
研究发现细胞软骨确认五亿年前云南虫是最原始脊椎动物

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/19111.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

近日，研究发现5.18亿年前寒武纪澄江动物群产出的云南虫的咽弓具有脊椎动物独有的细胞软骨结构，确认了云南虫是脊椎动物的最原始类群。该成果由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”研究团队和南京大学地球科学与工程学院教授姜宝玉课题组合作完成，于7月8日发表在《科学》（Science）上。

有关脊椎动物起源的问题是广受关注的科学热点。演化生物学家通常根据现生头索动物文昌鱼的特征，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，该假想的脊椎动物祖先始终没有得到化石证据的支撑。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均产有丰富的、保存精美的以软躯体结构为特征的动物化石。其中，1909年就已经发现的布尔吉斯页岩动物群产出了头索动物皮卡鱼（Pikaia）和基干脊椎动物后斯普里格鱼（Metaspriggina），在澄江动物群中也发现了包括基干脊椎动物昆明鱼（Myllokunmingia）和分类位置存疑的云南虫（Yunnanozoon）在内的多种脊索动物。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材料。

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，它在脊椎动物起源和后口动物系统树上的位置长期存在争议。南京古生物所研究员陈均远等人将云南虫作为最早的脊索动物于1995年在《自然》杂志上发表。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。云南虫分类位置存在的争议影响了这类关键化石对脊椎动物起源的约束作用。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，此次研究团队利用三维X射线断层扫描显微镜、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，从微观解剖学结构着手破解这一谜题。

基于陈均远及其合作者2003年曾提出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（stacked discoid structure）和蛋白微原纤维构造（fibrillin microfibril）。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，表明云南虫属于原始脊椎动物。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，并增加云南虫新观察到的性状特征信息，采用贝叶斯算法进行重建计算。结果证实，云南虫处于脊椎动物谱系的最基干位置，介于尾索动物和其他脊椎动物（包括现生和化石物种）之间。

对于云南虫此前备受争议的第一对咽弓，研究团队在新标本上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、鳃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、都具有细胞软骨的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（Gill Arch Hypothesis），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，说明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。

研究还发现，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（*Euphanerops*）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是由一系列彼此分离的软骨棒组成。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了篮状咽颅是更古老的祖先特征。

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将产生深远影响。此外，该研究再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。

文章评审人对该研究高度评价，认为该研究是对科学的重大贡献，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，该研究分析化石解剖结构的分辨率达到了最先进技术的极限。

研究工作得到中科院战略性先导科技专项（B类）、国家自然科学基金委员会、现代古生物学和地层学国家重点实验室等基金的支持。

[论文链接](#)

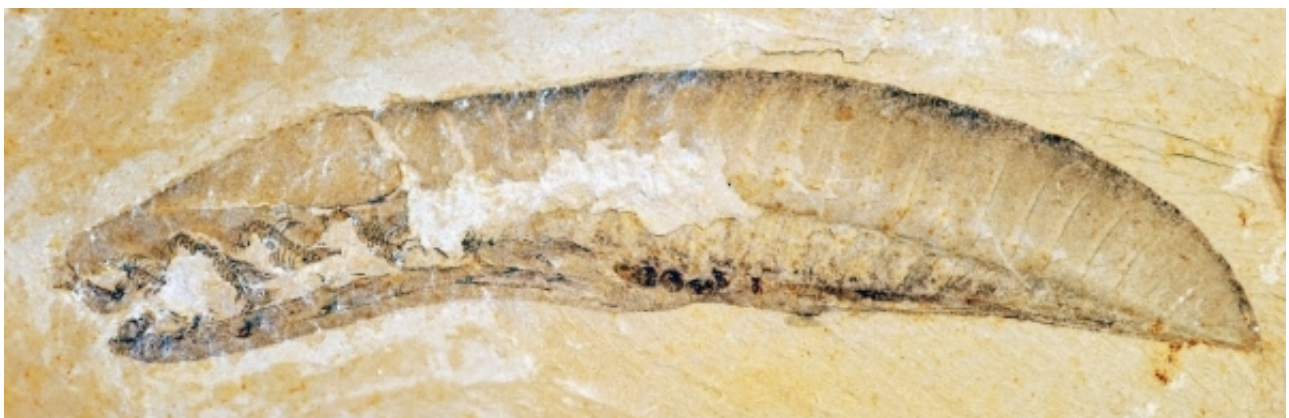


图1.云南虫标本，化石体长3.9厘米

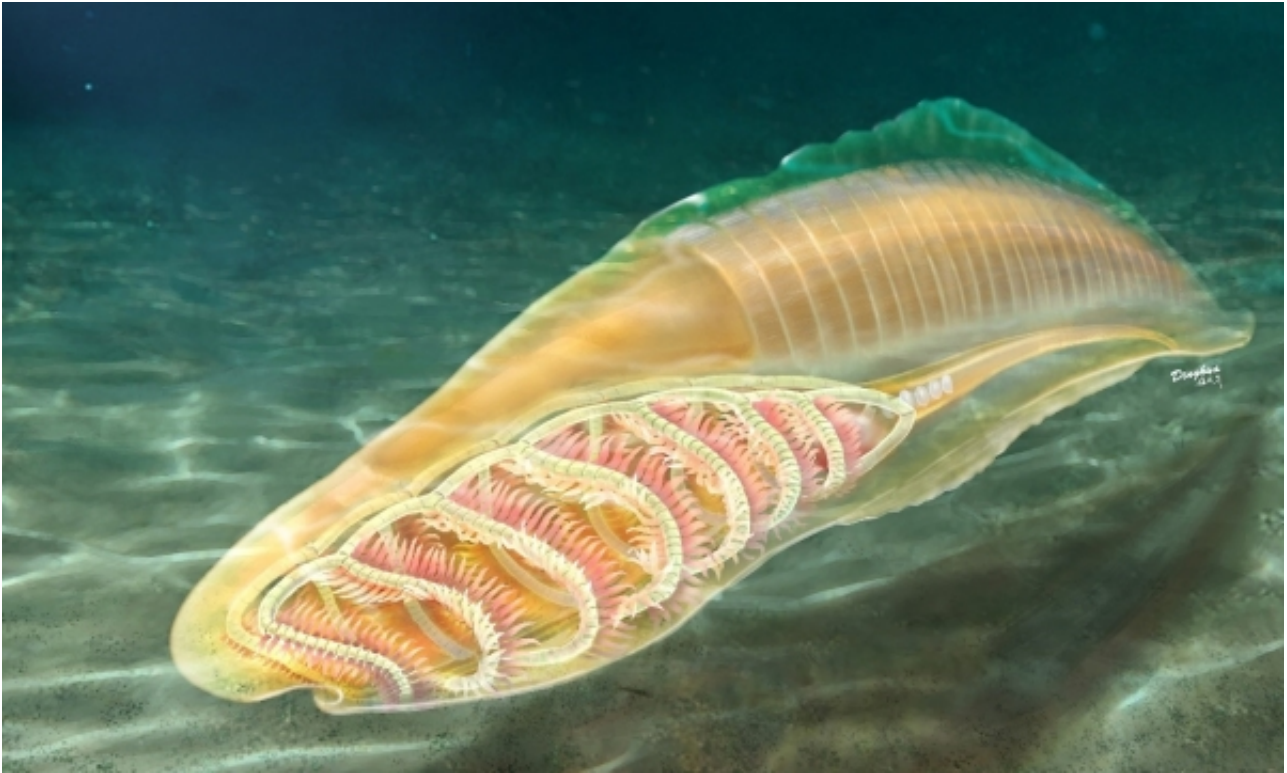


图2.云南虫生态复原图

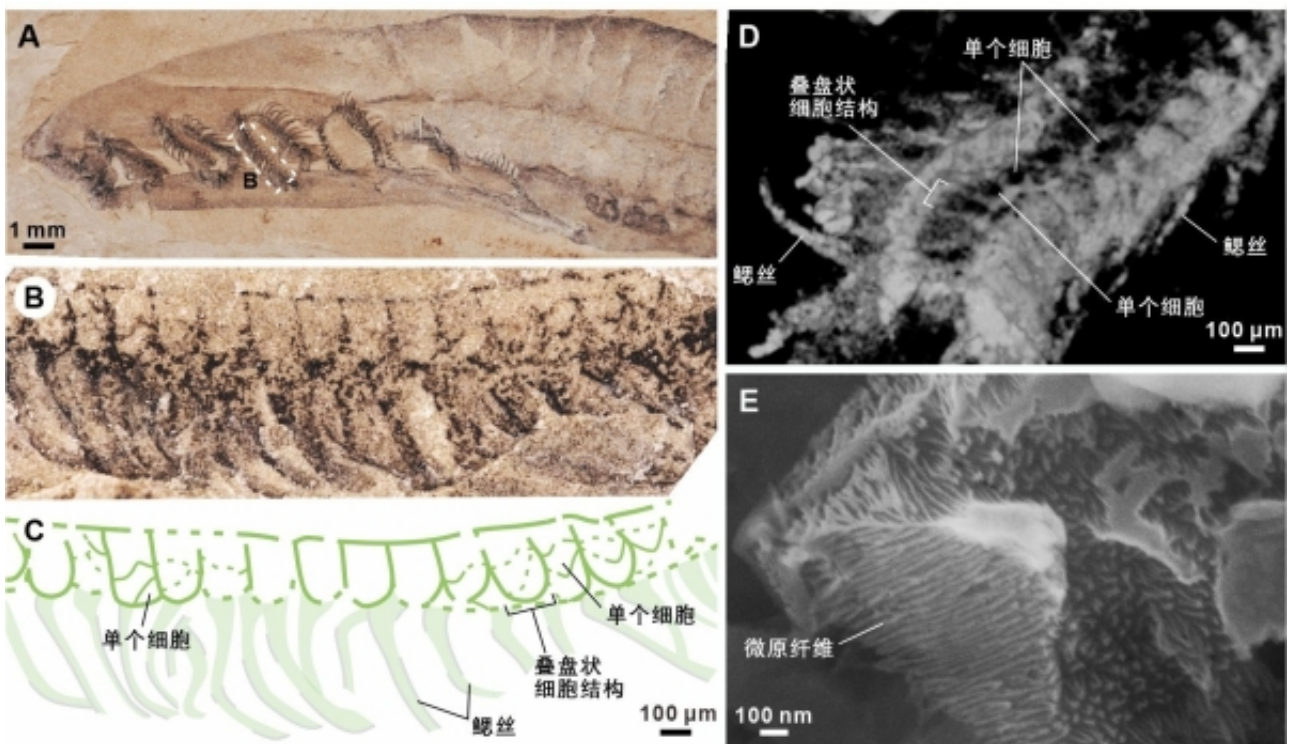


图3.云南虫化石咽部结构 (A) 咽部整体照片；(B-E) 咽弓的微观结构：咽弓的光学照片：(B) 结构示意图 (C) 单个咽弓的三维X射线CT渲染 (D) 咽弓内碳质残留物的扫描电镜照片，展

示化石保存的蛋白微原纤维形态结构 (E)

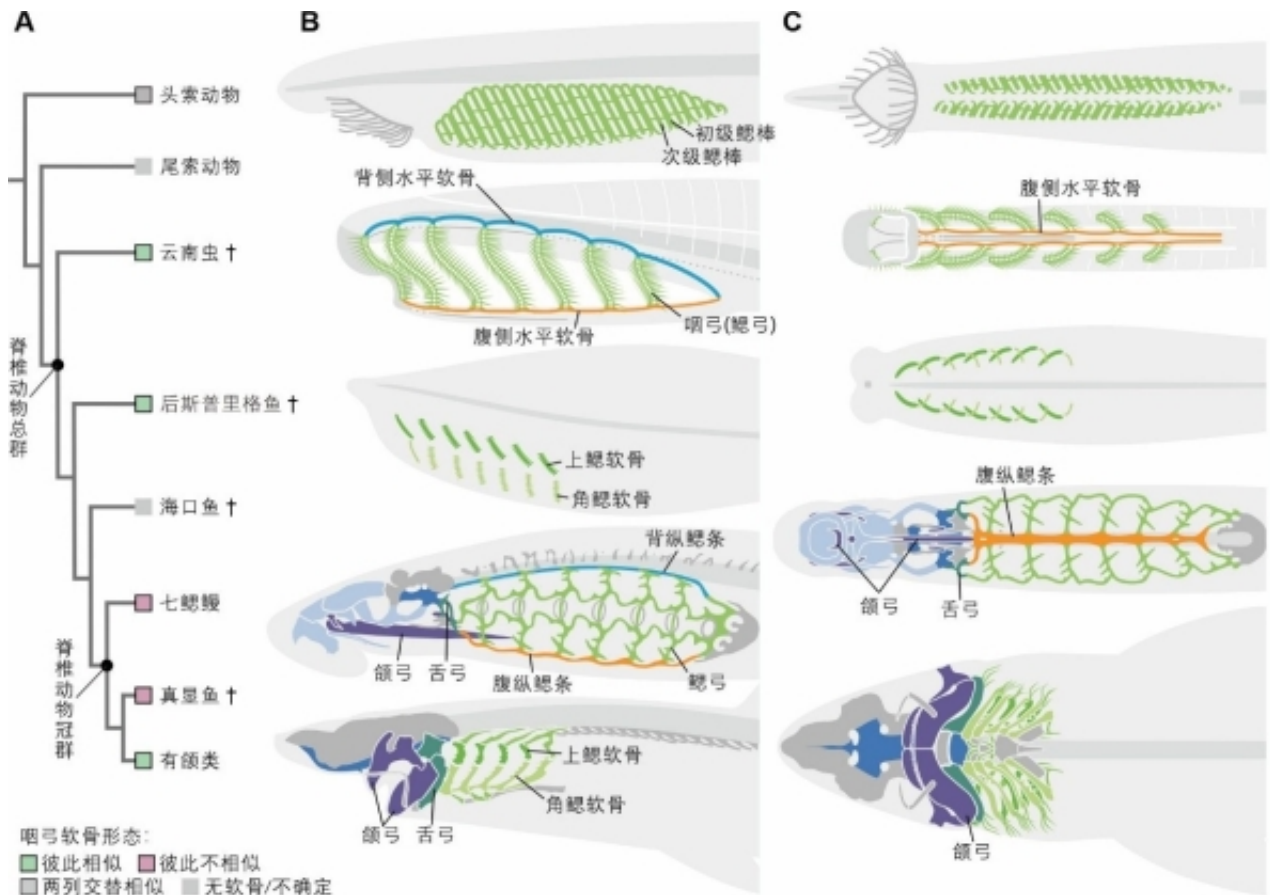


图4.云南虫演化位置和各类脊索动物咽颌形态比较（从上到下，分别是文昌鱼、云南虫、后斯普里格鱼、七鳃鳗、鲨鱼）（A）演化树和咽颌形态性状分布及灭绝类群；（B）侧视图；（C）腹视图

研究团队单位：南京地质古生物研究所

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发