

# 荒漠蓝藻的耐盐“生存秘籍”

■本报记者 叶满山

在全球气候变化背景下，土壤盐渍化加剧，烈日炙烤下沙漠土壤含盐量最高可达普通海水的1.3倍，成为生命难以立足的极端环境。但沙漠的“皮肤”——生物土壤结皮却能在这样的严酷环境中顽强生长，其中的优势类群荒漠蓝藻，更是我国西北生态修复的“主力军”，让荒漠化土地重焕生机。

荒漠蓝藻究竟藏着怎样的耐盐“生存秘籍”？近日，兰州大学与安徽医科大学联合团队首次从基因组层面揭开了这一谜底。相关论文发表于《细胞报告》。

## 被低估的“沙漠特种兵”

让论文第一作者、在兰州大学生态学院从事博士后研究的叶彤下定决心深入研究荒漠蓝藻耐盐机制的，是一次打破常规的实验。

一直以来，学术界将沙漠归为低盐生境，默认荒漠蓝藻为不耐盐类群，相关研究多聚焦于海洋、盐湖蓝藻这些“科班出身”的耐盐物种。但叶彤观察到，沙漠降水稀少、蒸发强烈，土壤盐分因无法淋溶而持续积累，实际盐浓度并不低。此次研究的核心样本，就是从腾格里沙漠中采集的一株优势蓝藻，它是沙漠中名副其实的“拓荒先锋”。

“它属于念珠藻属，是最先在土壤表面定居形成结皮的类群之一，既能固碳、固氮，还耐盐，哪怕在超低温、极度干旱、强辐射等极端环境下暴露数小时，只要恢复正常条件，它依然‘活蹦乱跳’。”叶彤介绍说。

叶彤先在0.1-0.3摩尔/升盐浓度条件下做实验，发现蓝藻只受了点皮外伤。“就像我踹了它一脚，它回头瞥了我一眼说：‘就这？’”她笑着说。随后，她将盐浓度提升至远超海水的0.75摩尔/升，沉寂数日后，蓝藻竟奇迹般复活。

这一发现彻底颠覆了研究团队的认知，也让他们下定了深入研究其耐盐机制的决心。“我们就是要看看，这个被大部分文献低估的‘沙漠特种兵’，耐盐本领到底和海洋蓝藻有什么不一样。”叶彤说。

## 独门绝技+通用本领

研究团队发现，这株荒漠蓝藻之所以能在高盐沙漠中站稳脚跟，是因为它既有一套耐盐的“独门绝技”，又有与其他生境耐盐生物共享



倒置荧光显微镜下的藻细胞图像。



叶彤在观察藻的生长状态。 兰州大学供图

的“通用本领”。这套独门绝技堪称专为沙漠高盐环境量身打造的“三板斧”，每一招都精准破解了极端环境的生存难题。

第一板斧，是给光合作用系统装上“备用轮胎”。光合作用是蓝藻储存能量的关键，而高盐环境会严重破坏光合作用系统II中的D1蛋白。研究发现，这株蓝藻中负责生产D1蛋白的psbA基因发生显著扩张，且5个拷贝的关键位点发生了“H359N”突变。

“基因突变本身是随机的，但进化会筛选并保留有利突变，这个突变能让D1蛋白的‘维修’效率大大提高。”叶彤解释说，这就像为汽车准备了多个备胎，一旦爆胎就能立刻更换，确保光合作用在高盐环境下持续运转。这是蓝藻能在极端环境中维持能量供应的关键。

第二板斧，是构建“环境感知雷达网”。沙漠环境瞬息万变，白天盐分飙升，夜晚相对温和，蓝藻需要敏锐感知环境变化并及时应对。研究发现，该蓝藻大幅扩展了rcp1基因家族——感知黎明光信号的关键基因。且扩张程度远超过其他蓝藻。“在盐胁迫下，这些‘雷达’基因会被大量激活，协助蓝藻精准感知昼夜交替带来的盐分波动，第一时间启动应对机制，相当于给蓝藻装了一套灵敏的环境监测系统。”叶彤说，这是荒漠蓝藻独有的特征。

第三板斧，是多通路协同作战的“抗逆组合拳”。盐胁迫初期，蓝藻的光合作用和能量代谢会被抑制，活性氧大量积累，此时硫代谢通

路会率先被激活，一方面提供谷胱甘肽清除活性氧、修复DNA，另一方面支持铁硫簇合成。铁硫簇再与其他物质协同作用，增强光合作用系统I的循环电流，为光合作用系统II的修复供能。

“简单来说，硫代谢负责‘清除’，电子传递链负责‘供能’，两者配合让受损的光合系统快速恢复。”叶彤介绍，研究还发现γ-谷氨酰半胱氨酸、组氨酸等13种氨基酸在盐胁迫下会显著积累，形成庞大的“抗逆代谢库”。它们相互调控、团队协作，进一步提升蓝藻的耐盐能力。

除了独门绝技，荒漠蓝藻还与其他生境的耐盐蓝藻共享一套“通用工具箱”。研究团队从40株蓝藻中筛选出17名耐盐“选手”，通过进化分析锁定16个受到强烈正向选择的基因。这些基因涉及DNA合成、抗氧化、光合作用、氨基酸代谢等多个功能。其中ahpC、uspA、purH、carB这4个基因在转录组分析中被证实受盐胁迫诱导表达，成为重点研究对象。

为验证其功能，团队选择大肠杆菌开展跨物种实验。“大肠杆菌和蓝藻都是原核生物，底层机制相通，能更准确验证基因本身的耐盐功能。”叶彤说。实验结果令人振奋——在大肠杆菌中敲除这4个基因的同源物后，菌株在1摩尔/升盐胁迫下生长严重受阻，其中uspA敲除株受影响最显著；回补这些基因后，菌株生长能力恢复，过表达株的耐盐能力甚至远超野生型。

“这说明4个基因的功能在不同物种间是保守的，都是耐盐的关键基因。”叶彤表

示，研究首次揭示了它们在原核生物耐盐中的核心作用，为后续基因工程改造提供了全新靶点。

其中，uspA基因的功能十分广泛，不仅能抗盐，还能应对紫外辐射、营养匮乏等多种胁迫。团队推测它可能通过调控蛋白质磷酸化促进甜菜碱合成，而甜菜碱正是渗透压调节的“高手”。

## 让小生命绽放更绚烂光彩

该研究首次从基因组层面揭开了荒漠蓝藻的耐盐之谜，为盐碱地治理、生态修复等领域提供了全新思路。叶彤表示，研究的终极目标是让基础研究成果走出实验室，真正应用到实际的生态修复和生产生活中。

在荒漠修复领域，人工蓝藻结皮技术早已在我国西北多地落地见效。“藻类学家刘永定老先生1999年就建立了系统的荒漠蓝藻治沙技术流程。”叶彤介绍说，“我们团队与中国科学院西北生态环境资源研究院合作，在腾格里、库布齐等沙漠推广应用，20多年来已染绿近6万亩地，库布齐沙漠达拉特旗项目区的林草覆盖率更是从不足15%提升至80%以上。”

研究团队计划通过基因工程手段，将此次发现的耐盐优势基因在治沙蓝藻中过表达，培育更“耐造”的蓝藻品种。“先在实验室验证效果，再到小型示范田实地检验，争取做出实用的新型治沙产品，让蓝藻在更高盐的盐碱化土地上发挥作用。”叶彤说。

carB基因编码的CPS II基因是蓝藻和植物独有的，其耐盐功能的发现也为小麦、玉米等农作物的耐盐改良提供了新靶点。未来若能成功应用，有望在盐碱地中种出粮食，盘活全球大量盐碱化农田，为保障粮食安全贡献力量。

“一株小小的蓝藻能在沙漠的高盐环境中努力存活，它的生存智慧值得我们不断探索。”叶彤表示，团队还计划通过短视频、科普文章等形式让更多人了解荒漠蓝藻的价值，让这一“冷门”研究获得更多人的关注和支持。随着研究的不断深入，这些藏在沙漠中的“小小生命”，必将在盐碱地治理、生态修复的道路上绽放出更绚烂的光彩。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1016/j.celrep.2026.116988>

# 填补近30年空白——中外科学家携手为超新星“寻亲”

■本报记者 赵宇彤

在银河系的近邻宇宙里，富含氢的II-P型超新星约占全部超新星数量的35%~40%，但它们的身世一直是天文学家探寻的谜题。

“我们首次证实，一颗看似普通的II-P型超新星其实来自一个双星系统。”中国科学院大学(以下简称国科大)天文与空间科学学院副教授孙宁晨表示，这一发现对理解大质量恒星演化、爆发机制和致密天体形成等具有重要意义。近日，相关研究成果发表于《科学通报》。

## 为超新星“寻亲”

“超新星是恒星死亡时刻的爆发现象，是时域天文学时代的核心研究课题。”孙宁晨说，其中，富含氢元素的超新星叫作II-P型超新星，“它们的身世远比我们想象的复杂得多”。

“这类超新星的起源在理论上存在两个通道，一个是孤立单星演化，一个是经历双星相互作用。”孙宁晨告诉《中国科学报》。然而，单星和双星起源的前身星在爆发前都会进入红超巨星阶段，相似的观测特征给追溯起源机制带来了极大挑战。长期以来，II-P型超新星的前身星研究主要局限于单星演化框架，其双星起源始终缺乏确凿的观测证据。

2023年初，孙宁晨团队成功捕捉到II-P型超新星SN 2018gj的前身星。“尽管该前身星的恒星大气参数与其他II-P型超新星前身星相似，但仍有不同寻常之处。”孙宁晨解释道，该前身星反常地处于宿主星系边缘异常年老的环境中，且超新星光变曲线呈现出异常短暂的“平台期”。

这为他们的研究提供了重要抓手。为揭开II-P型超新星的起源之谜，孙宁晨和论文第一作者、国科大特别研究助理牛泽茜设计了一套“组合拳”。

“我们创新性地使用了前身星直接探测、环境星族分析，以及爆发过程的流体动力学模拟等关键技术，来测量3个关键观测物理量。”牛泽茜告诉记者，这些观测数据直接指向该超新星的双星起源。“这填补了缺失近30年的‘双星起源’观测空白，就像为超新星做了一次‘寻亲’。”

## 扩大研究的“朋友圈”

回望与超新星做伴的几年，牛泽茜用一句话形容，“痛并快乐着”。

而这份苦乐交织的起点，其实是一个特别的发现——超新星周围异常年老的环境。“这为前身星双星起源提供了关键线索。”牛泽茜解释道，经历过双星相互作用，特别是合并或者吸积的恒星，延迟爆发的时间会显著增加。

通过对II-P型超新星SN 2018gj前身星的直接观测，孙宁晨团队不仅得到了前身星核的质量，还为爆发过程参数建模提供了先验信息，解决了流体动力学模拟中存在的参数简并问题，实现了可靠的包层质量测量。

在此过程中，孙宁晨不断扩大研究的“朋友圈”。当发现II-P型超新星SN 2018gj时，他马上想起了老朋友——希腊雅典大学的研究人员Emmanouil Zapartas。

“这正是他之前理论预言的双星起源导致延迟爆发的II-P型超新星候选体。”孙宁晨说。因此，他第一时间与对方取得了联系。“就像一座桥，两边都在努力向前并最终合拢，还原了这个前身星的前世今生。”

同时，研究团队还借助新一代双星演化模拟程序，成功揭示了该前身星系统经历的一系列双星间质量交换及合并的复杂演化历史。“这一程序出自一支非常专业的从事恒星演化和星族合成的团队，主要成员来自瑞士日内瓦大学和英国爱丁堡大学。”牛泽茜告诉记者，该程序的双星演化的精度极高，能够模拟在普通双星模拟程序中难以实现的演化过程，比如“反向合并”。通过将观测数据与不同起源的前身星模型进行对比，研究团队发现，只有“反向合并”能解释前身星的观测性质。

## 为搜寻更多超新星开辟新路径

“此项工作是观测天文学家与理论天文学家深度合作合作的典范，不仅为II-P型超新星是否为双星起源这一长期悬而未决的问题提供了可靠证据，也为搜寻更多‘隐藏’的超新星起源开辟了新路径。”孙宁晨说。

随着中国巡天空间望远镜、詹姆斯·韦布空间望远镜、司天工程等国内外新一代天文设施的投入使用，未来有望发现更多未知起源的超新星事件。

“目前研究的还只是个例，根据理论预测，还有许多这类前身星未被发现。”孙宁晨说，“我们希望建立双星起源的II-P型超新星样本，并进行深入挖掘。”

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1016/j.scib.2026.01.036>

## 轻舟初样试飞船成功发射

本报讯(记者倪思洁)3月30日19时整，火箭二号遥一运载火箭在东风商业航天创新试验区发射升空，将搭载的轻舟初样试飞船(白象号)顺利送入预定轨道，飞行试验任务获得圆满成功。

轻舟初样试飞船由中国科学院微小卫星创新研究院抓总研制，整船仅重4.2吨，采用单舱一体化构型，可灵活适配多型火箭，具备最佳的发射兼容性。本次飞行试验共搭载技术储备、在轨验证、科学探索及科普作品等27个项目，总载荷重达1.02吨，将在200公里至600公里的轨道高度上开展一系列在轨技术试验。

轻舟初样试飞船入轨后将开展在轨飞行关键技术验证，后续轻舟正样货运飞船将与中国空间站开展对接，并为中国空间站提供与中国货物运输服务。

## “深蓝百万里”2026西太平洋科考起航仪式举行

本报讯(记者陈彬)近日，“深蓝百万里”2026西太平洋科学考察起航仪式暨“地球一小时”20周年大湾区主场活动在深圳举行。

“深蓝百万里”是一项以环球海洋科考为载体，以深海探索为核心，以协同创新和公众参与为特色的长期行动，致力于推动深海科学突破、促进海洋产业创新、增强公众海洋意识，汇聚更多社会力量参与认识海洋、探索海洋、守护海洋的时代进程。

南方科技大学海洋高等研究院院长、“深蓝百万里”环球海洋科考总首席科学家林间介绍了“深蓝百万里”十年行动总体构想，并发布了2026首航计划。

此次西太平洋航段将由30名科考队员搭乘“向阳红10”号开展为期40天的科学考察，聚焦西太平洋重点海域，围绕深海环境认知、海洋过程观测和海洋科考综合调查等方向开展系统研究，进一步提升对深海环境与海洋过程的科学认知。

活动期间，“深蓝百万里”组委会与上海科学技术出版社签署合作出版《深蓝百万里》意向书，分别与深圳国际邮轮母港、中葡产业文化交流促进会(澳门)签署战略合作协议。“深蓝百万里科普文化创作基地”“深蓝百万里科技文化与创新中心”授牌仪式同期举行。此外，活动现场还发布了本次航次吉祥物，并颁发了“深蓝百万里2026年科普传播使者”和“深蓝百万里2026年文化传播使者”荣誉证书。

## 发现·进展

### 中国海洋大学等

## 首次鉴定印度洋热液区深海鳞笠贝科物种

本报讯(记者廖洋 通讯员左伟、张建鑫)中国海洋大学教授孙进团队与合作者首次系统鉴定了印度洋热液区的深海鳞笠贝科物种，并揭示了其全球性的生物地理演化历史。近日，相关成果发表于《皇家学会开放科学》。

深海热液生态系统依赖化能合成作用支持独特的生物群落，是深海生物多样性的热点区域，物种多样性高。深海鳞笠贝科作为全球广布的热液生态系统典型代表，是研究热液种间连通性的模式类群。尽管已知印度洋存在未鉴定标本，但该区域的多样性仍被严重低估，相关物种信息至今空白。

研究团队采用整合分类学方法，结合形

态学、齿舌结构及分子系统学，系统描述并命名了该科在印度洋热液区的两属5个新种。系统发育分析结果支持它们作为独立新种的地位及系统发育关系。

研究通过生物地理历史重建分析了深海鳞笠贝科的全球分布格局。结果表明，其可能起源于太平洋，后经印度洋扩散至大西洋和南大洋，支持了“印度洋作为全球深海热液生物扩散的关键通道”的假说。研究推测，该属的扩散路径可能与历史上的古特提斯海遗迹通道有关，揭示了古海洋通道对现今全球深海生物地理格局形成的深远影响。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1098/rsos.251392>

### 华南师范大学

## 研制出高荷质比彩色MOF电泳粒子

本报讯(记者朱汉斌)华南师范大学教授周富国团队首次设计并成功制备了4种经聚乙烯胺(PEI)改性的彩色金属-有机骨架(MOF)电泳微粒。它们在颜色表现、荷质比、响应速度、稳定性、制备工艺和成本控制等方面，均显著优于基于有机颜料和无机颗粒的传统电泳粒子，为彩色电泳显示技术开辟了一条新路径。近日，相关成果发表于《光·科学与应用》。

电泳显示技术是一种主流的反射式显示技术，具有迅速响应、低能耗、高可靠、宽视

角、绿色护眼等优势。目前，黑白电泳显示器已成功实现商业化应用。然而，由于在色彩丰富度和刷新速度方面仍存在明显短板，其在彩色视频显示领域的进一步发展受到极大制约，核心挑战在于电泳粒子本身的色彩表现和多粒子体系在电场下的可控性。

研究团队精心制备了4种典型的彩色MOF微粒，通过PEI表面修饰技术，首次成功构建了具有高荷质比的蓝色、红褐色、绿色和紫色MOF胶体粒子，并实现了它们在单

### 中国科学院昆明植物研究所

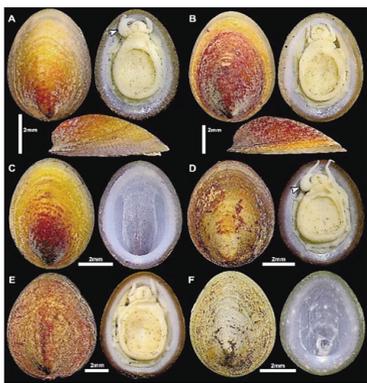
## 描绘食用菌和药用菌全球分布图景

本报讯(记者高雅丽)中国科学院昆明植物研究所研究员吴刚、杨祝良团队首次以翔实数据描绘了食用菌和药用菌的全球分布图景。目前全球已知的食用菌和药用菌共计2834种，约20%的物种“药食同源”，兼具双重价值。近日，相关成果发表于《蘑菇学》。

研究对全球真菌数据库和大量文献进行梳理，并整合了团队的研究成果。这一数字仅占已知蘑菇物种总数的约2%，意味着大自然中仍有海量“蘑菇宝藏”等待发现和利用。

研究发现，亚洲以1819种(占全球64%)的绝对优势成为食用菌的物种多样性中心，无论是云南山野间的野生菌，还是东亚广泛栽培的香菇、金针菇，都印证着这片大陆与食用菌的深厚渊源。北美洲(783种)和欧洲(577种)紧随其后，而非洲(392种)、南美洲(156种)和大洋洲(64种)则潜力巨大，大量物种有待发现。

从分类学角度看，约90%的食用菌隶属担子菌门的伞菌纲，其中伞菌目、牛肝菌



新种 *Lepetodrilus disco* 形态特征图。 中国海洋大学供图

色、双色显示中的初步应用。研究团队对这些粒子在非极性溶剂中的带电性质进行了表征与分析，有力证明了利用静电作用力在MOF表面修饰聚合物可有效改变并提升其表面电位。

团队进一步通过将不同性质的聚合物吸附于MOF表面，使其具备不同的电性和电荷载量，不仅验证了该方法的通用性，也充分展示了彩色MOF-PEI微粒作为电泳粒子的巨大应用潜力。他们将单色MOF-PEI电泳粒子与白色二氧化钛纳米粒子混合，构建了双色电泳墨水体系，充分证明了其在实际应用中的稳定性和可靠性。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1038/s41377-025-02095-3>

目、红菇目和多孔菌目等是物种最为集中的类群。红菇属、乳菇属、蘑菇属和枝瑚菌属等是“盛产”食用菌的几大属，而灵芝属则在药用菌物种多样性榜单中独占鳌头。

这项综述不仅是一次全球“家庭普查”，更是一次基于现代分子系统学的“族谱重修”。研究团队整合了近年来DNA测序和系统发育分析的最新成果，对食用菌各大类群的分类框架进行了重新梳理。伞菌目新增了12个科，多孔菌目新增了8个科，牛肝菌目、红菇目、锈孔菌目等类群的演化关系也进行了修订。这些分类学更新为精准挖掘食用菌资源、保障野生菌食品安全、推动真菌资源可持续利用提供了科学依据。

相关论文信息：  
[https://doi.org/10.1163/9789004750593\\_2](https://doi.org/10.1163/9789004750593_2)