

应对多种逆境,植物自有“妙计”

■本报记者 李晨 朱汉斌

“又饿又渴！”当你“感知”周围既无食物也没水时，身体会调动储备应对窘迫局面。其实，这对植物来说也是一种“基操”。

8月11日，华南农业大学教授储成才团队在《细胞》发表一项突破性研究成果，揭开了植物应对多种逆境条件的“生存智慧”。植物体内有一种叫 NRT1.1B 的蛋白，它就像一个智能开关，可同时感知土壤中的“食物”（氮元素）和干旱（逆境信号），帮植物做出最优生存选择。

论文审稿人认为，这是一项令人兴奋且期盼已久的工作，将对植物生物学乃至更多研究领域产生深远影响”，“大大增进了我们对植物营养状态如何影响逆境耐受的理解”。

植物如何感知复杂自然环境

植物在大自然中生存并不容易。论文通讯作者储成才向《中国科学报》解释，植物不仅要面对干旱、高温等恶劣环境条件，还得时刻“操心”如何从土壤中获得足够的养分。很多时候，“缺营养”和“遇逆境”会同时发生，比如干旱时土壤里的氮元素往往很匮乏。

适应复杂多变的自然环境既是植物生存永恒主题，也是农作物高产稳产、实现粮食安全的重要前提。季节性降水变化导致的干旱和矿物质元素不均分布导致的养分缺乏是植物面对的高频逆境胁迫，且多数情况下这两种胁迫同时存在。

“植物如何整合复杂环境信号是深入理解植物生存智慧的关键，也是创制兼具养分高效利用与逆境抗性的未来作物新品种的理论基础。”储成才说，然而，目前的研究主要针对单一信号的感知与应答，对复杂环境信号整合机制缺乏系统认知。

此外，全球气候变化导致高温、干旱等极端天气频发，过量化肥使用导致环境污染，这些都对水稻种植提出了新的挑战。中国科学院院士、崖州湾国家实验室主任李家洋表示，培育“节水减肥”的“资源高效型”水稻新种质是应对挑战的关键。深入理解植物对不同环境信号应答及整合的工作机制有望为“资源高效型”水稻育种带来重要契机。

论文通讯作者、华南农业大学教授胡斌告诉《中国科学报》，在植物世界里，有一类叫“脱落酸(ABA)”的物质堪称“逆境警报器”。当植物遇到干旱等困难时，脱落酸会迅速增加，通过调节气孔关闭、减缓生长等方式帮植物节能抗逆。一直以来，科学家认为脱落酸主要是在植物细胞内被感知的，就像在细胞里装了“警报器”。

而氮元素是植物生长必需的“营养餐”，土壤中的氮含量直接影响植物的生长状态。植物根系里有一类叫 NRT1 的蛋白家族，是植物中最早被鉴定的一类硝酸盐转运蛋白，目前对该家族成员功能的认知主要集中在对氮利用的调控方面，其专门负责“探测”吸收土壤中的氮元素，尤其是硝酸盐，是一个“营养探测器”。

近日，全球首个由人形机器人全自主服务的零售舱——“银河太空舱”在北京中关村大融城启用。舱内，一台自动咖啡机和一个摆满饮品的货架前，与成人差不多高的机器人 Galbot 正在忙碌着。相比于自动售卖机，“银河太空舱”容纳的零售业态更灵活多样，且机器人能够 24 小时不间断工作，单舱预计日均可服务 2000 人次，使周边客流提升 30% 到 40%。

图为正在售货的机器人 Galbot。

图片来源：视觉中国

计算机领域 1/5 论文使用了 AI

文 的频率逐步上升，甚至在某些领域，使用生成式 AI 已成常态。比如，一项近日发表于《自然－人类行为》的研究就发现，多达 22% 的计算机领域论文存在使用 LLM 应用程序的痕迹。

研究人员分析了 2020 年至 2024 年间发表的 100 多万篇科学论文和预印本，主要着眼于这些文章的摘要和介绍，以了解在 AI 生成的文本中频繁出现的指示性词在论文中出现频率的变化。结果显示，在 2022 年 11 月 ChatGPT 发布几个月后，经过 LLM 加工的内容急剧增加。

“一般写一篇论文需要几个月，甚至几年。上述趋势出现得如此之快，意味着人们从一开



氮高效改良品种(左)是绿色的,氮低效品种发黄。

此前，科学家对“逆境警报器”脱落酸和“营养探测器”NRT1 蛋白家族都分别进行过深入研究，已大体了解它们各自的功能和分子机制。但科学家没料到，二者竟然有直接的联系。

“营养探测器”还能当“逆境警报器”

植物生长的自然环境很复杂，以土壤为例，其中不仅包含了各种元素、水分，还有各种细菌、病毒等微生物。

那么，植物究竟是如何同时处理这些复杂信号，在“找饭吃”和“抗风险”之间找到自身平衡从而存活下来的呢？

“要想了解植物如何响应复杂的自然环境，就得尽量模拟自然环境。”储成才说，在自然环境中，土壤里的氮元素通常很匮乏，一般低于 1 毫摩尔/升，而过去科学家在实验室研究中常用的培养基中氮含量高达 60 毫摩尔/升，远高于自然状态。

“让植物回归自然状态，会出现什么情况？”储成才团队打算实验一下。

胡斌说，他们选择了 NRT1.1B 这个水稻中关键的“氮探测器”作为研究对象，它能直接感知外界氮元素的多少并启动相应反应。他们分别给水稻营造了低氮环境和高氮环境。结果发现，在低氮环境下，水稻对脱落酸的反应非常强烈，大量抗逆境基因被激活；但在高氮环境下，这种反应被显著抑制，受脱落酸激活的基因数量不到低氮环境的 30%。

“这说明，植物确实能根据氮营养含量，调整对逆境的‘敏感度’。”胡斌说，NRT1.1B 不只是“氮探测器”，还有隐藏技能——直接“捕捉”脱落酸。

通过一系列精密实验，他们发现，NRT1.1B 与脱落酸结合能力很强，是它结合氮元素能力的 1000 倍左右。储成才说，这意味着当环境中的“食物”氮元素不足时，NRT1.1B 更倾向于“接收”脱落酸的信号，优先启动抗逆境程序。

“NRT1.1B 有望成为精准操控养分高效利用与逆境抗性的关键节点。”李家洋说，这项工作代表了复杂环境信号感知与整合分子机制研

究的突破性与前瞻性成果，有望为“资源高效型”水稻种质创新提供关键理论支撑。

“信号传导链”：从感知到行动

那么，NRT1.1B 是如何把“氮信号”和“逆境信号”整合起来的呢？研究团队找到了一条完整的“信号传导链”。

原来，除胞内受体外，细胞膜上同样存在感知脱落酸的受体。

论文通讯作者、南方科技大学副教授龚欣说，他们的研究发现，植物细胞里有一种叫 SPX4 的蛋白，像个“拦路虎”，会阻止一类叫 NLP4 的“传令兵”进入细胞核。当 NRT1.1B 感知到脱落酸后，会让 SPX4 不再阻拦“传令兵”。这样一来，“传令兵”就能顺利进入细胞核，启动一系列抗逆境基因的表达，帮植物应对困难。

更关键的是，氮元素和脱落酸会“竞争上岗”结合 NRT1.1B：当土壤中氮充足时，氮元素会占据 NRT1.1B，让它更专注于调节氮的吸收利用，此时植物更倾向于生长；而当氮匮乏遇到逆境时，脱落酸会“抢过”结合位点，让 NRT1.1B 启动抗逆境程序，帮植物“保命”。

NRT1.1B 蛋白的这种“双受体”功能，让植物能根据环境灵活切换“生长模式”和“抗逆模式”。“这种机制在植物界很普遍，拟南芥、玉米、小麦等植物中，类似 NRT1.1B 的蛋白都有这种‘双感知’能力，说明这是植物在长期进化中形成的‘生存智慧’。”储成才说。

此外，田间实验显示，在低氮加干旱的双重压力下，NRT1.1B 能帮水稻维持产量。这意味着，通过改造 NRT1.1B，未来可能培育出既耐干旱又能高效利用氮元素的作物新品种，它们不需要太多化肥也能在逆境中高产，真正实现“减肥节水”的绿色农业。

中国科学院院士、中国科学院分子植物科学卓越创新中心研究员韩斌指出，该突破性工作不仅为理解植物响应复杂环境信号提供了全新视野，为植物环境适应性研究带来重要的发展机遇与知识体系变革，也为精准操控作物养分高效与逆境抗性平衡奠定了理论基础。

中国科学院院士、中国科学院植物研究所研究员种康表示，传统硝酸盐受体 NRT1.1B 可作为脱落酸的新型受体，打破了对植物脱落酸感知系统的固有认知。这一机制在不同植物中的保守性为作物改良提供了普适靶点，也为培育兼具养分高效利用与逆境耐受的作物新品种开辟了新途径，对农业可持续发展具有重要指导意义和应用潜力。

储成才团队相信，随着研究的深入，未来会有更多基于植物“生存智慧”的作物新品种出现，让农业更高效、更环保。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2025.07.027>

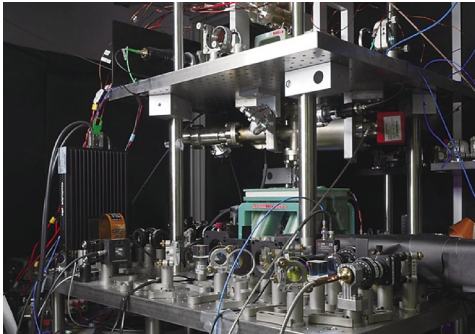


科学家构建国际最大规模原子量子计算系统

本报讯(记者王敏)中国科学技术大学教授潘建伟、陆朝阳等与合作者,利用人工智能技术实现了高度并行性以及与阵列规模无关的常数时间消耗,在 60 毫秒内成功构建多达 2024 个原子的无缺陷二维和三维原子阵列,刷新了中性原子体系无缺陷原子阵列规模的世界纪录。该方法为大规模中性原子量子计算奠定了关键技术基础。相关研究成果近日发表于《物理评论快报》。

中性原子体系因优异的扩展性、高保真度量子门、高并行性和任意的连接性,成为极具潜力的量子计算和量子模拟平台。该体系使用光镊阵列囚禁中性原子,首先需要通过重排技术将初始随机填充的原子阵列转换成无缺陷原子阵列,在此基础上进行量子逻辑门操作。传统的重排方法受限于随阵列规模增长的时间复杂度、原子丢失、计算速度等,阵列规模停留在几百个原子的水平,难以进一步扩展。

为破解该难题,研究团队创新性地研发人工智能技术,实时驱动高速空间光调制器进行动态刷新,通过对光镊阵列位置和相位的精确控制,同时移动所有原子。研究团队通过二维和三维原子阵列的任意构型重排,实现了高达 2024 个原子的无缺陷阵列,总耗时仅为 60 毫秒。随着原子阵列规模增大,该重排方法耗时



实验装置示意图。 中国科学技术大学供图

不变,因此未来可以直接应用于数万原子规模的无缺陷阵列重排。目前,该系统单比特门保真度达 99.97%,双比特门保真度达 99.5%。探测保真度达 99.92%,已追平以美国哈佛大学为代表的国际最高水平,为构建基于中性原子阵列的容错通用量子计算机奠定了技术基础。

审稿人高度评价这项工作,认为这一工作是原子相关量子物理领域在计算效率和实验可行性方面的一次重大飞跃。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1103/2ym8-vs82>

新型材料让软体机器人抗寒又敏捷

本报讯(见习记者李媛)西北工业大学空间结构技术重点实验室教授张卫红团队与香港城市大学、香港理工大学科研人员合作,开发出一种基于新型电活性聚合物的多功能机器人,有望满足复杂结构和极寒环境下的应用需求。相关研究成果近日发表于《先进科学》。

电活性聚合物是一类可在电场作用下产生大幅度变形的智能材料,广泛应用于人工肌肉、软体机器人等前沿领域。应用场景的不断扩展,对机器人系统的多功能集成能力提出了更高要求。传统电活性聚合物往往仅具备电致变形功能,难以满足环境适应性及系统集成需求。

研究团队开发了一种具备低电压驱动、高电吸附力和可控自加热的新型聚氯乙烯基电活性聚合物。研究人员通过在聚氯乙烯凝胶中引入乙酸乙烯酯,有效抑制了因塑化剂迁移导致的热发与电击穿问题,同时显著提升了材料的介电性能与力学性能。

与现有材料相比,新型材料的发热量降低超过 50%,使用寿命延长 15 倍以上,输出力提

升 1.75 倍,电吸附力提升 2.15 倍,在低电场下实现强吸附力,远优于传统静电电吸附结构。此外,研究团队还提出多种电压控制策略,可实现材料的按需自加热或进一步发热抑制。

在此基础上,研究团队开发出具备快速爬行、低温环境自加热、模块化组装与协同作业能力的微型软体机器人。机器人结构紧凑,响应灵敏,在仅 72.5V 的低电压下即可驱动,显著低于现有同类系统。通过集成的电吸附结构,机器人集群可在毫米尺度内实现快速连接与脱黏,在狭小空间内完成自主重构,具备优异的群体协作能力。

在极寒环境测试中,机器人可在 -50℃ 环境下完成自主加热、巡检和冰层融化等任务。在航空发动机叶片检测、狭缝探测和寒区作业等应用场景中展现出显著优势。相关成果为研发极端环境下小型智能机器人系统提供了新思路,也展示了此类材料在电子器件、仿生系统和智能制造等领域广阔的应用前景。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1002/adv.202507757>

整合力量 提前布局 推进空间太阳能电站建设

■葛昌纯

空间太阳能电站是指在地球同步轨道上建立的,将太阳能直接转化为电能、再通过微波或激光将能量传输到地面的电力系统。空间太阳能电站是国际上公认且极具可行性的从根本上解决人类能源危机的方案。

我国空间太阳能电站建设的紧迫性不断提升。虽然近年来我国已在关键技术研发方面取得重要进展,但与国际先进水平相比仍存在短板。

面对激烈的国际竞争,我国必须加快速度。若不能及时突破核心技术、提升工程化能力,将面临关键技术被垄断、标准制定权和市场空间被挤压、空间资源开发话语权被削弱的风险,甚至影响国家能源的长远安全。因此,亟须建立一套完善的国家战略体系,加速突破瓶颈,从而在未来能源布局中占据主动位置。

发展需求紧迫

我国空间太阳能电站建设具有紧迫性。太空中的太阳能强度是地面的 10 到 15 倍,可以提供连续稳定的清洁能源,空间太阳能电站作为一种可持续、稳定的清洁能源供应方式,能够有效缓解我国对传统化石能源的依赖,减少碳排放,助力实现碳达峰、碳中和目标。同时,空间太阳能电站的发展将带动航天、材料、能源等多个领域实现技术突破,提升我国在国际航天领域的竞争力。

2008 年,我国空间太阳能电站研究正式被纳入国家先期研究规划。经过十几年的自主创新研究,我们已在一些关键领域取得了阶段性成果,不仅构建出完整的“材料－传输－控制”技术链,还在超轻光伏材料、热控材料、高效微波转换、在轨机器人装配、波束控制精度及接收场安全等技术上有所突破。

然而,当前进展仍低于预期。虽然一些指标上差距正在缩小,但在技术普及性和产学研结合上,我们还远不如发达国家。

与此同时,国际上空间太阳能电站的研究竞争日益激烈。美国已在 2025 年前开展关键技术空间验证,日本也已将空间太阳能发电列入国家发展计划,提出了 2050 年前建设商业空间太阳能电站的发展路线图。美、日及欧洲一些国家和地区已在该领域投入了数十亿美元,并积极着手制定相关技术标准、布局产业链。

相比之下,我国在一些关键领域仍存在明显差距。例如,我国发射成本约为每磅 2000 美元,比美国 SpaceX 高出近 40%,制约

了大规模在轨部署的可行性;我国在轨维护技术仍处于地面验证阶段,而美国已开展机器人自主维修试验;我国关键材料的使用寿命与美、日相差逾 50%,直接影响电站的长期运行效率和经济性。

现实瓶颈需突破

受限于我国在空间太阳能电站领域起步较晚,相关核心技术方面仍存在诸多瓶颈,需要加大攻关力度。

首先,在空间超大型结构建造方面,未来的商业级空间太阳能电站重量可能达到万吨级,远超我国目前最大航天器仅百吨级的规模。要在轨建造如此庞大的结构,必须加大力度研发碳化硅纤维增强复合材料、超轻结构材料、热防护材料等新型材料,以及自适应结构技术,以实现空间建造能力的突破。

同时,在大功率无线传输技术方面,空间太阳能电站要求微波或激光传输效率从目前不足 50% 提升至 60% 以上,并需提高波束控制精度与安全性,这同样依赖于关键材料与核心器件研发制备技术的突破。此前,西安电子科技大学成功构建了世界首个全链路地面验证系统,其微波传输效率与控制精度已达到国际先进水平,为该技术领域的发展提供了重要示范。

此外,太空碎片对空间太阳能电站的影响不容忽视。在推进空间太阳能发电的同时,必须高度重视太空碎片的监测、预警与防护,这是保障系统安全运行的重要前提。

除技术瓶颈外,我国在大规模应用中的技术集成与实际验证方面仍不成熟。对此,可采取“模块化”方式,先建设小型空间太阳能发电站,再逐步拼接为大型系统,这种方式更具灵活性,也更便于验证与推广。

国家力量是破局关键

我国计划在 2030 年前完成百万瓦级空间太阳能发电的实验验证,到 2050 年实现商业化运行。这一目标是稳妥且可行的。

(下转第 2 版)

