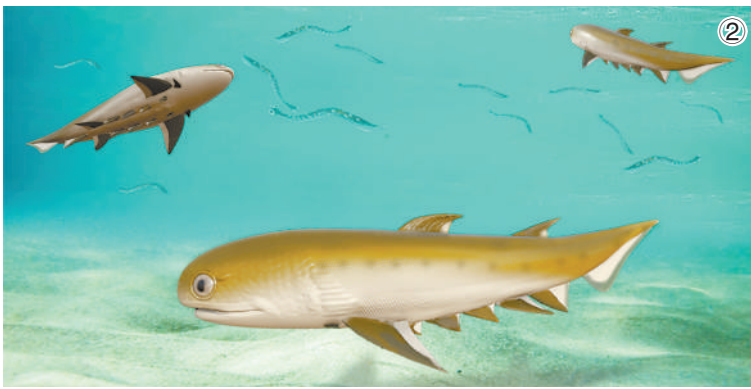
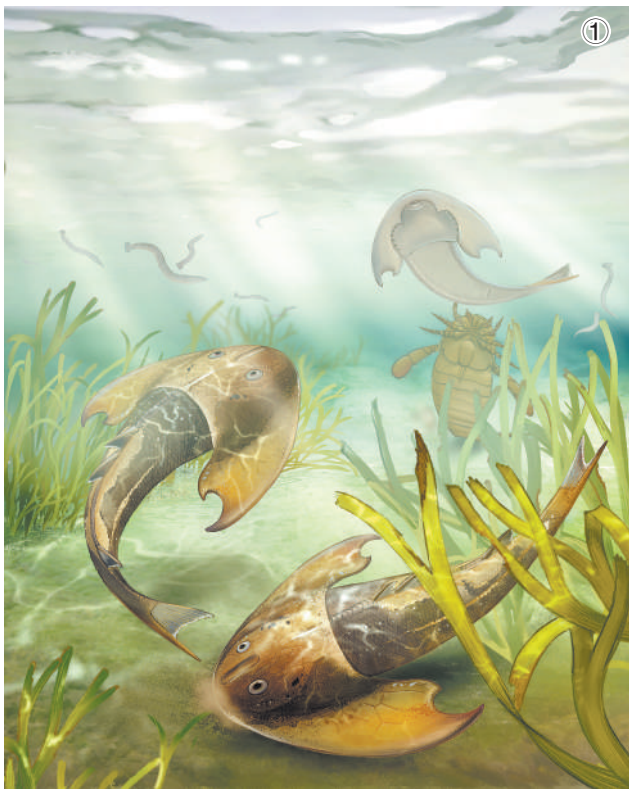




这些新发现揭示了早期有颌类崛起的过程——最迟到4.4亿年前，有颌类各大类群已经欣欣向荣；到了志留纪晚期，更多样、更大型的有颌类属种出现并开始扩散到全球，开启了鱼类登陆并最终演化成为人类的进程。

朱敏

中国科学院古脊椎动物与古人类研究所



## “五条鱼”填补有颌类3000万年化石记录空白 新研究揭秘“从鱼到人”的关键环节

◎本报记者 陆成宽

一直以来，生命的起源和演化都是科学研究的重大课题之一。脊椎动物的起源和演化更是关系到人类从何而来，因此广受关注。

近日，中国科学院古脊椎动物与古人类研究所朱敏院士团队在《自然》上以封面文章的形式同期发表四篇论文，集中报道了他们对有颌类的

起源与最早期辐射分化的最新研究进展。

论文刊出不久，“我国科学家证实人类是从鱼进化来的”这一话题就登上了微博热搜榜首，“从鱼到人”的演化史引发舆论热议。不少网友惊呼：人类的祖先不是猴子吗？怎么变成鱼了？难道教科书又要改了？

人类的祖先到底是猴还是鱼？我们该如何理解“人类是从鱼进化来的”？这四篇论文究竟研究了哪些内容？为此，科技日报记者采访了有关专家。

石进行了详细研究，发现了最早有颌类的牙齿、头部、身体以及偶鳍的雏形。这些是过去完全未知的最早有颌类的身体结构与解剖学信息。这次的发现在有颌类最早期的分化、重要器官和身体构型演化等重要科学问题的探索中取得了新进展，刷新了诸多传统认知。

通过对4.39亿年前的双列黔齿鱼开展细致的研究，研究人员发现了最早有颌类牙齿的生长结构和发育特征。“志留纪早期黔齿鱼的发现是非常罕见的，双列黔齿鱼的齿状代表了最早的有颌类牙齿，将牙齿的最早化石记录前推了1400万年。”朱敏说。

同时，系统发育分析表明，黔齿鱼隶属软骨鱼类全群，支持了在约4.85至4.5亿年前的奥陶

纪生物大辐射时期已出现有颌类脊椎动物的认知。

而鲨鱼在4.4亿年前的近亲——新塑梵净山鱼则代表了最早的具有关联结构的有颌类。新塑梵净山鱼揭开了古老鲨鱼近亲的神秘面纱，将软骨鱼类的最早出现时间前推至志留纪早期。研究结果还表明，硬骨鱼类干群在志留纪早期也应该已经出现。

更重要的是，梵净山鱼的发现表明，早在志留纪早期，软骨鱼类干群就已经演化出典型的栅棘鱼形态，同时具有硬骨鱼类的组织学特征，为有颌类在志留纪早期就开始了辐射演化提供了强有力的支持，也使得有关奥陶纪、志留纪鱼类鳞片 and 棘刺化石分类位置的争论有了明确的答案。

### “从鱼到人”是历时5亿多年的演化

“我们一般认为，人类有一个共同的祖先。这种认识是有偏颇的，在人类演化历程中的不同阶段，其实我们有很多个祖先。”中国科学院古脊椎所副研究员朱幼安说，“具体来说，猴和鱼都是我们的祖先。相对于猴来说，鱼类是我们更早的祖先，也是包括人在内所有脊椎动物的共同祖先。”

对此，朱敏解释道，“从鱼到人”的演化并不是从鱼直接变成人，而是一个长达5亿多年的演化史。演化史中间经历了多次重大的演化事件，其中，颌的起源与有颌类的崛起称得上最关键的跃升之一。

然而，这一跃升究竟是如何发生的，一直困扰着古生物学界。有颌类化石直到4.19亿年前的泥盆纪之初才大量出现，然而分子生物学资料却证明，有颌类的起源时间应早于约4.5亿年前。“这就意味着，有颌类的早期演化存在至少3000万年的化石记录空白，这一阶段横跨奥陶纪晚期和志留纪绝大部分。”朱幼安坦言。

事实上，志留纪是地球生命演化的关键阶段。在志留纪的两千万年中发生了奥陶纪末大灭绝之后的复苏、维管植物登陆、大气含氧量上升等对生命史具有深远影响的重大事件。

但是，志留纪的鱼类化石长期以来一直非常稀少。全球发现的志留纪鱼类主要是无颌的“甲胄鱼类”，有颌类在这个时代难觅踪影。之前从来没有找到过志留纪早期完整的有颌脊椎动物化石，甚至没有找到过哪怕是部分关联的骨骼。化石实证的缺失使得学界长期以来只能通过间接证据和微体化石来推测、猜想有颌类的起源与早期演化过程。由于缺失蕴含丰富形态和解剖学信息的大化石，有颌类的起源和最早期演化一直笼罩在迷雾之中。

为寻找相关的化石证据，朱敏团队花了近十年的时间在全国进行走访。功夫不负有心人，他们在华南志留纪早期地层中，发现了重庆特异埋藏化石库和贵州石阡化石库。

### 新发现首次大规模展示有颌类面貌

在重庆特异埋藏化石库里，研究人员找到了世界上第一个具有完整身体保存的盔甲鱼类化石，并给它取了一个非常生动的名字——灵动土家鱼。

灵动土家鱼的发现首次完整地揭示出盔甲鱼类身体的全貌。“尤其令人惊讶的是，我们在灵动土家鱼的腹部发现一对纵贯全身的腹侧鳍，从头后部一直延伸到尾尖。”中国科学院古脊椎所研究员盖志琨说，“这是一个巨大的惊喜，因为之前人们一直认为盔甲鱼类没有成对的偶鳍。”

盖志琨表示，这一发现不仅为100多年前的“鳍褶理论”提供了最为关键的化石证据，而且与现代分子发育生物学的数据高度吻合。古生物化石证据与发育生物学的交叉印证，使得脊椎动物成对附肢的起源研究与颌起源研究一样成为演化—发育生物学的又一个经典案例。

重庆特异埋藏化石库发现的螺纹沈氏棘鱼是一种软骨鱼类。“我们发现的保存完好的螺纹沈氏棘鱼，实现了中国志留纪—泥盆纪软骨鱼类大化石发现零的突破。不仅如此，螺纹沈氏棘鱼也是世界上目前发现最早的保存完好的软骨鱼类大化石。来自中国的螺纹沈氏棘鱼化石已经成为了揭示软骨鱼类起源的决定性证据。”朱幼安介绍。

研究显示，螺纹沈氏棘鱼既具有典型软骨鱼类的身体构型，同时还拥有类似盾皮鱼类的、过去从未在任何软骨鱼类中发现的包围肩带的大块膜质骨甲。这证明，软骨鱼类是由“戴盔披甲”的祖先演化而来的。

奇迹秀山鱼属于盾皮鱼类。朱幼安说，奇迹秀山鱼在时代上比较靠近有颌类的起源时间点，并不能被归到任何过去已知的盾皮鱼类类群中，而是糅合了多个盾皮鱼大类的特征。因此，它与后来其它盾皮鱼类共享的特征，很可能是有颌类的原始特征。

在朱敏看来，这些新发现在古生物学史上第一次大规模展示了志留纪鱼群特别是具有颌类的面貌，并揭示了早期有颌类崛起的过程——最迟到4.4亿年前，有颌类各大类群已经在华南地区欣欣向荣；到了志留纪晚期，更多样、更大型的有颌类属种出现并开始扩散到全球，开启了鱼类登陆并最终演化成为人类的进程。

题图

- ①灵动土家鱼三维复原图
- ②新塑梵净山鱼三维复原图
- ③奇迹秀山鱼三维复原图

受访单位供图

### 古鱼化石解答一系列重要科学问题

“在这两个化石库里，我们发现了五条鱼的化石。它们填补了全球志留纪早期有颌类化石记录的空白，首次为有颌类的崛起与最早期辐射分化提供了确切证据，让解答‘从鱼到人’最初阶段的一系列重要科学问题成为可能。”朱敏强调。

朱敏介绍，这五条古鱼分别是发现于贵州石阡化石库的双列黔齿鱼和新塑梵净山鱼，发现于重庆特异埋藏化石库的灵动土家鱼、螺纹沈氏棘鱼和奇迹秀山鱼。

研究团队采用新技术、新方法对这些鱼类化

### 从植物中获取灵感、具有巨大的应用潜力

## 仿生理念助“金属含羞草”自由开合

◎实习记者 孙明源

含羞草是一种有灵性的植物，它的叶片对触碰、温度都十分敏感。外部刺激可以改变含羞草叶片内部的水分分布，导致细胞收缩膨胀，进而影响其开合。如今，世界上有了一种特殊的“含羞草”，控制它开合的不是触碰，而是磁场。这种“含羞草”也不是植物，而是由我国科学家研发的新型金属玻璃制成。

近日，中国科学院物理研究所科研团队在国际学术期刊《科学进展》上发表论文，介绍了这种“金属含羞草”。它由金属玻璃和其晶化物组成

的复合材料制成，具有屈曲功能，三维结构可开合。该论文作者，中国科学院物理所研究员白海洋告诉科技日报记者，这项被论文评审人称赞为“富有创造力”的成果，出发点其实是科研人员“玩出来”的灵感。

#### 仿生是研究的交汇点

白海洋注意到，航天事业对可以自动开合的、平板式运输的材料有现实需求。如果容器或装置可以在太空中自主开合，将大大有助于太空运输以及航天员作业。基于这一设想，白海洋及其团队对可以自动开合、变形的材料进行了探索。

在这一过程中，科研人员并没有固守思维定式，把金属材料制品的形状局限在盒子等容器的范围内，而是充分尝试了植物、动物等其它形状。这样的尝试又进一步给了研究者灵感，让研究者获得了许多新启发。

“仿生”并不是我们研究的出发点，而是我们在探索过程中找到的交汇点。这个交汇点给了我们新的灵感。”白海洋说。

在机械等领域，仿生是一个热门概念。但在以机器人研究为代表的大多数科研工作中，仿生的对象都是运动能力较强的人或动物，而非相对静态的植物，金属材料的“植物动态仿生”研究可谓别出心裁，具有很强的独创性和探索性。

#### 类似真正含羞草的开合原理

“金属含羞草”如何开合？白海洋和她的学生李金凤给记者做了演示：只要拿一块磁铁靠近“金属含羞草”的中部，它就会自动闭合，把磁铁拿开，“含羞草”又会张开。

“金属含羞草”由金属玻璃和其晶化物复合制成。金属玻璃又称非晶合金，是实现形状可逆变化的新型功能材料，具有优异的力学性能。在经过激光图案化技术诱导处理之后，金属玻璃发生了局部晶化，晶化区的密度和模量相对增大，使得金属玻璃区和晶化区之间产生相应的尺寸错配，导致内部产生应力，从而发生屈曲现象。这种屈曲现象是可逆的，在弹性范围内的。由于是铁磁性材料，它会被磁铁吸引从而产生开合动作。从原理来说，这和真正的含羞草叶片开合的原理是十分相似的。

研究团队在实验室还对新材料的性能进行了测试。他们发现，在弹性极限内，铁基金属玻璃三维屈曲结构的形状变换由外部磁力控制可重复开合，甚至还可以通过外力重新成形或翻转。这种仿生三维结构被磁力控制连续开合至少2万次，且不会出现明显的疲劳裂痕。

#### 或可在多领域广泛应用

在各种医疗场景中，人们有时需要一些

具有伸缩功能的器件。例如血液过滤时在血管当中收纳垃圾的器件，就需要具备伸缩功能，方便医护人员放置和取出。为此，人们可以采用随温度变形的相变合金，这种金属经加热处理可以收缩或膨胀，但加热往往需要达到上百摄氏度。

“如果用磁场控制的金属玻璃取代相变合金，加热对患者可能造成的伤害就不存在了，医疗人员的操作也会变简单。我们的‘金属含羞草’就可以用于此领域。”白海洋介绍说。

白海洋补充说，除了血管过滤器，这种金属玻璃还可以用来制作血管支架、微夹持器等器件。

近年来，材料的三维结构形状变换在驱动器、传感器、电感器、微电子机械系统、软体机器人、电子、医疗和航天器件等方面展现出巨大的应用潜力。金属玻璃的三维结构研究已经受到广泛关注，但金属玻璃仿生三维屈曲结构的形状变换尚有很大的开发空间。

白海洋总结说，此次研究对开发金属玻璃的功能性应用具有重要的科学和技术意义，对实现金属材料的三维屈曲结构也具有启发和指导意义。“仿生”并不是研究的起点，也并非落脚点，却给金属材料的功能性研究带来了许多启发。这株“含羞草”可以抛砖引玉，一定程度上拓展金属材料的应用空间。

### 新知

## 质谱成像平台结合印迹技术 实现植物叶片代谢物空间成像

科技日报讯（记者吴长锋）近日，记者从中国科学技术大学了解到，该校国家同步辐射实验室潘洋教授团队利用自行研发的解吸电喷雾电离/二次光电离(DESI/PI)质谱成像平台结合多孔聚四氟乙烯印迹技术，实现了对多种植物叶片中代谢物的空间成像。日前，研究成果发表于国际分析化学领域期刊《分析化学》。

在已知植物种群中，约有20万个植物代谢物的化学结构已经被鉴定出来。植物代谢物的成分分析和空间成像对探讨植物代谢物的生物合成、运输、生理机制、自我调节机制及植物与生态的相互作用具有重要的意义。

质谱成像是近年来涌现出的分子成像技术，具有免荧光标记等优点。然而，由于植物角质层和表皮蜡的存在，常规电离技术很难穿透角质层作用于叶肉组织，无法对植物叶片中的代谢物进行直接成像。

研究人员通过印迹方法，将叶片中的植物代谢物转移至多孔聚四氟乙烯材料上，并对印迹后的材料进行成像，实现了对叶片植物代谢物的间接成像。由于使用了DESI/PI技术，相比于传统的解吸电喷雾电离(DESI)方法，正离子模式下可新检出多达百种萜类、黄酮类、氨基酸和糖类次级代谢产物；负离子模式下的整体代谢物信号强度可增强一个数量级。

课题组进一步利用该技术对茶叶进行研究，发现咖啡因在叶中脉富集、茶氨酸在叶柄富集并延伸至中脉和叶尾。这一发现，为咖啡因主要在茶叶中脉合成和茶氨酸在茶叶根部合成并转运至叶片的生物合成位点及转运路径提供了强有力的证据。实验还检测到茶叶中儿茶素生物合成网络中重要的黄酮类代谢物，并以质谱成像的形式展示出其空间分布。上述发现表明，印迹DESI/PI成像技术在探索植物代谢物位点和途径方面有巨大的潜力。

## 聚球藻与异养菌群互作机制被发现 营养物质影响两者共生关系

科技日报讯（记者王健高 实习记者孙迎迎 通讯员刘佳 张增虎）近日，记者从中国科学院青岛生物能源与过程研究所（以下简称青岛能源所）获悉，该研究所张永雨研究员带领的海洋碳汇与能源微生物研究组进行的新研究，揭示了海洋聚球藻与异养菌群长期共存下互利共生的内在趋势与机制。相关研究结果发表于期刊《科学进展》。

聚球藻作为一种数量众多、遍布全球海洋的原核藻类，是海洋初级生产力的关键贡献者。聚球藻的生长代谢除受环境因素影响外，很大程度上受制于异养菌群的调控。

以往的研究揭示了聚球藻与异养细菌存在着错综复杂的互作关系。聚球藻与异养细菌在长期共存条件下呈现出了互利共生的发展趋势，并能最终建立一个营养自给自足的藻菌微生态系统。即使在长达2—3年内无人为补给营养，聚球藻始终保持很高的细胞浓度和旺盛的光合固碳活性。

然而，海洋中的藻菌关系会受到各种动态变化的环境因素干扰。聚球藻与异养菌群的这种互利共生关系在各种环境因素干扰中能否保持稳定、能否重现尚不清楚。

张永雨团队在聚球藻与异养菌群长期互作关系的研究基础上，发现人为添加外源营养会破坏聚球藻与异养菌群长期建立的互利共生关系。

然而，一旦外源性营养物质被耗尽，它们又可逐渐恢复彼此的代谢共生关系。科研团队利用宏基因组、宏转录组和<sup>15</sup>N同位素示踪等方法揭示了异养菌固氮是藻菌共生关系得以重建的关键驱动原因。期间，异养菌群表现出了独特的行为策略。这种策略具体表现为趋化性、群体感应、生物膜的形成和藻多糖降解能力的增强等。

张永雨表示：“该研究表明，营养物质的化学计量对聚球藻和异养菌群的共生关系具有重要影响。”

然而，由于聚球藻和异养细菌已共存数十亿年之久，它们可能已经建立了朝着互利共生关系方向发展的进化适应或在倾向，以便在不利的环境条件下健康生长。这也正是聚球藻在寡营养海洋环境中依然能保持其重要生态优势地位的一种进化适应策略。

## 纠缠交换光子网络实验 验证复数的物理意义

科技日报讯（记者王延斌）近日，科技日报记者从济南量子技术研究院了解到，该院张强、江扬帆与中国科学技术大学潘建伟院士团队合作，在国际上首次在关闭了确定性、测量独立性以及纠缠源独立性等漏洞的基础上，利用纠缠交换光子网络对实数形式的量子力学进行了检验，以超过5.3个标准差的实验精度验证了量子力学中复数的必要性。相关研究成果发表在国际学术期刊《物理学评论快报》上。

在数学中，负数的平方根是虚数。虚数与实数构成复数的概念。该研究院专家向记者介绍，虚数一词由著名数学家笛卡尔创立，其引入使得数学成为了处理复杂物理问题的一种强大的工具。奥地利理论物理学家、量子力学奠基人之一薛定谔将虚数引入波动方程，用来描述粒子的量子行为。尽管波函数是复数形式，但粒子出现的概率是实数，那么量子物理是否确实需要复数的参与呢？薛定谔本人似乎倾向于虚数只是一种数学处理办法，包括薛定谔在内的一些物理学家试图将量子理论实数化。然而，物理学作为一门实验学科，其中的任何推测均需要实验结果支撑。

为了更加严谨地检验复数的客观存在性，济南量子技术研究院与中国科学技术大学合作的研究团队严格遵守定域条件，在五节点纠缠交换光子网络的基础上，利用网络中的相互独立的两个纠缠源产生独立纠缠光子对，分别分发至远处的三个参与者进行高速随机的光子测量操作。

上述实验过程中，参与者不受其他参与者的测量选择和结果影响，各自独立地进行本地的随机操作。该实验结果以5.3个标准差的精度超过了实数形式的量子力学预测结果，成功验证了复数不仅是一个计算工具，在量子力学中还具有不可或缺物理意义这一结论。



视觉中国供图