天员送入太空,实现了我国载人飞船在太空的首次径向交会对接。

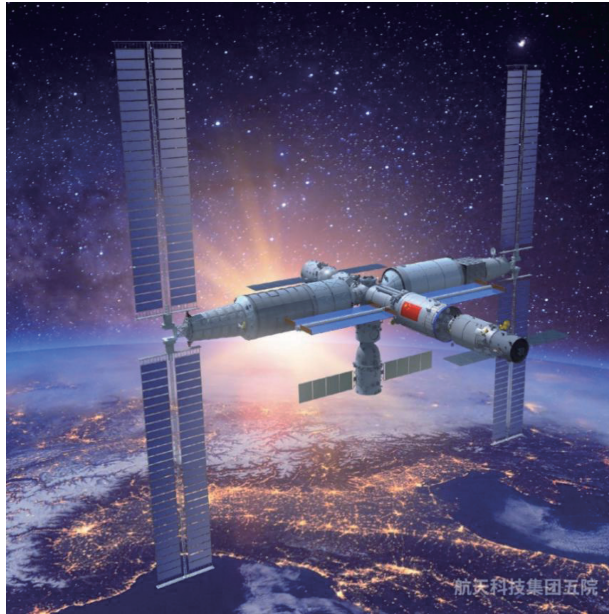


图 2 中国空间站模拟图

3 从二氧化碳到淀粉的人工合成

淀粉是粮食最主要的组分,也是重要的工业原料。中国科学院天津工业生物技术研究所马延和等报道了由 11 步核心反应组成的人工淀粉合成途径 (ASAP),该途径偶联化学催化与生物催化反应,在实验室实现了从二氧化碳和氢气到淀粉分子的人工全合成。通过从头设计二氧化碳到淀粉合成的非自然途径,采用模块化反应适配与蛋白质工程手段,解决了计算机途径热力学匹配、代谢流平衡以及副产

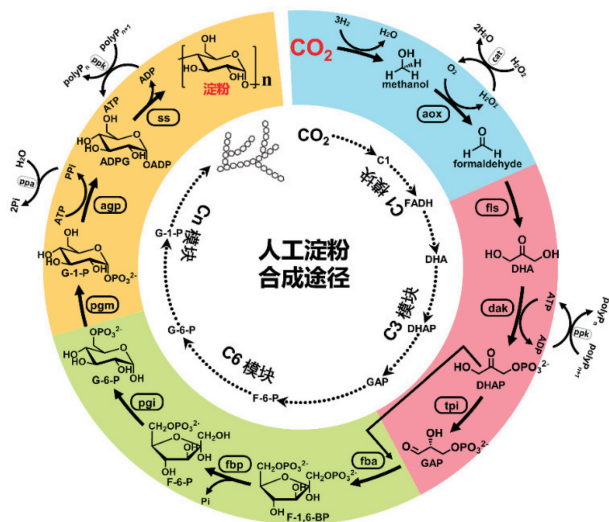


图 3 人工淀粉合成途径

物抑制等问题,克服了人工途径组装与级联反应进化等难题。在氢气驱动下 ASAP 将二氧化碳转化为淀粉分子的速度为每分钟每毫克催化剂 22 nmol 碳单元,比玉米淀粉合成速度快 8.5 倍;ASAP 淀粉合成的理论能量转化效率为 7%,是玉米等农作物的 3.5 倍,并可实现直链和支链淀粉的可控合成。该成果不依赖植物光合作用,实现了二氧化碳到淀粉的人工全合成。

4 嫦娥五号月球样品揭示月球演化奥秘

中国科学院地质与地球物理研究所李献华、杨蔚、胡森、林杨挺和中国科学院国家天文台李春来等利用过去十多年来建立的超高空间分辨率的定年和同位素分析技术,对嫦娥五号月球样品玄武岩进行了精确的年代学、岩石地球化学及岩浆水含量的研究。结果显示,嫦娥五号玄武岩形成于 20.30 ± 0.04 亿年,确证月球的火山活动可以持续到 20 亿年前,比以往月球样品限定的火山活动延长了约 8 亿年。这一结果为撞击坑定年提供了关键锚点,将大幅提高内太阳系星体表面撞击坑定年的精度。研究还揭示嫦娥五号玄武岩的月幔源区并不富含放射性生热元素和水,排除了放射性元素提供热源,或富含水降低熔点两种月幔熔融机制,对未来的月球探测和研究提出了新的方向。

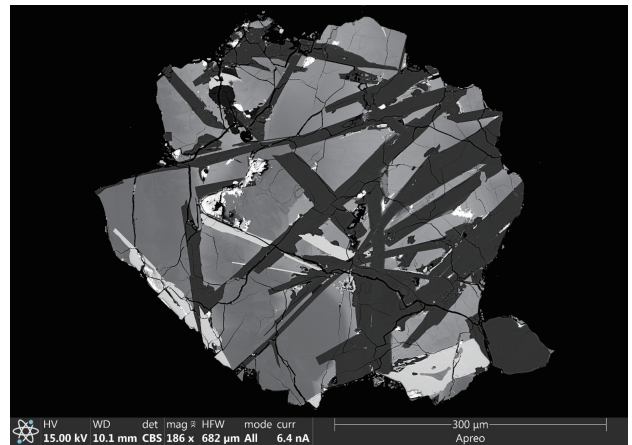


图 4 嫦娥五号月壤样品(玄武岩岩屑)的显微图像

5 揭示 SARS-CoV-2 逃逸抗病毒药物机制

不断出现的新冠病毒突变株对当前已有的疫苗、中和抗体等抗病毒手段提出严峻挑战,亟需发展能有效应对各型突变株的广谱药物。在生命周期中,病毒的一系列转录复制酶组装成“转录复制复合体”超分子机器,负责病毒转录复制的全过程,且在

各型突变株中高度保守,是开发广谱抗病毒药物的核心靶点。清华大学娄智勇、饶子和与上海科技大学高岩等发现并重构了病毒“加帽中间态复合体”、“mRNA 加帽复合体”和“错配校正复合体”,并阐明其工作机制。揭示了新冠病毒转录复制机器的完整组成形式;发现病毒聚合酶的核苷转移酶结构域是

催化 mRNA“加帽”成熟的关键酶,明确了帽结构的合成过程,为发展新型、安全的广谱抗病毒药物提供了全新靶点;发现病毒以“反式回溯”的方式对错配碱基和抗病毒药物进行“剔除”,阐明了瑞德西韦等药物效果不良的分子机制,为优化针对聚合酶的抗病毒药物提供了关键科学依据。

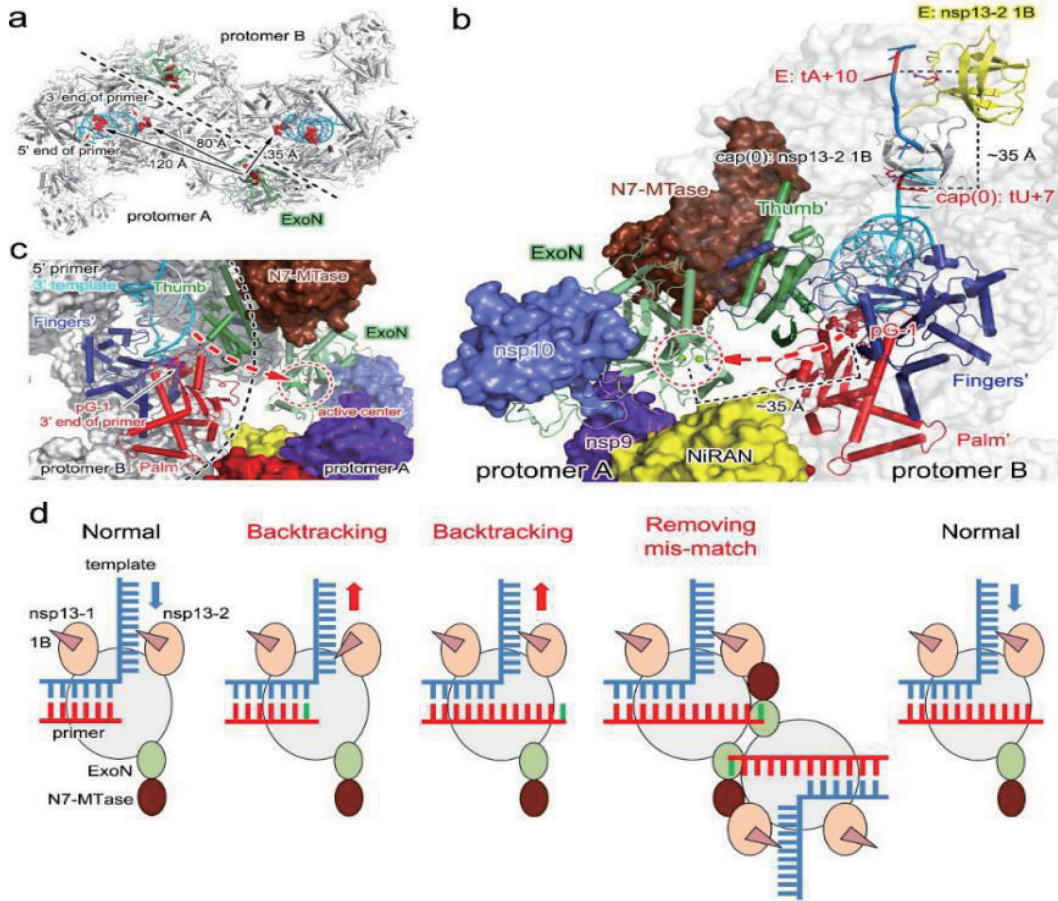


图5 新冠病毒“反式回溯”的复制纠正机制

6 FAST 捕获世界最大快速射电暴样本

快速射电暴(FRB)是无线电波段宇宙最明亮的爆发现象。FRB 121102 是人类所知的第一个重复快速射电暴,中国科学院国家天文台李菂等使用“中国天眼”FAST 成功捕捉到 FRB 121102 的极端活动期,最剧烈时段达到每小时 122 次爆发,累计获取了 1 652 个高信噪比的爆发信号,构成目前最大的 FRB 爆发事件集合。研究发现 FRB 爆发率存在特征能量 $E_0 = 4.8 \times 10^{37}$ erg;探测到其能谱的双峰结构,即低能端接近正则对数,展现快速射电暴重复过程的随机性;高能端接近洛伦兹函数,展现强辐射存在可能的相关过程。FAST 样本排除了 FRB 121102 爆发在 1 ms 至 1 s 之间的周期性或准周期性,严格限

制了重复快速射电暴由单一致密天体起源的可能性。该研究首次展现了 FRB 的完整能谱,深入揭示了 FRB 的基础物理机制。

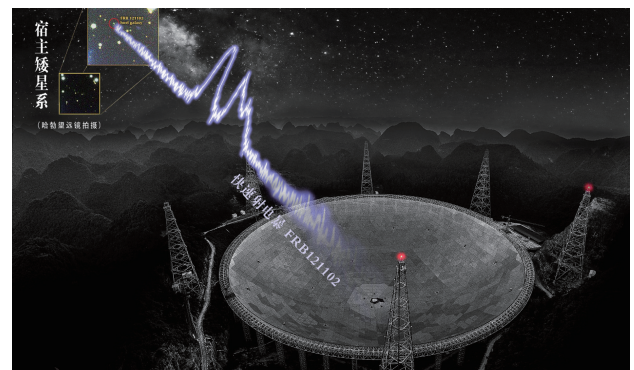


图6 FAST 捕获快速射电暴样品示意图

7 实现高性能纤维锂离子电池规模化制备

如何通过设计新结构(如创建纤维锂离子电池)满足电子产品高度集成化和柔性化发展要求,是锂离子电池领域面临的重大挑战。复旦大学彭慧胜、陈培宁等发现纤维锂离子电池内阻与长度之间独特的双曲余切函数关系,即内阻随长度增加并不增大,反而先下降后趋于稳定。在此理论指导下构建的纤维锂离子电池具有优异且稳定的电化学性能,能量密度较过去提升了近 2 个数量级,弯折 10 万次后容量保持率超过 80%;建立世界上首条纤维锂离子电池生产线,实现了其规模化连续制备;编织集成得到的纤维锂离子电池系统,电化学性能与商业锂离子电池相当,而稳定性和安全性更加优异。

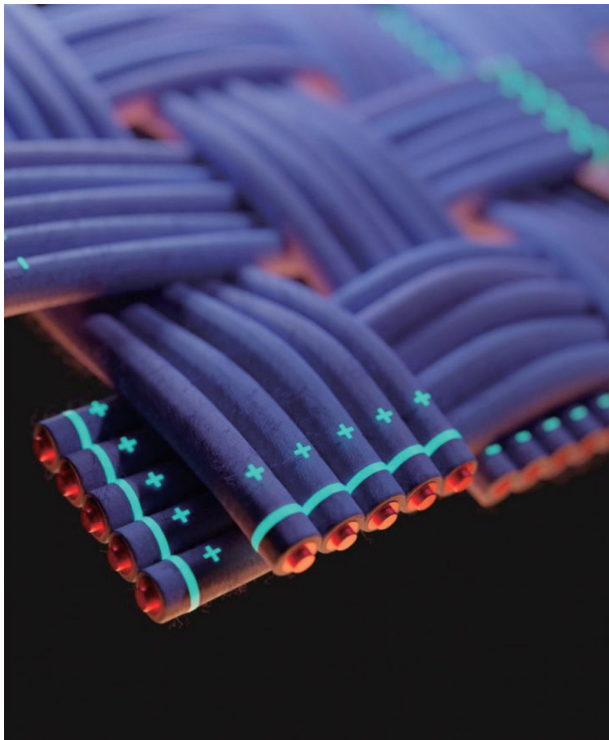


图 7 纤维聚合物锂离子电池的集成组装示意图

8 可编程二维 62 比特超导处理器“祖冲之号”的量子行走

量子行走是经典随机行走的量子力学模拟,是实现量子模拟、量子搜索算法乃至通用量子计算的工具。中国科学技术大学朱晓波、潘建伟等通过研发兼容平面工艺的三维引线技术,实现了量子比特结构从一维向二维的拓展,设计并制作了一个由 62 个比特组成的 8×8 的二维结构超导量子比特阵列,构建了“祖冲之号”量子计算原型机,并通过该装置

演示高保真的单粒子和双粒子连续时间量子行走。利用量子处理器的高可编程性,实现了量子比特激发粒子行走路径的精确调控,在固态量子芯片实现了马赫—曾德尔干涉仪。该工作是世界范围内公开发表的首个比特数超过 60 的超导量子计算领域的成果,验证了对含噪声中等规模量子比特系统的高精度量子调控能力,为研制祖冲之二号、实现“量子计算优越性”奠定了基础。

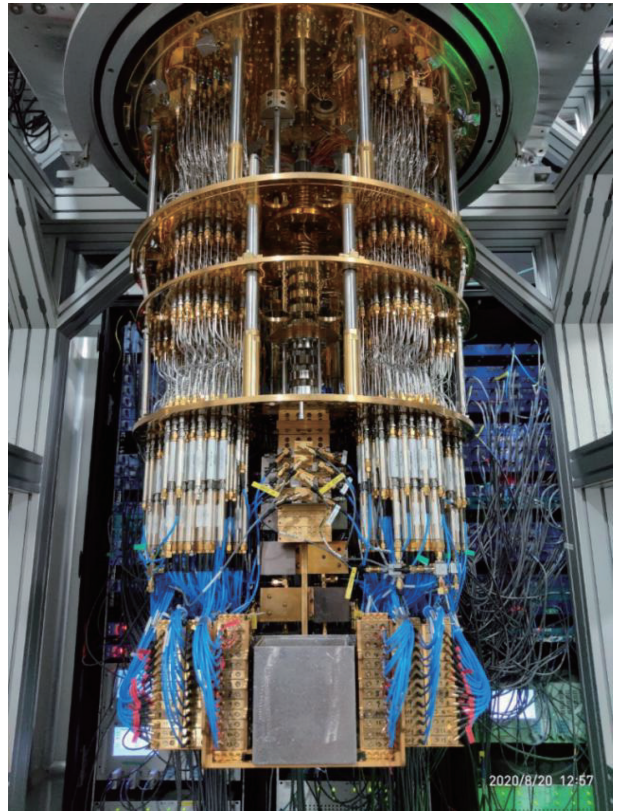


图 8 祖冲之号

9 自供电软机器人成功挑战马里亚纳海沟

深海机器人与装备需要高强度金属耐压外壳或压力补偿系统来保护内部机电系统。浙江大学李铁凤等从深海狮子鱼“头部骨骼分散融合在软组织中”这一生理特性提取仿生灵感,揭示了深海极端压力条件下软机器人功能器件破坏及驱动失效的内在机制;提出了硬质器件分散融入软基体实现内应力调控的方法,以及适应深海低温、高压环境的电驱动人工肌肉融合制造方法;建立了万米深海软机器人的系统构造方法和驱动理论。所研制的自供电软机器人成功挑战马里亚纳海沟,实现了 10 900 米海底深潜和驱动,在南海海平面以下 3 224 米实现深海航行。该研究大幅降低了深海机器人的重量及经济成本,推动了软体机器人在深海工程领域的应用。



图9 软机器人在马里亚纳海沟万米深海驱动实验

10 揭示鸟类迁徙路线成因和长距离迁徙关键基因

“迁徙生物如何发现其迁徙路线?”一直是社会

和学术界广泛关注的议题,也是 *Science* 杂志 125 个最具挑战性科学问题之一。中国科学院动物所詹祥江等历时 12 年,利用卫星追踪数据和基因组信息,建立了一套北极游隼迁徙研究系统,发现游隼主要使用 5 条路线穿越亚欧大陆,西部游隼表现为短距离迁徙,东部为长距离迁徙。在末次冰盛期到全新世的转换过程中,冰川消退所导致的繁殖和越冬地变迁,可能是迁徙路线形成的主要历史原因。研究还发现迁徙距离更长的游隼携带 *ADCY8* 优势等位基因,该基因与长时记忆形成有关,表明长时记忆可能是鸟类长距离迁徙的重要基础。该研究结合遥感卫星追踪、基因组学、神经生物学等研究手段,通过多学科整合分析方法阐明了鸟类迁徙路线变迁成因和遗传基础。

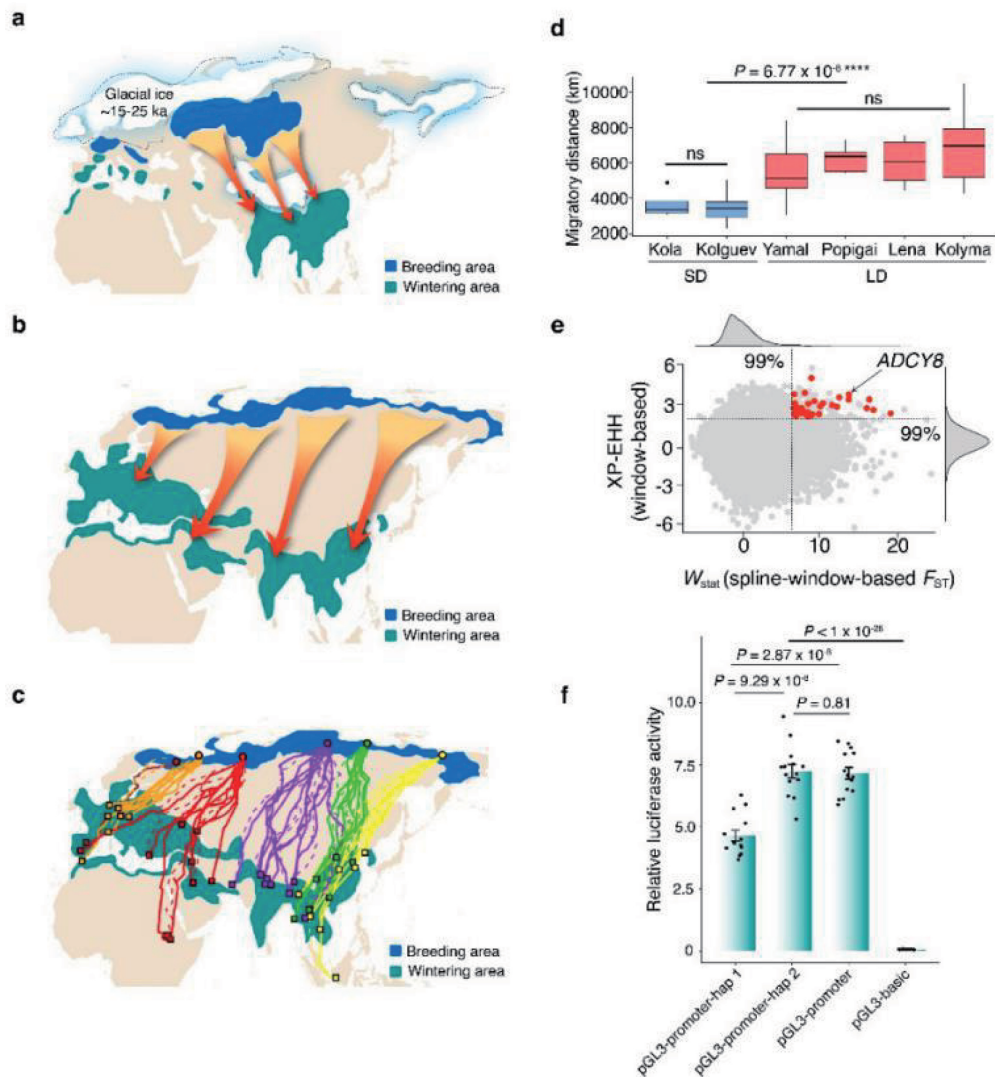


图10 北极游隼迁徙路线成因与长距离迁徙关键基因

(来源 科学技术部高技术研究发展中心(基础研究管理中心))