

发现·进展

香港科技大学

开发全球首个仿生人工纤毛系统

本报讯(记者朱汉斌)香港科技大学助理教授胡文琪团队研发出全球首个能够模拟人体天然纤毛快速、复杂三维运动的人工纤毛系统,在仿生软材料与微型工程领域取得突破。相关研究近日发表于《自然》。

团队采用高精度3D打印技术,制备出体积小、具有高柔韧性的仿生结构,并优化水凝胶的内部结构以加快离子传输速度,从而实现人工纤毛的快速灵敏运动。此外,团队自主研发的微型电极系统可独立控制每一根纤毛,实现高度协调且可编程的运动模式。综合上述创新,人工纤毛在运动速度、动作复杂度及耐用性等方面均达到前所未有的水平。

通过跨团队合作,团队成功制备出可在极低电压(与普通家用电池相当)条件下驱动的水凝胶微纤毛。其内部带电粒子在电场作用下移动,从而使纤毛产生可控弯曲。研究人员还可通过调节电信号输入,生成类似生物系统的复杂弯曲与旋转运动。

胡文琪表示:“以往的人工纤毛在速度、柔顺性或控制精度方面存在不足。我们的设计首次将天然纤毛的所有关键特性集于一身——柔软、快速、耐用,并能在大规模阵列中实现同步运动。”

该研究对理解纤毛在生理状态下的运作机制迈出了关键一步,也为未来在微米尺度上精准操控流体的医疗及工程应用奠定了重要基础。目前,团队正积极推动人工纤毛技术从实验室概念验证向应用导向系统转化,包括扩大制备规模、融合传感与反馈控制机制,以及在更接近真实应用场景的生物环境中开展性能测试。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1038/s41586-025-09944-6>

中国科学院大连化学物理研究所等

研发可直接海水电解制氢的新型电极

本报讯(记者孙丹宁)近日,中国科学院大连化学物理研究所研究员邵志刚团队联合英国拉夫堡大学教授林文锋团队,通过构筑表面带正电的铂/氢氧化钴[Pt@Co(OH)₂]纳米阵列电极,抑制海水中钙镁氢氧化物沉淀在阴极表面沉积,并协同加速了析氢反应动力学过程。相关成果发表于《应用催化B:环境与能源》。

海水电解制氢能够避免与淡水资源竞争,具有广阔的应用前景。然而,海水中性的pH值环境导致析氢反应动力学迟缓,阴极局部pH值升高引发钙镁离子以氢氧化物沉淀形式堵塞活性位点,同时高浓度氯离子(Cl⁻)对电极的腐蚀也不容忽视。如何通过调控电极-电解质界面微环境同时解决上述问题,是该领域面临的核心挑战。

团队采用两步电沉积法,在泡沫镍基底上构建了Pt@Co(OH)₂纳米阵列电极。由于Co(OH)₂的等电点高于海水pH值,电极表面带正电通过静电排斥作用抑制了钙镁离子向阴极表面的迁移,避免了氢氧化物沉积。同时,有序的纳米阵列结构为氢气泡提供了高效传输通道,可进一步清除电极表面生成的微量沉淀。

研究表明,Pt与Co位点分别对氢(H⁺)和羟基(*OH)具有强吸附能力,形成了双催化位点协同促进水分解的机制。Pt与Co之间的电子相互作用不仅优化了H⁺的脱附,还抑制了Cl⁻在电极表面的吸附,增强了电极的抗腐蚀能力。

以该电极为阴极组装的pH不对称电解槽在100至1000毫安每平方厘米的多电流密度下累计稳定运行超过1000小时,展现出工业应用潜力。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2026.126676>

江南大学等

将大肠杆菌变为“细胞工厂”

本报讯(记者冯丽妃)江南大学教授李江华团队与合作者通过改造微生物“细胞工厂”,持续产出具有紫外线防护作用的化合物gadusol。该物质最终可用作防晒成分和抗氧化添加剂。相关研究近日发表于《生物技术趋势》。

gadusol存在于多种鱼卵及其他海洋生物中,有助于抵御紫外线损伤。团队没有从自然界中提取它,而是将微生物变成了“工厂”。他们在实验室常用的大肠杆菌中重构了斑马鱼合成gadusol的完整代谢通路,随后对微生物的遗传特性和培养条件进行了调整。这些改造使gadusol产量增长了近93倍,从每升45.2毫克增至约每升4.2克。在初步的紫外线防护测试中,这种实验室合成的化合物展现出了良好潜力。

在实验中,gadusol表现出的抗氧化活性与维生素C相当,意味着它可能有助于中和因紫外线照射产生的损伤细胞的自由基。这种抗氧化特性催生了一种基于颜色的筛选测试。在该测试中,当gadusol中和自由基时,原本紫色的化学信号会转变为黄色。这种颜色变化使研究人员能够快速识别出产量更高的细菌菌株。

传统防晒成分可能刺激敏感皮肤、危害海洋生物或依赖石油化工原料。gadusol兼具紫外线防护和抗氧化活性,有望成为一种具有吸引力的防晒霜和护肤产品成分。研究者表示,gadusol目前还不会很快进入人们的生活,不过这项研究为gadusol走向实际应用提供了起点。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1016/j.bitech.2026.03.013>

破译“花中皇后”多彩密码

■本报记者 李晨

“唯有此花开不凋,一年长占四时春。”“花中皇后”月季背后是交织着东西方文明与无数育种家智慧的2000年杂交育种史。如今,科学家正试图用最前沿的基因组学技术,解读这部写进月季DNA的漫长史诗。

中国农业科学院深圳农业基因组研究所(以下简称基因组所)联合其他单位构建了全球首个单倍型解析月季泛基因组图谱,系统解析了蔷薇亚属种质资源,有望推动月季育种从传统经验模式向精准设计跨越,开启产业高质量发展“第二次育种革命”。相关研究近日在线发表于《自然-遗传学》。

从“法兰西”传奇到育种迷宫

月季属于蔷薇科蔷薇亚属,栽培史达2000年,但现代月季的序幕直至1867年才由第一个品种“法兰西”正式拉开。

“法兰西”的意义远不止一个优秀品种。论文共同通讯作者、基因组所研究员武志强告诉《中国科学报》,它是现代月季的“奠基者”,不仅开创了东西方月季杂交的育种方向,后续多数现代月季都有其遗传痕迹,更证实了中外月季杂交的可行性。

团队从分子层面证实了这段历史。论文第一作者、青岛农业大学教授张妮妮解释道:“这项发现首先证实了‘法兰西’是异源三倍体,它的亚基因组融合了古老月季和欧洲古老月季的遗传物质。这与历史上‘中国古老月季与欧洲古老月季杂交’的猜想高度契合,为‘现代月季起源于东西方月季杂交’提供了最直接的分子证据。”

然而,“法兰西”诞生后,月季育种进入了一个相对缓慢的时期。每年产出的新品种虽然越来越多,但达到世界公认流行度的品种比较稀少。”论文共同通讯作者、华中农业大学教授傅小鹏介绍。

当前,许多作物已进入基于基因组选择的



蔷薇亚属种质资源。中国农科院基因组所供图

智能育种时代,而月季却滞后了。武志强分析了造成这一问题的核心遗传学障碍:月季基因组高度杂合、倍性多样且种间分化显著,难以精准定位优良性状基因;缺乏系统遗传变异图谱,育种家只能靠经验和试错法筛选,效率低下;优良性状多由多基因控制且存在基因互作,传统育种难以精准聚合优良性状。

“这三大障碍如同一个复杂的遗传迷宫,阻碍了育种家高效培育出融合多种优良性状的突破性品种。”武志强说,“我们发起这项研究的初衷就是打破月季育种‘靠经验、碰运气’的传统模式,让育种从‘经验驱动’转向‘基因驱动’。”

“跳跃的基因”让月季多姿多彩

要走出迷宫,必须先有一张精细的地图。团队的目标便是绘制一张能够涵盖蔷薇亚属核心遗传多样性的泛基因组图谱。武志强指出,最大的挑战并非技术,而是“应对月季基因组的复杂性多样性”。

其中一个难点是“代表性问题”。“我们要筛选出26份代表性材料,覆盖蔷薇亚属9个



图片来源:视觉中国

大雁塔究竟“长”什么样

■本报记者 李媛 通讯员 王俊

矗立千年的西安大雁塔是唐代建筑的璀璨瑰宝,更是华夏文明的鲜活载体。然而,这座砖石古塔的内部结构始终蒙着一层神秘面纱,其“骨骼”究竟如何构成、隐藏着哪些历史损伤,一直都是待解之谜。

近日,由西安建筑科技大学科研团队完成的“大雁塔结构探测与安全评估项目”正式通过验收。该团队借助空天地一体化探测技术与人工智能(AI)手段,对大雁塔进行了全方位“体检”,不仅首次精准揭示多层级复合结构的“骨骼”真相,也量化了隐蔽损伤,剖析了病害成因,开创了文物建筑数字化保护的新模式。

首次看清大雁塔“骨骼”构造

大雁塔究竟“长”什么样?团队运用三维激光扫描与电磁谐振探测技术,首次精准揭示大雁塔为“夯土核心-唐代砖砌体-明代加固砖层-木柱支撑”的多层级复合结构。

“就像一棵古树有年轮一样,大雁塔的每一层结构都记录着不同历史时期的华夏文明。”项目负责人苗元耀介绍,这一发现让团队首次看清了古塔的“骨骼”构造。

更令人关注的是大雁塔内部构造的细微之处。团队通过可视化探测技术,精准捕捉到唐代原砌砖体与明代补砌砖体之间不仅存在清晰的空间分布规律,更有明确可辨的交接界面,清晰勾勒出不同历史时期的修缮痕迹。他们首次精准测出明代塔檐与唐代塔檐之间存在平均50毫米的空隙带。这一重要的结构分离现象在此前研究中从未准确测量,也未留下任何相关记录,此次探测填补了大雁塔结构认知的空白。看不见的地方往往隐藏着最大的危险,团

队精准定位了塔体内部的隐蔽损伤情况。他们利用电磁谐振探测技术等手段,量化了损伤的尺寸、位置等关键参数,明确了塔檐损伤高度集中于新旧补砌砌体材料交接处,这一区域成为结构最薄弱的环节。这些发现为后续针对性修复提供了精确“靶点”。

大雁塔为何会“生病”?团队从材料劣化角度提出这是环境侵蚀、化学破坏、物理荷载及极端地质风险共同作用的系统性结果。

团队通过模拟西安气候环境的长期试验,证实了水分迁移呈现“下高上低、外高内低”的规律。塔基长期处于高温状态,在盐冻耦合作用下,砖体孔隙率增加3倍,抗压强度下降约40%,水线变动区域干湿交替,成为全塔表现损伤的最高风险区。

盐害是表层破坏的主导因素。团队在表面粉化区域检测到硫酸根浓度为2.9%、硫酸根离子为2.4%,这些盐分结晶后引发砌体剥落和灰缝流失,塔身盐析泛碱病害局部显著。这意味着,大雁塔表面的“白色伤疤”多源于此。

团队监测发现,登塔游客与交通振动等形成荷载会产生耦合效应。耦合工况下,底部券洞及塔檐易出现累积疲劳损伤。地震风险同样不容小觑。基于离散元模拟,团队还原了罕遇地震下塔体倒塌的6阶段演化过程。当塔体倾斜0.9°时,中上部压应力增加43.5%,破坏速度显著加快。

传统文保引入AI

“给大雁塔做CT,需要调动天上的卫星、空中的无人机和地面的探测仪。”团队构建了空天地一体化探测网络:使用PS-InSAR卫星

分组及各类月季类型。”傅小鹏解释,难点在于如何确保所选种质能全面反映蔷薇亚属的遗传变异,避免泛基因组出现偏差。

更大的挑战在于解读它们提供的海量、异构遗传信息。研究最终构建了一个包含55个高质量单倍型的泛基因组。“我们一遍遍在内部‘找茬’,摸索出了一套最适合蔷薇亚属的单倍型基因组组装方案。”张晓妮说。

构建出复杂的“图泛基因组”只是第一步,如何解读它成了新的拦路虎。张晓妮介绍:“可以说,蔷薇亚属的复杂程度是人类基因组的4倍。现有的计算资源和算法尚不能完全支持科学家直接解读人类图泛基因组,更何况蔷薇亚属。”

面对这个超级密码本,团队另辟蹊径,直接以变异作为锚点,最大限度地在不损失原有遗传多样性的基础上整合所有变异信息,以进行后续分析。

这项浩大工程带来了惊人发现。团队首次在单倍型水平构建了精细的变异图谱,发现约70%的结构变异与转座元件相关。“比例之高超出了我们的预料。”武志强说,转座元件是月季基因组结构变异的核心驱动力。

转座元件被称为“基因组中的跳跃基因”,可以在基因组中移动,从而引发基因的插入、缺失、倒位等结构变异。而这些结构变异正是形成月季遗传多样性的重要原因。这说明,转座元件在月季的进化过程中扮演了“创新者”角色,使月季如此多姿多彩。

开启“按需设计”之路

攻克如此复杂的课题,离不开跨学科、跨国界的合作。论文共同通讯作者、基因组所研究员潘玮华强调了合作的重要性:“这有利于优势互补、提高效率。比如,基因组所发挥生物信息学分析的核心优势,负责基因组测序与数据解析;华中农业大学凭借丰富的月季

种质资源和成熟的实验平台,开展性状验证与育种相关实验;法国里昂高等师范学院植物生殖与发育实验室提供了‘法兰西’形成历史的建议等。”

研究成果的发表也是一次淬炼。张晓妮坦言:“投稿过程虽然很煎熬,但审稿人的意见确实帮助我们提升了文章的整体水平。”审稿人主要关注两点,即基因组组装质量、为何不直接以图泛基因组为基础进行分析。

团队在有限时间内紧急补充了新数据,进一步夯实了结论;清晰阐释了蔷薇亚属图泛基因组超高的复杂度,以及他们所采用的分析方法如何高效地捕捉核心遗传多样性。

这项基础性研究如何改变产业,开启“第二次育种革命”?武志强说:“真正开启月季‘精准育种’的核心是实现‘基因可预测、性状可设计、育种可高效’。”

他举了一个例子。假设要培育一种花期长、重瓣、花瓣变色、抗白粉病的月季,可以先选择连续开花的种质,再筛选重瓣花型的个体,然后通过调控基因表达实现花瓣从橙到红的变色,最后导入抗白粉病基因。

“通过这样的精准组合,就能培育出符合预期的月季,而这在传统育种中几乎不可能快速实现。”武志强说。

短期来看,这项研究能够缩短育种年限;长期来看,随着更多关键基因的挖掘和解析,育种家将实现按需育种,培育出更多特色化、个性化的月季品种。“对消费者来说,未来能买到的月季品种更多样,甚至可以创制一些新奇、特的聚合性状种质。”潘玮华说。

展望未来,团队的目光已投向更广阔的野生资源。武志强表示,野生种质通常具备更优良的抗性,所以将重点推进月季野生种质的纳入工作,进一步挖掘其中的优异抗性基因,这是后续的核心研究方向。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1038/s41588-026-02569-z>

第三届人工智能与遥感科学交叉论坛举办

本报讯(记者王昊昊)近日,第三届人工智能与遥感科学交叉论坛在中南林业科技大学举行。近千名与会者共同探讨了人工智能与遥感科学交叉融合的前沿方向与发展路径。

论坛以“AI4RS:开启智慧地球新视角”为主题,围绕智能遥感、空间智能、多模态大模型、生态环境监测、数字地球等方向展开深入交流,旨在推动人工智能与遥感科学深度融合,促进科技创新与成果转化。

论坛设置41个专题分会场,并组织“顶会面对面”、教学成果交流、遥感智能开发大赛等特色活动。

为响应教育部“人工智能赋能教育”行动要求,论坛特别设立教学成果奖,鼓励人工智能与遥感科学领域在人才培养、教学模式与课程建设方面进行创新探索。论坛还评选了年度创新个人奖与创新成果奖。



大雁塔。

杜鹏/摄

预警。在此基础上,可采取塔檐交接面空腔带、一层内部空洞、盐害区域等靶向修复工程。同时,通过优化交通运行频次,减少周期性振动,实行登塔游客限流,降低振动对古塔的损伤。

“历时1年,4册技术报告,项目突破了传统砖石古塔探测精度低、评估方法单一的技术瓶颈,形成了系统性研究成果与保护建议。”苗元耀表示。

项目填补了大雁塔结构形制认知的多项空白;首次揭示多层级复合结构、量化盐蚀-冻融耦合损伤,构建了无损探测与稳定性评估技术体系,开创了“数字化诊断-防治-预防”的文物建筑保护新模式。

验收专家组成员、同济大学研究员张瑞甫表示:“这项成果以先进技术掌握古塔结构状态,为唐代砖石古塔保护夯实了科学基础,提供了工程参考,推动古建筑结构保护迈向数字化、精细化、预防性保护新路径,对全国同类文物建筑安全保障具有重要示范意义,实现了从‘被动抢救’到‘主动预防’的转变。”