

5亿岁的云南虫身份确定 被写入脊椎动物“家谱”第一页

◎本报记者 金凤

现代脊椎动物从何而来？最古老的脊椎动物长什么样？这些重大科学问题一直吸引着古生物学家不断探索。

位于我国云南的澄江动物群，保存了大量脊椎动物的祖先类群。

此前，学界普遍认为最古老的脊椎动物是来自澄江动物群的昆明鱼，并推测脊椎动物的

祖先是一类具有脊索、背神经管和鳃裂的后口动物。然而，这一假想始终没有得到化石证据的支撑。

如今，这一谜团终于被破解。

7月8日，国际权威学术期刊《科学》刊发南京大学姜宝玉教授课题组和中国科学院南京地质古生物研究所研究员朱茂炎领导的“地球—生命系统早期演化”团队的研究成果，确认了我国5.18亿年前澄江动物群中的云南虫是脊椎动物的最原始类群。

云南虫身份界定一度存争议

距今约5.05亿年的加拿大布尔吉斯页岩动物群和距今约5.18亿年的中国云南澄江动物群，有丰富的、保存精美的以软躯体结构为特征的动物化石。

其中，1909年已经被发现的布尔吉斯页岩动物群，产出了头索动物皮卡鱼和基于脊椎动物后斯普里格鱼化石，科学家在澄江动物群中则发现了包括基于脊椎动物昆明鱼和分类位置存疑的云南虫在内的多种脊索动物化石。这些化石是迄今为止世界上最古老的脊索动物，为揭开脊椎动物起源和早期演化之谜提供了珍贵材料。

从形态上看，云南虫有点类似现在的蠕虫，它们身体侧扁，一般只有3厘米至4厘米长。

“不同于具有典型脊椎动物特征的昆明鱼，云南虫形态更接近头索动物文昌鱼，但它在脊椎动物起源和后口动物系统树上的位置一直存在争议。论文的共同通讯作者、南京大学教授姜宝

玉介绍。

1995年，《自然》杂志曾发表研究，研究将云南虫作为最早的脊索动物。《纽约时报》和《科学周刊》还对此作了专题评述。

在此之后，中国学者陈均远等人在昆明海口地区又发现了大量云南虫新标本。基于这些标本更加精细的解剖学结构，他们将云南虫归为原始有头类，认为其演化位置介于头索动物文昌鱼和脊椎动物七鳃鳗之间。这一成果1999年在《自然》杂志发表后，在学界掀起了有关云南虫分类位置的大讨论。

“由于不同学者对云南虫保存各异的软体组织细节的解释存在较大差异，云南虫自1991年被首次报道以来，被分别归类于脊椎动物、头索动物、半索动物、后口动物干群、甚至原始的两侧对称动物。”姜宝玉介绍，云南虫分类位置存在的争议严重影响了基于这类关键化石开展脊椎动物起源的研究。

咽弓特殊特征助其验明正身

针对云南虫分类位置之谜，在常规的形态学研究无法达成共识的情况下，研究团队利用三维X射线断层扫描显微、傅里叶红外光谱、拉曼光谱、扫描电镜和透射电镜等多种现代实验技术手段进行研究，希望从微观解剖学结构着手去破解这一谜题。

基于陈均远等学者于2003年提出的云南虫鳃弓可能具有细胞软骨这一重要线索，研究团队

对海口地区产出的127块云南虫标本的鳃弓结构进行了分析，首次在云南虫咽弓上发现了微纳尺度三维保存的叠盘状细胞结构和蛋白微原纤维构造。

“叠盘状细胞结构是软骨细胞独特的排列方式，而蛋白微原纤维是脊椎动物软骨常见的细胞间基质的纤维结构。这两个特征证明云南虫具有脊椎动物独有的、由细胞软骨构成的咽弓，表



中国科学院南京地质古生物研究所研究员赵方臣展示原始脊椎动物云南虫化石
中新社记者 洪波摄/视觉中国供图

明云南虫属于原始脊椎动物。”姜宝玉说。

为进一步确定云南虫的具体演化位置，研究团队整合了最新的、包括后口动物和早期脊椎动物化石在内的性状矩阵，并加入新观察到的云南虫性状，采用贝叶斯算法进行重建计算。分析结果支持云南虫处于脊椎动物谱系的最基干位置，介于尾索动物和其它脊椎动物之间。

“脊椎动物颌的起源，也困扰了学界很久。19世纪初，有科学家提出设想，认为在漫长的演化中，鳃弓演化出颌弓和与舌弓，但此前一直没有找到化石记录佐证。”姜宝玉介绍，随后的科学发现却让人对这一假说提出质疑。

“现生的无颌脊椎动物盲鳗和七鳃鳗的控制前两个鳃弓的基因没有发育成颌弓和舌弓，而是发育成了上下唇，发育中也看不到颌弓的痕迹，这与有颌脊椎动物的鳃弓不一样。”姜宝玉说，此

次研究中，科研人员在确认云南虫的“身份”后，在其相当于第一对咽弓的位置上发现了与后部其他鳃弓一样的叠盘状细胞结构、螺丝和蛋白微原纤维等构造。

因此，云南虫拥有从前到后彼此相似、同样具有细胞软骨的7对咽弓。彼此相似的咽弓也出现在另一种寒武纪基干脊椎动物——后斯普里格鱼身上。

“云南虫相似的7对系列咽弓的发现，支持解剖学家们早在19世纪就已经提出的脊椎动物咽弓同源理论假说，即鱼类的鳃弓是颌弓和舌弓的原型，脊椎动物的颌弓和舌弓跟后面的鳃弓是系列同源构造。”姜宝玉表示，这意味着，虽然现生脊椎动物不同位置的咽弓会发育成颌弓、舌弓和鳃弓等形态不同的骨骼，但在脊椎动物演化初期不同位置的咽弓是彼此相似的。

篮状咽颅证实脊椎动物祖先咽颅形态

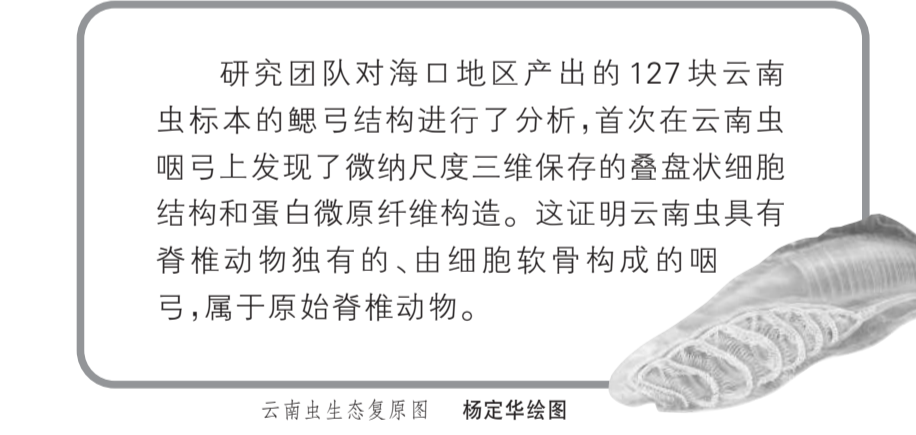
姜宝玉认为，这次研究的另一个重要新发现，是云南虫的7对咽弓在腹背两端被成对的水平软骨连接，组成了一个类似于篮状的咽颅。咽颅是指脊椎动物头部消化道周围的一组骨片，起到支撑和保护作用，现生脊椎动物的咽颅由颌弓、舌弓和鳃弓等咽弓的骨骼构成。

“篮状咽颅是现生无颌类脊椎动物和化石无颌类真显鱼的典型特征，然而寒武纪后斯普里格鱼和有颌类脊椎动物的咽颅由一系列彼此分离的软骨棒组成。”姜宝玉说，后斯普里格鱼的这种咽颅特征引起了关于脊椎动物祖先咽颅形态的争议。出现更早、位于脊椎动物最基干位置的云南虫咽颅特征支持篮状咽颅是更古老的祖先特征这一观点。

由此可见，作为现生脊椎动物最古老的近亲，云南虫为揭示脊椎动物的起源和早期演化提供了关键证据，对脊椎动物颌和其他关键特征演化的探索均将产生深远的影响。

姜宝玉认为，“从另外一个角度来看，该项研究再一次展示了澄江动物群化石具有保存微纳尺度精细生物学结构的潜力。”

此次成果也得到了《科学》杂志审稿人的高度评价：“这是对科学的重大贡献，该论文将成为古脊椎动物学的一篇关键论文，展示了人们期待已久的、最可信的解剖结构化石证据，解决了寒武纪干群脊椎动物争议问题。他们所展示的信息是一个里程碑，在未来的许多年里，即使更高分辨率的研究也难以超越。”



云南虫生态复原图 杨定华绘图

深海水虱凭啥当上“绝食冠军”？ 基因组分析找到答案

◎本报记者 王健高 实习记者 宋迎迎
通讯员 李河昭

近日，中国科学院海洋研究所(以下简称中科院海洋所)李富花课题组和李新正课题组合作破译了国际上首个深海水虱基因组——深海水虱的基因组，揭示了深海水虱巨型化和深海寡营养环境适应的独特分子遗传机制。相关研究成果发表在生物学期刊《BMC生物学》(BMC Biology)上。

此研究是中科院海洋所科研团队继深海软体动物和深海管虫等深海物种之后，首次报道深海甲壳动物基因组，为揭示甲壳动物独特的深海环境适应性进化和遗传机制提供了重要分子证据。近日，论文第一作者、中科院海洋所实验海洋生物学重点实验室副研究员袁剑波接受科技日报记者采访。

大胃让深海水虱得以保存更多食物

等足类是甲壳动物中少有的既包含水生、半陆生和完全陆生物种，又包含深海和浅海物种的类群，不同生态位的类群在体型上存在巨大差

异。其中，深海等足类呈现出体型巨大化现象。而深海水虱是深海巨型等足类的代表性物种，因保持世界上最长的绝食时间纪录(5年以上)而广受关注。

袁剑波介绍，理论上讲，深海寡营养环境是一种极端环境，高压、无光、营养匮乏，所以通常对于体型较大、活跃型物种来说，深海环境并不适宜它们的生长，因为它们需要的绝对能量相对更多。

“虽然我们提到深海环境可能不适合大型生物生活，但其实我们看到的具有体型巨大化的物种大部分都发现于深海环境下。”袁剑波说。

吃得少、长得大，这种看似矛盾的现象是如何出现的？对于新研究的“主角”深海水虱来说，它之所以能够更好地适应寡营养环境，首先离不开它的“大胃”。

研究人员发现，深海水虱有一个巨大的胃，完全被食物填满，占身体体积的近2/3，所以能够保证其在营养有限的环境下，尽可能地保存食物和营养。

代谢慢也是长时间绝食的关键

除了占身体体积近2/3的大胃外，深海水虱

等足类是甲壳动物中少有的既包含水生、半陆生和完全陆生物种，又包含深海和浅海物种的类群，不同生态位的类群在体型上存在巨大差异。其中，深海等足类呈现出体型巨大化现象。而深海水虱是深海巨型等足类的代表性物种，因保持世界上最长的绝食时间纪录(5年以上)而广受关注。

还有特异的组织——脂质体用于存储有机物质。同时，该物种的代谢速率也非常低，还能高效利用营养，以达到其适应深海环境的目的。

袁剑波表示，为了解析深海水虱营养高效利

用机制，研究人员对深海水虱不同组织进行了转录组测序和分析。结果发现，深海水虱基因组上含有大量糖代谢和膜泡运输相关的基因，这些大量糖代谢和膜泡运输相关的基因家族在深海水虱基因组上发生了显著扩张，且特异性地在胃和肠道中高表达，提示其可能与能量的高效利用相关。

“我们还把深海水虱与其亲缘类群对比，发现深海水虱脂质体内脂质的积累主要得益于较低的脂质代谢效率，而非高效的脂质合成能力。换言之，体型巨大的深海水虱之所以能够在深海寡营养环境下生存，在于它对营养的高效吸收和较低的代谢率。”袁剑波说，从目前来看，海洋环境下，某些具有体型巨大化的群体也符合这一规则。“在我们基因组研究中，我们发现与生长相关的信号通路，特别是一些激素信号通路上的基因在深海水虱基因组上都显著扩张了，这就揭示其拥有强化的生长信号通路，以帮助其实现体型巨大化。”袁剑波说。

深海水虱这种超长绝食时间的现象是科学家这些年来一直关注的科研热点，袁剑波表示，深海水虱基因组的破译为揭示巨型甲壳动物适应深海寡营养环境的独特分子机制提供了重要基础。其营养高效利用机制，以及其在营养缺乏的情况下的表现具有非常高的应用前景。

新知

这根增大的伪拇指作证 熊猫600万年前就吃竹子

◎本报记者 陆成宽

与其它食肉的“同门兄弟”不同，大熊猫有许多“绝技”，使其能够适应专门吃竹子的生活。在这些“绝技”中，大熊猫的“拇指”最著名、最神秘。

7月1日，《科学报告》发表了一项关于大熊猫伪拇指演化的最新研究成果。来自中国科学院古脊椎动物与古人类研究所(以下简称中科院古脊椎所)等单位的研究人员发现，600万年前的始熊猫发育有增大的伪拇指——桡侧籽骨。它相当于人类的拇指，可以抓握竹子；同时，如果伪拇指太长，熊猫在走路时会崴脚，所以该“拇指”长得不长不短正合适，未演化成完整的手指。

“这是现在发现的最早的增大伪拇指。这种简版的‘拇指’表明，大熊猫专门吃竹子的习性至少在距今700万—600万年前就起源了。”中科院古脊椎所所长邓涛指出。大熊猫的“拇指”很早就吸引了生物学家的注意。近几十年来，大熊猫能够抓握的伪拇指已成为一个著名的进化适应例证。

通过对发现于云南昭通700万—600万年前晚中新世的始熊猫化石进行研究，科研人员发现，始熊猫的伪拇指显示出中间形态，首次记录了熊猫向取食竹子演化的可能时间和步骤；同时，始熊猫的牙齿形态已经达到了现代大熊猫的复杂程度，甚至更复杂，也有利于其嚼碎坚硬的竹子。

人类及其灵长类近亲最重要的特征之一，就是演化出了能与其他手指对握的拇指进行抓握。大熊猫虽然也可以抓握，但其抓握与人类的抓握有根本不同。

“大熊猫的伪拇指不像人类拇指那样可以独立于其他手指运动，它是一种被动的抓握，远远不如人类的主动抓握有效，但这种被动抓握也足够为大熊猫提供吃竹子所需的抓握能力。”邓涛解释道。

现生大熊猫的桡侧籽骨在靠近末端处有一个急剧内弯的钩，然而，始熊猫的桡侧籽骨缺乏末端的弯钩。这表明，进化过程分为两步：伪拇指最初简单伸长，后来出现更精细的末端弯钩，同时伴随着末端的轻微缩短。

“这就提出了一个问题，为什么大熊猫没有发育出一个更细长的伪拇指，一种更像真正的呈对握状态的拇指，以便更有效地抓握竹子？这个问题一直没有得到解答。”邓涛说。深入研究后，科研人员认为，伪拇指没有进一步伸长，可能是抓握竹竿和承担体重之间平衡的结果。“熊科动物走路都是前、后脚掌着地的跖行式。如果伪拇指长得太长就会显著突出于掌面，走路时就会崴脚。”邓涛说。

因此，现生大熊猫通过伪拇指末端向内急剧弯曲成钩状和外侧变平，来平衡抓握竹竿和承担体重之间的冲突。同时，熊猫简陋的伪拇指很难用于采集熊科动物通常的杂食原料，如种子、坚果、浆果、矮草等，这表明增大的伪拇指的取食目标就是竹子，伪拇指是熊谱系中有效采集竹子的关键适应演化。

大灭绝后海洋生态系统复苏

软躯体生物功不可没

科技日报讯(记者吴纯新 通讯员程晓龙)7月6日，科技日报记者从中国地质大学(武汉)获悉，该校生物地质与环境地质国家重点实验室陈中强教授团队联合国内外合作者，利用造迹化石大数据，以二叠纪—三叠纪之交为例，评价了以软躯体生物为主导的内生动物生态系统在生态大危机之后的抗灾恢复能力，揭示它们在温室海洋中的复苏过程和机制。相关成果在线发表于《科学进展》。

发生在2.52亿年前的生物大灭绝导致90%以上发育骨骼的海洋物种灭绝。然而，海洋生物还包括那些通常不被保存下来的软躯体生物，它们的活动行为在地史时期以造迹化石形式保存下来。

据介绍，软躯体生物在海洋生态系统中扮演“生态系统工程师”角色，它们通过改造栖息环境物理化学性质，来增加生物地球化学梯度的复杂性等，从而对生物多样性产生反馈作用。

新研究通过对我国26条代表不同环境的二叠系—三叠系地层剖面记录的2万余枚造迹化石进行系统研究，发现软躯体生物在大灭绝后约300万年(早三叠世斯密斯亚期)就已复苏，远远早于骨骼生物复苏时间。此外，多种定量相关性模拟分析表明，软躯体生物的复苏过程与外部环境变化相关性很低，表明大灾难后海洋生态系统的复苏过程相比外部环境制约，可能更受控于海洋内部生物之间的相互作用。

同时，研究人员发现，生态大危机后，软躯体生物和游泳生物多样性均在斯密斯亚期恢复到生态大灭绝前水平。游泳生物具备自由移动能力，在大危机中能迅速逃离恶劣环境条件，避至更有利的环境中，它们处于食物链顶层。相反，造迹生物栖居海底表面或沉积物中，处于食物链金字塔下层。这两种功能群生物却在生态大灭绝300万年后同时复苏，反映食物链下层的造迹生物通过营养和能量“自下而上”的传递机制，对上层高级消费者产生明显正反馈作用。

研究还发现，在碳酸盐岩台地—缓坡等浅水环境中，软躯体内栖生物与表栖固着壳体生物之间存在偏害共生现象，即造迹生物的“推土机”行为一方面为海底沉积物带来生机，另一方面使海底沉积物变得不稳固，堵塞表栖固着滤食生物身体的过滤结构，从而破坏表栖固着生物的栖息环境。这种偏害共生现象抑制了底栖固着生物的灾后复苏。

因此，在生态大危机之后的温室海洋中，软躯体生物调控了整个生态系统的复苏过程。其中，“生态系统工程师”在一定程度上触发了生物演化创新和辐射，重演了5亿年前动物早期演化一幕。

数值模拟吐露

天山北麓年轻山地形成奥秘

科技日报讯(记者顾满斌)近日，兰州大学潘保田教授研究团队通过数值模拟估算了天山北麓年轻山地形成和保存的临界抬升速率，该研究以《年轻山地如何能在前陆盆地形成和保存?》为题在《科学通报》上在线发表。

活动造山带的生长过程是深入理解区域地貌演化与环境演变的重要基础。造山带的前陆盆地发育丰富且连续的沉积记录，地貌序列保存完整，是探索构造变形与山体生长关系的天然实验室。以往研究中地质记录揭示的多为数千万年的构造演化历史，而地貌证据记录的则为相对年轻的山地地形演化过程。中国天山北麓存在着“老构造”与“年轻地貌”的“非协同演化”问题。已有研究表明，天山北麓逆断裂—褶皱构造的生长变形多开始于新近纪，但山前的背斜山地在晚第四纪才开始显现。对此较为合理的解释是，地质构造在生长初期需要面对山前先成河的扫荡与侵蚀，因此只有当构造抬升速率超过了先成河的侵蚀能力以后，地形才能得以保存并继续生长。

天山北麓最北侧的两排逆断裂—背斜构造目前处于持续的生长过程中，其中之一—Belt II的背斜地形就处于典型的幼年期，这说明其抬升速率克服了河流侵蚀能力，已经超过了幼年期地形存活的临界抬升速率。针对这些背斜强烈隆升开始的年代和速率进行约束，对理解前陆盆地构造变形与山体生长的“非协同演化”机制具有重要的参考价值。然而囿于地貌证据的时空离散性以及年代学手段的局限性，传统方法很难直接获取形成背斜地形并被保存所需要的临界抬升速率。