小心！我们脚下有颗“氮时间炸弹”

■本报记者 张双虎

我们的脚下可能有颗“氮时间炸弹”。近日，中国科学院南京土壤研究所研究员张甘霖团队在《地球科学评论》发表论文指出，地表两米以下，几十米甚至上百米范围内，有个被长期忽略的研究“盲区”——深层关键带，那里可能储存着100亿吨不断反应的硝态氮。

“过去我们以为，深层土壤就是个‘沉默的仓库’。”论文第一作者、中国科学院南京土壤研究所副研究员杨顺华告诉《中国科学报》，“最新的研究告诉我们，从作物主根区底部直到基岩，这个被长期忽视的‘深层关键带’其实是个动态运转的氮反应器。它储存、搬运、转化氮素，过程之复杂、时间跨度之长，超乎想象。”



研究人员在黑龙江省齐齐哈尔市依安县做地球关键带调查。 受访者供图

脚下的“盲区”

现代土壤学奠基以来，科学家的目光基本都集中在地表以下一米。这是作物根系活动的重点区域，也是传统土壤调查的深度。

“一米以下的那片世界是土壤学家的研究‘盲区’。”杨顺华说。

从作物根区底部一直到基岩，中间有几十米甚至上百米厚的风化层、裂隙带和浅层地下水，科学家将其称作深层关键带。这里作物根系逐渐消失，没有阳光，微生物群落也与地表土壤迥异。农业生产每年施到田里的氮肥，除被作物吸收、被水冲走、扩散到空气里外，有相当大一部分以硝态氮的形式沿着土壤孔隙、裂隙等一路向下“逃亡”，最终在深层关键带中“安营扎寨”。

20世纪以来，合成氨技术实现了氮肥大规模生产。全球化学氮肥用量从工业化前的极低水平飙升到如今每年1亿多吨。最新的全球估算显示，地表两米以下的深层关键带中可能储存约100亿吨的硝态氮。

“这是一个巨大的‘氮库’。这个估算只是基于有限的观测点，全球真正打过深层钻孔、取样分析过深层氮的地方不到三位数。”杨顺华说，“换句话说，100亿吨这个数字只是初步估算结果。”

“氮时间炸弹”影响未来几代人

长期以来，人们认为深层关键带是一个与世隔绝的“地下冷宫”。但越来越多的证据显示，这个“冷宫”一点也不冷，它是一台正在高速运转的活性氮动态反应器。“而且，在不同地方，这台氮反应器的‘脾气’完全不一样。”杨顺华说。

研究人员综合全球数据，将氮反应器归纳为3种类型。

一是水文受限型——沙漠里的“远古遗产”。在干旱半干旱地区，比如我国塔里木盆地、美国西南部的莫哈维沙漠，年降水量远小于蒸发量。雨水落到地面，还没来得及往下渗就被太阳蒸干了。这种环境下，氮素来源主要是大气沉降——风把含氮的尘埃和气体吹过来，逐年积累。因为没有水向下淋洗，这些氮就被“封印”在深层土壤里，有的已经存了上万年。这像一个被封死的仓库，里面东西很多，但基本不怎么动，只有偶尔下一场大雨，才会“开仓放货”。

二是地球化学缓冲型——红壤里的“吸附陷阱”。在深度风化的红壤和砖红壤区，土壤富含铁铝氧化物。这些氧化物表面带正电荷，像磁铁一样把带负电的硝态氮“吸”在矿物表面，起到一定的截留作用。同时，红壤剖面中往往有一层致密的网纹红土，这里黏粒含量高、孔隙少，把硝态氮往下走的通道给堵住了。“化学吸附”+“物理封堵”导致硝态氮被“按”在网纹红土层里。这种类型的氮反应器“存得住，但放出来的时候很猛”。一旦pH值升高、根系深入或者长期干旱后突然降下大雨，吸附在矿物上的氮就可能被一次性释放出来。

三是水力驱动型——平原灌区的“长途迁徙”。在我国华北平原、美国玉米带、欧洲北部平原等农业区，农民年复一年大量施氮肥，这些地方的深层土壤厚、地下水位深，多余的硝态氮就在灌溉和降雨的驱动下一层层地往下迁移。

“在华北山前平原部分长期高施肥农田中，已观测到硝态氮下渗至地下20米至30米的包气带，按现有运移速率估算，今天浅层地下水里的部分硝酸盐可能对应二三十年甚至更早的施肥历史。但是否已到含水层，因地点不同，差异很大。”杨顺华说，“也就是说，今天华北平原地下水中的硝酸盐污染可能是二三十年甚至半个世纪前施的肥导致的。这就是‘氮时间炸弹’——我们现在做的决策，影响的是未来几代人的水质。”

土壤研究应向深处看

杨顺华告诉《中国科学报》，把深层关键带叫作“反应器”不是一个比喻，它里面真的同时发生着水文输送、地球化学作用和微生物转化3类过程。这3类过程互相纠缠、反馈。水的流动改变了氧气分布，氧气分布又控制了微生物活性，微生物反硝化产生的气体又会改变土壤孔隙结构，反过来影响水流。

“这就是为什么我们说它是一个‘反应器’，而不是一个‘仓库’。”杨顺华说。

深层土壤里的氮决定了地下水什么时候被“引爆”。现在地下水硝酸盐超标是“遗留氮”缓慢释放导致的。这意味着，即便现在开始完全不施氮肥，地下水的硝酸盐污染也会持续几十年。

深层土壤里的硝态氮在缺氧条件下会被微生物反硝化，产生一氧化二氮。这种强效温室气体百年增温潜势是二氧化碳的近300倍。此外，硝态氮在深层土壤的积累伴随盐基离子的淋失，钙、镁、钾这些植物必需的养分跟着硝酸根一起往下跑。长此以往，土壤酸化、养分贫瘠、微生物群落改变等发生在深层土壤的变化，最终会反过来影响表层土壤的生产力。

杨顺华认为，研究氮循环、管理氮污染不能只盯着地表往下那一米。未来的氮素管理，必须建立在“从地表到基岩”的全剖面系统视角上。

“过去我们谈氮肥利用率、面源污染，目光都在农田表层。但深层关键带这个氮反应器告诉我们，氮素的记忆是长尺度的，今天的‘污染账’，未来要还几十年。”杨顺华说。

研究人员认为，未来的氮素管理在观测上要打更深的钻、采更深的样，把深层关键带的“家底”摸清楚；要把深层的水文、地球化学和微生物过程整合进模型；在管理上，要认识到地下水污染治理的“时间滞后效应”——今天的减排措施，可能要到下一代才能见效。

“土壤是地球的皮肤，但皮肤下面的‘肌肉’和‘骨骼’——深层关键带，才是真正决定‘身体’能否健康运转的关键。我们花费上百年学会了善待地表土壤，现在是时候往深处看看了。”张甘霖说。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2026.105723

2026能源转型大会召开

本报讯（记者王方）11月7日至8日，由中国企业改革与发展研究会主办的2026能源转型大会在北京举行。大会以“智启新能，向绿而行”为主题，发布了《全球能源转型报告（2026）》、2026参建未来科学城央企重大科技创新成果、清华大学“能源大脑”计划，形成了一批具有战略价值的成果共识。

大会提出了能源转型的阶段判断与核心原则。我国能源转型已走过打基础、扩规模的发展阶段，正式迈入更加注重质量、效益和安全的全新阶段。转型绝非简单的能源品种替换，而是覆盖生产生活方式、治理方式的系统性深刻变革，核心要统筹好发展和安全、当前和长远的关系，走出一条符合中国国情、顺应时代趋势的能源转型路径。

大会指出了能源重点领域的技术攻坚与行业转型路径。石油石化、煤炭电力等传统能源行业应走差异化的深度脱碳方向；核工业依托“热堆—快堆—聚变堆”三步走战略，扩大清洁能源供给规模；能源央企立足一体化优势，统筹能源保供与转型安全。行业需重点破解绿氢成本高，碳捕集、利用与封存（CCUS）高值化转化难，可再生能源消纳等现实瓶颈。

大会明确了能源转型的跨界合作与国际协同路径。一方面推动人工智能（AI）、数字技术与能源产业深度融合，通过智能算力、数智化运营、AI原生管理系统，打通能源数智化落地卡点；另一方面深化中欧等国际合作，在可再生能源、CCUS、氢能等领域搭建联合创新平台，推进示范工程落地。大会强调，地球科学人才储备、全产业链协同、标准互认是全球能源可持续转型的共同支撑。

大会发布的《全球能源转型报告（2026）》指出，全球能源转型进入“速度加快、阻力加大”并存的阶段，短期保供现实与长期脱碳目标之间的冲突愈发突出。一方面，风光发电快速扩张，电气化水平持续提升，可再生能源加快成为主体能源；另一方面，能源转型承压前行，安全优先重塑供需格局，化石能源依旧扮演着重要角色。在能源转型进程中，我国将重点关注几方面新挑战：新能源消纳、关键矿产供应链安全、AI用电快速上涨带来的系统压力、全球绿色贸易规则重构。



近日，广东清远长隆森林王国首对绿猴双胞胎幼崽迎来满月。今年以来，清远长隆已迎来6只新生绿猴，目前园区共生活着24只绿猴，已形成结构稳定、富有生机的社群。绿猴因全身覆盖金黄色带绿色调的皮毛而得名。绿猴通常每胎仅产1崽，此次双胞胎的诞生在国内尚属首例。为确保两只幼崽均能存活，保育团队制定了“一母带、一人工”方案，即幼崽“麦特”留在母猴身边，幼崽“麦奇”则被送至动物幼儿园育幼室进行人工育幼。图为动物幼儿园里的新生绿猴宝宝。

本报记者朱汉斌 通讯员邓泳怡报道 广东清远长隆森林王国供图

剧烈运动要警惕这个“隐形杀手”

■王月丹

据多家媒体报道，近日，24岁的美国前女曲棍球运动员蕾切尔·阿帕在参加纽约马拉松时，于距离终点约3公里处突然倒地，送医后抢救无效死亡。这是纽约马拉松自2024年以来首例跑者在医疗救治后死亡的案例，而最终确认的死因是横纹肌溶解症——剧烈运动的“隐形杀手”。

蕾切尔·阿帕有丰富的运动经验并为这场比赛进行了数月的规律训练。那么，为何这位训练有素的运动员会因横纹肌溶解症倒在马拉松赛道上？

何为横纹肌溶解症

通俗说，横纹肌溶解症就是横纹肌因为各种原因发生广泛性死亡、崩解，其细胞内容物大量外泄直接进入体液及血循环，从而引发了一系列后果严重的临床综合征。

人体肌肉可分为骨骼肌、心肌和平滑肌三大类，其中前两类属于横纹肌。人体的骨骼肌体量远超心肌，因此横纹肌溶解症通常是指骨骼肌大量溶解导致的综合征，其中最为严重的是急性肾功能衰竭及其导致的高血钾造成的致命性心律失常。

骨骼肌细胞是人体的重要组成部分，需要通过高强度的物质与能量代谢维持人体正常运动功能。因此，骨骼肌细胞内含有大量生物活性分子与能量或物质代谢产物，主要包括肌红蛋白、肌酸激酶、钾离子、磷酸根、乳酸等。正常情况下，这些物质被细胞膜“锁死”在肌肉细胞中，不会影响人体的正常生理环境和生理活动。

目前的研究表明，多种因素可导致骨骼肌细胞快速死亡、破坏细胞膜完整性，使细胞内容物释放到体液中，并进入血液循环，从而引发全身系统性疾病。

一般来说，导致骨骼肌溶解的因素可以分为物理性和非物理性两大类。物理因素主要包括剧烈运动，如长期不运动的人突然剧烈运动、短期内重复蹲起等高负荷单一动作、挤压伤等。而非物理因素则主要包括服用药物，如某些他汀类药物；感染，如流感等某些病毒或细菌感染；哈夫病——一种进食淡水鳕鱼、小龙虾等水产品后发生的罕见性疑似耐热毒素中毒引发的疾病，目前该病患者在全世界仅1000余例，不必过于担心。

上述因素可导致肌肉组织在短时间内大量产热，使细胞因高热而损伤；或者导致血液灌注不足引起肌肉细胞缺血、缺氧，引发自由基损伤、电解质离子失衡以及毛细血管渗漏增加，从而导致肌肉细胞受损或大量死亡，释放生物活性分子及代谢产物。

其中，肌红蛋白可随血流到达肾脏，堵塞并损伤肾小管，引起急性肾衰竭。这是横纹肌溶解症导致死亡的主要原因。有研究表明，横纹肌溶解症患者发生急性肾衰竭的比例为51%，病死率可达32%。同时，肌肉细胞内的钾离子大量释放导致高钾血症，可诱发致命性心律失常。而乳酸等肌肉细胞的酸性代谢产物释放可引起代谢性酸中毒，导致多器官功能受损。因此，横纹肌溶解症是一种危及多器官功能的致命性疾病，不可掉以轻心。

马拉松跑者易中招

发生横纹肌溶解症的人群主要包括接受减重手术的人、剧烈运动的人、挤压伤患者、部分服用他汀等药物的患者以及哈夫病患者等。其中，既往身体健康的年轻男性，例如马拉松、举重、健美运动员，以及突然大量运动的平时不常锻炼的人，是需要重点关注的人群。

马拉松是一项极限运动，骨骼肌需要剧烈收缩和舒张，消耗大量能量并产生热量，血液循环往往无法满足此时肌肉组织的散热与氧气供应需求，容易造成热损伤和缺血、缺氧。同时，肌肉组织的剧烈收缩会进一步减少血液灌注，导致横纹肌细胞溶解。因此，马拉松是人类罹患横纹肌溶解症的重要原因之一。

防治横纹肌溶解症该从何做起

虽然横纹肌溶解症有时是致命的，但只要及时发现、尽早治疗，绝大多数运动性横纹肌溶解症患者完全可以康复。

一般来说，横纹肌溶解症患者有肌肉痛，如肌肉剧痛、僵硬、肿胀、无力，且休息后不缓解；尿色改变，如尿液呈浓茶色、酱油色或红葡萄酒色等；全身不适，如发热、乏力、恶心呕吐、意识模糊、心慌等3个典型的“三联征”信号。其中，茶色尿是横纹肌溶解症最具特征性的信号。

健康的人正常运动后肌肉酸痛通常在24至48小时达到高峰并逐渐缓解。如果肌肉疼痛持续加重并出现尿液颜色变深，就要立刻停止一切运动，到医院检查肌酸激酶以排除风险。

此外，部分看似健康的人也可能存在未被发现的代谢性肌病，如糖原累积病V型等。甲状腺功能减退、既往发生过类似横纹肌溶解症的人需要重点关注。正在服用他汀类降脂药的人群在运动前应咨询医生，避免在他汀加量期进行极限运动。有甲状腺功能减退、慢性肾病、遗传性肌病史的人，需要医生为其制定个性化的科学运动方案。

即使是健康的年轻人，也可能因训练量骤增、休息不足、感冒后带病参赛等诱因而引发横纹肌溶解症。久不运动的人进行突击训练是运动性横纹肌溶解最常见的诱因之一，应该完全避免。感冒发烧后一周内，不要进行高强度运动。

“硬扛”和“咬牙坚持”是马拉松相关横纹肌溶解症真正的致命因素。蕾切尔·阿帕从30公里起已经感到状态不对，曾在29公里时发出“哎哟”声，31公里时又连发两声，但这些身体报警信号被她和她的父亲忽略了。在马拉松或者其他剧烈运动中出现的异常疼痛、乏力、头晕，不是“意志力可以克服”的小问题，因为这可能是身体发出的最后求救信号。

每一位跑者都值得尊敬，但马拉松的终点不是冲过那根红色丝带，或者用生命换一纸完赛证明，跑出的每一步都应该是为了更好地活着。要重视身体发出的每一个警示信号，生命有时比你想象的更加脆弱。

（作者系北京大学基础医学院教授）

发现·进展

中国科学院国家天文台等

耀斑期间太阳低层磁场减弱

本报讯（记者甘晓）利用我国自主研制的“用于太阳磁场精确测量的中红外观测系统”（AIMS望远镜），中国科学院国家天文台研究员邓元勇带领的联合研究团队发现，在太阳耀斑爆发脉冲相，太阳低层大气磁场存在明显减弱现象。这一发现有助于构建更完善的太阳耀斑模型，深化对耀斑动力学过程机理的认识。相关研究成果近日在线发表于《自然－天文学》。这是科学家基于AIMS望远镜观测数据发表的第一篇科学论文。

太阳大气是由磁场主导的巨大的磁等离子体环境，其中的一切现象和过程均由磁场及其相互作用主导。耀斑则是由磁场驱动的太阳大气中最剧烈的能量快速释放过程，是灾害性空间天气的主要驱动源。作为耀斑能量积累、传输及释放的重要载体，太阳低层大气磁场在耀斑过程中如何变化，此前没有清晰的物理图像可供研究。

针对这一问题，AIMS望远镜通过独特的设计避免了传统光谱偏振诊断方法对太阳大气偏振辐射转移模型的依赖，将磁场强度的测量精度从传统的百高斯量级提高到优于十高斯的水平。基于这一优势，AIMS望远镜首次观测到一个X1.5级耀斑期间的光谱演化。分析结果显示，耀斑带下方的磁场强度明显减弱。研究团队还利用耀斑动力学大气模型模拟耀斑期间光谱演化，对上述结果进行了检验。

研究人员介绍，AIMS望远镜部署在青海冷湖赛什腾山海拔约4000米的观测平台，是全球首台专门在中红外波段开展太阳磁场观测的设备，其核心部件实现全面国产化。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1038/s41550-026-03013-2

中山大学中山眼科中心等

研发基于智能手机的“上睑下垂数字标尺”

本报讯（记者朱汉斌）中山大学中山眼科中心教授林浩添团队、清华大学副教授徐枫团队共同牵头，研发出一套基于智能手机的“上睑下垂数字标尺”（DRP），仅凭一段约10秒的手机视频，即可自动量化上睑缘角膜映光距离（MRD1）和提上睑肌肌力，为上睑下垂的精准诊断与手术决策提供客观依据。相关成果近日发表于《美国医学会眼科学杂志》。

研究团队在前期基于深度学习和眼面部三维重建的“数字面罩”技术基础上开发的DRP系统，通过智能手机视频与三维重建技术相结合，实现MRD1等的客观评估，并引入实时质量控制机制，提高数据采集的规范性。

为系统评估其临床性能，团队在中山大学中山眼科中心、中山大学附属第一医院、福建医科大学附属第二医院等开展了前瞻性多中心诊断准确性研究。此外，团队在同一前瞻性测试数据集上，将DRP与深度学习模型进行直接比较，进一步评估三维重建在上睑下垂诊断及手术策略分类中的应用优势。在与二维方法的比较中，DRP在上睑下垂诊断和手术策略分类方面性能表现更优。

“这项技术让智能手机成为眼科精准评估的便携工具。”林浩添表示，DRP不仅实现了眼睑形态亚毫米级的自动量化，还破解了提上睑肌功能动态测量的难点，同时依托三维重建兼顾了患者面部隐私保护，为上睑下垂的标准化评估、基层筛查、远程随访与居家监测提供了可及的新路径。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2026.4120

华东理工大学等

超分子化学连接策略助力人工螺旋高分子合成

本报讯（记者江庆龄）华东理工大学教授张琦团队与合作者提出超分子化学连接策略，能够在室温或低温条件下，通过活性末端的动态二硫交换反应实现高分子片段的高效化学连接和分子量成倍增长。相关研究成果近日发表于《自然－纳米技术》。

通过人工化学合成手段制备具有螺旋手性结构的非天然高分子，不仅有助于理解生物高分子构造基础，而且能进一步拓展手性功能材料的应用前景。在合成过程中，随着分子量增加，多官能团之间的弱相互作用模式呈现指数性增长，使得聚合物主链的反应活性位点经常被“包埋”到高分子结构内部，难以进一步发生链增长反应。

研究团队发现，螺旋聚二硫体系在浓溶液中会通过分子间弱相互作用发生液晶超分子聚合。该非共价预组装过程在聚合物末端的动态共价二硫交换反应中发挥模板作用，促进了主链聚二硫的缩合聚合反应。

基于此，团队开发了面向动态聚二硫的超分子化学连接合成新方法，对初始分子量的螺旋聚二硫高分子溶液通过浓缩、降温手段驱动其液晶超分子预组装，随后加入催化量有机碱活化末端硫醇－二硫交换反应，即可在热力学驱动下实现螺旋聚二硫主链分子量的成倍增长。通过该方法得到的高分子量螺旋聚二硫在溶液中具有类似球状蛋白的高级折叠结构，其体相聚合物薄膜展现出独特的热致硬化性质，展现了通过超分子化学连接形成的高分子量螺旋聚合物结构在促进材料功能发展方面的潜力。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1038/s41565-026-02310-1