

2019 年度“中国高等学校十大科技进展” 入选项目介绍

(按申报学校拼音顺序排序, 排名不分先后)

一、植物同种花粉优先的分子机理

遗传隔离是植物物种形成的先决条件,植物的遗传隔离受到多种内在因子和环境因素的协同控制,而遗传隔离的分子调控机制是生物演化研究领域的重要科学问题。“同种花粉优先”就是一种可以产生遗传隔离的生物学现象,1859 年达尔文在其《物种起源》中亲自用实验验证了这种植物自身花粉能胜过其他物种花粉“优先”进行受精的现象,但是 160 年过去了,人们对这一现象的分子调控机制仍知之甚少。

北京大学瞿礼嘉教授研究团队系统地开展了对模式植物拟南芥有性生殖过程中小肽信号分子的功能研究,成功鉴定出七个 **AtLURE1** 小肽信号分子及其受体 **PRK6** 参与植物同种花粉优先过程的调控,揭示了它们控制的花粉管导向信号途径在植物实现同种花粉优先过程中的演化生物学意义。同时,他们还鉴定了另外一组没有种属特异性的花粉管吸引信号“绣球”,建立了花粉管导向最终控制植物育性的新的分子模型,为克服作物远缘种间障碍、促进杂交育种提供了新的理论依据。

研究成果以研究长文形式发表在《科学》上,得到国内外同行高度评价,被中国植物生理与分子生物学学会评选为 2014-2019 年间十篇“优秀论文奖”之一,北京电视台、iNature 等科技媒体对其作了专题报道,标志着我国在植物生殖和演化生物学领域取得了一个新突破。

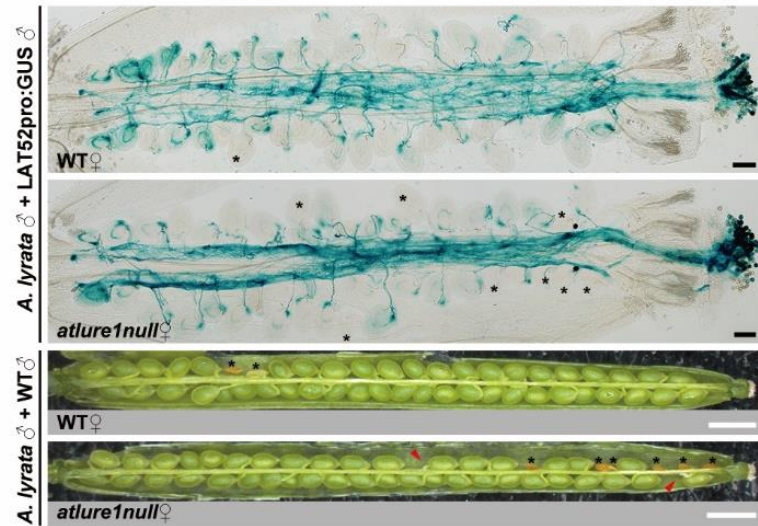


图 混合授粉竞争实验表明 AtLURE1s 可以增加自身花粉管的竞争力，优先受精

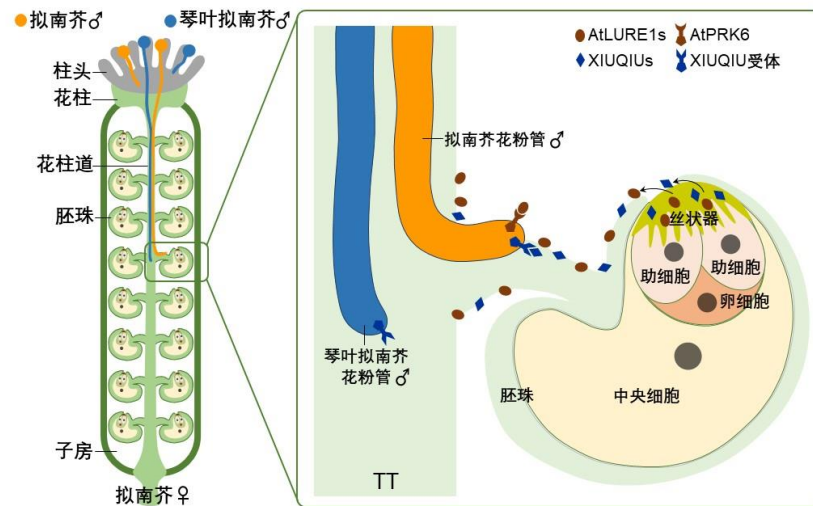


图 小肽 AtLURE1s 及其受体 PRK6 介导的同种花粉优先的分子调控模型

二、复杂机场高精度飞行校验技术及装备

高原等复杂机场是我国战略利益拓展的重大基础设施。高精度飞行校验是复杂机场开放和安全运行的前提，其核心技术和装备长期被欧美封锁和垄断。

北京航空航天大学张军院士团队在多个国家级项目资助下，针对复杂机场存在的飞行窗口受限、可飞空域受限（“两限”）和异常气象扰动、多电磁干扰（“两扰”）等问题，开展技术创新：①发明了飞行校验异质信号的精细探测方法与装置，解决了校验信号特征畸变、采集受扰条件下“精”细探测的难题；②发明了空管设施性能的可信准确验证方法与装置，解决了校验数据缺、测量参数偏条件下性能“准”确评估的难题；③发明了新型高精度飞行校验系统，实现了校验设备的“优”化集成，通过了美国联邦航空局的适航认证，主要指标达国际领先水平。

完成了北京大兴机场的投产校验，保障了机场的如期开航和安全运行；参加了国际民航组织十年一次的飞行校验峰会，展示了我国民航原创性技术实力；应用于中国民航所有机场，完成了所有高原机场的校验，保障了国家主权。取得显著经济社会效益，使我国跨入飞行校验强国行列。申报 2019 年国家技术发明一等奖，已通过国家科学技术奖励委员会审议。



图 2018 年 12 月 10 日甘孜格萨尔高原机场投产校验



图 新型高精度飞行校验系统

三、高温超导中量子金属态的首次实验证实

量子材料及量子相变是本世纪凝聚态物理与材料领域的研究热点。尽管实验上在各种二维超导体系发现了量子金属态的可能存在的迹象,但受低临界温度的制约以及外界高频噪声的影响,二维量子金属态的存在及其形成机制存在着巨大争议,是三十多年来国际学术界一直悬而未决的重要物理问题。

电子科技大学李言荣院士团队和北京大学王健团队等首次在高温超导纳米多孔薄膜中完全证实了量子金属态的存在。通过调节反应离子刻蚀的时间,在高温超导钇钡铜氧(YBCO)多孔薄膜中实现了超导—量子金属—绝缘体相变。通过极低温输运测试发现,超导、金属与绝缘这三个量子态都有与库珀电子对相关的 $h/2e$ 周期的超导量子磁导振荡,证明了量子金属态是玻色金属态,揭示出库珀对玻色子对于量子金属态的形成起到了主导作用。这一发现为国际上争论了三十多年的量子金属态的存在提供了有力的证据,并为研究量子金属态提供了新思路。

研究成果发表在《Science》上,得到国际学术界广泛关注,被 ScienceDaily、Materialtoday、EurekAlert!、Phys.Org 等十余家国际科技媒体专题报道,标志着我国在高温超导量子相变领域取得了重大研究进展。

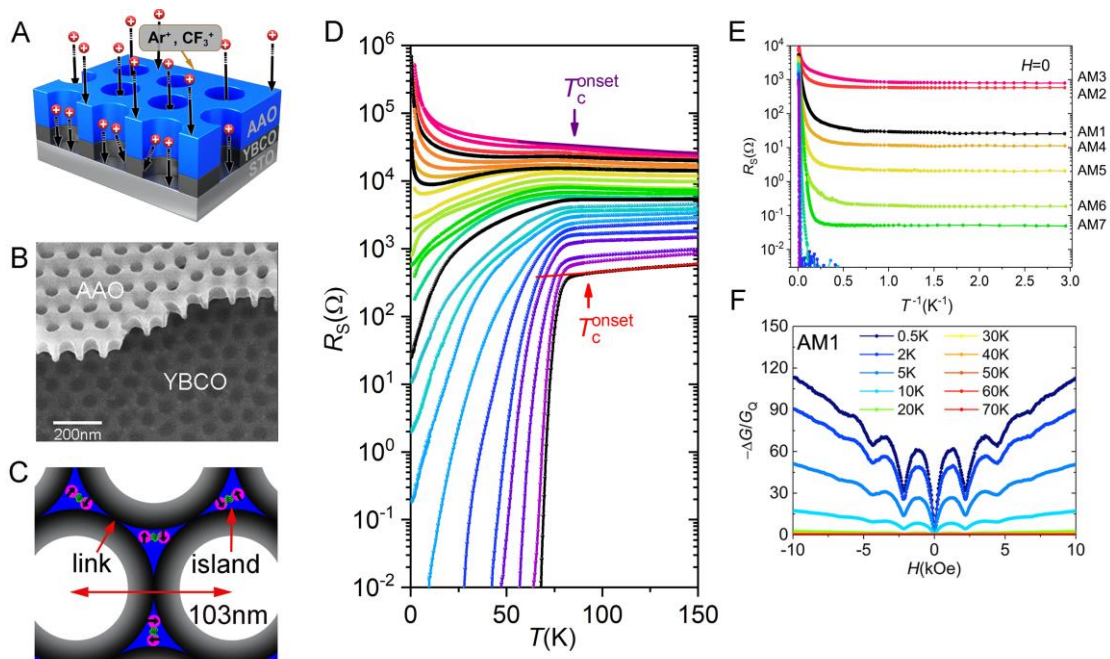


图 A-C: 纳米多孔超导薄膜示意图; D-E: 电阻温度输运曲线; F: 量子磁导振荡曲线

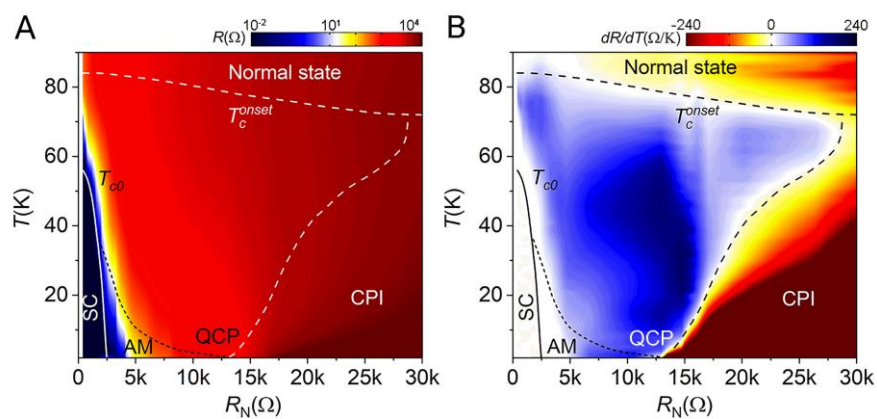


图 纳米多孔超导薄膜的超导—金属—绝缘体量子相变相图

四、青藏高原发现丹尼索瓦古老型智人

作为世界上平均海拔最高的高原和世界第三极，青藏高原是人类最难生存的极端环境之一。青藏高原的史前人类活动历史及古人类对高寒缺氧环境的适应是学术界广泛关注的热点科学问题。

兰州大学双聘院士陈发虎教授与兰州大学张东菊副教授等在青藏高原开展了多年的、系统的环境考古学研究工作，为青藏高原史前人类活动研究提供了可靠证据，有力推动了青藏高原史前人类活动研究。围绕发现于甘肃夏河的古人类化石，该研究团队开展了化石年代学、体质形态学、分子考古学和人类生存环境等综合分析，发现距今 16 万年前丹尼索瓦人就生活在青藏高原。该项研究不仅再次刷新了青藏高原最早人类活动记录，将青藏高原最早人类活动历史推早了 12 万年，而且为神秘的丹尼索瓦人的研究开启了更广阔的研究空间，对深入理解东亚古人类演化和环境适应有重要意义。

项目标志性成果发表在英国 Nature 杂志上，得到国际学术界的广泛关注和肯定，受到 Nature、Science、BBC、New York Times、National Geographic、《新华社》等国内外权威杂志和媒体的广泛关注和报道，受关注度在 Nature 杂志已经发表的 70000 多篇研究论文中排名前 1%，被美国 Archaeology 杂志评为 2019 年“世界十大考古发现”，获选美国 Science 杂志 2019 年年度“十大科学突破”与美国 Science News 杂志 2019 年“年度十大新闻”。



图 夏河人下颌骨化石



图 夏河人下颌骨化石发现地（位于甘肃省夏河县甘加乡的白石崖溶洞遗址）

五、高能量密度电容器用无机介电材料

电介质电容器具有超高功率密度和超快充放电速度，在能源电力、电子信息、国防军工等高新技术领域有广泛的应用。但其较低的能量储存密度成为制约相关技术发展的瓶颈。近些年来，美国等发达国家一直将高储能密度电介质材料列为重要研发方向。最近，清华大学研究团队提出了一种突破电介质材料低储能密度问题的新途径，即构建一种多形态纳米畴介观结构，以调控材料电畴极化及其翻转能垒，降低极化反转过程中的能量损耗，显著提升储能特性。为此他们设计制备了铁酸铋基三元无铅电介质薄膜材料，使其形成预期的由四方和菱方纳米畴共存于立方顺电基体中的多形态纳米畴结构，成功获得了高极化、低损耗和高击穿强度的综合优异性能，从而实现了高储能密度（ 112 J/cm^3 ，超过美国阿贡国家实验室在铅基材料中达到的 85 J/cm^3 记录）、高储能效率、优异的充放电循环及温度稳定性。该研究发表在国际著名期刊《科学》上，得到了国内外同行高度关注，被《焦耳》等学术期刊亮点报道。这一研究成果有望为我国自主高端电介质电容器研制提供关键材料及设计思路。

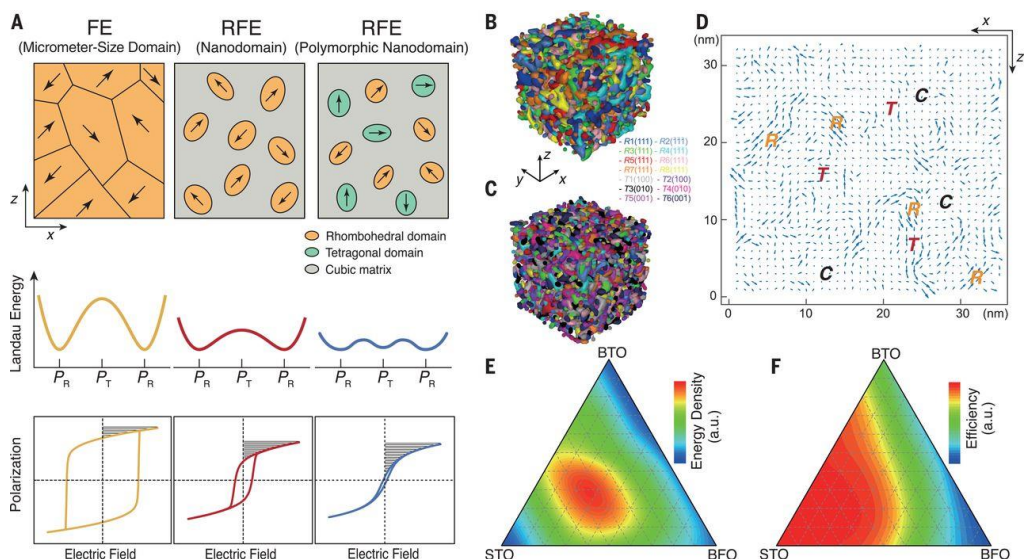


图 一种多形态纳米畴介观结构的设计思路和模拟

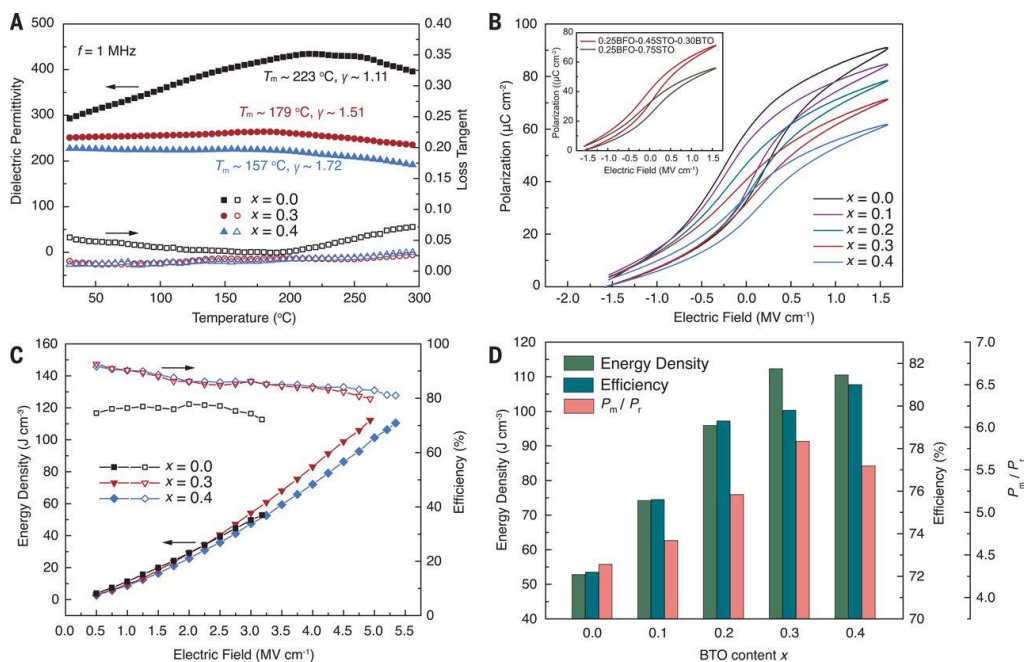


图 多形态纳米畴介观设计显著提升铁酸铋基三元薄膜材料的介电和储能特性

六、揭示抗结核新药的靶点和作用机制及潜在新药的发现

结核病是由结核分枝杆菌感染而引发的一种致命性疾病，在传染性疾病中堪称“头号杀手”。目前全世界约有 1/4 的人口被结核杆菌感染；每年新发结核病患者约 1000 万，死亡患者人数约 150 万。因此针对结核分枝杆菌的新药靶点的研究和新药研发迫在眉睫。

膜蛋白 MmpL3 在分枝杆菌细胞壁合成过程起关键作用，是一个抗结核新药研发的重要靶点。在饶子和院士的领导下，上海科技大学首届博士研究生张兵，以及杨海涛研究员和李俊副研究员等历经六年时间，运用 X-射线晶体学衍射技术率先在国际上解析了关键药靶 MmpL3 和“药靶-药物”复合物的高分辨率晶体结构，揭示了 MmpL3 的工作机理以及新药 SQ109 杀死细菌的全新分子机制。研究团队还发现一种减肥药利莫那班也是靶向 MmpL3 的抑制剂并阐明了其作用机制。该研究首次勾画了小分子抑制剂如何精确靶向 MmpL3 及其超家族质子内流通道的三维图像，为新型抗生素的研发、解决全球日趋严重的细菌耐药问题开辟了一条全新途径。

该重大研究成果刊登在国际顶尖生命科学期刊《Cell》上，同时针对该靶点设计的抗结核小分子化合物已申请 PCT 专利。该成果一经发表，在学术界和产业界引起了轰动并受到广泛关注，同时为我国研发具有自主知识产权的抗结核新药奠定了重要的基础。

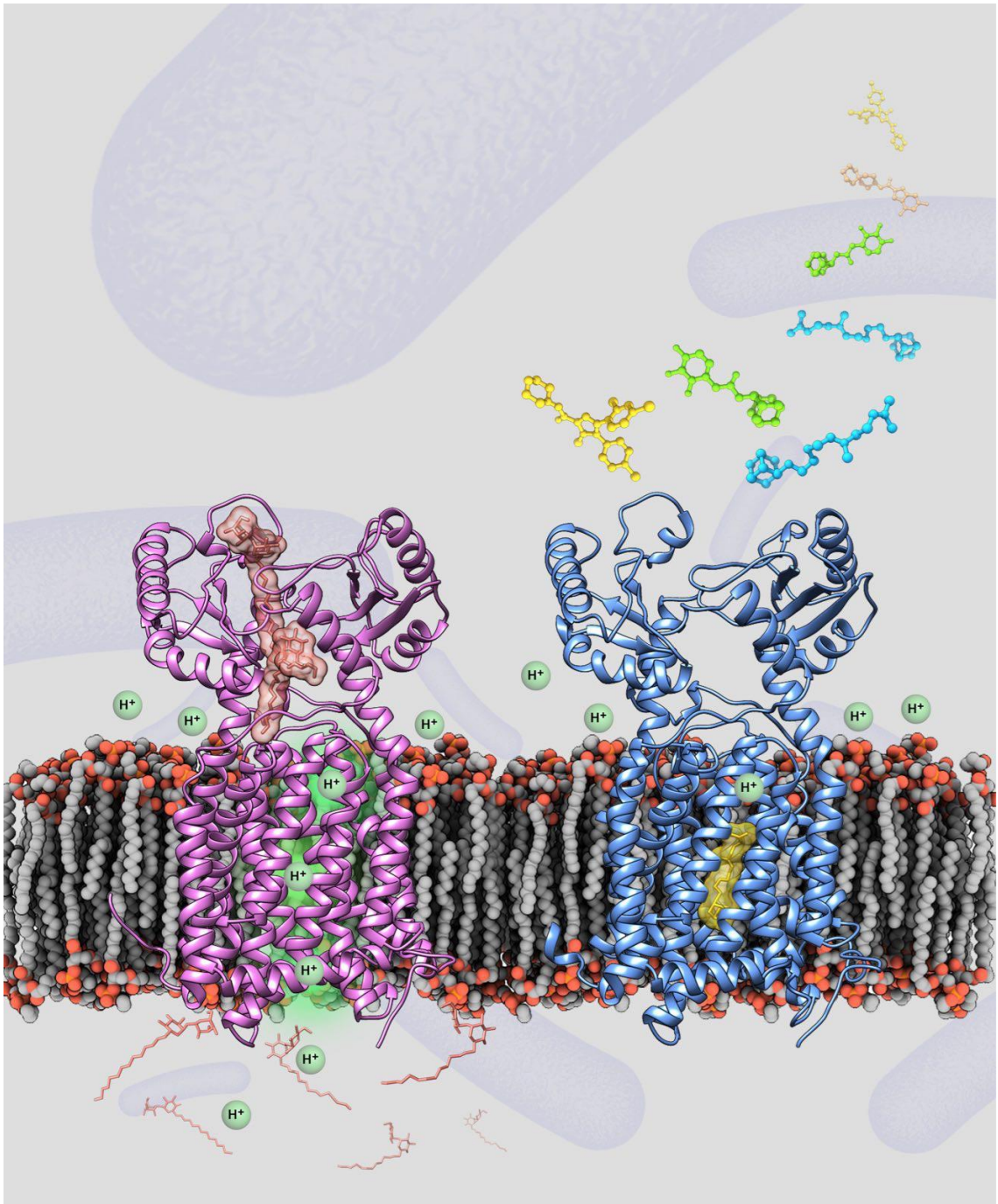


图 药靶蛋白 MmpL3 处于活性（左）和抑制（右）状态的结构

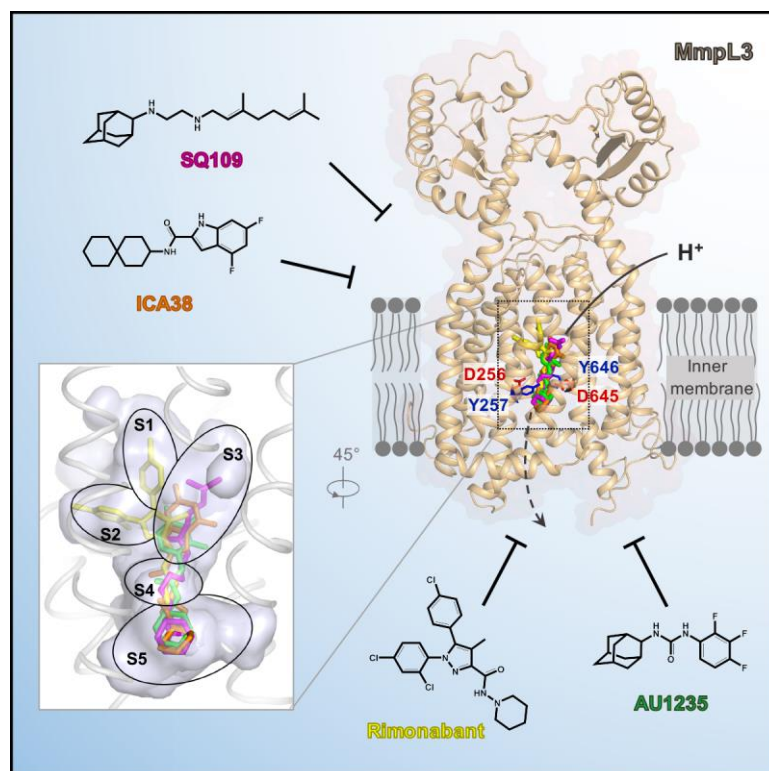


图 四种抑制剂精确靶向 MmpL3 的分子机制

七、热带多尺度跨海盆海-气相互作用

热带海洋对全球气候和水循环起着重要的调控作用。该海区的海洋-大气相互作用极其强烈并且多尺度和跨海盆特征显著,同时温室气体增暖对该海区海洋与大气环流产生巨大影响。揭示热带多尺度跨海盆海-气相互作用的过程与机理以及对温室气体增暖的响应,提高对其预测和预估能力,一直是海洋与地球系统科学的重大前沿问题。

围绕上述问题,中国海洋大学物理海洋教育部重点实验室吴立新院士和蔡文炬教授等发现温室气体增暖将显著增加东太平洋厄尔尼诺的振幅和发生频率,解决了 ENSO 未来是否增强这一困扰海洋与气候学界长达几十年的全球性难题;发现全球变暖背景下热带大西洋变率对太平洋的影响显著减弱,揭示了 ENSO 跨海盆相互作用的未来变化;阐明了西太平洋热带气旋累积效应对厄尔尼诺强度的重要影响,从跨时间尺度角度建立了 ENSO 发展的新机制,有助于提高 ENSO 强度预测能力;领衔全球众多知名学者系统地提出了热带太平洋-印度洋-大西洋海气系统相互作用的动力学框架,引领这一前沿领域的发展。

研究成果发表在《自然》、《科学》、《科学进展》、《自然通讯》,在跨尺度海洋动力过程及海-气相互作用领域产生了重要国际影响力。吴立新院士获得 AGU 地球与空间科学领导力最高奖并被授予 AGU Fellow。

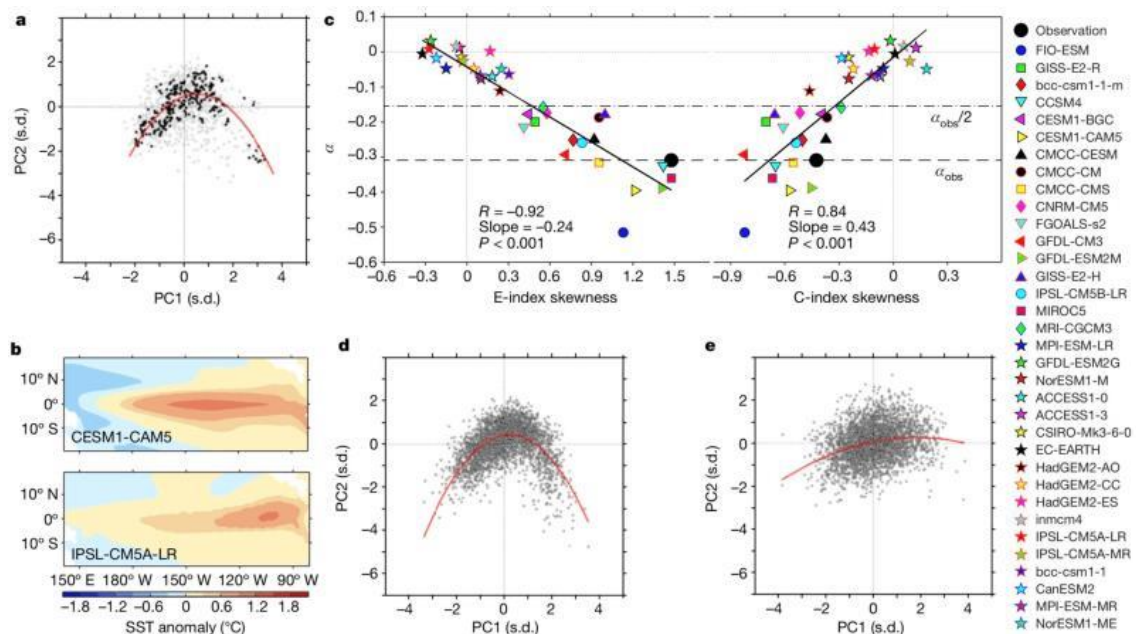


图 厄尔尼诺-南方涛动 (ENSO) 事件演变过程中的热带太平洋-印度洋-大西洋之间海-气相互作用示意图

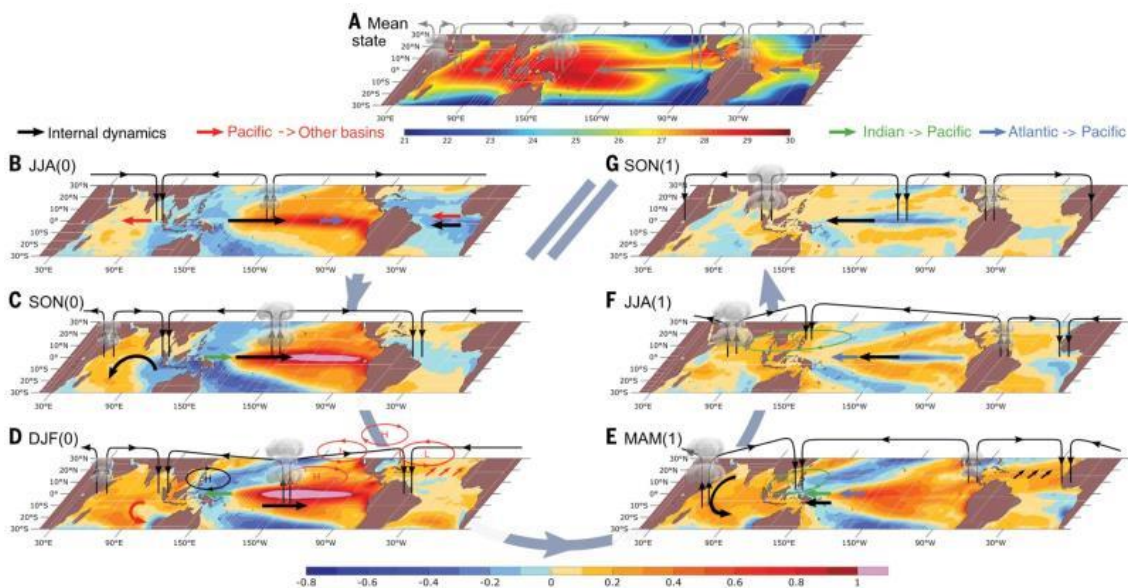


图 热带太平洋两类厄尔尼诺的非线性特征。

八、“界面单位点”新型催化剂结构与氢气中微量 CO 的高效去除

氢燃料电池汽车以氢气为燃料，清洁“零”排放，是未来新能源汽车的主要发展方向之一。普通纯度的工业氢气通常含有微量 CO 杂质气体，然而 CO 分子极易强吸附于燃料电池 Pt 电极表面，并导致其“中毒休克”，进而成为该类汽车推广面临的关键科学难题之一。

中国科学技术大学路军岭教授研究团队，从催化剂原子级精准设计角度出发，利用原子层沉积技术创造性地在 Pt 金属纳米颗粒表面构筑出原子级分散的 $\text{Fe}_1(\text{OH})_x$ 物种，从而设计出一种全新的 $\text{Fe}_1(\text{OH})_x\text{-Pt}$ 界面单位点催化剂结构。在富氢氛围 CO 优先氧化反应中，该催化剂首次在 $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $107\text{ }^{\circ}\text{C}$ 宽温度区间内，成功实现了 CO 的高效去除。韦世强教授和杨金龙院士等合作团队进一步确定了铁物种的原子结构特征，并揭示了其催化反应微观机理。该项成果为氢燃料电池在寒冷条件下频繁冷启动和连续运行期间，避免 CO 中毒、延长电池寿命，提供了一个有效解决方案。

研究成果于 2019 年 1 月 31 日发表在《Nature》上，受到《科技日报》、IEEE Spectrum、EurekAlert、Phys.Org、The London Economic 等国内外主流科技媒体专题报道，并被评价到“他们似乎找到了一个可行的解决方案”。该项工作标志着我国成为首个掌握面向氢燃料电池汽车应用的一项高效去除氢气中微量 CO 关键技术的国家，有望为我国氢燃料电池汽车的发展提供助力。

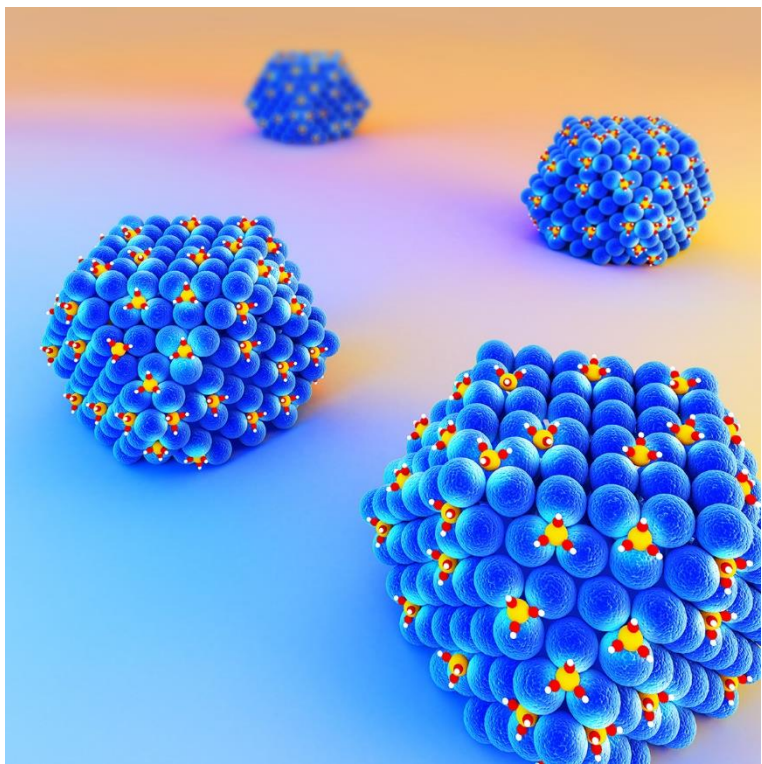


图 $\text{Fe1(OH)}_x\text{-Pt}$ 界面单位点催化剂高效去除氢气中微量 CO



图 新型催化剂助力氢燃料电池避免低温 CO 中毒

九、关键量子信息器件——“三高”量子纠缠光源研究

量子纠缠光子源是量子信息和量子光电集成芯片不可或缺的关键量子器件，实用化要求其必须同时具备“高效率、高纠缠保真度和高不可区分性”。但 N 个纠缠光子的总效率是单光子效率的 N 次方，故实现高效纠缠光子源是件极端困难的事情，导致国际上量子纠缠光子源的研究停滞于“高纠缠保真度和高不可区分性”的“二高”水平，“三高”量子纠缠光子源一直是量子信息科学领域未能解决的一个重大挑战。

中山大学王雪华教授领导的“微纳光子学与量子光学”研究团队基于量子光辐射控制理论，提出一种能克服光子侧向和背向泄漏并能极大提高光子前向出射的新型高效微纳“射灯”量子光源结构，但它的实验实现受制于三大核心微纳制备技术，难度极大：160 纳米厚的量子点薄膜转移技术；精度小于 10 纳米的量子点光学精确定位技术；环形槽宽度制备精度小于 5 纳米的微纳制备技术。该团队经多年努力，掌握并发展了上述三大核心技术，在国际上率先实现了“三高”量子纠缠光子光源。

成果发表于《自然纳米技术》杂志上，同期的评论报道评价其是“标志可扩展可集成量子光子学和信息处理的一个重要里程碑”，《自然》杂志研究亮点栏目评价其是“一个能促进量子技术发展的进步”。

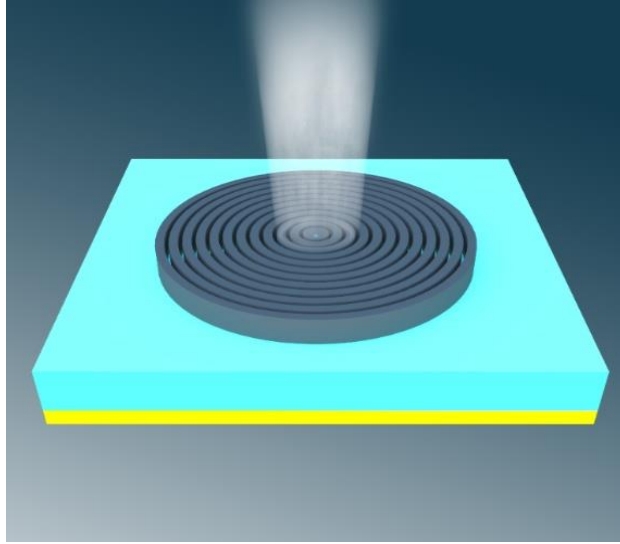


图 新型高效微纳“射灯”量子光源结构

TABLE I: Comparison of the performance of our device to the state-of-the-art entangled sources.

	Pair efficiency ^a	Entanglement Fidelity	Indistinguishability
InAs QD in micropillar molecule (Ref 37)	0.12	0.63	Not shown
InAsP QDs in nanowires (Ref 38)	0.0025	0.817	Not shown
InAs QDs in planar cavities (Ref 18)	<0.0001	0.81	0.86
GaAs QDs in planar cavities (Ref 23)	<0.0001	0.94	0.93
SPDC USTC (Ref 11)	~0.1	0.93	0.91
SPDC Vienna (Ref 3)	< 0.01	>0.95	>0.9
SPDC Geneva (Ref 10)	< 0.1	~0.9	~0.9
This work	0.65(4)	0.88(2)	~0.9

^a The photon pair source efficiency is defined by the probability of collecting a photon pair per excitation pulse into the first collection optics, such as an objective or an optical fiber.

图 “三高”量子纠缠光子对源的优异性能

十、鼻咽癌“吉西他滨+顺铂”新方案前沿技术研究

中国是鼻咽癌的高发区，年新发病例占全球一半，严重危害我国人民群众身体健康。70%以上鼻咽癌患者就诊时已为晚期，治疗效果差，五年生存率低。因此，亟需研究出新的治疗方案以提高患者的生存率。

中山大学肿瘤防治中心马骏教授开展的“吉西他滨+顺铂”新方案前沿技术研究，利用吉西他滨抑制负性免疫分子、协同增强顺铂抗癌作用的能力，在放疗前患者体质较好、能顺利完成化疗的最佳时机进行治疗，建立了“吉西他滨+顺铂”两药联合化疗的新策略。马骏教授牵头华中科技大学附属协和医院及同济医院、佛山市第一人民医院、广西医科大学附属肿瘤医院等全国 12 家分中心，通过一项前瞻性临床试验发现，该疗法可将复发风险降低 49%，3 年无瘤生存率提高 8.8%（76.5%提高到 85.3%），且未增加毒性。由此建立了鼻咽癌高效低毒的用药新体系，形成了国际领先的前沿技术新标准。

研究成果以论著发表于《新英格兰医学杂志》，为该杂志首篇第一和通讯作者均来自中国大陆的肿瘤学临床研究，被国际临床决策支持系统“UpToDate”采纳，成为鼻咽癌治疗的新方案，全世界推广应用。此外，马骏教授受邀为《柳叶刀杂志》撰写了其创刊以来首次由中国内地学者完成的疾病综述，标志着中国的鼻咽癌研究水平已达到世界领先。

ORIGINAL ARTICLE

Gemcitabine and Cisplatin Induction Chemotherapy in Nasopharyngeal Carcinoma

Y. Zhang, L. Chen, G.-Q. Hu, N. Zhang, X.-D. Zhu, K.-Y. Yang, F. Jin, M. Shi, Y.-P. Chen, W.-H. Hu, Z.-B. Cheng, S.-Y. Wang, Y. Tian, X.-C. Wang, Yan Sun, J.-G. Li, W.-F. Li, Y.-H. Li, L.-L. Tang, Y.-P. Mao, G.-Q. Zhou, R. Sun, X. Liu, R. Guo, G.-X. Long, S.-Q. Liang, L. Li, J. Huang, J.-H. Long, J. Zang, Q.-D. Liu, L. Zou, Q.-F. Su, B.-M. Zheng, Y. Xiao, Y. Guo, F. Han, H.-Y. Mo, J.-W. Lv, X.-J. Du, C. Xu, N. Liu, Y.-Q. Li, M.L.K. Chua, F.-Y. Xie, Ying Sun, and J. Ma

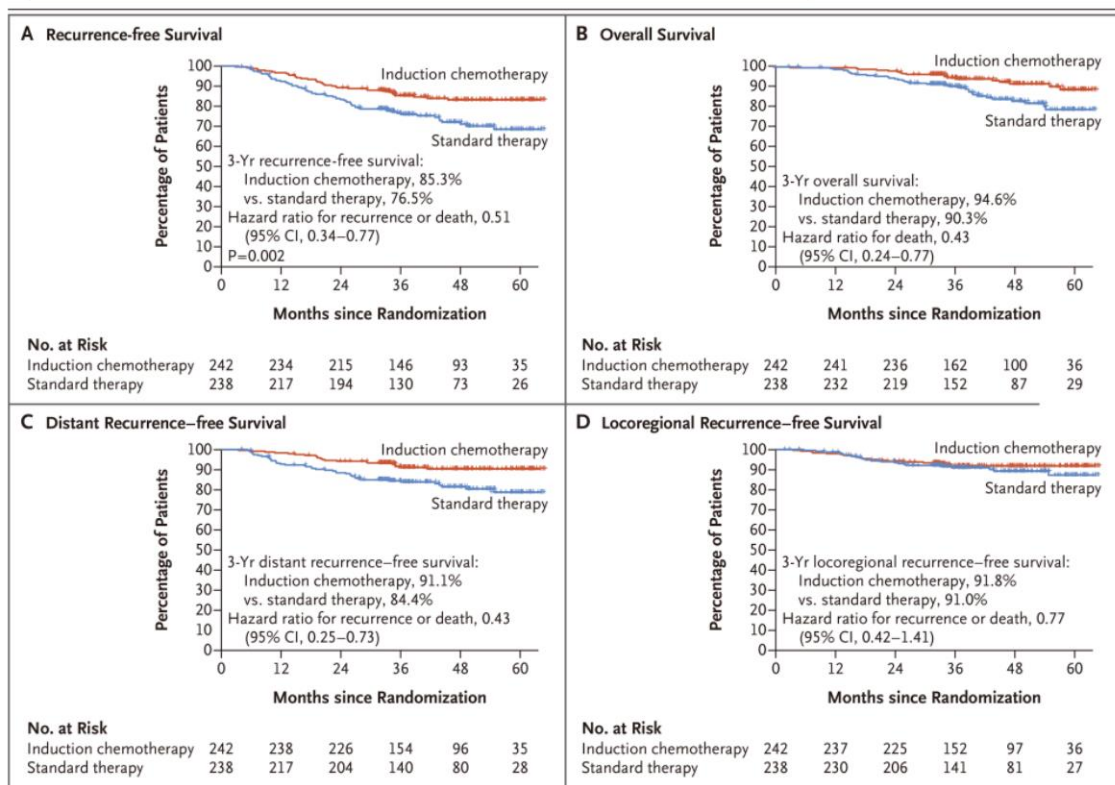


Figure 2. Kaplan–Meier Analysis of Recurrence-free Survival, Overall Survival, Distant Recurrence-free Survival, and Locoregional Recurrence-free Survival (Intention-to-Treat Population).

Hazard ratios and 95% confidence intervals were calculated by a stratified Cox proportional-hazards model. The primary end point was recurrence-free survival, defined as the time from randomization to documented disease recurrence (either distant metastasis or locoregional disease recurrence) or death from any cause, whichever occurred first. Secondary end points included overall survival, distant recurrence-free survival, and locoregional recurrence-free survival. Tick marks indicate censored data.

图 马骏教授团队研究成果以论著发表于《新英格兰医学杂志》



图 马骏教授带领临床医生对试验患者进行查房