

最古老虫草现身，亿年寄生史见证演化博弈

■本报记者 张楠

远古森林的树脂在阳光的照射下，滴落在一只携带“秘密”的蚂蚁幼虫身上。时光流转，这枚琥珀凝固的瞬间，也封存了一场惊心动魄的“谋杀”与“操控”——一种能控制蚂蚁行为的真菌正悄然寄生在幼虫体内。

1亿年后，这枚来自缅甸的珍贵琥珀被科学家解锁了其中的“密码”。它揭示的不仅是世界首个“僵尸蚂蚁宝宝”化石的真容，更将操控昆虫的“虫草”起源史向前推进了3000万年。这项基于琥珀化石与分子生物学研究，如同一把钥匙，打开了探索真菌与昆虫在地质历史长河中协同演化的奥秘之门。

这项由中国科学院南京地质古生物研究所(以下简称南京古生物所)牵头的研究成果，近日在线发表于英国《皇家学会会刊B辑》。

名贵药材本为“僵尸”制造者

冬天，真菌在幼虫体内生长，幼虫爬到地死亡变成“冬虫”；夏天，真菌从虫体钻出，长出棒状子实体，露出地面像根枯草，故称“夏草”。

我国特有名贵中药材“冬虫夏草”，其实是一种寄生于蝙蝠蛾幼虫的真菌，学名“中华虫草”。其所属的线虫草属真菌，不仅可以寄生于蝙蝠蛾幼虫，还可以寄生于各类昆虫、蜘蛛等节肢动物，产生各种各样的“虫草”。

在线虫草属的300多个物种中，近1/3专门寄生于蚂蚁。其中，部分线虫草能够入侵蚂蚁的肌肉系统，操控蚂蚁行为，驱使蚂蚁爬上高处传播真菌孢子。此时的蚂蚁已完全变成这类线虫草的傀儡，因此被称为

“僵尸蚂蚁”。

虽然在现代陆地生态系统中，线虫草种类多样、生态复杂、遍布全球，但由于线虫草化石证据的匮乏，人们对其起源，尤其是线虫草与昆虫的协同演化关系知之甚少。

南京古生物所联培博士生庄宇辉和博士生罗慈航在研究员王博指导下，与云南大学研究员刘煜、云南大学百草实验室团队、中国科学院微生物研究所等国内外同行及机构合作，对约1亿年前的缅甸克钦琥珀中被线虫草感染的蚂蚁和蝇类化石开展深入研究。该研究揭示了线虫草的早期演化历史，为探索真菌与昆虫的协同演化提供了重要证据。

改写虫草起源的“时间胶囊”

真菌因缺乏硬质结构极易腐烂，形成化石的难度极大，因而寄生动物的真菌化石更是罕见。此前由于缺乏足够的化石校准点，分子系统学研究普遍认为，线虫草起源于1亿年前，而寄生于蚂蚁的线虫草被认为起源于更晚的白垩纪晚期——距今约7200万年。

本次研究报道的两枚感染昆虫的线虫草化石“古蚁古线虫草”和“塔蝇古线虫草”，完整保存了真菌形态结构，可直接与现生种类对比。

采用显微CT等高分辨率分析方法，科研人员通过细致观察发现，古蚁古线虫草寄生于古蚁的蚁卵，从蚂蚁的胸侧腹膜开口发育而出，其外部形态接近现生单侧生虫草复合群，内部结构尤其是子囊壳则非常接近现生蜂头虫草分支；另一个标本是塔蝇古线虫草，寄生于白垩纪塔蝇科昆虫，子实体呈棍棒状，从蝇类头颈连接处长出，形态与生长位置同样接近现生蜂头虫草分支。这两



白垩纪时期蚂蚁、蝇类与古线虫草的古生态重建图。 杨定华/绘

个分支均属于线虫草属。

罗慈航告诉《中国科学报》，这两枚线虫草化石因而被归入线虫草属的白垩纪基干类群，也是线虫草寄生膜翅目(蚂蚁)和双翅目(蝇类)昆虫的最早化石记录。

原始蚂蚁已具备真社会性特征

本次研究报道的古蚁古线虫草化石，是迄今全球首个关于线虫草寄生蚂蚁幼虫的记录。这枚被感染的蚁卵化石表明，当时的工蚁已存在育幼行为：工蚁通过交哺作

用潜在的真菌孢子传染给蚁卵；当工蚁发现蚁卵患病后，会将其遗弃出巢，避免群体感染。因此，该化石的发现表明，当时的原始蚂蚁已具备真社会性特征。

在此基础上，科研人员收集并整理了120个现生线虫草的基因数据，基于贝叶斯推断和最大似然两种方法，并利用新的化石校准点，重建了线虫草内部各类群的系统发育关系，同时修正了其起源时间。结果显示，线虫草的起源时间应为1.3亿年前左右的白垩纪早期，较之前的推测提前了约3000万年。

研究团队还利用线虫草的宿主特异性，即专性寄生，建立了线虫草的寄主数据库，并基于统计学模型重建了线虫草的祖先状态特征。研究发现，线虫草最早寄生于鞘翅目，随后在白垩纪逐渐转向寄生于膜翅目和鳞翅目。值得注意的是，鞘翅目与膜翅目、鳞翅目的幼虫常栖息于腐木或土壤等相似环境中，这可能为宿主转换提供了条件。

此外，线虫草主要分支的分化时间与其对应宿主的辐射演化密切相关——白垩纪时期，鞘翅目双孔次目(即蛾子、蝴蝶)与膜翅目中的蚂蚁走向繁盛，为线虫草提供了更多宿主选择和扩散的可能性。此外，线虫草在白垩纪就已经寄生于在蚂蚁的基干类群，而这类寄生于蚂蚁的线虫草正是当今该属多样性最丰富的一支。

“这个成果展示了寄生性真菌在中生代陆地生态系统中的重要作用，更让我们得以窥见地质历史时期昆虫与其寄生性真菌协同演化的历史。”罗慈航表示。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1098/rspb.2025.0407>

发现·进展

南方科技大学

绘制植物单细胞“十二时辰”昼夜节律图谱

本报讯(记者刁雯萱)近日，南方科技大学生命科学院生物系教授翟继先团队通过单细胞核转录组测序技术，绘制了单细胞水平的昼夜节律基因表达图谱，揭示了拟南芥细胞类型特异性的昼夜节律基因表达模式，并鉴定出一个新型节律调控因子。相关研究成果发表于《自然-通讯》。

生物钟作为植物内源的计时机制，能帮助植物感知周期性变化的外界环境，以确保植物在适宜的时间执行关键生理功能。近年来的研究表明，植物生物钟在分子组成和功能调控方面表现出组织和细胞类型的特异性，这种特异性使植物能够更精准感知并响应环境变化，从而优化生长和生存策略。然而，传统研究方法如组织测序或荧光素酶报告基因，难以高效地从单细胞水平解析节律基因表达的差异。此外，植物细胞壁的存在更增加了单细胞分离的技术难度。

为在单细胞水平对昼夜节律基因表达模式进行全面分析，研究团队采用单细胞核RNA测序(scRNA-seq)在持续光照下对拟南芥幼苗实施两套时序采样：24小时内每2小时一次的高分辨率“密集”采样，以及延长至48小时内每4小时一次的“长时”采样。

结果显示，多数基因仅在特定细胞类型中呈现节律性表达，且地上与地下器官之间差异显著。此外，不同细胞类型的振荡基因比较揭示，四类叶肉细胞(S0、S1、S2、S7)的振荡基因集合高度相似。对这些共享振荡基因进行成对相位分析发现，相较于S2与S7、S0与S1中的大部分基因的表达相位出现延迟，提示叶肉细胞内部存在更为精细的生物钟调控机制。

进一步分析发现，编码昼夜节律调控因子的基因在多种细胞类型中呈同步振荡，其中绝大部分为已知核心钟基因。基于scRNA-seq高时空分辨率数据，研究人员还鉴定到ABF1为新的节律调控因子，其过量表达显著缩短昼夜节律周期。上述结果进一步完善了植物生物钟的基因调控网络，并为系统解析节律振荡机制提供了新的分子切入点。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41467-025-59424-8>

河南科技大学等

揭示水稻硒转运新机制

本报讯(记者李晨)近日，河南科技大学教授张联合团队联合华南农业大学教授储成才团队，在《植物通讯》在线发表最新研究成果。

硒是人体必需的微量元素，在增强免疫力、抗氧化能力和抗癌功能方面具有不可替代的作用。缺硒会增加多种患病风险，包括心血管疾病、癌症和免疫系统紊乱等。我国约有7亿人生活在缺硒和低硒地区，存在硒摄入量不足的潜在风险。

水稻作为全球一半人口的主食，其硒含量普遍较低，且主要以生物利用率低的硒代蛋氨酸存在，难以满足人体需求。相比之下，甲基硒代半胱氨酸因具有更高的生物利用率和更强的抗氧化与抗癌特性，被认为是理想的硒形式。甲基硒代半胱氨酸广泛存在于西蓝花等十字花科植物以及百合科植物大蒜中，而在水稻中含量较少，且其从根部向茎叶及籽粒转运的分子机制长期未被解析，成为制约稻米累积甲基硒代半胱氨酸的瓶颈。

NRT1.1B是硝酸盐/肽转运蛋白家族的一个成员。研究发现，在水稻营养生长期，NRT1.1B能将甲基硒代半胱氨酸从根部转运至茎叶，也能从茎叶再转运至根中；而在灌浆期，NRT1.1B能将甲基硒代半胱氨酸从根部和茎叶转运至籽粒。NRT1.1B不仅提高了甲基硒代半胱氨酸在水稻中的转运效率和贮存能力，还能提高稻米硒含量。

这一研究成果为通过生物强化技术提高水稻籽粒中甲基硒代半胱氨酸含量提供了重要理论依据，也为开发富含甲基硒代半胱氨酸的高营养价值富硒稻米指明了方向。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1016/j.xplc.2025.101412>

科技评估行业有了国家级“质量标尺”

本报讯(记者张楠)近日，国家市场监督管理总局正式批准发布《科技评估服务质量控制规范》国家标准。这意味着，科技评估行业有了国家级“质量标尺”。

该标准由科技部提出，全国科技评估标准化技术委员会归口，科技部科技评估中心牵头中国科技评估与成果管理研究会、中科合创(北京)科技成果评价中心等单位研制。

标准系统构建了科技评估全流程质量控制体系，包含三大核心模块：一是规定了科技评估服务全过程质量控制的总体要求、职能；二是制定了评估受理与设计、评估队伍组织与分工、评估信息采集与分析评价等各阶段的质量要求和质量控制措施；三是创新性提出“评估—反馈—改进”的闭环质量提升机制，要求机构定期开展服务质量评价。

标准的发布和实施有利于统一科技评估各方对评估质量和质量控制的认知与理解，加强各类型评估活动全过程质量控制。通过统一行业质量基准，该标准将有效解决评估结果公信力不足、跨机构标准不统一等痛点问题，进一步推动科技评估行业标准化、规范化、专业化。



6月14日，在云南省德宏傣族景颇族自治州盈江县“中国犀鸟谷”，摄影师拍摄到国家一级重点保护野生动物——双角犀鸟幼鸟出巢的罕见影像。这是我国境内第五次记录到该物种出巢。

双角犀鸟是热带雨林的标志性旗舰物种，在科研中，雨林保存、保护好不好，通常会通过这类物种来进行评价。我国共有5种犀鸟，它们在我国的分布范围狭小。德宏州是我国唯一同时有5种犀鸟分布的地区，而“中国犀鸟谷”是国内唯一有3种犀鸟稳定繁衍的地方。

图片来源：视觉中国

阿尔茨海默病：“无可医”并不等于“无可为”

■何清华 杨金

日前，复旦大学附属华山医院教授魏颖团队在《公共科学图书馆-综合》发表研究论文称，阿尔茨海默病及其他痴呆症严重危害人类。论文指出，1990至2021年，中国阿尔茨海默病患者增长300%，全世界患者数量增长100%。2019年中国阿尔茨海默病患者1300万人，2050年预计将达1.15亿人。

论文发表后，不同群体纷纷呼吁加大对阿尔茨海默病的关注力度。《自然》近日发表评论文章指出，阿尔茨海默病正快速跃升为全球死亡率最高的疾病之一，部分医疗人员与政府高层对该病仍存在认知误区，使其长期未获得应有的重视。随着疾病负担的持续加重，全社会急需加大阿尔茨海默病的预防与干预力度。

正确认识阿尔茨海默病

关于阿尔茨海默病，目前仍存在三大认知误区：一是认为其仅表现为记忆衰退而不影响其他认知能力，生活自理能力下降是老年人的正常行为退化，与该疾病无关；二是将病理导致的行为异常归咎于患者主观意愿，他人只需等待患者情绪稳定即可；三是认为该疾病仅出现在老年人群中，无法进行早期预防治疗。

从医学上讲，阿尔茨海默病是“老年痴呆”范畴中的一种特定类型。该疾病以进行性认知功能恶化和日常生活能力减退为核心表现，由中枢神经系统结构与功能的损伤引起，包括神经系统中的异常蛋白聚集和神经元进行性变化，具有明确的病理生理机制，有别于其他类型痴呆。阿尔茨海默病常见于65岁以上老年群体，发病高峰在80至84岁，病程通常为4至8年，部分患者病程长达20年。

阿尔茨海默病通常表现为认知功能下降，包括记忆力衰退、语言表达能力降低、难以集中注意力、逻辑思维能力下降等。病情严重的患者运动功能丧失，语言能力瓦解，无法辨别方向与生活空间，以致个人生活无法自理。

作为全球老龄化进程较为突出的国家，我国的阿尔茨海默病防治形势日益严峻。魏颖团队发表的研究表明，截至2021年，我国阿尔茨海默病新增病例达291.4万例，较1990年的70.3万例增长近3倍；累计病例数从1990年的402.4万例激增至2021年的1699万例；在死亡人数方面，2021年我国该病死亡病例达49.18万，较1990年增长约3倍。

该研究发现，我国80岁至84岁的老年人是患病和发病高峰群体，2050年我国患者预计将超1.15亿例，疾病负担明显高于全球多数国家和地区。

患病人数为何增加？

我国阿尔茨海默病形势严峻，从个人层面看，日常饮食中高糖分与食品添加剂的摄入、长期吸烟、过量饮酒等行为因素都可能增加患病风险。从社会层面看，老年人娱乐活动单一、退休年龄较晚、生活环境受到污染等，也可能间接提高老年群体的患病概率。

目前国内患病人数激增，可能有三大原因。

第一，由于我国老年人口基数庞大，老龄化进程持续加快，使得60岁以上老年人口增多，导致患病的潜在人群持续扩大。

第二，随着医学技术的提高与诊疗设备的进步，国内对于阿尔茨海默病的诊断标准逐步完善，既往因诊断技术有限而未明确病因

的病例，如今能够结合科学、统一的标准进行诊断，客观上推动了病例统计数量的增长。

第三，阿尔茨海默病是一种神经退行性疾病，随着年龄的增长，患病风险逐渐升高。如今人口预期寿命延长，使得老年群体规模不断扩大，患病人数也因此不断上升。

如何有效缓解阿尔茨海默病

由于阿尔茨海默病的病因及其发病机制尚处于研究阶段，目前国内外还没有完整的治愈方案。作为一种不可逆的神经退行性疾病，现有治疗手段仅能起到缓解病情、无法逆转已经受损的神经功能。目前，国内外已经针对一系列药物、手术干预等多种疗法进行探索，但长期疗效仍需通过临床进一步验证。

“无可医”并不等于“无可为”——科学干预同样能为患者和家庭争取宝贵时间并提高生活质量。

心理学疗法是延缓阿尔茨海默病患者认知衰退的重要手段。就认知心理学角度而言，大脑作为认知功能的物质基础，持续性的认知活动(如动脑思考、回顾所学知识)能够激活大脑神经网络，增强大脑不同区域之间的协同能力，进而延缓阿尔茨海默病的发病进程，减缓认知功能的衰退速度。

因此，阿尔茨海默病患者可以采用认知训练的方式缓解认知功能衰退。认知训练通常是基于患者在认知功能上的表现，有针对性地提出方便、可行的训练方式延缓衰退过程。如记忆训练采用联系记忆法的形式，要求患者将词语与图片内容关联起来进行想象，并多次复述想象内容以增强关联性。患者还需要每天在固定时间点回忆当天发生的3件事，从而加强其对日常生活内容的回忆训练，延缓记忆功能下降。

语言与功能训练会设置具体的简单事物类别，让患者在限定类别中口述能联想到的词语，随着治疗进程的推进，治疗师会与患者一起阅读故事或短文，鼓励患者根据想象补全空缺内容，并通过对话互动逐步提升患者语言的连贯性与逻辑表达能力。这种训练方式更强调患者用语言表达内容，维持其语言表达与沟通功能。

空间感知训练则采用三维模型搭建的方式训练患者空间想象力，不仅包括简单的积木搭建，随着治疗进程的推进，还会使用特定场景的拼图增强患者空间定位的能力。患者也可在他人陪同下自主进行空间导航训练。

同时，缓解患者因认知功能衰退而产生的挫败感也是一种有效干预。心理学中的怀旧疗法是阿尔茨海默病的常用疗法之一。基于心理学的自我认同理论，治疗师借助老照片、生活物件及特定现实情境作为场景重现媒介，引导患者回忆人生中重要事件或经历，通过个体访谈或小组互动形式互相鼓励，帮助患者重建自我价值。临床研究表明，该疗法能够有效增强患者自信心以及自我认同感，缓解因认知功能衰退而带来的挫败感与自责感。

其他常用的干预疗法还有现实定向疗法等。该疗法不仅有物理环境的改造，如在患者生活空间设置大字日历、数字时钟等，为患者提供明显的外部线索，还能维持患者对社交人际网络与现实生活的感知能力，通过个体访谈或小组互动形式互相鼓励，帮助患者重建自我价值。临床研究表明，该疗法能够有效增强患者自信心以及自我认同感，缓解因认知功能衰退而带来的挫败感与自责感。

阿尔茨海默病患者可根据自身病程发展特点，选择合适的心里学疗法或认知训练模式，通过针对性干预延缓认知功能衰退。鉴于我国面临的严峻形势，社会各界应对该疾病予以高度重视，构建科学的疾病预防体系。

(作者单位：西南大学心理学部)

中国科学院南海海洋研究所

研究发现砵碓代谢转变与肌肉重塑的能量补偿策略

本报讯(记者朱汉斌 通讯员谢文燕)近日，中国科学院南海海洋研究所研究员喻子牛团队在珊瑚礁生物砵碓白化适应性机制方面取得重要进展，研究揭示了砵碓代谢转变与肌肉重塑的能量补偿策略。相关成果以封面论文形式发表于《环境科学与技术》。

论文第一作者、中国科学院南海海洋研究所副研究员毛帆表示，全球海洋持续变暖是珊瑚礁生态系统的首要威胁，同珊瑚一样，依赖光合共生的砵碓也难以幸免于白化危机。该研究团队以珊瑚砵碓为模型，模拟未来海洋升温场景，成功诱导了砵碓白化现象。通过整合组织生理学等多维组学分析，系统阐明了砵碓在应对白化危机方面的独特“能量补偿”策略：面对由于白化—共生藻“断供”导致的能量枯竭，砵碓激活了体内的“能量感应开关”，减少能量消耗，并启动“肌肉降解信号”，驱动共生组织中的“肌肉萎缩”和蛋白降解，为氨基酸代谢提供了原料。这种碳水化合物/脂肪酸到氨基酸的代谢转变，以及胶原蛋白丰富的肌肉纤维的降解和重塑是其存活的关键。

该研究还发现，部分砵碓在经历了白化后仍具有胶原性肌纤维的再生能力，表现出较强的生理韧性。论文通讯作者、中国科学院南海海洋研究所研究员张扬表示，该研究成果不仅揭示了珊瑚礁生物独特的白化适应性，也为珊瑚礁生态系统的保护和修复提供了科学依据。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1021/acs.est.5c00474>



期刊封面。 研究团队供图