



细胞壁不仅是“外骨骼”，更是“指挥官”

■本报见习记者 江庆龄

“细胞壁是质膜外具有一定硬度和弹性的细胞结构，广泛存在于植物、细菌和真菌中。”这是中国科学院院士邹承鲁主编的《当代生物学》对细胞壁的定义。

中国科学院分子植物科学卓越创新中心（以下简称分子植物卓越中心）研究员杨卫兵团队研究发现，细胞壁不仅扮演了植物细胞“外骨骼”的角色，还能充当“指挥官”，影响并引导植物干细胞的命运。相关研究成果近日发表于《科学》。

找到“核心开关”

1665 年，英国科学家罗伯特·胡克在使用自制的显微镜观察木栓组织时发现了许多小室结构。由此，“细胞”概念首次被提出。事实上，这些结构是细胞的细胞壁。

此后很多年，人们对细胞壁进行了更系统的研究并逐渐得出结论——在植物细胞中，细胞壁作为“外骨骼”，不仅维持细胞形态，还参与细胞内的信号传递和机械应力调控。

植物为何能展现出如此绵延不绝的生命力？为何能够在整个生命周期中持续不断地产生新的枝、叶、花与果实？

秘密就在植物中直径不足 0.1 毫米的区域。在植物茎顶端、根尖等“生长中枢”，分布着一群活跃的植物干细胞。它们通过精确的分裂与分化，绘制出植物生长的蓝图。也正是由于干细胞活性的精妙调控，塑造了植物的多样形态。

自 2014 年在英国剑桥大学从事博士后研究起，杨卫兵便开始关注这群特殊的细胞。

“最初受到了动物干细胞的启发。”杨卫兵介绍，动物干细胞虽然没有细胞壁，却包裹着一层细胞外基质。

科学家发现，细胞外基质的“软硬”特性对于动物干细胞的命运具有重要的引导作用。把干细胞放在坚硬的基质上培养，最终会分化为骨细胞；放置在中等硬度的基质上，会得到肌肉细胞；倘若基质很“松软”，则会发育为神经细胞。

考虑到细胞壁同样位于细胞外部，且主要成分也为多糖和蛋白质，杨卫兵推测，植物细胞壁可能发挥着类似的作用。于是，他把目光锁定在植物干细胞细胞壁上。

博士后期间，杨卫兵用 6 年时间系统分析了干细胞的细胞壁组成，并初步明确了细胞壁合成调控的机制。相关论文先后发表于《当代生物学》《科学》。

2020 年，在回国加入分子植物卓越中心并独立组建实验室后，杨卫兵又带领团队继续深挖。

随着研究逐渐深入，团队发现，在植物茎顶端干细胞区域，细胞壁的主要成分果胶呈现独特的“二元分布”模式。具体而言，新形成的细胞壁偏“软”，富含去甲酯化果胶，而成熟的细胞壁则更“硬”，以高度甲酯化的果胶为主。

那么，这里的“软”“硬”有什么作用？

“细胞壁结构的动态变化，就像一个控制干细胞命运的‘核心开关’，引导其在分裂、分化等不同状态间转换。”杨卫兵解释，在新生的细胞壁中，果胶成为去甲酯化过程使其变得较为柔软、易调整，从而帮助细胞灵活确定分裂的方向和位置。在成熟的细胞壁中，果胶保持高甲酯化状态，有利于维持干细胞持续分裂的能力及组织的稳定。值得一提的是，当团队采用遗传学方法使果胶无法形成高甲酯化状态时，植物无法生长。

备好“储备粮”

在微小的分生组织中，果胶竟然同时呈现两种截然不同的修饰状态。对此，杨卫兵的第一反应是“很矛盾”，第二反应是“应该存在一套精细的调控机制”。不久，团队就在一次实验中偶然发现了端倪。结合荧光定量分析等方法，他们找到了负责“软化”细胞壁的关键酶 PME5，并发现了一个不同于传统中心法则的新现象。

一般而言，信使 RNA (mRNA) 在体内转录后，会被立即转运到细胞质中进行翻译。而团队却在显微镜下看到了不同现象。PME5 转录的 mRNA 并不会立即进入细胞质，而是被 RNA 结合蛋白 RZ-1B “抓住”，在细胞核内“滞留”，形成一个与细胞周期同步的 mRNA 储备库。只有当细胞分裂启动，核膜解体时，这些被禁锢的 mRNA 才被同步释放，迅速翻译为功能蛋白，精准作用于新生细胞壁，实现细胞壁局部定时、定点的“软化”调控。

在杨卫兵看来，这种 mRNA 的核内隔离机制就像一个预设的时间胶囊，确保细胞壁修饰程序仅在细胞分裂的关键时间窗口被激活，从而实现新旧细胞壁性质的精确区分。

“植物干细胞分裂时，形成细胞壁的时间只有 20 分钟，如果完整走完转录到翻译的过程，可能来不及给细胞‘塑性’。”杨卫兵说，而提前在核内储备 mRNA “储备粮”，在需要时即可释放出来，确保植物干细胞分裂过程的高效。

开辟“育种新途”

中国科学院院士、分子植物卓越中心主任韩斌强调：“植物生长有其规律，我们只有知道了哪些环节‘可控’，才能进一步在特定条件下人工改造植物。”

因此，在解决基础科学问题的同时，团队初步探索了该研究成果的应用潜力。在模式植物拟南芥中，一旦调控机制遭到破坏，植株就会表现出细胞分裂模式紊乱、干细胞活性降低、分生组织发育终止等一系列缺陷。

更为重要的是，细胞壁“软硬兼备”的时空构型在演化中高度保守。目前，团队已经在玉米、大豆、番茄等多种作物中发现了同样的调控机制。而作物的株高、分蘖数、穗型和果实大小等关键农艺性状，都与干细胞活力密切相关。

杨卫兵表示，基于“细胞壁精准设计”策略，有望提升作物分生组织活性和产量，为培育高产高效作物、保障国家粮食安全提供关键的理论支撑和技术路径。

此外，植物细胞壁是地球上规模最大、存储量最惊人的生物质形式。提高植物分生组织的活性，可以增加生物质产量，将更多大气中的二氧化碳固定为有机物，从而提升植物的碳汇能力。

“这项研究更多是从固碳的角度服务于‘双碳’目标。”分子植物卓越中心研究员、植物高效碳汇重点实验室（中国科学院）主任王佳伟补充说，“简单来说，让一棵树长得更大一些、活得更久一些，就能固定更多的碳。”

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1126/science.ady4102>



12 月 8 日，我国自主研发的超大型甲醇双燃料动力滚装船“深荣”轮在江苏南通正式首航，将承担国产新能源汽车批量出口欧洲的运输任务。

“深荣”轮长 219.9 米、型宽 37.7 米的庞大船体，可容纳 9300 个标准车位，总装车面积达 7.84 万平方米，相当于 11 个标准足球场的面积。“深荣”轮动力系统可实现传统燃油与甲醇两种燃料模式的灵活切换，符合国际海事组织最高排放标准，使用绿色甲醇时可减少 70% 以上的温室气体排放。

图为“深荣”轮。 图片来源：视觉中国

《自然》2025 年度十大人物“出炉”，中国两人入选

观测到的遥远星系的最佳视界。

今年的半数入选者都来自生命科学领域。以色列魏茨曼科学研究所的系统生物学家 Yifat Merbl 通过研究细胞内粉碎蛋白质的回收中心——蛋白酶体，揭示了人类免疫系统的一个全新维度。英国伦敦大学学院的神经学家 Sarah Tabrizi 团队提出了一种能缓解亨廷顿病的疗法。巴西奥斯瓦尔多·克鲁兹基金会的农业研究员 Luciano Moreira 创立了首个蚊子工厂，专门培育感染了沃尔巴克氏菌的蚊子，以期遏制登革热扩散。南非金山大学的公共卫生官员 Precious Matsoso 在历时多年的艰难谈判后，促成了全球首个大流行病防范协议。

今年入选者中还有一名婴儿——美国费城郊区的罕见病患儿 KJ Muldoon。在接受了一种新型基因编辑疗法后，他的病似乎被治愈了。他可爱的笑容感染了全世界。

此外，微生物学家、免疫学家 Susan Monarez 也入选了《自然》十大人物。她出任美国疾病控制与预防中心主任后不到一个月，就因为坚持科学立场被免职。印度数据科学家 Achal Agrawal 则致力于揭露印度国内的科研诚信问题。他的工作推动了标志性的政策改革，改变了印度高

等教育机构的排名机制。

“今年的榜单聚焦新前沿的探索者、医疗领域的突破性进展发现者、科研诚信的坚定守护者，以及那些可以拯救生命的全球政策的制定者。”《自然》编辑 Brendan Maher 说。（冯丽妃）



新一代超高温热泵原型样机问世

本报讯（记者倪思洁）中国科学院理化技术研究所研究员罗二仓团队，系统梳理研究了未来高温热泵发展技术路线，并成功研制出国际首台泵热温度超过 200℃ 的电驱动双作用自由活塞及热驱动热声超高温热泵原型样机，相关研究成果近日发表于《自然·能源》《应用物理快报》和《能源》。

当前工业生产中，造纸、印染、烤酒、医药等需要 100℃ 至 200℃ 的热能或蒸汽供应，而陶瓷、冶金、石油化工等则需 200℃ 至 1000℃ 甚至更高温度的高温热能。然而，传统的热泵技术正面临严峻挑战，现有的蒸汽压缩热泵难以实现 200℃ 以上的工作温区，且环保安全工质匮乏。同时，采用温室效应较低的二氧化碳碳热泵技术面临系统工作压力过高、能效不高等难题。

“发展可高效实现能源利用的超高温工业热泵，将成为实现‘双碳’目标的关键路径之一。”罗二仓说。

近十几年来，罗二仓团队聚焦采用环保工质，如氯气、氯气、氮气等绿色工质的热声斯特林技术，研发具有广阔应用前景的新一代热泵技术。

研究团队对包括热声斯特林热泵技术在内的几种潜在可实现超高温热泵技术的研究

工作做了总结凝练，并对未来超高温热泵技术所涉及的关键材料、技术等的发展方向提出了建议及展望。

同时，团队创新性地提出了电调相，从而建立了双作用热泵的“反相运行”声场调相机制，巧妙实现了系统中声功的反向传输、高温换热器与低温换热器功能对调，保障了压缩机的低温运行，从根本上破解了超高温压缩机研制的难题，成功研制出国际首台泵热温度超过 200℃ 的双作用自由活塞型热声斯特林超高温热泵原型样机。

此外，团队还研究了完全无运动部件的热声热泵，实验样机以热能驱动，可以将 140℃ 左右的低品位热能泵送到 270℃ 以上的热源。

“下一步，研究团队将针对更高温度需求的石化、冶金、陶瓷等高温工业过程热泵技术开展研究。例如，可将压水堆核反应堆仅为 300℃ 左右供热温度或者太阳能槽式集热 400℃ 至 500℃ 的热源，通过超高温热声热泵技术提高到 500℃ 至 800℃，为重工业零碳高温用热提供一种崭新的技术途径。”罗二仓说。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1038/s41560-025-01908-4>

<https://doi.org/10.1063/5.0292379>

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.138325>

科学家开发出纳米级三维各向同性超分辨显微镜

本报讯（记者孟凌霄）中国科学院生物物理研究所徐涛院士课题组与纪伟研究员课题组研制出三维干涉定位显微镜（ROSE-3D），首次在单分子定位成像领域，实现了基于相机的纳米尺度三维各向同性分辨率。相关研究成果近日发表于《自然·方法学》。

传统的基于图形质心定位的单分子定位显微镜，各方向分辨率有较大差异。同时，三维样本中离焦单分子成像光斑变大，导致分辨率大幅下降。

团队研制出的 ROSE-3D 通过三维干涉定位，摆脱了对单分子形状的依赖，在约 1 微米的景深范围内，可将横向定位精度提升 2 到 6 倍，轴向定位精度提升 3.5 到 8 倍。凭借卓越的三维解析能力，ROSE-3D 单层成像就能对细胞内 1 微米厚度的结构进行纳米分辨率的

解析。

研究表明，ROSE-3D 作为一项全新的三维多色纳米分辨率成像技术，能够以超高分辨率对亚细胞器结构以及生物大分子复合物进行精准定位与组装分析，为细胞原位三维纳米结构的研究提供了强有力的技术支持。该技术突破了传统光学超分辨成像分辨率向异性的瓶颈，成功破解了成像方向和深度上的不均匀性难题，首次实现了分子尺度的三维各向同性超分辨率成像。ROSE-3D 在解析生物样品内各种三维纳米结构及揭示生物大分子的原位组装机制等方面具有重要意义。目前，该技术已在北京怀柔科学城实现落地转化，助力高端科学仪器国产化。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1038/s41592-025-02911-z>

“声景中国”项目入选联合国“科学十年”计划

本报讯（记者王兆星）近日，由中国科学院动物研究所牵头发起的“声景中国（Soundscape China）”项目入选联合国《2024—2033 年科学促进可持续发展国际十年》计划。

“声景中国”项目由中国科学院动物研究所牵头，联合中国气象局气象探测中心、国家基础科学公共科学数据中心等 10 多家单位共同发起，50 多家科研机构、保护区、监测站等参与。

项目总体目标是围绕自然声景智能监测，从传感器研制、智能识别模型研发、大数据平台建设等多个维度，构建完整的自然声景智慧监测体系，形成“采集—识别—管理”一体化技术链条，推动自然声音智能监测技术发展与应用，为自然声景和生物多样性研究提供开放

的数据与技术平台，为建设全国声景监测网络奠定基础。在此基础上，项目进一步推动自然声景与艺术创作的融合，借助声音美学促进公众的情感联结与生态感知。同时，建立开放参与的监测机制，开展公民科学，鼓励公众记录身边的自然声音数据，助力生态保护与环境教育的共同发展。

目前，项目一期已经在全国遴选了 55 家保护区，发放了超 100 台声音监测设备，采集到不同地域、不同类型声景记录超 98 万条，实现了从声音自动采集、自动回传到智能识别的全智慧化监测流程，为下一步更广泛的全国自然声景监测奠定了良好基础，为各保护区、国家公园生物多样性监测提供了支撑。

我国首个国家级陆相页岩油示范区建设任务全面完成

据新华社电 中国石油集团 12 月 9 日发布消息，我国首个国家级陆相页岩油示范区——新疆吉木萨尔国家级陆相页岩油示范区今年原油产量突破 170 万吨，标志着其国家级示范工程建设任务全面完成。

页岩油是国际上公认的极难开采的非常规油气资源。吉木萨尔页岩油藏具有埋藏深（超过 3800 米）、渗透率极低（仅为常规油藏的万分之一）等特点，勘探开发面临多项世界级技术挑战。新疆吉木萨尔国家级陆相页岩油示范区于 2020 年经国家能源局、自然资源部联合批复设立，面积达 1278 平方公里，资源量超 10 亿吨。

“2020 年以来，我们累计新钻井 472 口，压裂 451 口井，推动示范区年产量从 2019 年的

11.6 万吨增产到今年的 170 万吨以上，今年提前 22 天完成产量任务。”中国石油新疆油田吉庆油田作业区经理杜雪彪介绍，示范区由新疆油田与吐哈油田联合开发，根据规划，至 2025 年示范区建成，其中，新疆油田完成年产量 140 万吨，吐哈油田完成年产量 30 万吨。

依托持续技术攻关，科研人员攻克难题，形成 40 余项行业标准，构建陆相页岩油全链条技术体系，成功解决了陆相页岩油的国际共性难题，实现了规模效益开发，填补了国内陆相页岩油规模化开发技术空白。

目前，我国已成立 3 个国家级页岩油示范区，包括新疆吉木萨尔国家级陆相页岩油示范区、大庆油田古龙陆相页岩油国家级示范区、胜利济阳页岩油国家级示范区。（顾耀）