



听《中国科学报》



《中国科学报》官微



科学网 App



科学网官微

## 吃一顿撑 5 年！深海绝食冠军“借”基因抗饿

■本报记者 廖洋 通讯员 张建鑫

在终年无光、资源极度匮乏的海面下，生活着一种被称为“深海绝食冠军”的奇特甲壳动物——深海水虱。2014 年，日本一项深海水虱在人工饲养下绝食 5 年多依然存活的消息，曾震惊全球。

然而，这还不是它最令人费解的地方。生物学界有一条著名的“伯格曼法则”——极端环境下的生物，体形往往会随海洋深度的增加而变得巨大。深海水虱恰恰符合这一规律——它的身体可以长到几十厘米，是浅海近亲的几十倍，堪称深海“巨无霸”。但悖论也由此而生：在贫瘠得几乎没有食物营养的深海里，如此庞大的体形意味着巨大的能量消耗，可深海水虱偏偏又能绝食 5 年不死。科学家将这个看似不可调和的矛盾称为“能量悖论”。

历时数年，中国科学院海洋研究所（以下简称海洋所）研究员李富花、袁剑波等人联合西北工业大学、首都医科大学、香港中文大学的研究人员，依托我国“深海勇士号”载人潜水器获取的珍贵样本，通过多层次组学联合分析与功能实验，终于解开了这一困扰科学界多年的生命谜团。

他们不仅发现了赋予深海水虱超强耐饥能力的关键外源基因，还首次提出“水平基因转移 + 表观遗传转录优化”的全新进化策略，改变了人类对高等动物适应极端环境机制的传统认知。这一成果近日发表于《细胞》。

“该发现既新颖又有重大影响。”国际专家评价称，这是一项极具吸引力且有重要科学意义的突破性研究，解决了一个引人注目的生物学问题。

### 海底捞针，锁定神秘基因

故事的起点，要追溯到 2019 年。当时，海洋所研究员李新正随“深海勇士号”出海深潜，在海底约 2988 米的极端环境中，成功采集到了詹姆斯深



左图为詹姆斯深水虱，右图为道氏深水虱。

水虱的珍贵标本。这批跨越千里的冻存样本被带回实验室后，便成了袁剑波的重点研究对象。

“面对庞大的基因数据，最难的‘第一块骨头’就是如何进行深度的数据挖掘。”袁剑波对《中国科学报》说。

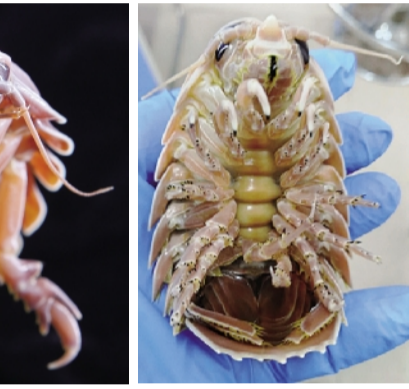
研究之初，他们将攻关方向主要集中在宿主自身的基因组特征及肠道共生微生物的相互作用上。2022 年，团队顺利完成詹姆斯深水虱的基因组测序，并发表了国际上首个深海甲壳动物基因组成果，初步解答了其巨大体形与环境适应性的联系。

但这仅仅是故事的开端。在完成常规的宏基因组测序工作后，凭借多年积累的职业敏感性，袁剑波察觉到深海水虱与胃部微生物之间有着超乎寻常的密切联系。

于是，他和团队做出了一个大胆且非主流的决定：对深海水虱基因组中所有的“水平基因转移”事件进行系统性筛查。

“常规的基因组研究极少会专门研究这个问题，因为科学界普遍认为，外源引入的基因很难在宿主体内发挥决定性作用。”团队成员、海洋所研究员张晓明解释。

然而，数据分析的结果让课题组兴奋不已。在詹姆斯深水虱基因组中的 23000 多个基因中，有一个源自外来的共生细



受访者供图

菌，被命名为“ND1”的外源基因，呈现出极其反常的特征。这个基因不仅在漫长的演化中实现了拷贝数的加倍，而且转录表达量在所有基因中“一骑绝尘”，高居榜首。

一个“借来”的基因，竟然突破了宿主的遗传结构限制，被深海水虱用到极致。关键因子“ND1”的发现，如同一颗炸弹，彻底为这个深海“外星生物”的节能机制研究打开了突破口。

### 寻找“大胃王”背后的推手

这一关键基因是如何被调控并实现超表达的？深海水虱身体内部又隐藏着怎样的秘密？

为进一步寻找证据，团队将来自 898 米深海的詹姆斯深水虱与生活在 300 米深海、体形较小的近缘物种“道氏深水虱”，进行了精细的形态学与宏基因组对比解剖。

解剖结果令人震惊。詹姆斯深水虱那外壳坚硬的身体里，却塞着一个几乎占据整个身体 2/3 容积的胃。这个庞大的器官里填满了食物——哪怕将深海水虱在实验室养殖两三个星期，不进行任何投喂，它依然正常排便——解剖后胃部依然鼓鼓囊囊、满满当当。

“吃一顿，撑几年。”袁剑波笑着说，“这种‘开源节流’的策略，正是它们应

对饥饿的第一个法宝。”

在胃部微生物的分析中，团队发现了更精妙的共生协作。

相比于浅海物种，詹姆斯深水虱胃部与碳水化合物代谢相关的常规细菌群显著减少，取而代之的是特异性富集的一种衣原体。提到衣原体，人们通常会想到致病菌，事实上，它在人体内的确会引发疾病。但这种细菌在深海水虱体内不仅不致病，反而能帮助宿主将能量以脂肪的形式存储起来，形成围绕体腔一圈的特殊器官——脂肪体。就像骆驼的驼峰一样，它为深海水虱打造了一个极致的储能中心。

最神奇的科学发现，在于表观遗传层面的“精准操控”。

团队在分析数据时注意到，共生细菌在深海水虱胃部特异性富集了大量的组蛋白乙酰化基因，而宿主深海水虱自身的组蛋白修饰系统也呈现出显著的扩张特征。通过精准的组蛋白乙酰化修饰，袁剑波终于找到了调控“ND1”基因超表达的关键机制。

实验证实，詹姆斯深水虱体内多出来的 3 个“ND1”基因的启动子区，均精准地出现了两个显著的组蛋白乙酰化修饰峰，而这些修饰在提供能量的线粒体“氧化磷酸化”通路上实现了特异性富集。相比之下，浅海的道氏深水虱由于生存环境的能量压力较弱，其低表达的同源基因上游就没有这种修饰峰。

这就构成了一条较为完整的证据链：深海水虱通过这种独特的节能修饰模式，精准调控了“氧化磷酸化”通路上的靶基因。

### 常温遇挫，低温逆转

任何重大的基因功能推论，都必须经过活体功能验证的淬炼。

由于无法在实验室模拟出深海的活体养殖环境，团队决定用成熟的模式生物——斑马鱼进行基因敲入实验。

（下转第 2 版）

## 中国科学院召开科技帮扶工作领导小组会议

本报讯 近日，中国科学院召开科技帮扶工作领导小组会议。中国科学院院长、领导小组组长侯建国出席会议并讲话，副院长、领导小组副组长何宏伟主持会议。

会上，可持续发展科技研究所汇报了“十四五”时期中国科学院科技帮扶工作进展、存在问题以及 2026 年工作总体考虑，定点帮扶和对口支援责任单位汇报了相关工作进展及下一步思路举措，与会同志围绕准确把握常态化精准帮扶新形势新要求、进一步做好帮扶工作进行了深入交流研讨，提出了意见建议。

侯建国对“十四五”时期全院科技帮扶工作在地方特色资源开发、产业培育、生态环保、人才培养等方面取得的积极成效予以肯定，对奋战在帮扶一线和参与帮扶工作的全体同志表示感谢。他表示，习近平总书记关于做好“三农”工作的重要指示为下一步做好帮扶工作指明了前进方向，提供了根本遵循，今年的中央一号文件首次系统性部署实施常态化精准帮扶，为过渡期后开展常态化帮扶、持续巩固拓展脱贫攻坚成果指明了方向。

要认真贯彻落实习近平总书记重要指示精神和党中央重大决策部署，总结“十四五”期间帮扶工作有效经验，以高度的政治责任感和历史使命感持续抓好“十五五”时期帮扶工作。

侯建国强调，要结合树立和践行正确政绩观学习教育，按照新阶段新部署新要求持续谋划组织好科技帮扶工作，对标 2030 年全面实现“四个率先”目标，坚持“四个面向”充分发挥中国科学院多学科交叉交叉优势，以更高标准、更高质量推动科技成果在帮扶点集成落地转化。要以实际需求为导向，因地制宜采取适应性帮扶举措；以长远发展为目标，构建可持续“造血”帮扶体系；以科技赋能为重点，持续提升帮扶工作科技含量；以真抓实干为途径，确保帮扶经费投入绩效。要强化党建引领，大力弘扬科学家精神，践行“创新科技、服务国家、造福人民”的科技价值观，不忘初心、积极奉献，为持续做好科技帮扶工作提供坚强支撑保障，以实实在在的帮扶成效，为加快农业农村现代化、扎实推进乡村全面振兴贡献科技力量。（柯讯）

## 我国拟制定标准推动人形机器人走进更多场景

据新华社电 工业和信息化部日前发布通知，公开征求多项行业标准制修订计划项目意见。本次拟制定的标准包括人形机器人在变电站、家电制造等场景技术要求。

变电站是电网的“心脏”。现有变电站智能巡检主要依赖轮式或履带式机器人，然而，变电站内约 30% 的巡检点位是轮式机器人无法覆盖的“盲区”。人形机器人凭借其类人的运动形态、双足行走能力、多关节协同操作能力，能够有效弥补现有巡检机器人的不足。当前，标准缺失已成为制约变电站人形机器人规模化应用的瓶颈。

拟制定的《人形机器人变电站场景技术要求》主要技术内容包括建立适用于变电站人形机器人的术语体系、从八个方面规定变电站人形机器人的技术要求，规定变电站人形机器人应用的全流程管理等，将为行业提供统一的技术依据。

此外，本次申请立项的还有《人形机器人具身智能售后服务规范》《人形机器人互连系统通用技术要求》等标准。（周圆）

## 孙燕辉：老船长的深海征途

■本报记者 冯丽妃

苦吗？“苦。”视频那头，孙燕辉笑着回答，“但习惯了。”

收获呢？“收获也挺大。见了别人一生都见不到的景象，体验了常人体验不到的感受。”

今年 58 岁的孙燕辉，是中国科学院深海科学与工程研究所（以下简称深海所）的高级船长。从驾驭万吨巨轮远航，到驾驶“国之重器”——“探索”系列科考船挺进深蓝，他半生与大海紧紧相连。“奋斗者”号万米海试、发现南海明代沉船、北极冰下深潜……这些中国深海科考的高光时刻，他都在场。

近日，孙燕辉获得全国五一劳动奖章。谈及感受，他用最朴实的话说：“这份荣誉不属于我个人，属于我们整个集体。我一个人都做不了。”

### “心悬一线”

“当时就感觉，那根细细的光纤真让人‘心悬一线’。”回忆起 2020 年 11 月“奋斗者”号万米海试的场景，孙燕辉记忆犹新。

那一次，他的任务是驾驶“探索二号”搭载“沧海”号着陆器，与“探索一号”上的“奋斗者”号载人潜水器协同作业。“沧海”号要通过一根光纤，将万米海底的 4K 高清画面实时传输到央视直播间。这根光纤，连接的不只是深海与陆地，更承载着无数国人的期待。

船在波浪中起伏，光纤稍微受力不均就可能断裂。“只能以 0.1 节、0.2 节（1 节=1 海里/小时）的速度慢慢往前拖，始终让它带着力。”孙燕辉回忆。就这样，他们完成了全球首次万米深海直播。

这般“心悬一线”的惊险场面，在孙燕辉的深海科考生涯中并非个例。2025 年，他作为我国首艘深潜多功能科学考察及文物考古船“探索三号”的船长，执行了我国首次北极加克洋中脊水下载人深潜任务。在北纬 84 度 33 分的密集冰区，挑战接踵而至。

“第一个潜次，潜器放下去容易，可回收的时候，冰面破开后又迅速可控。”孙燕辉回忆，平时回收潜器从挂缆到出水面只需约 15 分钟，那次足足折腾了近 3 个小时。“奋斗者”号还没浮出水面，刚破开的出水口就被冰层封住，无法开展回收作业。破冰、合拢、再破冰、再合拢……反复拉锯。

该航次 9 月 13 日的一次作业更为惊险。那天狂风大作，风速达到 58 节（约 11 级），把水面上的雪卷得漫天飞

术依据和测试评价方法，破解“不敢用、不能用、不好用”的应用困局。

家电制造方面，目前国内多家智能家电企业已在智能家电制造工厂使用人形机器人执行作业任务，针对家电制造行业的人形机器人作业效果评估标准显得尤为重要。

拟制定的《人形机器人家电制造场景应用中人形机器人作业效果评估指标体系》，描述了评估方法等内容，将为厂商提供明确的技术发展方向，还能帮助应用方更有效地评估和优化人形机器人的工作性能，为人形机器人在其他领域的应用评估提供参考依据。

此外，本次申请立项的还有《人形机器人具身智能售后服务规范》《人形机器人互连系统通用技术要求》等标准。（周圆）



孙燕辉作为“探索三号”船长在北极科考中。受访者供图

舞，形成“白化天气”——天地间白茫茫一片，能见度极差，几乎看不见船头以外的区域。更致命的是，厚重的冰脊挡住了去路，而“奋斗者”号以每分钟四十米的速度从 5000 米深海向上浮起，急需一个无冰的水面窗口。

当时“探索三号”距离潜器还有 2400 米，孙燕辉必须驾驶船赶上它的上风方向约 1000 米处破开冰层，预留上浮通道。然而，坚硬的冰脊像一堵墙，“探索三号”4 台主发电机负荷运转，连续 3 次冲击都没能破开缺口。

潜器一点点逼近水面，孙燕辉心急如焚：“再找不到上浮的地儿，就太被动了。”

他只能指挥船退回来，往东、往南绕，寻找可以突破的路线。短短几百米航程，他们硬是开了两个多小时，所幸终于在冰海中开辟出一条生路，顺利完成回收任务。回想起来，这位阅尽风浪的老船长仍有余悸：“那次真是后怕，冰太厚、太硬了。”

最终，这次北极科考完成了 43 次下潜，其中在密集冰区下潜 32 次，最大下潜深度 5277 米，创下我国载人深潜极冰区作业新纪录。尽管全程充满艰险，但北极也呈现给孙燕辉和队员们罕见的景致：北极熊、海豹、极昼奇观。没有风的时候，极地风光美得令人窒息。“那是很多人一生都体验不到的。”他说。（下转第 2 版）

## 我国首例“头位分娩”长江江豚满月

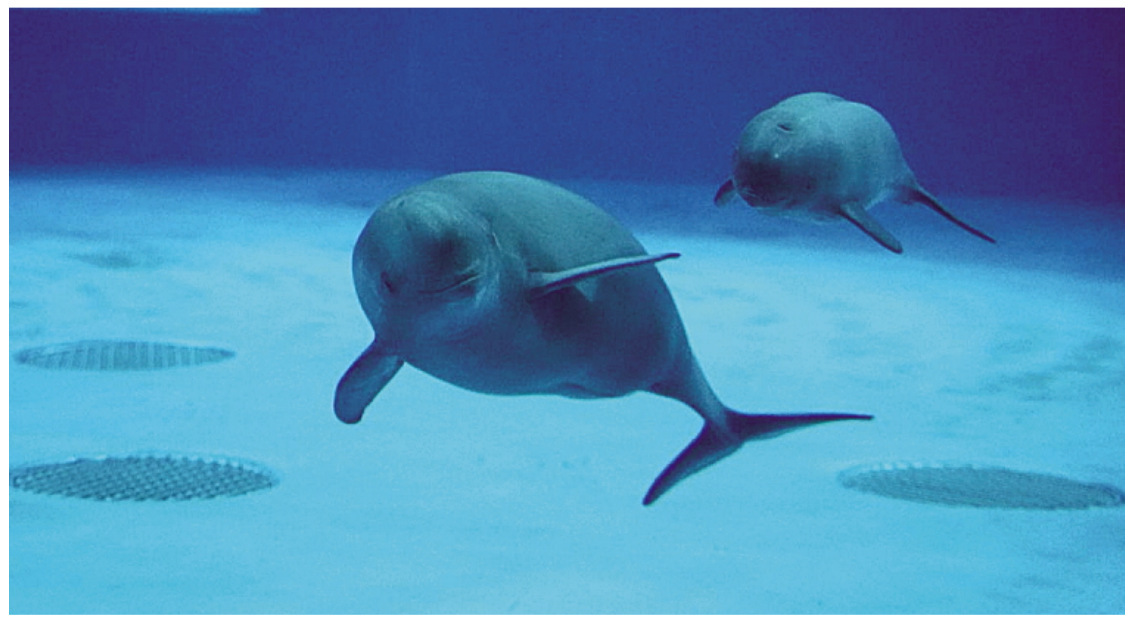
本报讯（记者李思辉 实习生王悟诚）6 月 22 日，中国科学院水生生物研究所白鱀豚馆内，一头刚满月的长江江豚幼豚完成阶段性体检。结果显示，这头“江豚宝宝”体长超过 80 厘米，体重约 9 公斤，较出生时近乎翻倍，行为发育及各项生长指标均正常。

这头雄性幼豚于 5 月 22 日由 18 岁雌性长江江豚“福久”顺利产下。此次分娩为齿鲸类中较为罕见的头位出生，也是长江江豚人工种群有记录以来的首个头位分娩案例。

对于海豚、江豚等齿鲸动物而言，尾部先娩出是自然演化形成的常态分娩方式。头位出生虽较少见，但在虎鲸、瓶鼻海豚以及长江江豚近缘物种东亚江豚中均有报道。此次长江江豚成功头位分娩，为进一步了解其繁殖规律提供了重要研究素材。

据介绍，母豚“福久”此前已于 2022 年诞下雌豚“小久久”，2024 年诞下雄豚 F9C24。父亲“淘淘”是全球首头在人工环境下出生的长江江豚，将于今年 7 月 5 日迎来 21 岁生日。此次出生的编号为“小 26”的幼豚，是这对“功勋夫妇”第三次繁育的后代。

▶ 江豚“福久”与新生小江豚。受访单位供图



## 英国脱欧的科学“裂痕”正在修复



寰球眼

本报讯 10 年前的 6 月 23 日，英国以 52% 的公投支持率脱欧；如今，已有迹象表明，英国和欧盟在科研领域的关系正在修复。

据《自然》报道，4 月达成的一项协议带来了重大胜利：从 2027 年起，英国将重新加入“伊拉斯谟+”计划，这是一个面向博士生和高校教职员工的欧盟交换项目。另一个好消息是，在 2024 年重新加入欧盟旗舰资助计划“地平线欧洲”后，英国在该项目 950 亿欧元（约合 1100 亿美元）

资助中所占份额已开始回升。

在脱欧到重新加入“地平线欧洲”计划之前，英国对欧盟研究项目的参与度曾大幅下滑。英国政府本月早些时候公布的数据显示，欧盟资助英国研究人员份额，从 2015 年 16% 的峰值降至 2023 年的 5.8%。同时，双方的合作模式也发生了变化。分析显示，欧盟与英国研究人员合著论文占英国发表论文的比例，从 2015 年 60% 的峰值降至 2022 年的 52%。

不过，自重新加入“地平线欧洲”计划以来，英国在欧盟科研资助中的参与度已开始回升——2024 年，欧盟授予英国科研人员资助份额达 9.3%。尽管这一比例远低于脱欧前的峰值，但欧盟的数据显示，这种上升趋势将持续下去。

重建欧洲伙伴关系的关键，取决于英国在下一轮“地平线欧洲”计划（2028 年至 2034 年）中的作用——该项目拟定预算为 1750 亿欧元。目前，欧盟各国政府仍在就该计划的形式和最终预算进行谈判，而英国在该计划中既无正式发言权也无投票权。

英国政府正在权衡是否加入下一轮“地平线欧洲”计划，并表示在欧盟最终敲定计划之前，不会启动相关谈判。英国主要资助机构“英国研究与创新署”负责人 Ian Chapman 今年 2 月表示，与目前全面参与的情况不同，英国可能考虑仅加入该计划的一些“支柱”项目，而非全部。

然而，英国尚未恢复其脱欧前作为欧洲科研基石的地位，原定于下月举行

的英国与欧盟的“重启”谈判也陷入停滞。谈判议程尚未公布，但主要症结可能是一项青年流动计划的架构问题，该计划将允许年轻人在英国或欧盟生活和工作的年限。另一个争议点在于，欧盟希望其学生在英国就读时缴纳“本地生”学费，而不是更高的国际生学费。而英国的大学也希望欧盟学生回流，但它们已经资金紧张，如果招收更多此类学生，将持续亏损，难以维系。

英国卡迪夫大学的科研与政策研究员 Vassiliki Papaitsiba 表示：“资助正在恢复，但重建英国的信誉和科研合作网络将更加困难。”她表示，英国科研实力依然雄厚，但面临的竞争比脱欧前更加激烈。英国能否重建其欧洲科研网络核心地位，目前仍是未知。（文乐乐）