

地球深部有一片“隐形海洋”

地球为何能孕育生命？水，无疑是解答这一谜题的核心钥匙。然而，地球深部水的分布情况和活动历史，一直是科学界的未解之谜。

中国科学院广州地球化学研究所(以下简称广州地化所)研究员杜治学团队与合作者首次通过高温高压实验证实，在地球形成初期极端高温环境下，海量水分通过矿物结晶过程被高效“锁藏”于地幔深处。这些水很可能是推动地球从岩浆“炼狱”转变为蓝色宜居星球的关键力量。相关成果近日在线发表于《科学》。

“这一发现不仅重新绘制了地球深部的水分分布图景，也为理解地球深部水的赋存、循环过程及行星宜居性的形成机制提供了新启示。”论文作者杜治学说。

地球早期演化与水之谜

科学家已知，现今地幔和地核储存的水量可能远超过海洋之和。这些水从何而来？

46亿年前的地球，频繁而剧烈的星体撞击使其表面和内部均翻腾着炽热的岩浆。地球早期的岩浆洋在冷却过程中结晶出固态矿物，逐渐形成地幔。其中，布里奇曼石是地幔中最早结晶且含量超过一半的主要矿物，可能是重要的“储水容器”。布里奇曼石的“锁水”能力，在科学上被称为“矿物与熔体间水分分配系数”，直接决定了有多少水能从岩浆转入固态地球。这一关键参数目前只能通过高温高压实验测量。

论文第一作者、广州地化所博士后卢文华说：“如果把地球比作一个鸡蛋，人类目前能直接观察到的岩石样本大多来自410公里深度的上地幔，仅相当于触及‘靠近蛋壳的蛋清’。对于‘蛋清’和‘蛋黄’的研究，则高度依赖实验模拟。”

研究团队经持续攻关给出颠覆性答案——布里奇曼石“锁水”能力远比先前估计的强，且随温度升高显著增强。这意味着，在地球早期更热的岩浆洋中，水不仅未被完全驱逐，反而被结晶矿物更高效地捕获和掩埋。

根据新发现的规律估算，通过布里奇曼石结晶，地球深部地幔可能封存了相当于现今全球海洋总水量(约1.4千吨×1021千吨)的原始水。以往研究基于相对低温实验条件，认为布里奇曼石储水能力有限。而研究团队利用自主研发的超高压实验模拟装置，将实验温度大幅提升至约4100摄氏度的极端高温。最新数据表明，矿物“锁水”能力随温度升高显著增强，直接颠覆了“深下地幔几乎不含水”的传统认知。

艰苦卓绝的技术攻关

这一颠覆性认知的问世，源于研究团队历时5年多、直面两大技术难题的艰难探索。

第一个难题是复现地球深部的“炼狱”。2019年杜治学回国后，决心从零搭建模拟下地幔极端条件的激光加热金刚石压腔实验平台。该平台更像一个精密光学物理实验室，而团队成员无专业光学背景，一切靠摸索。卢文华回忆：“从理论学习、光路调试到系统集成，耗费了大量心血。”最终，他们成功研制出国内领先平台，集成关键高温成像技术，为精确复现深部环境奠定基础。

第二个难题是在“尘埃”大小的样品里“称”出痕量水。2021年，团队合成目标样品后，面临更大挑战——如何测定直径仅数十微米、不足头发丝的十分之一，含量可能低至十万分比级别的水？当时国际上尚无成功先例。杜治国团队与广州地化所工程师杨亚楠合作，经反复摸索，建立了基于纳米离子探针的痕量水微区分析方法。

2022年3月，关键数据出炉，布里奇曼石含水量和锁水能力远超预期。经过详细的数据处理与模型构建，团队于2023年4月18日首次投稿，却在4个月的等待后收到了拒稿通知。3位审稿人肯定了研究的重要性，但质疑如此高的水含量是否来自样品中纳米级富水包裹体“污染”，而非真正进入布里奇曼石晶格的水。

这是基于早期低温实验经验的合理质疑。尽管团队认为在4100摄氏度实验条件下富水包裹体不可能稳定存在，但科学只认证据，仅凭理论推测难以令人信服。

深部“水库存”可能塑造宜居地球

论文共同通讯作者杨亚楠表示，这项工作的价值不仅在于得出新结论，还在于方法论的突破与启示。团队自主集成并创建一套覆盖“极端条件实验模拟—微区样品回收—高灵敏痕量分析”的完整技术体系，实现激光加热金刚石压腔、纳米离子探针、原子探针、冷冻三维电子衍射等尖端技术协同创新，攻克长期制约深部挥发分研究的技术瓶颈。

“在诸多前沿领域，重大科学认识刷新常常是重大技术突破后‘水到渠成’的结果。该研究是技术驱动认知进步的典范，建立这一技术体系的意义可能超越单一科学发现。”杜治学补充说。

基于新发现，团队构建了岩浆洋结晶模型。模拟结果显示，由于早期高温下布里奇曼石强效的锁水能力，岩浆洋凝固后，下地幔成为整个固体地幔中最大储水层，储水量可能是此前模型预估的100倍。

深埋的水并非静止“库存”，而是地球这台巨型地质机器的“润滑剂”，能降低地幔岩石熔点和黏度，促进内部物质循环与板块运动等重要地质过程，赋予地球持续演化活力。随着时间推移，深部水通过岩浆活动等地质过程被逐渐“泵”回地表，参与形成原始大气和海洋。这一早在初期就被封存于地球“骨髓”中的“水之火种”，很可能正是推动地球从岩浆“炼狱”转变为蓝色宜居星球的关键力量。

美国卡耐基科学研究所地球与行星实验室主任Michael Walter在《科学》同期撰文评述道：“该研究为破解早期地球这一复杂且多面的历史谜团，补上了一块关键拼图。”

该研究不仅揭示了地球深部可能有“隐形海洋”的图景，更彰显了中国科学家在深地前沿基础研究领域的创新活力与攻坚精神。未来，团队计划借助此次建立的新方法体系，逐步拓展研究对象，系统探索地球深部这个“隐秘王国”中各类挥发分的分布、循环与演化规律，更全面揭示地球乃至类地行星的内部动力学与宜居性演化之谜。

(据《中国科学报》)

郁金香：绽放之前必先“挨冻”



郁金香，被称为“花卉皇后”，风姿绰约，色彩缤纷。冬天一到，植物园的园丁们将一筐筐郁金香种球栽入园，望着

他们忙碌的身影，仿佛能预见初春那色彩斑斓的花海。超市和花卉市场也摆上了郁金香、风信子、水仙花的种球，商家说带回家种植不久就能开花，刚好为春节增添喜庆。那么，郁金香究竟该何时种植、何时开花呢？

要解答这个问题，得先了解春化这个概念。春化是指低温对越冬植物成花的诱导和促进作用，很多植物都需要一定时间的低温，才能促进花芽形成和花器官发育，通俗来说，就是要“挨冻”才能开花。冬小麦、油菜、萝卜等作物都有春化现象，这也是它们翌年才能开花的根本原因。花卉中，茶花、兰花、牡丹、芍药，以及郁金香、风信子、水仙等球根花卉，都需要低温诱导才能发育出完备的花器官。区别在于不同物种所需“冬季剂量”不同，即低温范围和时长有差异。

既然郁金香需要低温春化，能否人工“模拟冬天”？答案是肯定的。商家会将郁金香种球提前放入冷库，用5℃低温处理，让其完成春化，这种经过6周以上低温处理的种球一般被称为“五度球”。市场上卖的室内土培或水培的种球多为五度球，种下后无需额外低温春化，5℃以上即可生根发芽；15℃以下缓慢生长，15℃至25℃快速生长，只要温度适宜、光照充足就能顺利开花。

我国华中和华东等地区，11月中旬的室温通常符合15℃至25℃，此时种植五度球，大概30天至50天就能开花；北方暖气房温度如果合适，30天至60天也能绽放，把握好时间就能成为元宵花卉。商家还会分批处理五度球，间隔一定时间种植，就可实现连续上市、陆续开花。

未经低温处理的种球通常被称为“自然球”，室外种植后需要经历整个冬天的春化，来年春天温度回升后才会破土生长，普遍在3月下旬至5月上旬开花。再加上不同品种开花有早有晚，这就是我们从寒冬到仲春都能欣赏到郁金香的原因。(据《科普时报》)

改造酵母菌成“降解工厂” 把塑料垃圾“吃干榨净”

如何处理塑料垃圾一直是世界性难题。近日，江南大学陈献忠教授团队通过基因编辑，给一种酵母菌装上了“消化系统”，让其在常温常压下就能将塑料垃圾“吃干榨净”，分解为有价值的化工原料。

塑料垃圾的主要成分为聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)。自然界中，能分解塑料的酶效率低、不稳定且成本高昂。陈献忠团队独辟蹊径，将目光投向了一种名为“热带假丝酵母”的天然酵母，将其改造成为一个高效的“移动降解工厂”。

陈献忠告诉记者，一般情况下，彻底分解PET需要两种酶协同工作：第一种酶PETase负责将大块塑料剪成碎片，第二种酶MHEase接力将碎片进一步分解为最终产品——对苯二甲酸和乙二醇。

为了让这两种酶“友好合作”，团队将它们以合适比例精准固定在酵母细胞表面，形成“集成自组装多酶展示平台”系统。“这就好比给酵母菌穿上了一件由降解酶构成的‘金刚钻铠甲’，当它们一接触到塑料，就能启动协同降解‘流水线’，提升效率。降解过程只需一次性投入工程酵母，且可重复使用。”陈献忠解释。

在实验中，研究人员在5升的生物反应器中投入10克酵母菌和20克普通的废弃塑料瓶碎片，在仅控制酸碱度的温和条件下，这些塑料在一周内被完全分解为塑料单体。这项研究不仅提供了塑料垃圾处理的新工具，更展现了一条通往“塑料循环经济”的路径。未来，团队计划让这种酵母菌不仅能分解塑料，还能将分解产物直接转化为更有价值的生物基化学品。(据《新华日报》)

科研人员找到调控大麦种子“睡多久”的“闹钟”

中国科学院青藏高原研究所研究员王昱程等联合十余家科研机构，破解了大麦种子“睡多久”由谁说了算的问题，为基因组设计育种、构建可持续高性能农业体系提供了可能，也为应对未来极端气候变化与人口爆发性增长带来的粮食安全挑战提供了新途径。

种子休眠是指种子在适宜发芽的条件下仍“按兵不动”，直到环境真正安全才“启动”发芽，是农作物在驯化过程中被深刻改造的关键性状之一。

研究发现，一个名为MKK3的基因通过“拷贝数+酶活性”双轮驱动，塑造了大麦在全球不同气候区的休眠节律。大麦种质基因组中控制种子休眠性状基因MKK3双重调控大麦种子休眠时间，即MKK3存在1个至15个不等的串联重复拷贝，同时携带T260、Q165等关键氨基酸突变。基因拷贝数越多，表达量越大，种子休眠性越弱；氨基酸变异控制的酶活性越强，种子休眠性越弱。二者协同作用，可实现对MKK3总体活性的精细调控，进而决定作物种子的休眠特性。

通过对全球1000多份大麦种质的基因分析，团队重构了MKK3的演化历史，发现气候和农业需求是人类选择MKK3类型的指挥棒。在东亚季风区，为避开采收期炎热天气，人类选择了休眠期长的“低活性模式”；在北欧地区，为满足啤酒酿造对麦芽快速、均匀发芽的需求，稳定保留了“弱休眠性模式”，并结合农艺措施规避风险；而在青藏高原，为适应高寒气候与提前收获的传统，裸大麦(青稞)拥有全球最强的MKK3活性，确保种子在严苛环境中仍能迅速萌发。(据《中国科学报》)

2.5亿年前一场“森林倒塌” 如何演变成全球性灾难

崩溃。科研人员在贵州冷清沟剖面钻孔岩芯中发现，植物群的剧烈衰退伴随着碳、硫同位素信号的强烈异常——标志着区域性碳—硫循环被打乱。

团队负责人研究员冯卓介绍，化石记录显示，昔日繁盛的“华夏植物群”曾如同现代热带雨林般覆盖华南地区。随着环境胁迫增强(例如频繁野火)，森林系统逐渐退化，最终跨越生态阈值而全面崩溃。取而代之的，是以石松类等草本型植物为主的低矮植被体系。

“森林的崩塌带来了连锁效应。”论文第一作者副研究员陈剑波说，“失去森林根系‘抓握’后，土壤、岩石和矿物质被迅速冲刷，大量硫酸盐被带入盆地，导致硫同位素值迅速下降，扰乱了区域的硫循环和水体化学条件等，使得生态失衡被进一步放大，推动了区域环境恶化。”

从南到北：灭绝并非“同时发生”

研究团队进一步将冷清沟剖面的结果与南半球高纬度地区的澳大利亚悉尼盆地进行对比。两地均记录到植被系统崩溃与碳—硫循环异常的现象，但时间上存在约60万年的差异——南半球的生态危机比北半球早得多。

“这意味着二叠纪末的环境危机不是一场全球瞬时打击。”冯卓说，“不同地区的生态系统在先后跨越阈值后逐步失稳，并在区域之间叠加放大，最终演变为全球性危机。”

当前研究提出的“区域性植被破坏后的风化反馈”机制凸显了在全球气候变化背景下，碳—硫循环是陆地生态系统阈值的重要参考，同时，证实大规模的“森林倒塌”可对区域环境造成极其深远的影响。

当森林倒下 整个生态系统随之失衡

本研究是首次对二叠纪—三叠纪过渡期非海相地层开展了单矿物(黄铁矿)的多硫同位素分析。相较传统的硫同位素地球科学研究主要依赖于2个稳定同位素的比值，多硫同位素分析方法通过同时测量4种稳定同位素，能够更精准地追踪硫的来源与转化路径。

“过去20多年来，多硫同位素技术为地球科学研究提供了前所未有的高维信息，就像为地球历史研究配备了‘高维显微镜’，让我们看到过去看不清的细节。”陈剑波说。借助这一方法，科研人员明确了区域硫循环异常的成因，厘清了全球与



二叠纪晚期“华夏植物群”——大羽羊齿类植物为主的森林植被系统。

地方信号的差异。

专家指出，这一成果不仅为理解二叠纪末生物大灭绝提供了新的视角，也为当代气候研究提供了深刻启示：森林系统一旦跨越生态安全阈值，其引发的连锁反应可能远超预期。

“远古的教训告诉我们，一片森林的消失，可能撬动整个地球生态系统的平衡。”冯卓说，这项对远古灾难事件的研究，为当今人类可能面临的环境危机提出了预警：一片森林的消失可能会触发严峻且不可预测的环境反馈，区域性森林系统的稳定对整个地球的健康至关重要。(据《新华社》)



早三叠世“华夏植物群”灭绝后——草本石松类为主的植被系统。

2.5亿年前，地球上最严重的一场生物灾难席卷全球——超过八成海洋物种、七成陆地脊椎动物消失。长期以来，科学界普遍认为，北半球西伯利亚的大规模火山喷发是这场灾难的“元凶”。然而，近日云南大学牵头的一项最新研究表明，这场灭绝的重要环境指标碳—硫循环扰动并非全球同步爆发，而是经历了分阶段、区域性爆发的过程。

一场“森林倒塌”：远古生态的连锁反应

来自云南大学植物古生态团队的研究显示，在二叠纪与三叠纪过渡时期，古赤道地区的森林生态系统经历了突发性