中国科学报

CHINA SCIENCE DAILY

中国科学院主管　中国科学报社出版　国内统一连续出版物号 CN 11－0084　代号 1－82

扫二维码 看科学报　扫二维码 看科学网

主办：中国科学院　中国工程院　国家自然科学基金委员会　中国科学技术协会

总第 8773 期　2025 年 6 月 18 日　星期三　今日 4 版

新浪微博 http://weibo.com/kexuebao　科学网 www.sciencenet.cn

1 亿年前的“复杂社会”如何延续至今

解码小蚂蚁的“大智慧”

■本报见习记者 蒲雅杰

随手在路边花坛扒拉两下，十有八九会看见几只蚂蚁。事实上，作为最常见的昆虫，蚂蚁家族有 1.5 万多个现生物种，广泛分布在除极地之外的所有陆地生态系统中。如果把全球蚂蚁集中在一起，总重量会超过地球上所有野生鸟类和哺乳动物总和。

蚂蚁看似微小，却是实打实的“生存大师”，有着过人的社会协作能力与组织智慧，至少在 1 亿年前的白垩纪时期就已经形成了复杂的社会组织。

蚂蚁为什么在演化上如此成功？蚂蚁的社会组织又是如何演化形成的？

6 月 16 日，由中国科学家领衔的研究团队在《细胞》发表论文，揭示了蚂蚁的演化历史和蚂蚁社会系统的演化机制，并系统解析了推动蚂蚁社会行为、社会分工、社会组织结构演化的关键基因。

不同物种蚂蚁的多样化分工示意图。　研究团队供图

从“一夫一妻”走向复杂化

“高度社会化是蚂蚁成功的重要倚仗。”论文通讯作者、浙江大学生命演化研究中心教授张国捷介绍，蚂蚁物种演化出了从简单到高度复杂的社会组织形式，并且社会行为方式多样化，这使它们能占据不同的生态位。

张国捷告诉《中国科学报》，在最基础的蚂蚁社会中，存在繁殖品级与劳力品级两大基本阶层。繁殖品级分为雌性和雄性，交配后雄蚁死亡，雌蚁地下筑巢，成为产卵繁衍的蚁后。属于劳力品级的工蚁由蚁后所生，虽同为雌性，但失去或被抑制了繁殖能力，在功能上趋于“中性”，专司觅食、育幼等劳动任务。

这套基础社会架构在不同蚂蚁物种中衍生出了千变万化的形态。有些物种维持单蚁后巢穴，另一些则允许多蚁后共存；更有甚者，在某些特化物种中，蚁后品级完全消失，转而由工蚁通过无性繁殖延续种群。

与如今的复杂情况不同，蚂蚁的祖先遵循着类似“一夫一妻”的繁殖模式。根据汉密尔顿的亲缘选择理论推测，最原始的蚂蚁社会很可能是“单配制”的，由一只雌蚁与一只雄蚁形成稳定的配偶关系，共同繁衍后代。

“单配制保证了所有巢穴成员具有更高的亲缘关系。”论文共同第一作者、在浙江大学生命演化研究中心从事博士后研究的丁果解释道，如果有的个体不繁殖，而去照顾有血缘关系的兄弟姐妹，基因仍然可以向下传递。

丁果说：“这为稳定的生殖分工奠定了基础，促成了蚂蚁从独居物种演化成社会性群体物种。”

分工严格的蚂蚁“帝国”

在蚂蚁“帝国”中，严格的分工确保了整个群体的高效运作与生存繁衍。知其然还要知其所以然，研究人员将目光转向背后精妙的遗传机制，发现这种生殖分工并非偶然形成，而是漫长自然选择与演化塑造的结果。

“在基因组层面，我们观察到蚂蚁基因组在演化过程中频繁发生染色体重排现象，但其中大约 970 个基因簇在过去 1.57 亿年里在超过 80%的蚂蚁物种中保持着稳定的共线性，基本变化不大。”论文共同通讯作者、中国科学院昆明动物研究所副研究员刘薇薇介绍，这些基因簇具有协同表达模式，部分基因存在品级间差异表达，提示可能参与调控发育和代谢等基础生命过程，并在社会行为和组织结构的演化中发挥重要作用。

随着蚁后与工蚁之间生殖分工的逐渐演化，工蚁群体内部也进一步分化出多种更为细致的亚品级，甚至部分物种特化出体形相对庞大的兵蚁。例如，在切叶蚁亚科的龟蚁属中，兵蚁的头部好似一个“扁平圆盘”，在遇到外敌入侵时，可以像盾牌一样堵住巢穴入口，而工蚁头部较小，主要负责觅食和巢内维护。

刘薇薇表示，蚂蚁社会复杂度持续升级的核心驱动力在于群体规模的扩大。“随着蚁巢规模扩大，工蚁会逐渐分化出更多的亚品级，产生更精细的劳动分工。”

那么，品级的细化在基因上是如何发生的？论文作者、浙江大学生命演化研究中心客座学者冉浩解释，关键调节通路上的关键基因表达差异是品级与亚品级形成的基础，而与保幼激素调控及脑发育相关的基因表达量差异，为这一演化过程提供了分子层面的佐证。

“比如，我们在多个物种中发现，胶质细胞缺失基因（gcm）在小型工蚁大脑中的表达量比大型工蚁更高。作为一个和大脑胶质细胞发生相关的转录因子，gcm 可促进神经胶质功能的分化，进而在不同工蚁亚品级中产生特化行为。”论文共同第一作者、南昌大学青年教师熊子军补充说。

平凡蚂蚁也有非凡的生存策略

在 1.57 亿年的演化过程中，蚂蚁不只形成生殖分工和亚品级，还产生了一系列社会性特征。有的会种植真菌当作“庄稼”，有的像牧民一样放牧蚜虫获取“奶源”，或是组织“军队”劫掠其他蚁群，甚至玩转“社会性寄生”，巧妙利用另一种蚂蚁为自己抚养后代……这些特征彼此互相连锁或排斥，形成了模块化的动态组合系统，催生了复杂度各异的蚂蚁社会组织形式。

研究人员全面解析了这些特征的演化规律和不同特征间的相互关系，找出了背后的基因调控基础。“我们发现，不同特征之间出现了协同演化关系，如蚂蚁放牧蚜虫获得营养回报的共生现象往往伴随着群体循迹觅食、大巢穴和多蚁后等性状的出现，这些性状的相互关联协同又进一步增加了群体的社会组织复杂度。”张国捷说。

张国捷表示，当蚂蚁的社会性状发生协同演化时，基因所承受的选择压力也会相应变化，一些基因被“强化”以适应新功能，另一些则被“放松”甚至退化。这种调控模块选择压力的动态变化，推动了不同蚂蚁物种之间社会组织结构的多样性演化。

“蚂蚁社会的演化历程堪称自然界的奇迹。”张国捷说，自然选择在基因、性状、个体、群体层面同时发挥作用，这种多层次的演化机制不仅帮助我们理解蚂蚁自身的社会结构演变，也为研究其他社会性动物的演化提供了重要的理论框架。与此同时，蚂蚁社会特征的形成与演化，还涉及不断重塑和整合多个核心调控网络的结果，这种“旧基因，新功能”的策略，“提示了生命演化的简约之美”。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1016/j.cell.2025.05.030

首个植物功能基因组学智能问答系统 PlantGPT 问世

本报讯（记者朱汉斌 通讯员李彦华）中国科学院院士、华南农业大学教授刘耀光和该校研究员祝钦泷团队联合清华大学研究人员，开发了一个以拟南芥为基础的植物功能基因组学专家问答系统 PlantGPT。该系统通过融合检索增强生成技术和大语言模型微调方法，实现了对植物功能基因组学专业问题的精准回答与分析。相关研究成果近日在线发表于《先进科学》。

面对全球粮食安全和作物品质提升的挑战，功能基因组学研究在增加作物产量、改善营养品质、提高抗病虫性和逆境适应性等方面发挥了关键作用。然而，现有的计算生物学手段在解析复杂生物系统调控机制及整合多组学数据方面仍存在瓶颈。同时，传统植物数据库如 TAIR 尽管包含丰富的数据资源，但因交互方式局限，常常需要用户掌握精确的性状或基因命名才能有效检索信息。

为此，研究人员开发出首个专门用于植物功能基因组学研究的大语言模型人工智能助手——PlantGPT，为植物科学研究领域提供了全新的人工智能辅助工具。该系统基于拟南芥专业知识和文献构建，具备强大的生物知识泛化框架，能够在 3 个关键层面发挥重要作用，即为公众普及农业知识、帮助早期研究者快速适应植物基因组学领域，以及支持资深研究人员进行战略决策。

凭借其开源性、易迁移性和持续更新性，PlantGPT 不仅显著提升了植物科学领域的研究效率和知识传播效果，还为研究人员创建垂直领域专业智能体提供了有力支撑，标志着人工智能在植物功能基因组学研究中的重要突破。PlantGPT 目前提供免费在线服务，未来计划扩展至合成生物学及更多作物物种的应用。

相关论文信息：

http://doi.org/10.1002/advs.202503926

研究人员建议加强医疗 AI 产品监管

寰球眼

本报讯 人工智能（AI）可以帮助临床医生在美国各地的医院进行诊断、分诊危重病例和转录临床记录。但研究人员在近日发表于《公共科学图书馆－数字健康》的一份报告中指出，医疗 AI 产品的监管并没有跟上其迅速应用的步伐。

报告指出美国食品药品监督管理局（FDA）批准这些 AI 产品的流程存在局限性，并提出了更广泛的战略，以确保医疗 AI 工具更加安全、有效。

FDA 已经批准了 1000 多种医疗 AI 产品，医院正在迅速采用它们。与其他大多数受 FDA 监管的产品不同，AI 产品在获得批准后会根据新数据继续进行更新或再训练，因此持续监督很有必要，而现行法规在这方面的保障能力有限。

如果没有适当的监督，医疗算法可能会给出误导性的建议并危害患者健康。“必须要有保障措施。”该报告作者之一、美国麻省理工学院的临床研究员 Leo Anthony Celi 说，“我认为，依靠 FDA 提出所有保障措施是不现实的。”

FDA 用于审查和授权医疗 AI 产品的标准通常不如药品严格。例如，根据 FDA 的规定，只有那些可能对患者构成威胁的产品才需要进行临床试验。此外，在用于与训练对象不同的人群时，医疗算法往往表现不佳。Celi 说，由于这些限制，监管部门的许可并不能确保医疗 AI 产品对其目标群体有益。

理想情况下，医院应在采用这些技术前，评估算法在患者群体中的表现，培训临床医生正确解读输出结果并作出适当反应。而 Celi 表示，“最大的挑战之一是绝大多数医院和诊所难以聘请 AI 团队”进行此类测试。因此，报告建议大学与医疗机构合作对 AI 医疗设备进行质量评估。

据悉，FDA 没有权力要求医院在产品得到许可后进行上述测试。但美国斯坦福大学的健康法律研究员 Michelle Mello 说，美国医疗保险和医疗补助服务中心（CMS）——一个为老年人和低收入人群等提供公共医疗保险的机构，有权要求医疗机构对 AI 产品进行更严格的评估，并以此作为通过公共保险计划获得付款的条件。

美国雪松－西奈医疗中心的心脏病专家 David Ouyang 强调了医疗保险公司在激励对 AI 产品进行更彻底的测试方面发挥的作用。他认为，保险公司可以将更严格的评估作为承保条件。“保险的证据门槛实际上比 FDA 的高。”他说，“因此，AI 的使用还有其他防范措施。”

（文乐乐）

“梦舟”零高度逃逸飞行试验圆满成功

本报讯（记者甘晓）据中国载人航天工程办公室消息，6 月 17 日，我国在酒泉卫星发射中心成功组织实施梦舟载人飞船零高度逃逸飞行试验，标志着我国载人月球探测工程研制工作取得新的重要突破。

这是继 1998 年开展神舟载人飞船零高度逃逸飞行试验后，我国时隔 27 年再度组织实施此项试验。

12 时 30 分，下达点火指令，梦舟载人飞船逃逸发动机成功点火，船塔组合体在固体发动机推动下腾空而起，约 20 秒后达到预定高度，返回舱与逃逸塔实现安全分离，降落伞顺利展开。12 时 32 分，返回舱使用气囊缓冲方式安全着陆于试验落区预定区域，试验取得圆满成功。

与神舟飞船相比，此次试验改变了以往“火箭负责逃逸、飞船负责救生”的模式，由梦舟载人飞船系统承担逃逸抓总职能，全面负责逃逸与救生两项任务。此次试验对梦舟载人飞船逃逸救生分系统及相关大系统进行了综合考核，同时验证了逃逸时序、逃逸分离、逃逸弹道闭环控制等设计的正确性及匹配性，获取了逃逸实飞参数。

据介绍，逃逸救生是载人飞行任务重要的安全保障手段，发生紧急故障时，能将载有航天员的飞船返回舱带离危险区域，并确保航天员安全返回地面。梦舟载人飞船是我国面向后续载人航天任务完全自主研发的新一代载人天地往返运输飞行器，飞船自身采用模块化设计，可搭载最多 7 名航天员，整船性能达到国际先进水平。

梦舟载人飞船未来将成为支撑空间站应用与发展、载人月球探测等任务的核心载人飞行器，此次试验成功为后续载人月球探测任务奠定了重要技术基础。此外，执行载人月球探测任务的长征十号运载火箭、月面着陆器等航天器研制工作正在扎实稳步推进，后续也将按计划组织实施相关试验。

中国空间站：用最小承载代价搭载科学载荷上天

本报讯（记者甘晓）“中国空间站的实验柜承载比达到国际空间站的两倍以上，这意味着我们可以用最小的承载代价搭载更多的科学载荷上天，满足科学家未来 10 年科学研究的需求。”6 月 17 日，在由国务院新闻办公室举行的“新征程上的奋斗者”中外记者见面会上，中国载人航天工程空间应用系统总指挥助理、中国科学院空间应用工程与技术中心研究员张璐介绍道。

本次见面会上，来自载人航天领域的多位代表围绕“自立自强发展载人航天”与中外记者见面交流。

交流会现场，张璐展示了一个核心舱科学实验柜模型——无容器材料科学实验柜。这是最早上天的科学实验柜之一，真实的柜子大概有 1.8 米高。“我们的目标就是将地面上各类学科的综合性实验室搬到太空里，放进这样一个不到两立方米的实验柜内，支持科学家开展相关的科学和应用研究。”张璐表示。

在空间站论证之初，由于可借鉴的经验少，科研团队从“零”开始，靠全自主的方式，从整个科学需求的论证到实验柜的架构设计，研制了具有中国特色、国际领先的科学实验柜。他们突破了一系列关键技术，包括轻量化、大承载的结构动力学设计等，使实验柜承载比达到国际空间站的两倍以上。

其中，高微重力、高精度时频、超冷原子、两相系统等多个实验柜均是国际首创。“我们用行动证明了外国人能搞的，中国人不仅能搞，而且能搞得更好。”张璐表示。

如今，利用这些科学实验柜，有关果蝇、斑马鱼、水稻，还有复合材料、新型合金材料等的研究不断取得突破进展，相关成果也得到了推广应用。

在张璐看来，这正是我们自立自强，把核心关键技术掌握在自己手中的生动实践。

中国载人航天工程办公室总体技术局局长、研究员李英良在交流会上表示，中国载人航天工程发展 30 多年来，一代代航天人接续奋斗，从无到有实现了千年飞天圆梦、首次太空行走、空间建站。

中国载人航天工程空间站系统总设计师、中国航天科技集团有限公司空间技术研究院研究员杨宏表示，空间站系统是践行新型举国体制、坚持系统发展理念、强化顶层设计、取得系统性创新成果的一次工程实践。

目前，科研团队正在以运行好、应用好、发展好我国空间站和 2030 年前实现中国人登陆月球为目标，扎实推进各项工作。

我国十余年完成沙化土地治理 3.65 亿亩

据新华社电 6 月 17 日是世界防治荒漠化与干旱日。记者当天从国家林业和草原局获悉，党的十八大以来，我国持续加大荒漠化综合防治力度，加快推进“三北”等重点生态工程建设，完成沙化土地治理任务 3.65 亿亩，封禁保护面积 2794 万亩。

数据显示，全国荒漠化和沙化土地面积实现了自 2000 年以来连续 4 个调查期“双缩减”。风沙危害得到有效抑制，2019 年八大沙漠、四大沙地的土壤风蚀总量较 2000 年下降约 40%。我国率先实现了土地退化零增长目标，成为全球增绿贡献最大的国家和荒漠化防治国际典范。

我国荒漠化土地主要分布在“三北”地区。“三北”工程实施 40 多年来，重点治理区实现从“沙进人退”到“绿进沙退”“绿富同兴”的历史性转变。工程区累计保留造林面积 4.8 亿亩、治理退化草原 12.8 亿亩、治理水土流失面积 6.7 亿亩，工程区森林覆盖率从 1977 年的 5.05%增至目前的 13.84%，61%的水土流失面积得到有效控制，4.5 亿亩农田得到有效保护。

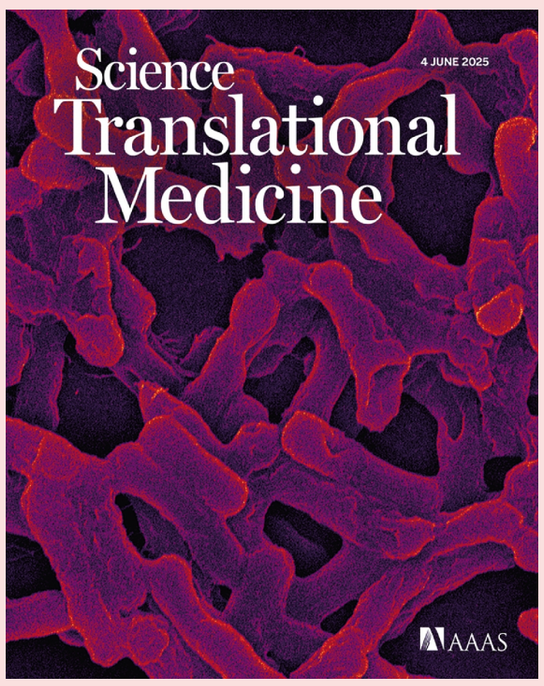
“三北”工程攻坚战启动两年来，实施重点项目 369 个，完成各类建设任务超 1 亿亩，三大标志性战役取得实质性进展。科尔沁沙地重现草原风光；黄河“几字弯”展现“金沙蓝海绿洲”的美丽画卷；环塔锁边绿色防护带初步建成，塔克拉玛干沙漠戴上了“绿围脖”。

与此同时，我国积极履行《联合国防治荒漠化公约》（以下简称《公约》），扎实开展国际合作。与《公约》秘书处在华共建国际荒漠化防治知识管理中心，支持推动共建“一带一路”国家荒漠化防治，成立中阿、中蒙荒漠化防治合作中心，同韩国、蒙古国、俄罗斯建立东北亚防治荒漠化、土地退化和干旱网络等。

（黄垚）

看封面

耐药阴性菌感染治疗有了新策略



长期以来，耐药阴性菌感染导致的死亡率居高不下。为此，华东理工大学教授刘润辉团队提出了“感染部位原位激活的宿主防御肽（HDP）模拟前药”策略，为设计新型抗菌药物和治疗耐药微生物感染提供了新思路。相关研究近日以封面文章形式发表于《科学－转化医学》。

研究团队利用 2,3－二甲基马来酸酐修饰聚合物侧链氨基，显著提高了生物相容性并延长血液循环时间。此外，该设计策略可显著拓宽 HDP 类抗菌化合物的体内应用潜力，将原本因毒性和生物利用度等问题受限的抗菌化合物转化为安全有效的治疗候选药物分子。

研究团队基于该策略开发了 HDP 模拟聚（2－噁唑啉）前药。其在多种动物感染模型中展现出优异的治疗效果，且长期使用未产生耐药性。

（江庆龄）

研究团队供图