



破译马里亚纳“黑暗绿洲”的生命密码

■本报记者 李晨 冯丽妃 刁雯蕙 廖洋 见习记者 江庆龄

这里是凡尔纳笔下“鹦鹉螺号”未曾抵达的终极深渊——曾被视为“生命禁区”的马里亚纳海沟，高达 1100 个大气压的压力可将玻璃碾成齑粉，永恒的黑暗足以吞噬整座珠穆朗玛峰。

近日，《细胞》以封面专辑形式发表中国科学院团队 4 篇重磅论文——1 篇旗舰文章勾勒项目全貌，3 篇研究论文分别聚焦深渊中的原核微生物、无脊椎动物（钩虾）和脊椎动物（鱼类）。他们依托国产万米载人潜水器“奋斗者”号，首次向世界呈现海底万米深渊的系统生态图景：7564 个物种水平的代表性基因组构建起“黑暗绿洲”；基因组大小达人类 4 倍的深渊钩虾编织起能量枢纽；深海鱼类用可追溯至白垩纪的演化智慧突破生存禁区……

这是人类首次系统性研究深渊生命。这项由上海交通大学、中国科学院深海科学与工程研究所、华大集团联合完成的“深渊计划”（MEER）第一期成果，揭示了深渊生态系统的生命适应策略与资源潜能，拓展了人类对极端环境下生命过程的认识，推动科学研究不断突破人类认知边界。

深海科研：20 年无突破性进展

“下潜万米深渊，就像倒着爬一次比珠峰还要高的山！”2021 年 10 月至 12 月，中国科学家团队搭乘中国第一艘万米级载人潜水器“奋斗者”号，在马里亚纳、雅浦海沟等 6000-11000 米海底深渊区域完成 33 次下潜，取得人类首次到达雅浦海沟最深点、首次系统研究深渊生态等多项全球突破。

万米深渊压强高达 1100 个大气压，相当于“20 头大象站在手掌心”。在水深超过 6000 米的深海里，生存面临的最大难题就是承受这超强的压力。

“我们前期做深海微生物研究时，主流方法是从海里捞样品回实验室培养。肖湘老师创新性设计了一套模拟深海高压环境的设备，这种思路从上世纪 90 年代延续至今。”论文共同通讯作者、上海交通大学副研究员赵维义回忆道，“但遇到一个根本性难题——找不到明确的嗜压基因。”

3 月 14 日，青藏高原首例人工繁育的斑海豹幼崽迎来满月，后期将与游客见面。幼崽降生于青海西宁—海洋世界。

斑海豹是国家一级保护动物，被誉为“海上大熊猫”。图为斑海豹幼崽亮相。

图片来源：中新社/视觉中国

致命禽流感病毒在南极蔓延



本报讯 一年前，H5N1 亚型高致病性禽流感开始在南极半岛传播，杀死了许多海鸟。科学家那时就想知道这种致命的病原体在偏远大陆的传播速度有多快、会给当地野生动物造成多大破坏。现在，他们有了部分答案。

据《科学》报道，在过去的 6 周里，一支科考队在西班牙高等科考理事会（CSIC）等的资助下乘科考船沿南极半岛海岸航行。该科考船上有一个可以检测样本中病毒 RNA 的实验室。8 名研究人员穿着严密的防护装备，在沿途 27 个地点下船，对动物进行拭子采样。他们从活体动物中采集了泄殖腔和气管拭子样本，同时采集了动物尸体的脑组织样本。经过检测，他们发现



▲ 深渊钩虾。
▼ 《细胞》封面。
受访者供图

论文第一作者和通讯作者、上海交通大学教授肖湘团队发现，深海微生物高压适应与其他环境中的生物适应存在本质差异——通常生物可能通过关键基因突变就能适应一个环境条件，但微生物的适应找不到专性的嗜压基因，涉及成百上千个基因。

日本同行做过一个实验，把高压微生物的所有基因敲除一遍，结果发现几百个基因都与高压适应相关。这完全颠覆了传统生物学“一个基因对应一个功能”的认知。

自 2004 年《科学》发表首个深海细菌基因组研究后，该领域近 20 年未有突破性进展。国际学界甚至出现“深海不重要论”，认为浅海数据足以代表深海特征。

“当时我们陷入双重困境：实验技术无法突破，学界价值认同动摇。这促使肖湘老师产生了‘必须亲眼看看海底’的执念。”赵维义说。

在 2020 年之前，只有 9 人曾到过海洋最深点马里亚纳海沟底部，能成功下潜万米以上深度且重复使用的潜水器，全球寥寥无几。为了打造中国全海深载人深潜“国之重

器”，“十三五”期间，中国科学院作为业主单位、研制任务核心单位，组织 10 余家院属单位全面参与“奋斗者”号的研制，通过跨系统、跨单位、跨部门的大团队合作，艰苦攻关，突破了一系列关键核心技术。

2020 年底，成功完成工程海试的“奋斗者”号，凭借其独特的采样能力和超长海底作业时间，成为全球唯一具备深渊系统调查采样能力的载人潜水器。

这一消息令肖湘感到振奋。他预感多年求索的深海微生物高压适应的答案，就藏在海洋最深处的万米深蓝之下。

就这样，他带领全球深海高压微生物领域极少数至今在研的科学团队，登上了搭载“奋斗者”号前往马里亚纳海沟的“探索一号”科考船。

颠覆认知的“黑暗绿洲”

每一次下潜，科学家都要在直径不到 2 米的钛合金载人舱内，经历 12 小时密闭作业。

（下转第 2 版）



《人工智能生成合成内容标识办法》发布

据新华社电 为促进人工智能健康发展，规范人工智能生成合成内容标识，国家互联网信息办公室等四部门近日联合发布《人工智能生成合成内容标识办法》。据悉，办法聚焦人工智能“生成合成内容标识”关键点，通过标识提醒用户辨别虚假信息，明确相关服务主体的标识责任义务，规范内容制作、传播各环节标识行为，将于 2025 年 9 月 1 日起施行。

国家网信办有关负责人表示，近年来，人工智能技术快速发展，为生成合成文字、图片、音频、视频等信息提供了便利工具，海量信息得以快速生成并在网络平台传播，在促进经济社会发展的同时，也产生了生成合成技术滥用、虚假信息传播扩散加剧等问题，引发社会关注。国家网信办联合工业和信息化部、公安部、国家广播电视总局制定了办法，进一步

规范人工智能生成合成内容标识活动。

办法提出，人工智能生成合成内容是指利用人工智能技术生成、合成的文本、图片、音频、视频、虚拟场景等信息。人工智能生成合成内容标识包括显式标识和隐式标识。

国家网信办有关负责人介绍，办法明确了服务提供者应当对文本、音频、图片、视频、虚拟场景等生成合成内容添加显式标识，在提供生成合成内容下载、复制、导出等功能时，应当确保文件中含有满足要求的显式标识；应当在生成合成内容的文件元数据中添加隐式标识。

此外，任何组织和个人不得恶意删除、篡改、伪造、隐匿办法规定的生成合成内容标识，不得为他人实施上述违法行为提供工具或者服务，不得通过不正当标识手段损害他人合法权益。

准确率达 82.2%！ 新平台可预测肝癌复发风险

本报讯（记者王敏）中国科学技术大学教授孙成团队与合作者开发了一款预测肝细胞癌复发的肿瘤免疫微环境空间（TIMES）评分系统，准确率达 82.2%，有望优化肝癌患者的临床管理策略。3 月 13 日，相关成果发表于《自然》。

肝癌（90% 是肝细胞癌）是全球癌症相关死亡的第三大原因，术后复发率高达 70%，如何准确预测肝癌复发是一个难题。

传统肝癌预后评估主要依赖肿瘤大小、分化程度等指标，而忽略了免疫细胞在肿瘤内的立体分布及其功能状态。TIMES 评分系统是首个融合空间免疫信息的肝癌复发预测工具，突破了传统预后评估方法的局限性。“空间免疫信息是免疫细胞在组织中的精确位置、密度分布、相互作用网络及其功能状态的综合描述。”孙成说。

该工作中，研究团队发现，肿瘤侵袭前缘区域的 CD57 阳性自然杀伤细胞的密度高时，肝癌患者复发的风险显著降低。他们利用空间组学和单细胞数据分析，确定了与肝癌复发关系最密切的 5 个关键基因标志物。他们测量了 61 名肝细胞癌患者（其中 30 名复发、31 名未复发）体内这些标志物和 CD57

的蛋白水平，并使用机器学习算法，建立了 TIMES 评分模型。

研究发现，5 个关键基因标志物中，SPON2 是具有最高预测权重的标志物，它在自然杀伤细胞亚群中的表达模式与肝细胞癌预后存在显著相关性。进一步研究发现，SPON2 有助于激活人体的自然杀伤细胞，增强它们的移动能力，使其更有效地攻击肿瘤细胞。这为肝癌的免疫治疗提供了新靶点。

为验证 TIMES 评分系统的准确性，研究团队在 231 位肝细胞癌患者中进行了测试，准确率达 82.2%，显著优于现有临床预测模型。

“我们构建了一个全球可访问的开放式在线计算平台，临床医生只需上传患者的常规病理染色图像，系统即可生成个体化肝癌复发风险评估报告。”孙成说。

目前，TIMES 评分系统相关核心算法和模型已获得专利保护。孙成指出，当前版本的评分系统主要针对初次手术切除的肝细胞癌患者，对于其他治疗方式后的复发，预测准确性尚需进一步验证。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41586-025-08668-x>

“光谱之王”助力—— 首幅银河系全天三维尘埃消光特性图发布

■本报记者 甘皓

3 月 14 日，《科学》以封面文章形式发表了德国马克斯·普朗克研究所的中国博士生张翔宇与其导师 Gregory Green 合作完成的一项科研成果。

结合中国科学院国家天文台郭守敬望远镜（LAMOST）的数据与欧洲航天局盖亚卫星的数据，研究人员训练模型并构建了世界上首个亿级恒星消光数据库，发布了首幅覆盖全天的银河系三维尘埃消光特性图。这项研究实现了银河系三维尘埃分布与消光曲线的同步测绘，为天文观测提供了重要参考。

研究人员表示，新观测的消光分布特征挑战了传统的尘埃演化理论，或许暗示着星际有机物的某种“生长”机制。

“消光”误差难解

光学天文设备是天文学家探索宇宙的重要工具。通过使用光学望远镜等设备，天文学家能够捕捉来自遥远天体的光，从而获取关于这些天体的各种数据，包括位置和运动、温度和亮度、化学成分以及结构等。

但是，星际介质的存在会影响这些数据的准确性，就像隔着一层纱看风景，人们接收到的光信息与天体的真实情况始终存在偏差。星际介质是存在于恒星之间的物质和能量的统称，大部分比氢和氦更重的元素都以固体小颗粒——尘埃的形式存在。

这些尘埃吸收并散射星光，使星星看起来更暗、更红，这种现象被称为“消光效应”。张翔宇告诉《中国科学报》，进行天文观测时通常需要校正消光效应，通过反推获得天体的实际情况。

不同波长的光的消光效果不同，通常蓝光的消光高于红光。消光随光的波长变化的特征被称为“消光曲线”。“消光曲线”是精确天文观测的必需品，也是研究尘埃的尺寸、成分等理化性质和星际介质环境的关键观测量。”张翔宇表示。

然而，多年来，传统的尘埃研究面临两难困境。一方面，高精度光谱巡天数据往往不能覆盖全天，难以将尘埃纳入银河系演化的框架来考虑；另一方面，依靠测光的全天观测，又很难捕捉消光曲线的变化。这让天文学家有时只能通过“全银河系的尘埃消光曲线都相同”的假设开展研究，给予宇宙、系外行星等研究下系统性误差的隐患。

得益于“光谱之王”的独特优势

为了消除上述假设的“雷”，科学家的新办法是在尽可能大的恒星样本量中获得更丰富的数据量，用于训练和验证模型，从而提高模型预测的准确性和可靠性。这样一来，即使观测条件不佳或难以直接测量的恒星，也能根据已有模式推算出较为准确的消光曲线。

在这项研究中，研究人员被誉为“光谱之王”的 LAMOST 测定的精确恒星参数，与盖亚卫星低分辨率光谱巡天数据联系起来，最终实现了对 1.3 亿颗恒星消光曲线和恒星参数的同时反推，构建出首幅覆盖全天的、深度



星际尘埃示意图。图片来源：OPENVERSE

可达 16308 光年左右的银河系三维尘埃消光特性图。

这一里程碑式成果的取得，得益于 LAMOST 的独特优势。张翔宇表示，LAMOST 的大视场多目标光谱获取能力，使研究者获得了大量银盘内处于中、高消光区的恒星的准确参数。同时，LAMOST 的观测数据广泛覆盖了多种恒星类型，使得依托 LAMOST 数据训练的模型可以应用于 1 亿多颗拥有低分辨率光谱的恒星，极大拓展了尘埃图的广度和深度。

据了解，这项突破性成果将目前已测量的银河系恒星视场线提高了两个数量级，建成了迄今世界上第一个“亿级恒星消光数据库”，第一次实现了全天的银河系三维尘埃分布与消光曲线的同步测绘。

拨开星际介质“迷雾”

星际介质是银河系中物质循环的重要一环，也是太阳等恒星的诞生地。

科研人员介绍，该研究创建的三维尘埃立体图覆盖了巨大空间尺度，将尘埃理化性质纳入银河系演化的大框架，揭示了尘埃性质与恒星形成、银河系结构的紧密关联。银河系中恒星形成区的消光曲线更加平坦，揭示了该区域尘埃颗粒生长、聚合而形成更大尘埃的过程，而银河系中心方向的消光曲线更加陡峭，显示该区域可能存在的特殊物理、化学环境致使尘埃颗粒普遍较小。

传统理论认为，越靠近尘埃云中心区域，尘埃密度越高，尘埃颗粒会由于吸积和聚合等机制“长大”，导致尘埃的消光效应逐渐与波长无关，消光曲线也越来越平坦。

利用银河系三维尘埃分布与消光曲线，他们却发现了截然不同的现象：在部分尘埃云附近，尘埃密度越高，消光曲线反而越陡峭——蓝光被吸收、散射得比红光更多。

“这挑战了基于传统理论的认识。”对此，张翔宇认为，这或许暗示了一种星际有机物——稠环芳香烃的某种“生长”机制。

在相关专家看来，新发布的三维尘埃消光特性图打开了一扇全新的研究尘埃与银河系的窗口，既为天文观测提供了重要参考，也为天体化学、恒星形成和银河系循环、生命起源等问题的研究提供了全新视角。

相关论文信息：
<http://doi.org/10.1126/science.ado9787>