



蓝光掌控花儿绽放“红绿灯”

■本报记者 李晨

植物为什么在特定季节开花？光线如何“指挥”花朵绽放？这背后隐藏着一个精密的分子“开关”。

近日，南京农业大学教授秦正睿团队在美国《国家科学院院刊》发表论文，系统揭示了光信号调控温带草类植物开花时间的分子与表观遗传机制，揭开了温带草类植物响应蓝光调控开花时间的秘密，为选育高产、优质、广适的饲草品种提供了新思路。

一个“明星基因”和一个“关键平台”

桃花在春天笑傲枝头，菊花在秋日傲霜绽放，而梅花则在寒冬独领风骚。不同的植物在不同的季节绽放花朵。

对科学家来说，开花远不只是美景，而是关乎植物生存和人类粮食安全的核心问题。论文通讯作者秦正睿告诉《中国科学报》：“开花时间关系到植物能否繁衍后代。假如植物开花太早，植株体量小，种子就少；开花太晚，又可能错过最佳时期，一场大雪就导致全军覆没。”

对农作物而言，开花时间更是影响产量和品质的“命脉”。秦正睿说，育种家一直将开花时间视为关键农艺性状，只有弄清背后的机制，才能有效选育新品种。

燕麦、小麦等温带草类植物，既是人类的主粮，也是畜牧业的重要饲草，在全球粮食安全中扮演着核心角色。然而，科学界对温带草类植物开花调控的理解曾长期处于“迷雾”中。

秦正睿说，在模式植物拟南芥中，关于光信号调控开花的研究较多。但温带草类植物基因组庞大复杂，研究难度大，相关探索处于起步阶段。“光是非常关键的环境信号，但它如何调控这类植物开花，有哪些基因参与，这些问题此前鲜有答案。”

秦正睿团队长期聚焦植物开花时间调控研究。他们注意到，蓝光受体蛋白 FKF1 能感知并响应环境中的蓝光信号，是植物的“光传感器”之一。关键是，它还具有酶活性，能发挥 E3 泛素连接酶的功能，给特定的目标蛋白贴上“销毁”标签，即泛素化修饰，使得目标蛋白被细胞内的“垃圾处理厂”识别并降解。FKF1 基因在拟南芥中是“明星基因”，多次登上著名期刊，但在温带草类植物中研究较少。

同时，团队还发现，在二穗短柄草中，开花

抑制因子 ELF3 蛋白负调控开花，且在光下不稳定。它通常不具备酶活性，但像一个“平台”或“枢纽”，能够将多个不同的蛋白聚集在一起，形成一个功能复合物，从而精密调控下游过程。但启动这个“刹车”的具体分子机制，特别是对于温带草类植物而言，仍是一个“黑箱”。

“我提出了一个假设，FKF1 是否就是在光下负责降解 ELF3 的‘幕后黑手’呢？”秦正睿感慨，科学研究的发现往往始于一个微小的灵感。

分子“红绿灯”模块

论文第一作者曾思颖是秦正睿在浙江大学招收的第一个直博生，大多数实验由她完成。他们经常一起讨论课题进展，当有新想法时，曾思颖往往很快就能通过实验验证；当实验遇到“拦路虎”时，秦正睿也会亲自上阵，师生协力完成课题。

他们关注到，PRC2 是一种“关闭开关”，能够抑制开花促进因子 PPD1 基因的表达，导致开花延迟。一开始，由于某些技术层面的原因，他们差点错过发现 ELF3-PRC2 之间的调控。当解决了技术问题，重新证明 ELF3 与 PRC2 之间的互作关系时，他们既兴奋又庆幸。

最终，团队发现了 FKF1-ELF3-PRC2 分子模块在温带草类植物开花时间调控中发挥的作用。曾思颖说，这个分子模块就像调控开花的“红绿灯”——FKF1 是绿灯，诱导开花；ELF3 是黄灯，作为连接“红灯”和“绿灯”的桥梁；而 PRC2 是红灯，负责抑制开花。

在黑暗环境下，FKF1 和 ELF3 的相互作用较弱，ELF3 蛋白积累，并与 PRC2 蛋白复合体结合。简单来说，黑暗环境下“红灯”亮起，植物保持“等待”状态。

而当蓝光出现时，局面逆转。曾思颖描述道：“在蓝光下，FKF1 和 ELF3 蛋白互作增强，FKF1 作为 E3 泛素连接酶，介导 ELF3 泛素化降解。这相当于‘绿灯’亮起——ELF3 的减少解除了对 PPD1 的抑制，植物于是启动开花程序。”

他们发现，蓝光不仅能激活 FKF1，还能增强其与 ELF3 的相互作用，好比“红绿灯”有了光敏调节功能，使植物对光信号响应更精准。

秦正睿强调，这一机制与已知的其他蓝光受体机制不同。植物有另外一类蓝光受体，名为隐花色素。在拟南芥中，隐花色素在蓝光中能够

特异性地和另外一些蛋白互作；而在黑暗中，隐花色素无法与这些蛋白互作。也就是说，蓝光是一个控制隐花色素与其他蛋白互作的信号开关。

由此可见，“植物进化出多种适应机制，我们的研究揭示了 FKF1 通过控制蛋白互作强弱调控开花，这为理解光信号响应提供了新视角。”秦正睿说。

从实验室到田野：定制开花时间

团队将论文投给美国《国家科学院院刊》后很快得到了审稿人认可，认为这项研究发现了蓝光受体 FKF1 调控开花时间的新机制，与先前已知的其他植物 FKF1 不同，为理解蓝光信号调控植物生长发育提供了新视角。更重要的是，由于该机制在小麦和燕麦等温带草类植物中高度保守，因此研究结果具有普适性。

秦正睿团队在二穗短柄草中验证了这一机制后，进一步在小麦和燕麦中证实了其高度保守。也就是说，FKF1、ELF3 及 PRC2 功能在二穗短柄草、燕麦和小麦中类似，意味着它可作为育种的新基因资源。“我们完全可以通过改变这些基因‘定制’植物的开花时间，让其具备与环境相适宜的开花时间，实现丰产优质的目标。”

例如，燕麦和小麦是多倍体，基因有多个拷贝，这些拷贝就像亲兄弟一样，人们可以挖掘不同拷贝的功能，找到发挥主要功能的拷贝。人们还可以从不同种质资源中鉴定 FKF1 和 ELF3 基因的优异单倍型，利用生物技术改变它们，从而选育出高产、优质、广适的新品种。

“这对于提高作物适应性至关重要。比如，燕麦是严格的长日照植物，在低纬度地区无法开花结实，通过调控相关基因，有望扩大种植范围，提升产量和品质。”秦正睿表示，他们将继续深入研究多个问题，诸如不同燕麦品种对光周期的敏感性差异机制、如何提高燕麦的纬度适应性等。

“通过调控开花时间，我们或许能在更广阔的地区实现作物高产，应对气候变化带来的挑战。”秦正睿说。

燕麦作为粮饲兼用作物，其开花调控研究将直接服务畜牧业和粮食安全。未来，团队还会继续深入研究燕麦开花时间调控的分子机制。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1073/pnas.2508103122>



2025 迪拜航展于 11 月 17 日至 21 日在阿联酋迪拜举行。本届航展以“未来已来”为主题，为全球航空业搭建重要交流合作平台。

今年有近百家中国内地航空相关企业参展。中国商用飞机有限责任公司携一架 C919 飞机和一架 C909 飞机参展，中国南方航空公司携一架 C919 飞机参展。这是国产 C919 飞机首次在中东亮相。此外，中国研发的无人机和电动垂直起降飞行器（eVTOL）等产品也亮相航展。

图为中国商飞的展台前，外商对 C919、C909 系列客机兴趣浓厚。

图片来源：视觉中国

30 米望远镜可能落户西班牙



本报讯 据《科学》报道，作为美国领导的两大新一代大型地面望远镜项目之一，30 米望远镜（TMT）正在放弃首选地点——美国夏威夷莫纳克亚山，转而选择西班牙拉帕尔马岛。

5 月，耗资 40 亿美元的 TMT 项目未能获得美国国家科学基金会（NSF）的支持。7 月，西班牙报价 4 亿欧元，条件是 TMT 建在拉帕尔马岛上。TMT 项目近日在官网发布简短声明，表示正在探索“在西班牙建立新天文台的有前景的途径”。

TMT 尚未正式放弃在夏威夷选址。该项目执行总监 Robert Kirshner 透露，TMT 董事会“尚未就变更首选地点作出决定”，但他们“将与西班牙

认真磋商”，最终决定可能在几个月内作出。

TMT 的工作人员即将前往西班牙马德里，与该国科学、创新和大学部讨论合作事宜，并敲定 4 亿欧元资助的具体形式。西班牙加那利群岛天体物理研究所前所长 Rafael Rebolo 表示，讨论将聚焦“西班牙可以为该项目作出哪些贡献”。

“西班牙在天文基础设施建设方面拥有悠久传统。”Rebolo 强调。该国曾参与建造美国丹尼尔·井上太阳望远镜及智利薇拉·鲁宾天文台的部分设施。西班牙在大型望远镜领域同样经验丰富，镜面直径 10.4 米的加那利大型望远镜是全球最大的单口径天望远镜。

TMT 之所以考虑换址，是因为自 2014 年以来，夏威夷的抗议者一直阻挠其在莫纳克亚山的建设。2016 年，这一僵局迫使由美国加州理工学院和加州大学牵头、印度、日本和加拿大共同参与的 TMT 项目开始寻找替代地点。

科学家揭示 岩石长期缓慢破裂新机制

本报讯（记者王敏）中国科学技术大学研究员张诗准团队与昆明理工大学教授吴顺川合作，首次揭示了岩石在远低于破裂强度的低应力蠕变条件下，从微观破裂缓慢演化到宏观失稳的全新物理机制。这一发现为破解岩石“亚临界破裂”难题提供了精准的“力学解码器”，并为理解地震成核、地壳应力演化等地质过程奠定了关键理论基础。相关研究成果近日发表于《物理评论快报》，这是中国岩石力学领域率先在该刊发表的聚岩岩石破裂物理机制的研究成果。

“亚临界破裂”是指岩石、冰、陶瓷等脆性材料在看似稳定的低受力环境中，经历漫长演化后突然破坏的一种现象，是一个长期困扰岩石力学、地球物理学、航空航天材料等多领域的共性科学问题。

针对上述挑战，研究团队首先设计了恒定低荷载蠕变实验，模拟自然界中长期构造力的作用。实验采用脆性聚苯乙烯材料制备含预制闭合裂纹的试样，通过数字图像相关技术精确测量裂纹周围的微应变演化，首次在缓慢滑动阶段直接观测到两个关键过程。一是裂纹界面在低于破裂强度的恒定应力水平下发生自相似的持续滑移；二是此过程伴随着持续的剪应力松弛并向裂纹尖端方向转移，表现为裂纹形

胀区向初始压实区的逐步扩展，引发尖端局部应变的持续累积。

基于此，研究团队进一步开发了结合速率-状态摩擦与断裂力学的有限元模型，揭示岩石中广泛存在的微裂纹在持续摩擦滑移的调控下，大多数会逐渐减速“安静”，而少数裂纹则会相互触发不断加速，最终形成宏观断层带。基于该发现，研究团队建立了从微观摩擦滑移到宏观失稳的统一物理框架，揭示了岩石“亚临界破裂”本质是其内部永不停歇的微观摩擦主导的应力重分配与破裂的协同演化。

研究首次从实验与理论两方面完整揭示了岩石长期缓慢破裂的物理机制，成功破解了“亚临界破裂”难题，为岩石、冰、陶瓷等脆性结晶材料在任意受力条件下的长期变形与破裂提供了统一的解释框架，也为理解地震孕育、地壳应力演化及地下工程长期稳定性等奠定了基础。

审稿人高度评价这项工作，认为其“为分布式损伤如何演变成局部剪切带提供了宝贵见解，对理解地震成核的起始非常重要”“有助于促进地球物理学、材料科学和物理学之间的跨学科交流”。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1103/rvnp-wnfd>

碳电极钙钛矿太阳能电池 创造 23.6% 最高效率纪录

本报讯（记者孙丹宁）近日，大连理工大学副教授王宇迪与教授史彦涛团队在碳基钙钛矿太阳能电池领域取得新进展。团队制备了新型氧化石墨烯掺杂空穴传输层，并且实现了碳电极钙钛矿太阳能电池 23.6% 的光电转换效率。相关成果发表于《自然－能源》。

钙钛矿太阳能电池（PSCs）以出色的光电转换效率和低成本优势，为实现“双碳”战略目标提供了产品和技术支持。PSCs 通常依赖昂贵且在高温高温下不稳定的金属电极。

此前，团队采用碳电极制备了钙钛矿电池（C-PSCs），因成本低廉、制备工艺简单，具有卓越的环境稳定性，被视为极具潜力的替代方案。然而，碳电极与空穴传输层间界面电荷传输动力学缓慢，且常用的空穴传输材料 Spiro-OMeTAD 需要氧气和锂盐参与的 p 型掺杂工艺，该工艺面临耗时、稳定性差、锂离子迁移等问题，是导致器件性能衰退的主要原因。

针对这一挑战，研究团队制备了羧基功能化的氧化石墨烯掺杂 Spiro-OMeTAD 的空穴传输层，利用氧化石墨烯中羧基官能团的强吸

电子特性，能够在无需氧气暴露的条件下从 Spiro-OMeTAD 分子捕获电子，实现对其高效快速 p 型掺杂，大幅提高了空穴传输层载流子迁移率及掺杂稳定性。同时，团队利用氧化石墨烯独特的离域 π 电子结构，在空穴传输层表面形成了平面共轭电子网络，并与碳电极之间构建了强 $\pi-\pi$ 共轭的耦合界面，极大减少了界面电荷传输动力学损失。

该研究结合叠合式“双碳”电极结构实现了 23.6% 的 C-PSCs 世界最高效率，并获得第三方中国计量科学研究院的认证。此外，研究发现空穴传输层中锂离子能够插入氧化石墨烯层间形成牢固的 Li-C 键，从而“锁住”这些可能损害电池长期稳定性的离子，未封装的电池在连续光照 1000 小时后仍保持 98.7% 的初始效率，从根本上延长了器件的运行寿命。

这项研究成果成功缩小了碳基钙钛矿太阳能电池与金属电极器件的性能差距，同时保留了低成本、高稳定性的核心优势。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41560-025-01893-8>

全球首个 ADC 和核苷酸单体 药物智造系统发布

本报讯（见习记者江庆龄）11 月 17 日，华东师范大学联合睿智医药科技股份有限公司，发布了全球首个适用于抗体药物偶联物（ADC）与核苷酸亚磷酸胺单体合成的药物智造系统。该系统直击药物研发中的“中试放大”瓶颈，将传统生产模式升级为连续、智能、精准的“桌面式”制造。

其中，ADC 药物智造系统的核心突破在于将传统在反应釜中分步进行的还原和偶联工艺，分别集成于两块定制化药物智造芯片中，并通过直接串联实现全连续合成。系统支持对药物抗体比、游离毒素、聚合物等关键质量属性的在线监测与精准控制，可大幅降低批间差异，将传统需要数周的工艺开发与优化周期缩短至数天。

核苷酸单体药物智造系统则攻克了传统磷酸化工艺对剧毒催化剂与无水无氧苛刻条件的依赖，采用无催化剂、无碱参与的绿色反应路径，从源头杜绝“三废”处理难题，实现单体的全天候连续合成，解决了传统工艺因批次生产导致的质量波动问题。

发布会上，华东师范大学校长、中国工程院院士钱旭红表示，此项创新及其落地在相关领域具有重大意义，为保障我国生物医药产业链安全提供了关键技术支撑，重塑了药物研发新范式。ADC 和核苷酸单体药物智造系统是华东师范大学药学院“药物智造”方向的特色成果，攻克了芯片制造、稳定性、多相流体控制等关键技术难题，其核心元器件国产化率超过 95%，综合成本较同类进口方案降低 50% 以上。

国际科技创新中心指数 2025 发布 北京连续 4 年位列前三

本报讯（记者田瑞颖）近日，《国际科技创新中心指数 2025》（GIHI2025）向全球发布。北京、粤港澳大湾区和上海三大国际科技创新中心稳居前十，北京连续 4 年位列前三。

GIHI 由清华大学产业发展与环境治理研究中心与自然科学研智讯合作编制。GIHI2025 采用科学中心、创新高地、创新生态 3 个维度共计 30 个指标，对 113 个国际科技创新中心参评城市和 12 个微型科技创新中心参评城市进行评估。

就综合科技创新实力而言，旧金山－圣何塞凭借人工智能策源优势，在 GIHI2025 中再次登顶，实现六连冠。纽约得分 87.10，蝉联亚军。北京得分 85.19，连续 4 年位列前三，处于第一梯队。粤港澳大湾区跃升两名至第四位，处于第二梯队领先地位，在前十强城市（都市圈）中进步最为显著。上海则处于第三梯队，排名第十位。

值得注意的是，北京在科学中心维度首次登顶；粤港澳大湾区在创新高地维度跃升至第二位，仅次于旧金山－圣何塞。中国共有 21 个城市（都市圈）入围全球百强，总量仅次于美国

（24 个），其中 14 个城市排名上升。

科学中心方面，中国城市（都市圈）排名整体跃升，主要得益于科研队伍稳步扩张，科技论文在社会、产业界中影响力持续提升。南京首次跻身前十，与北京、粤港澳大湾区、上海共同构成中国在科学中心建设上的核心力量，使得中国在前十强的席位达到 4 个，与美国持平。

创新高地方面，中国城市（都市圈）在技术专利与新经济发展方面快速追赶。其中，上海排名第九位，连续 3 年攀升。杭州排名第十五位，首次跻身全球前 20 强，人工智能领域有效发明专利存量位列全球第八位，在中国城市（都市圈）中仅次于北京和粤港澳大湾区，成为加速崛起的新兴科创城市的典型代表。

创新生态方面，开放与合作评分前五的城市（都市圈）除伦敦外均为亚洲城市，粤港澳大湾区和北京分列第四位和第五位。北京、上海、粤港澳大湾区三大国际科技创新中心在论文合著网络和专利合作网络中占据核心地位，充分发挥创新策源优势，引领中国创新网络深度嵌入全球科技创新版图。