

## 2016 年度中国古生物学十大进展发布

为了推动古生物学领域的创新发展,充分展示和宣传我国古生物学领域取得的重大发现和科研成果,推动科学研究、科学传播和化石保护工作有机结合,中国古生物学会近期开展了 2016 年度中国古生物学十大进展的评选工作。经学会理事会推荐、评选和审核,共评选出了 2016 年度中国古生物学十大进展。

2017 年 3 月 22 日,中国古生物学会在北京中国科技会堂发布了“2016 年度中国古生物学十大进展”评选结果。共有来自中国科学院南京地质古生物研究所、古脊椎动物与古人类研究所、北京大学、中国地质大学(北京)、中国地质调查局天津地质调查中心、云南大学和中国地质科学院等 7 所科研院所和高校领衔完成的具有国际水平的一批科研成果入选,内容涉及早期生命、古生代鱼类、早期陆生植物、中生代琥珀昆虫和脊椎动物、中生代植物和古人类等研究领域,反映了我国科技工作者 2016 年度在古生物学各个分支领域所取得的具有国际影响力的高水平创新研究成果,推动了对地质历史时期生命演化历程的认识。这是中国古生物学会 1929 年成立以来,首次组织的全国范围年度十大科技进展评选活动,对于宣传中国古生物学所取得的新成果,进一步推动学科发展具有重要意义。



2016 年度中国古生物学十大进展发布仪式

中国科协党组成员兼学会学术部部长、企业工作部主任宋军,国土资源部地质环境司司长、国家古生物化石专家委员会副主任兼办公室主任关凤峻,中国地质博物馆馆长贾跃明,中国古生物化石保护基金会理事长陶庆法,中国古生物学会副理事长孙革、邓涛、姚建新,秘书长王永栋,以及来自国内各地古生物相关领域的专家学者和中央多家新闻媒体等近百人出席此次发布会。

发布会由中国古生物学会秘书长王永栋主持,中国古生物学会孙革副理事长介绍评选过程并宣读 2016 年度十大进展评选结果。邓涛副理事长代表学会致辞,他指出,中国古生物学会开展“十大进展”评选和发布活动的目的,是及时向全社会展示中国古生物学取得的重大发现和重要研究成果,适应科研与科普信息化深度融合的发展需求,大力拓宽科学传播渠道。

中国科协党组成员兼学会学术部部长宋军发表讲话,他高度评价了中国古生物学会组织开展的 2016 年度中国古生物学十大进展工作,指出这次发布活动反映了我国科技工作者在古生物学各个分支领域所取得的具有国际影响力的高水平创新研究成果,十大进展的发布有力推动了对地质历史时期生命演化历程的认

识。同时,对于进一步推动学科创新发展,展示我国古生物学领域取得的重大发现和科研成果,推动科学研究、科学传播和化石保护工作具有重要的意义。

国土资源部地环司司长关凤峻表示,2016 年度中国古生物学十大进展发布是一个新的起点。这必将推动全国的古生物化石的科研和科普工作,也有助于做好古生物化石产地的保护工作。中国地质博物馆贾跃明馆长致辞指出,古生物学十大科研成果的取得极大地推动了科普工作和科学传播的开展。

中国的古生物学科发展历史悠久,作为学术共同体的中国古生物学会是我国成立最早的少数自然科学学术团体之一。80 余年来,学会在团结和服务广大古生物学科技工作者、开展学术活动、国际交流合作、科普教育和人才培养等领域成果丰硕,有力推进了学科的发展,成为凝聚力不断增强的、富有活力的学术团体。中国古生物学会首次评选的年度十大进展,是中国古生物领域在 2016 年度取得的大批重要成果的一个缩影,代表了广大科技工作者和科研团队创新进取、协同攻关,积极开展国内外合作,所取得的具有世界影响力的高水平研究成果。这些进展的发布,将有力推动古生物学科的发展,并发挥该学科在揭示生命演化奥秘、助推科普教育、化石保护等领域的重要作用。

本次十大进展发布活动,吸引了近 20 家中央和地方各级新闻媒体的极大关注。人民日报、中央电视台、新华社、中新社、光明日报、科技日报、国土资源报、中国科学报等中央重点媒体,新华报业、新京报、南京报业集团等各地地方媒体,以及各大门户网站、网络、纸媒、视频、直播、公众号等多种形式媒体等,均对此次发布活动进行了多角度和全面的积极报道,有力地宣传了古生物学科所取得的新进展,展示了学科发展的良好态势及其在科普教育和科学传播等方面的积极作用和影响。

## 2016 年度中国古生物学十大进展成果简介

### 进展一:志留纪古鱼揭秘脊椎动物颌演化之路

主要完成者:朱敏(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所)

其他完成者:Per E. Ahlberg,潘照晖,朱佑安,乔妥,赵文金,贾连涛,卢静

进展简介:人类的面孔、四肢等构造是如何演化而来的?这是《科学》杂志 2005 年公布的 125 个最具挑战性的科学问题之一。面部的主要组成部分是上下颌,在摄食、呼吸以及在人类社会的识别和审美方面都有重要意义。因此,颌的起源与演化长期以来为学界所关注。

脊椎动物颌骨有两种来源:来自体表的膜质骨和来自体内的内骨骼。软骨鱼类(以鲨鱼为代表)的颌骨皆为内骨骼来源,硬骨鱼类的颌骨则由两种来源的骨骼共同构成,而包括人类在内的哺乳动物,其颌骨完全是膜质骨来源。人类的颌骨模式因此可以追溯到原始硬骨鱼,但硬骨鱼类的颌骨模式(全颌)如何从最原始的有颌脊椎动物盾皮鱼类的颌骨模式(原颌)演化而来,长期以来因证据缺失而存在认识盲区。

中科院古脊椎所朱敏团队经过长期野外工作,在云南曲靖发现了世界上独一无二完好保存了志留纪有颌脊椎动物化石的潇湘脊椎动物群(大约 4.23 亿年前),其中的全颌盾皮鱼类成为联结盾皮鱼类和硬骨鱼类的关键过渡化石(插图 1)。但是,由于之前发现的全颌盾皮鱼类(初始全颌鱼)的颌骨已经表现出典型的硬骨鱼形态,因此它并没有解决硬骨鱼模式的颌骨从何而来的问题。

在 2016 年 10 月 21 日出版的《科学》杂志上,朱敏等人报道了潇湘脊椎动物群的新成员——将原颌和全颌模式联结起来的重要过渡化石长吻麒麟鱼。麒麟鱼在表现出全颌盾皮鱼类典型特征的同时,又展现出许多与初始全颌鱼不同的形态特征,说明全颌盾皮鱼类在当时已经十分繁盛多样。更重要的是,经过高精度 CT 重建以及细致的比较解剖学研究,他们发现麒麟鱼长着一副“不完全的全颌”。麒麟鱼还没有演化出全颌鱼和硬骨鱼都有的、包覆着下颌底部的一系列骨片,它的下颌和过去发现的其他盾皮鱼类更为相似,只有一块简单的下颌骨。麒麟鱼的下颌骨还保存着明显卷入口内的部分,全颌鱼与后来的硬骨鱼下颌的齿骨则没有明显的口内部分,只剩下一条窄的边缘咬合面。因此,麒麟鱼的膜质颌骨处于全颌鱼和其他更原始盾皮鱼类之间的状态,它的膜质颌骨已经开始向口外延伸、包覆并加固颌部,告别了典型盾皮鱼类的原始模式,但还未达到全颌鱼的完善程度。据此,他们首次提出硬骨鱼的上颌骨、前上颌骨及齿骨与盾皮鱼的颌部骨板同源的理论,否定了过去认为盾皮鱼颌骨无法与硬骨鱼颌骨直接比较、硬骨鱼颌骨系经过重大重组演化而来的

假说。人类的颌骨不仅能追溯到硬骨鱼类和全颌鱼,而且可以追溯到最原始的有颌脊椎动物。

古脊椎动物学会主席、澳大利亚弗林德斯大学约翰·朗教授在《科学》杂志同期的观点栏目发文评述,认为该发现“扫除了我们在脊椎动物颌演化认识上一个大的盲区”,来自中国的系列发现“正改变盾皮鱼类已经灭绝的认识,盾皮鱼类成为理解脊椎动物的身体结构如何在久远的过去一步步演化而来的关键”。

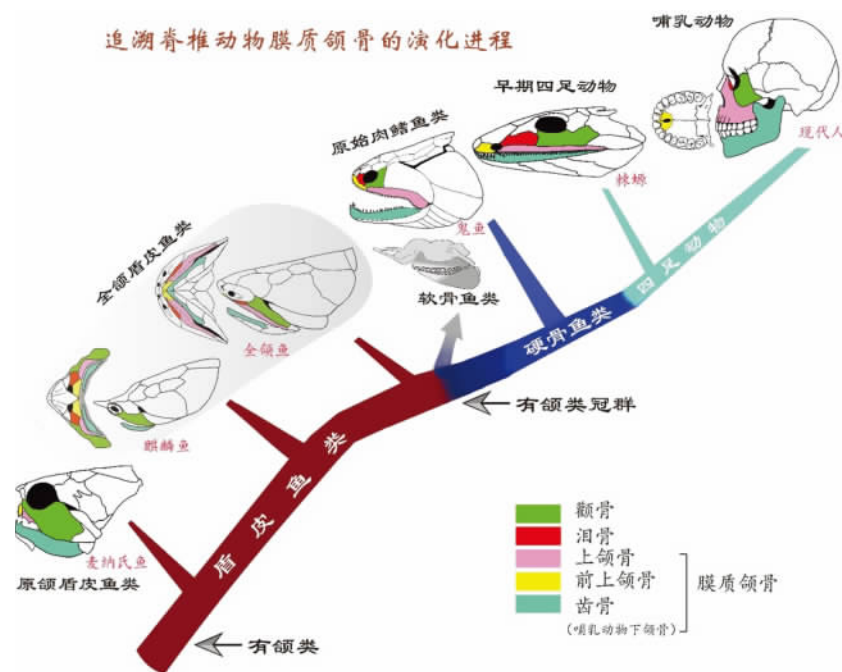


插图1 膜质颌骨从盾皮鱼原颌模式到硬骨鱼全颌模式的演变序列

论文信息:ZHU Min,AHLBERG Per E,PAN Zhaohui,ZHU Youan,QIAO Tuo,ZHAO Wenjin,JIA Liantao,LU Jin,2016. A Silurian maxillate placoderm illuminate jaw evolution. Science,354(6310):334—336. DOI: 10.1126/science.aah3764.

## 进展二:绘制冰河时代欧亚人群的遗传谱图

主要完成者:付巧妹(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所)

进展简介:在距今 2.5 万至 1.9 万年前,地球上出现了严峻的末次盛冰期,这是末次冰期中气候最为恶劣的阶段,欧亚大陆上覆盖着厚重的冰层,气温极其严寒。在这一时期,大陆上的植被发生更替,很多动物如我们熟悉的猛犸象、披毛犀都走向了灭绝的末路。然而,这个阶段却是人类进化过程中的关键阶段。在这一时期前后,欧洲大陆上先后出现了的奥瑞纳文化、格拉维特文化、马格德林文化。这些都属于欧洲大陆上的早期原始文化,具有能够对石器进行加工和利用等遗址特征,并产生了原始的艺术。这些聚集的原始人类是如何渡过漫长严峻的冰期?不同文化间的人类是否出现了交流,不同文化间的相似性是不是由于早期交流产生的?大范围的气候波动如何对早期人类活动产生影响?

通过比较 4.5 万年前至今的现代人类基因组中的尼安德特成分含量,发现尼安德特人在欧洲人群里的基因含量下降了 1.5 到 3 倍。然而在距今 3.7 万年至 1.4 万年间,欧洲人群相对单一,目前没有实质性的证据表明有其他地方的人类基因掺杂进来。因此在这个时间段里,尼安德特人的基因含量的降低并非是因为其他人群的混合而稀释了尼安德特人的基因含量。更可能的解释是自然选择,在漫长进化过程中尼安德特人基因中的不适于现代人生存的部分被自然选择去除了,从而使得尼安德特人的基因含量随着时间在这群有着单一祖先的人群中降低了。

新石器时代以前的欧洲人群历史非常复杂,主要体现在以下几个方面:

首先,欧亚大陆最初出现的现代人,对当代欧亚人的基因库并没有明显的贡献。只有到了约 3.7 万年前,欧洲大陆上的人类才开始和今天的欧洲人存在共同的祖先。

其次,从 3.7 万年前到 1.4 万年前的欧洲古人类,所有的个体似乎都是从一个单一的祖先种群发展而来,目前没有实质性的证据表明有其他地方的基因进来。有趣的是,在不同的格拉维特文化遗址中发现的个体,彼此并不存在更近的遗传联系。这表明,如果这种文化的相似性不是巧合,那么,它的传播动力可能反映了技术的传播,而不是人群的扩散。

有意思的是,一距今 3.5 万年的比利时个体不同于其他欧洲早期现代人分支,它所代表的人口并没有消失,它的遗传信息在 1.9 万年—1.4 万年再次扩散。这可能代表着在冰期后期从欧洲西南部来的难民进一步在大陆上寻找栖息地,进行人类群体的扩张,这个过程对冰期结束之前的人群进化有很大贡献。而从距今 1.4 万年到 7 千年的所有欧洲狩猎采集个体表现出与近东人群的亲近性(早于 1.4 万年的欧洲个体无此特点)。这个遗传特点变化的时间节点和末次冰期结束的时间相近,反映出人群的变化与冰期之后的第一次显著变暖时代有很大关联。因此,1.4 万年前后欧洲人群的变化间接反映了欧洲内部与外界人群在冰期末期的迁移和融合。一个可能的场景是,在末次冰期后期,来自欧洲东南部或亚洲西部的难民在欧洲扩散,他们共同影响了欧洲和近东人群的遗传历史。此外,在很长一段时间,冰河时期的欧洲人都是暗色的皮肤和棕色眼睛(插图 2)。一直到 1.4 万年前后蓝色眼睛才开始大量出现在欧洲人群中。



插图 2 基于法国的一旧石器遗址的骨骼重建冰河时期的欧洲人(棕色的眼睛、暗色的皮肤)

论文信息: FU Qiaomei, POSTH Cosimo, HAJDINJAK Mateja, PETR Martin, MALLICK Swapan, FERNANDES Daniel, FURTWÄMGLER Anja, HAAK Wolfgang *et al.*, 2016. The genetic history of Ice Age Europe. *Nature*, 534: 200—205. DOI: 10.1038/nature17993.

### 进展三: 1.3 亿年前羽毛 $\beta$ 角蛋白的发现使古生物色彩复原更加可信

主要完成者: 泮燕红(中国科学院南京地质古生物研究所)

其他完成者: 周忠和, Mary H. Schweitzer

进展简介: 现生鸟类具有五彩缤纷的颜色, 主要取决于羽毛具有的色素体以及羽毛内部的结构。而羽毛的色素种类也有多种, 例如, 球状的棕黑色素, 棒状的真黑色素等, 两者大小约为 1 微米左右, 它们均由黑色素细胞产生, 黑色素颗粒可随羽毛的形成进入到羽毛的不同部位, 从而与羽毛的微观结构等因素一起决定羽毛不同的颜色。

科学界对化石鸟类和恐龙羽毛颜色的认识经历了颇为曲折的过程。早在上个世纪 80、90 年代古生物学家将鸟类化石羽毛中的色素状的结构首先鉴定为细菌, 认为细菌有助于羽毛的保存。2008 年, 美国耶鲁大学的 Jakob Vinther 等人首次提出过去鉴定的鸟类化石羽毛中的“细菌”实际上是羽毛的色素体。2010 年我国学者张福成等人首次报道了带羽毛恐龙羽毛黑色素体的保存。近年来学术界开展了大量古鸟类、带羽毛恐龙等不同类群生物化石色素体的研究, 为恢复灭绝生物羽毛等器官的颜色和色彩开辟了一个全新的领域。

然而, 以往对化石羽毛色素体的分析还主要局限于微观形态学的对比与分析。由于色素体本身无论在大小和形态学方面与细菌都十分相似, 因此有学者指出, 如何用化学方法准确区分色素体与微生物变得十分必要。基于这样的争议和问题, 研究者对收藏于山东天宇自然博物馆的一件始孔子鸟类化石标本的羽毛, 进



行了详细的超微形态结构分析和生化分析,首次从分子层面证实了  $\beta$  角蛋白和色素体(细胞器)在距今 1.3 亿年化石中的保存。研究的鸟类化石属于始孔子鸟,该鸟类最早命名于 2008 年,属于孔子鸟科,代表了早期鸟类演化中最基干的类群之一。始孔子鸟化石目前仅发现于我国河北省的丰宁地区,属于早白垩世,代表了中国境内已知最古老的鸟类化石之一。此外,由于这类鸟类牙齿已经完全退化,发育了角质喙,因此也代表了最早具有角质喙的鸟类。河北丰宁的鸟类化石不仅时代古老,仅次于世界上最古老的鸟类——始祖鸟,而且还以保存精美的羽毛而著称。

研究者对采自该化石标本的 8 个羽毛样品,分别进行了扫描电镜(SEM)和透射电镜(TEM)观察,结合荧光免疫、免疫电镜等原位杂交的生化方法,以及超高分辨率的元素能谱分析。同时与现生鸡的羽毛在超微结构、生化反应、色素体元素能谱分析的结果等方面进行了逐一对比,证实了在化石羽毛中确实含有残留的  $\beta$  角蛋白(插图 3)。由于以往报道过化石残留的  $\beta$  角蛋白的时代都来自晚白垩世(不早于 7 500 万年),因此此项工作把  $\beta$  角蛋白的能够保存时代往前推进了至少 5 000 万年。

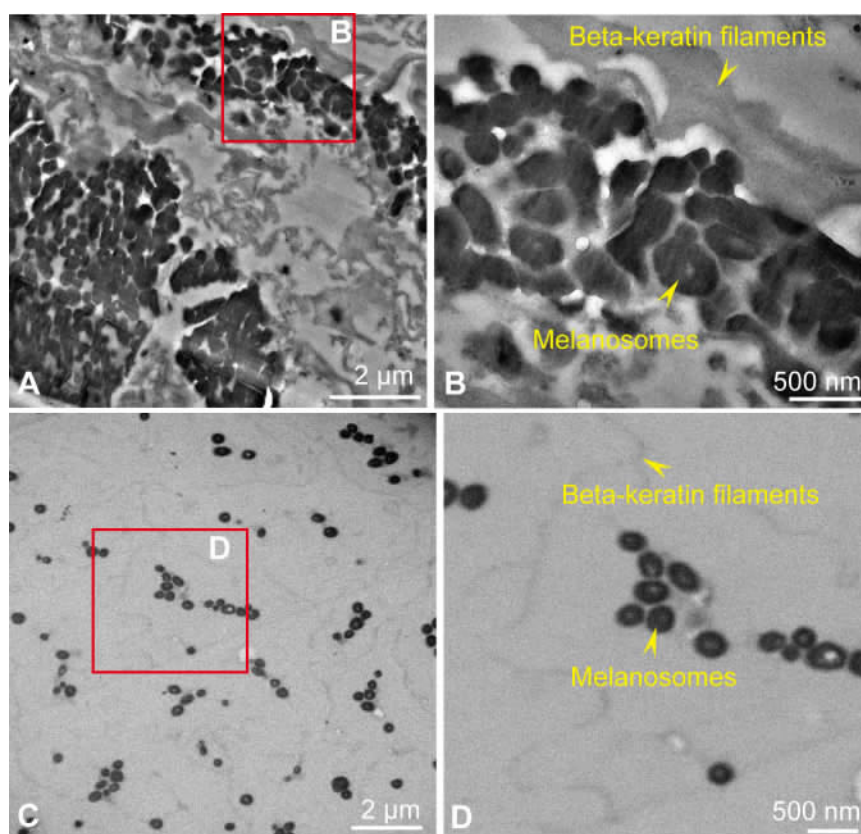


插图 3 化石羽毛和现生鸡羽毛的超微结构对比

A. 化石羽毛超微结构;B. A 中红框的局部放大;C. 现生鸡羽毛的超微结构;D. C 中红框的局部放大。

论文信息: PAN Yanhong, ZHENG Wenxia, MOYER Alison E, O'CONNOR Jingmai K, WANG Min, ZHENG Xiaoting, WANG Xiaoli, SCHROETER Elena R, ZHOU Zhonghe, SCHWEITZER Mary H, 2016. Molecular evidence of keratin and melanosomes in feathers of the Early Cretaceous bird *Eoconfuciusornis*. PNAS, 113(49): E7900—E7907. DOI: 10.1073/pnas.1617168113.

#### 进展四: 华北发现距今 15.6 亿年前地球上最早的大型多细胞生物化石群

主要完成者: 朱士兴(中国地质调查局天津地质调查中心)

其他完成者: 朱茂炎(通讯作者), Andrew H. Knoll

进展简介: 中国地质调查局天津地质调查中心朱士兴研究员的研究团队在国家自然科学基金项目资助下,通过与南古所等兄弟单位的合作,首次报道了距今 15.6 亿年前的、个体长达 30 cm 以上的大型多细胞生

物化石群。这是关于地球早期生命演化研究领域一项新的重大科学发现,将地球上大型多细胞生物的出现时间提前了将近 10 亿年。此次报道的大型多细胞化石群发现于河北迁西县和宽城县境内,地处燕山山脉南麓。该地区大面积出露距今 15 亿年前后的“中元古代”沉积岩石地层,使之成为全球揭示该时期地球演化奥秘的经典研究地区之一。该化石群由朱士兴研究员及其同事最早发现,因为含化石的地层称为“高于庄组”,所以该化石群可称为“高于庄化石群”。化石以灰褐色的有机碳质膜的形式保存在岩石中。

发现的化石包括带状、舌状、楔形和长卵形等多种形态类型。其中一种最大的舌形化石长达 28.6 cm,宽度近 8 cm;另一种带状化石长度可达 30 cm 以上,宽度可达 4.5 cm;部分标本可见明显的底部固着器官。同时,在含大化石群的岩石中,还发现了保存精美的生物多细胞组织碎片。综合分析化石形态、多细胞组织结构等生物学特征,并与现代海洋带状藻类生物进行比较,研究者认为这些化石是一类具有形态分异的多细胞藻类生物,它们可能通过光合作用固着生活在距今 15.6 亿前的浅海中(插图 4)。

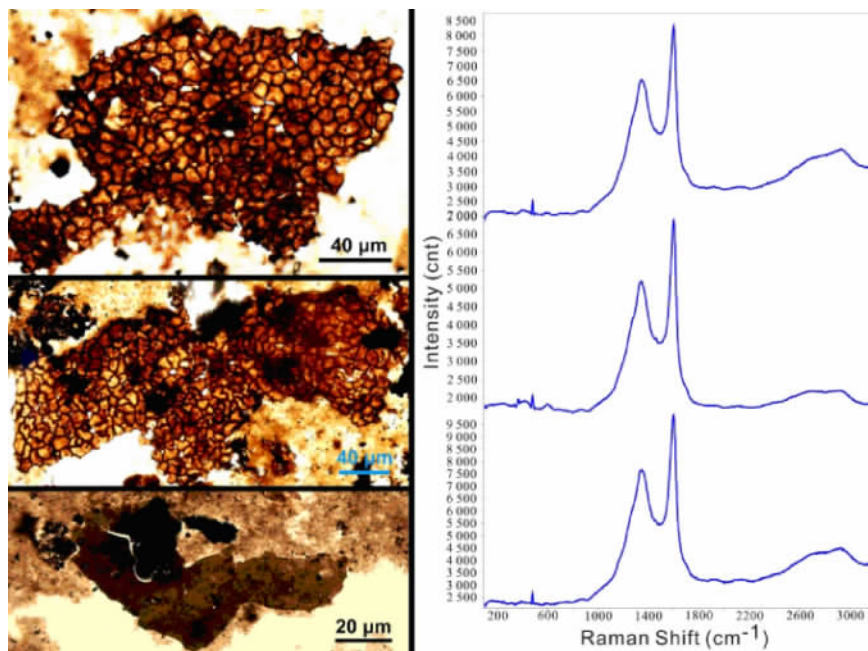


插图 4 高于庄组大型化石中多细胞组织的激光拉曼光谱(测试结果和后期污染的排除)

生命自大约 40 亿年前在地球上出现以来,之后差不多 30 多亿年的演化过程被认为非常缓慢,直到距今 6 亿年前都一直以肉眼不可见的微型、简单的微生物形式存在。迄今为止,已知全球发现最早的、个体达到肉眼可辨的生物化石是一种生活在距今 18—14 亿年前海洋中的丝状体化石,且生物学属性不明,称之为“卷曲藻”(Grypania),丝状体的直径小于 2 mm。而目前全球发现最早的、个体大小可与高于庄化石群比拟的大型多细胞生物化石发现于距今 6 亿年前后的埃迪卡拉纪地层中。由此可见,高于庄化石群的发现将地球上大型复杂多细胞生物的出现时间提前了将近 10 亿年,彻底颠覆了以往的认识。尽管与 6 亿年前的“埃迪卡拉纪”多细胞生物化石相比较,高于庄化石群的形态多样性和复杂性要小许多。

这一新的发现具有重要的科学意义。当今地球科学研究表明,距今 18—8 亿年前的地球表层岩石圈、大气圈、水圈和生物圈维持在近乎不变的“稳定”状态。因而,这个长达 10 亿年的地球时期被学术界称之为“枯燥的 10 亿年”(Boring Billion),或者“地球的中世纪”(Earth's Middle Age)。高于庄化石群的发现则表明,所谓的“枯燥的 10 亿年”地球可能并不枯燥,当时的海洋生物出现了高可达 30 cm、宽可达 8 cm 的、类型多样的多细胞藻类生物,据此可推测伴随生物这种演化水平的地球环境同样应该发生了明显的改变。因而,这一新的发现不仅改变了以前关于地球生命早期演化的既有认识,也为重新从不同角度探索距今 18—8 亿年前地球系统演化的奥秘提供了新的思考。

论文信息:ZHU Shixing, ZHU Maoyan, KNOLL Andrew H, YIN Zongjun, ZHAO Fangchen, SUN Shufen, QU Yuangao, SHI Min, LIU Huan, 2016. Decimetre-scale multicellular eukaryotes from the 1.56-billion-year-old Gaoyuzhuang Formation in North China. Nature Communications, 7, Article number:

11500. DOI: 10.1038/ncomms11500.

#### 进展五:早泥盆世植物根系促进土壤形成及河流地貌转型

主要完成者:薛进庄(北京大学地球与空间科学学院)

其他完成者:王德明,刘建波,James F. Basinger,郝守刚

进展简介:维管植物在志留-泥盆纪时期成功占领陆地,奠定了后续陆地生物和生态系统演化的基础,对地球系统产生了深远的影响。植物的地下组织如根或根状茎是它们与外部环境相互作用的直接媒介。然而,早期植物的根或根状茎化石非常少见,这制约着人们对早期陆地生态系统中植物与土壤相互作用的认知。

薛进庄团队基于我国云南的一套形成于大约 4.1 亿年前(泥盆纪早期)、地质学上称为“徐家冲组”的地层,通过细致的沉积学研究,揭示出徐家冲组代表河流沉积物,记录了频繁的洪泛事件;洪泛平原上发育最古老的具根系古土壤;徐家冲组体现出河道趋于稳定、洪泛平原厚度大、古土壤发育(累积厚度 350 余米)等沉积特征,这些特征在泥盆纪之前的时代(即维管植物主导陆地植被之前)是非常少见的。形态学观察和地球化学分析表明,徐家冲组红层古土壤形成于干湿交替的气候背景下,可归入初成土或钙化土,其中普遍含钙结核以及一类原始石松植物——镰蕨(*Drepanophycus*)的根状茎。前人研究多关注化石植物的地上部分,镰蕨被复原为数十厘米高的草本植物。但该团队发现,镰蕨可通过地下的根状茎克隆生长,形成庞大的长寿克隆体,在每立方米古土壤中,根状茎的总长度可达 800—1 300 m,它们重复多次 K-型或 H-型分枝,形成复杂的网状结构。徐家冲组的单个红层古土壤厚度可达 20 m,根状茎贯穿其中,反映长期稳定的洪泛平原堆积和植被发育、以及植物克隆体对沉积物频繁埋藏的适应能力和顽强的扩展能力。作者们提出,庞大的根状茎网状系统可增进河流沉积物的抗侵蚀能力、促进成土作用,从而增强河流地貌的稳定性、提高早期土壤的固碳能力,因此在植物登陆初期,克隆生长是原始的维管植物作用于地球系统的一种重要机制。4 亿年以来,根状茎克隆生长普遍存在于各类植被和陆地环境中,但它们的地质意义却常被人们所忽视;在现代生态系统中,克隆植物仍起着非常重要的作用,如沙丘上的沙鞭(*Psammochloa villosa*)和人们熟知的竹子(插图 5)。

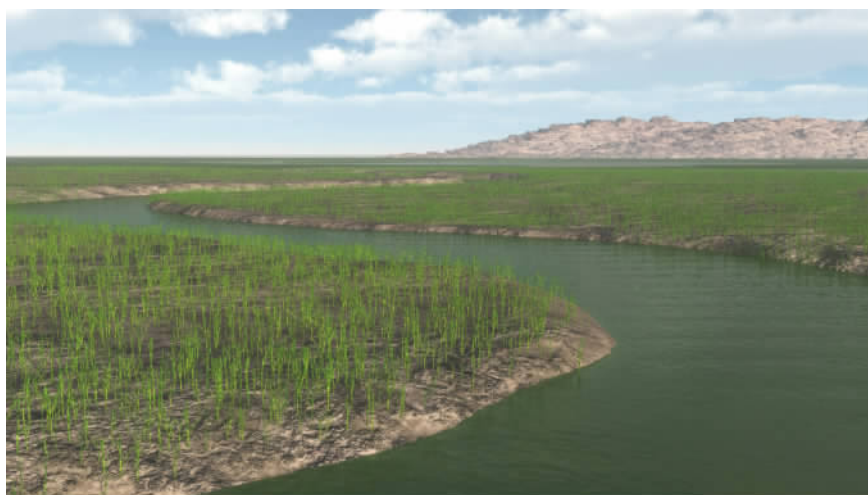


插图 5 泥盆纪早期的河流与洪泛平原植被景观复原

这一研究成果提供了早期植物根系与土壤相互作用的直接证据,揭示了早期植物在促进土壤形成及增强地貌稳定性方面的显著作用,以封面和亮点论文形式发表于《美国国家科学院院刊》(PNAS)。该杂志以“早期维管植物的成土作用(Soil formation by early vascular plants)”为题,在封面刊登徐家冲组古土壤与根状茎化石图片;同时,配发以“早期维管植物对陆地的改造”为题的评论,将这一论文作为当期的亮点成果。一位评审人认为,论文对研究早期植物对地球系统演化的影响提供了非常有价值的贡献。

论文信息:XUE Jinzhuang, DENG Zhenzhen, HUANG Pu, HUANG Kangjun, BENTON Michael J,



CUI Ying, WANG Deming, LIU Jianbo, SHEN Bing, BASINGER James F, HAO Shougang, 2016. Soil formation and transition of fluvial architecture promoted by Early Devonian plant roots. PNAS, 113(34): 9451—9456. DOI: 10.1073/pnas.1605051113.

#### 进展六:白垩纪琥珀中发现系列昆虫伪装行为及最原始蚂蚁社会化起源

主要完成者:王博(中国科学院南京地质古生物研究所)

其他完成者: Vincent Perrichot, Michael S. Engel

进展简介:覆物行为是昆虫伪装术中最奇特、最复杂的一类,需要昆虫同时具有辨别、采集、携带材料的能力以及相关的形态学适应。但该行为的化石证据极其稀少。中国科学院南京地质古生物研究所王博等人在 1 亿年前的缅甸、法国和黎巴嫩琥珀中发现了大量证据,表明在有花植物大辐射之前已有至少 3 大类昆虫独立演化出覆物行为。这些昆虫分别是已知最古老的草蛉幼虫、蚁蛉总科幼虫(包括细蛉幼虫、蝶角蛉幼虫)和猎蝽。尽管这三大类昆虫都具有相似的伪装行为,但它们采取了不同的演化路线,各自独立演化出一套特化的采集行为和形态结构,代表了一个典型的行为趋同演化的范例,也表明该伪装行为具有高度的演化可塑性。研究结果为脉翅目和半翅目昆虫的早期生态演化提供了新见解,也为重建白垩纪古环境以及昆虫—植物之间生态关系提供了新线索。

本研究还分析了各种伪装材料。其中一只草蛉幼虫背负有两个小型昆虫躯体,可能是其取食后遗留的猎物,此种行为和几类现生草蛉幼虫类似,表明“披着羊皮的狼”的伪装术在距今 1 亿年前就已经出现了。其它草蛉幼虫主要利用木质纤维和蕨类植物里白科的毛状体,其中两只幼虫只背负了里白科的毛状体。另外,该毛状体也在缅甸蛉类幼虫琥珀中作为伴生化石大量出现。白垩纪的里白科往往是野火事件后的先驱分子,表明当时缅甸古森林很可能存在广泛的野火事件。缅甸当时较高的年均温也是野火高频率发生的促进因素。而伴随缅甸琥珀的往往有大量火山灰沉积,表明部分野火事件可能是由火山活动所导致的。缅甸琥珀中蚁蛉总科幼虫利用砂粒、土壤尘粒、各类植物碎屑、碳化的植物茎秆碎片;猎蝽幼虫利用土壤尘粒、各类植物碎屑。伪装物分析结果表明这些昆虫主要栖息于地面表层,这些伪装物不仅减弱了虫体与背景差异(视觉伪装),可能也掩盖了虫体的气味,提供了化学伪装(插图 6)。研究成果发表于《科学进展》(Science Advances)杂志。



插图 6 缅甸琥珀中伪装的蝶角蛉幼虫和复原图

蚂蚁是地球上数量最多的昆虫,也是最成功的社会性昆虫,其社会行为的起源和演化吸引了许多人的关注。自达尔文时代以来,许多研究人员从不同角度对蚂蚁的社会行为起源进行了深入研究,取得了很大进



展。但由于化石证据匮乏,我们对蚂蚁早期形态和生态演化仍然不甚了解。长期以来,学界普遍认为早期蚂蚁的形态和生态较为单一,直到进入新生代,才在生态和形态方面辐射演化。另外,分子、形态、生态学研究表明最早的蚂蚁很可能是一些独居的捕食类群,但却缺少化石证据。王博等人从缅甸琥珀中找到四枚特化的蚂蚁:该类蚂蚁具有一对巨型镰刀状大牙(大颚),长度近乎头长的两倍;其唇基中部向上延长,在头上形成一个独特的“角”,堪称蚂蚁中的“独角兽”,因此被命名为“独角蚁”,属于黑帝斯蚁中一个极其特化的种类。功能形态学分析表明独角蚁演化出了一种独特的捕捉机制用于捕食相对大型的猎物:其“角”尖长有球状的毛囊,同时“角”的外侧带有感觉毛,一旦碰触到猎物,下部一对大牙迅速抬起,与上面的“角”配合,共同夹住猎物。如此特化的头部结构是首次在蚂蚁中发现。现生蚂蚁三个亚科中部分类群也演化出了类似的捕捉机制,但它们的大颚都是横向运动,而独角蚁的大颚却是垂直运动。本研究同时修订了法国和缅甸琥珀中的其他几类具大颚的黑帝斯蚁,并重新解释了其大颚和唇基结构的演化。研究表明蚂蚁演化早期就出现了明显的形态和生态特化,其早期演化过程比先前的设想要复杂得多。研究成果发表于《当代生物学》(Current Biology)杂志。

以上成果也受到《科学》(Science)、《自然》(Nature)、美国国家地理等科学媒体的报道。

论文信息: WANG Bo, XIA Fangyuan, ENGEL Michael S, PERRICHOT Vincent, SHI Gongle, ZHANG Haichun, CHEN Jun, JARZEMBOWSKI Edmund A *et al.*, 2016. Debris-carrying camouflage among diverse lineages of Cretaceous insects. *Science Advance*, 2(6): e1501918. DOI: 10.1126/sciadv.1501918.

PERRICHOT Vincent, WANG Bo, ENGEL Michael S, 2016. Extreme morphogenesis and ecological specialization among Cretaceous basal ants. *Current Biology*, 26(11): 1468—1472. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2016.03.075>

#### 进展七: 抚仙湖虫腹神经节与泛节肢动物早期神经系统进化

主要完成者: 杨杰(云南大学云南省古生物研究重点实验室)

其他完成者: 张喜光(通讯作者), J. Ortega-Hernández, N. J. Butterfield, 刘煜

进展简介: 由云南大学云南省古生物重点实验室杨杰副研究员为第一作者、张喜光教授为通讯作者,以及国内其他学者和英国、德国学者共同完成的题为“抚仙湖虫腹神经索及泛节肢动物神经系统早期进化”(The fuxianhuiid ventral nerve cord and early nervous system evolution in Panarthropoda)一文,2016年3月15日发表在《美国国家科学院院刊》。2011年发现于昆明东郊寒武系筇竹寺阶顶部、布尔吉斯页岩型保存的小石坝化石库,因其地层层位高于澄江生物群,明显低于关山、凯里、布尔吉斯页岩等化石群,代表早期后生动物随时代变迁出现辐射分异和演化的重要过渡环节,成为窥探“寒武纪生命大爆发”的又一重要窗口(Yang *et al.*, 2013, *Nature*, v. 494, p. 468)。在该化石库组合中包含许多带软体附肢的抚仙湖虫类,它们的躯体分节和附肢形态特征,与下伏地层中澄江化石群的典型代表相比,已清楚显现随时代变迁出现的进化变异(例如体节数目明显不同)。更有意义的是这些标本多为“埋葬剖析”(taphonomic dissection),即头甲在埋葬过程中被断然掀开,完全裸露出其头部组构细节(插图7)。本文首次报道了抚仙湖虫脑后纵贯躯体的腹神经索,其每一神经节严格对应一对腿肢,并发育有大量类似于现生鳃曳类和有爪类的外缘神经。如此显现超微结构的神经索起初并非完全暴露于随机破裂的泥岩表面,经实体显微镜下细心用钢针剥去覆盖的残存甲壳、围岩,方才得见。

泛节肢动物(panarthropods)以别具特色、不同层次的神经组织反映出复杂的进化历程。化石记录通过灭绝代表类型的精美保存提供了独特重塑神经系统早期特性演变的案例。本文描述的寒武系第3阶小石坝化石库干群真节肢动物昆明澄江虾(*Chengjiangocaris kunmingensis*)的腹神经节(VNC),其精细组构虽被垂向压实仍显三维原貌,以实体化石形式得以保存。该发现揭示了蜕皮动物祖先的神经学特性延续到干群真节肢动物衍生类群,但随后在冠群代表中消失。阐明了泛节肢动物腹神经索的原始特征,并推断一些神经学特性在缓步类和真节肢类曾独立次生消失。这些新知为探讨泛节肢动物神经系统早期本质特征、以及随时代的分异与演化提供了可靠证据。

本发现是昆明寒武纪小石坝化石库研究的又一重要成果。论文一经发表,得到《新华社》、《人民网》以及国外媒体的关注与报道。例如,英国《Daily Mail》认为:“这是人类迄今为止发现的最详细的古老神经系统化石”,“它帮助科学家洞悉昆虫、螃蟹和蜘蛛神经系统的进化过程”。

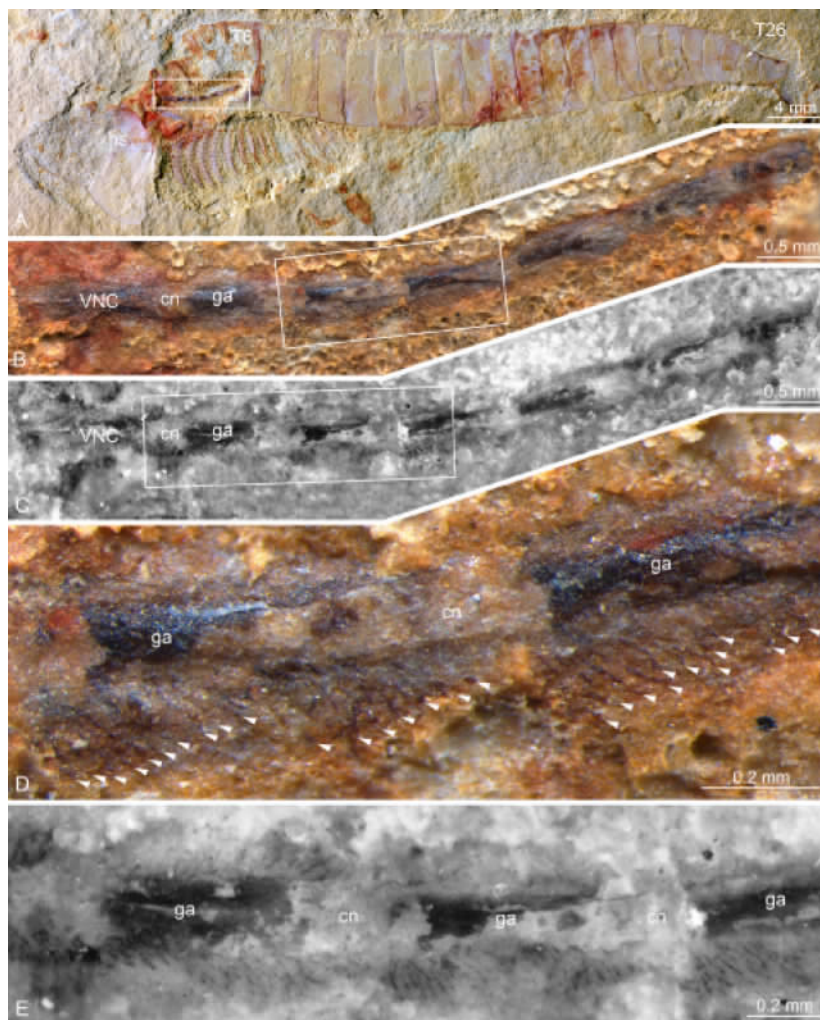


插图 7 寒武系第 3 阶小石坝化石库的抚仙湖虫类 *Chengjiangocaris kunmingensis*

A. 个体全貌; B. 腹神经索(深浅色相间链条状结构); C. 同段神经索荧光显微照相; D. 神经索及其纤细的外神经(白色箭头所示)。

论文信息: YANG Jie, ORTEGA-HERNÁNDEZ J, BUTTERFIELD Nicholas J, LIU Yu, BOYAN George S, HOU Jin-bo, LAN Tian, ZHANG Xi-guang, 2016. The fuxianhuiid ventral nerve cord and early nervous system evolution in Panarthropoda. PNAS, 113 (11): 2988—2993. DOI: 10. 1073/pnas. 1522434113.

#### 进展八:瓮安生物群中发现盘状卵裂动物胚胎化石

主要完成者:殷宗军(中国科学院南京地质古生物研究所)

其他完成者:朱茂炎, David J. Bottjer, 赵方臣, Paul Tafforeau

进展简介:中国科学院南京地质古生物研究所殷宗军副研究员及其国际合作团队在瓮安生物群中发现了一类具有典型盘状卵裂特征的动物胚胎化石,这一新发现不仅与瓮安具极叶动物胚胎化石的证据(Chen *et al.*, 2006, Science; Yin *et al.*, 2013, Precambrian Research)相互印证,表明真后生动物在 6 亿年前的瓮安生物群中就已经出现,而且为了解瓮安动物胚胎化石的多样性提供了新的数据和启示(插图 8)。这是该团队继 2015 年在瓮安生物群中发现最古老的海绵动物实体化石(Yin *et al.*, 2015, PNAS)以来又一项重要进展,已经在地质学领域国际顶级期刊《地质学》(Geology)上发表。

多细胞动物的起源是长达 38 亿年的地球生命史上最重要的创新事件之一。最新的分子钟估算认为动物在地球上崛起的时间大约在拉伸纪—成冰纪之交(7.8 亿年前后),并且大多数三胚层两侧对称动物的身体构型(相当于门一级的分类单元)在埃迪卡拉纪(6.35—5.41 亿年)就已经出现。然而传统的化石记录似乎讲述了一个不一样的故事:绝大多数两侧对称动物的化石代表直到寒武纪早期才开始在地层中出现,并呈现出分异度和多样性的剧增。这一现象被古生物学家称为“寒武纪大爆发”。寒武纪大爆发和动物起源之间长达两亿多年的时间差表明动物在寒武纪之前存在一段漫长的“隐形”演化历史。因此寻找前寒武纪的动物化石记录,探索这段隐形演化历史是追溯寒武纪大爆发源头的必由之路。我国贵州瓮安生物群恰好是寒武纪之前的一个特异埋藏化石库,距今约 6 亿年。它以磷酸盐化的方式在细胞甚至是亚细胞的层级上立体保存了大量的生物学结构,为人们了解寒武纪大爆发之前的地球生命提供了一个无与伦比的埋藏窗口,使得寻找更古老的动物化石记录成为可能。

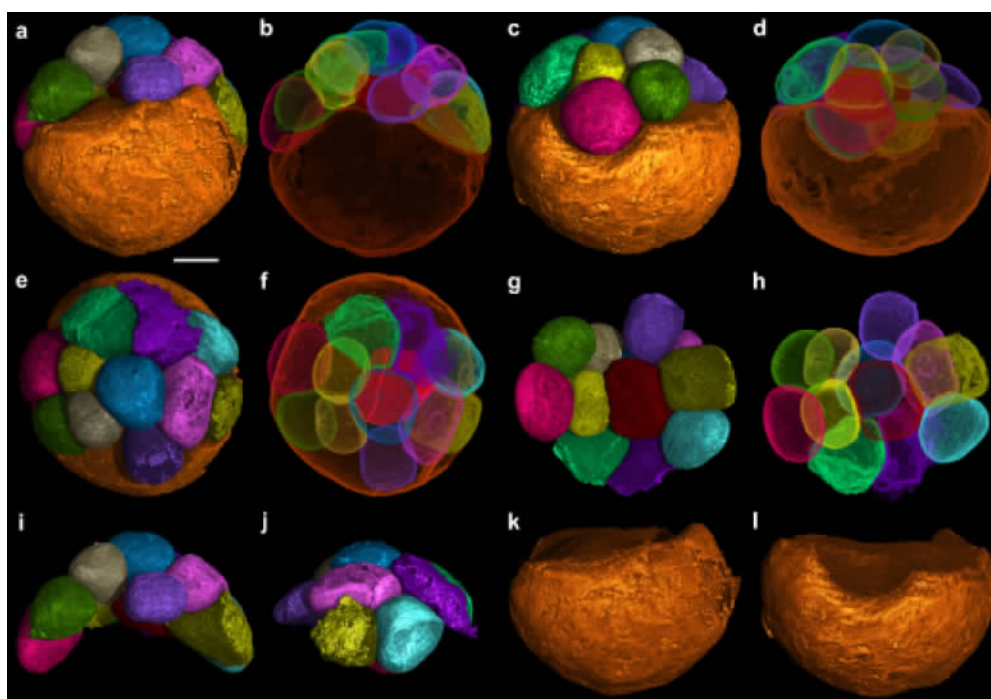


插图 8 瓮安生物群中盘状卵裂动物胚胎化石,同步辐射显微断层成像重构了

化石三维结构特征,数据结果表明细胞分裂局限在动物极,植物极卵黄细胞不参与细胞分裂

a—f. 化石整体不同角度的视图,其中 b、d 和 f 分别是 a、c 和 e 的透明效果;g—j. 卵裂球组成的胚胎;k 和 l 是卵黄细胞不同角度的视图。比例尺 100  $\mu\text{m}$ 。

瓮安生物群的化石类群十分丰富,迄今为止报道的有大型带刺疑源类、多细胞藻类、蓝藻、真菌、海绵、可能的动物胚胎及其成体以及大量分类位置不明的疑难化石。其中动物胚胎化石一度被认为是全球最古老的动物记录,然而由于这些化石形态结构简单,缺乏特异性的系统分类学信息而使得其亲缘关系方面留下了很多谜题。

瓮安动物胚胎状化石往往保存完整的细胞分裂阶段的标本(从单细胞期到成千上万细胞期),这些标本中分裂的子细胞之间有非常规则的空间几何关系,即分裂模式(cleavage pattern)。分裂模式作为重要的生物学特征,可以提供亲缘关系的线索,但这一特征却长期被忽视。殷宗军副研究员等人在瓮安生物群中发现了一类具有不完全细胞分裂的标本。利用高分辨率同步辐射断层成像技术,研究团队重构了代表性标本的三维结构,发现细胞分裂局限在标本的一极,另一极被不分裂的半球形大细胞占据。相位恢复的数据揭示不分裂的大细胞内部填充了大量疑似卵黄物质的板状结构。综合形态学和解剖学的证据,殷宗军博士等人认为这些标本是一类具有典型盘状细胞分裂方式的化石。

盘状分裂在一些现代两侧对称动物胚胎中十分常见,比如鸚鵡螺(软体动物头足类)、蝎子(节肢动物蛛形纲蝎目)、斑马鱼(脊椎动物硬骨鱼类)等。这些动物的受精卵均有一个共同特点,即植物极含有大量的卵



黄物质。由于受卵黄的抑制,卵裂期细胞分裂只发生在动物极,行成一个细胞化的盘状结构覆盖在不分裂的植物极大细胞之上。纵观生命之树,具有胚胎发生过程的类群有后生动物、被子植物、红藻和褐藻。在这四大类群的胚胎发育过程中只有后生动物具有盘状分裂模式。此外,无论是细菌还是单细胞的原生生物,均不具备类似胚胎发育的过程,而且它们无性繁殖时细胞的增殖也不具备类似动物胚胎卵裂模式这种稳定的分裂方式。因此该发现表明瓮安生物群中至少部分标本代表了真后生动物的胚胎。这不仅为人们了解瓮安胚胎化石多样性提供了新的化石证据,并且还了解早期动物发育模式以及动物直接发育模式的起源带来了新的启示。

论文信息: YIN Zongjun, ZHU Maoyan, BOTTJER David J, ZHAO Fangchen, TAFFOREAU Paul, 2016. Meroblastic cleavage identifies some Ediacaran Doushantuo (China) embryo-like fossils as metazoans. *Geology*, 44(9): 735—738. DOI: 10.1130/G38262.1.

#### 进展九:白垩纪中期琥珀中保存的一段具有原始羽毛的恐龙尾部

主要完成者:邢立达(中国地质大学(北京)地球科学与资源学院)

其他完成者:Ryan C. McKellar, 徐星, 黎刚, 白明

进展简介:琥珀是树脂形成的化石,因其特殊的质地与美丽的色彩而被视为珍宝。琥珀在世界各地的不同文化中都有记述,在中国的古代典籍中有着“老虎的魂魄所化”,“松脂沦入地,千年所化”等说法,最早可以追溯到汉朝。树脂埋藏于地层中逐渐石化并变成琥珀的过程被称为琥珀化(amberization)。琥珀的特殊之处在于常常有包裹体,其生物包裹体有细菌、藻类、真菌、植物、节肢动物、甚至还有头足类与脊椎动物等。琥珀化的过程相当缓慢而轻柔,对于保存小型生物体的软组织非常有利,因此保存于琥珀中的化石往往是同类化石中最为完整和精细的。

2016年12月9日,中国地质大学(北京)的副教授邢立达博士与加拿大萨斯喀彻温省皇家博物馆的教授瑞安·麦凯勒博士等学者在《细胞》出版集团旗下的《当代生物学》(*Current Biology*, 五年影响因子平均 9.7)发表了有史以来第一件琥珀中的恐龙标本。这件标本来自著名的琥珀产区之一,缅甸北部克钦邦胡康河谷。此地的琥珀距今约 9 900 万年前,属于白垩纪中期的诺曼森阶。标本非常小,尾巴展开后长度约为 6 cm,推测全身长度为 18.5 cm。

论文作者综合运用了多种无损成像和分析手段来研究标本,包括了中科院动物所的显微 CT、北京同步辐射装置(BSRF)的硬 X 射线相衬 CT、X 射线荧光成像和 X 射线近边吸收谱、上海同步辐射装置的硬 X 射线相衬 CT 等。通过对 CT 数据的重建、分割和融合,最终无损得到了隐藏在羽毛内部的尾部脊椎的高清 3D 形态。

基于扫描数据,这段毛茸茸的尾巴包括了至少 9 个尾椎。这些尾椎没有融合成尾综骨或棍状尾,后者常见于现生鸟类及与它们最近的兽脚类亲戚(如驰龙类)。相反,这只非鸟恐龙的尾部长且灵活,羽毛沿着椎体有规律地分布,与非鸟虚骨龙类恐龙(coelurosaurs)的对应特征非常相似。此外,标本尾椎腹侧明显的沟槽结构和许多虚骨龙类相似,但还没有在长尾鸟类中报道过。

该标本保存了非常精致的羽毛形态学细节,包括其尾部上羽毛与羽囊的排列方式,微米级的羽毛特征。从羽毛形态上看,标本可归属于虚骨龙类的一个演化支——基干手盗龙类(maniraptorans)。羽毛的分支结构是羽毛演化中出现的独特特征。在这个标本中,它的羽轴不发达,而且具有许多羽小枝。这为羽毛演化发展模式中的一个悬而不决的问题提供了一些线索,为羽枝(二级分支)融合形成羽轴前已具有羽小枝(三级分支)这一羽毛发育模型提供了依据(插图 9)。

该消息引起国外数百家媒体的报道。并在 2016 年度全球 270 万篇论文 Altmetric 指数中排名第六。12 月 19 日,美国国家地理学会评选出本年度六项重大科学发现,恐龙琥珀入选。

是什么原因让这篇论文引起如此大的关注?科幻电影《侏罗纪公园》的影响相当明显。影片中通过蚊子肚子里的恐龙血来克隆恐龙是一个经典桥段。作者通过 BSRF 的同步辐射 X 射线荧光成像获得了化石断面的微量元素分布图,其中钛、锆、锰、铁等元素的分布与化石的形态吻合度很高。标本的断面出现了高度富集的铁元素,近边吸收谱分析表明,其中 80% 以上的铁样本为二价铁,这些是血红蛋白和铁蛋白的痕迹。但

由于琥珀标本的年龄近 1 亿年,远超 DNA 的半衰期,所以标本在目前的技术条件下,尚无可能获得有价值的 DNA 片段。



插图 9 白垩纪琥珀伊娃标本

论文信息: XING Lida, MCKELLAR Ryan C, XU Xing, LI Gang, BAI Ming, PERSONSIV W Scott, MIYASHITA Tetsuto, BENTON Michael J, ZHANG Jianping, WOLFE Alexander P, YI Qiru, TSENG Kuowei, RAN Hao, CURRIE Philip J, 2016. A feathered dinosaur tail with primitive plumage trapped in mid-Cretaceous amber. *Current Biology*, 26(24): 3352—3360. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2016.10.008>.

并列进展十: 澄江生物群三维保存的大附肢类节肢动物幼虫

主要完成者: 刘煜(云南大学古生物研究重点实验室)

其他完成者: Roland Melzer, Joachim Haug, Carolin Haug, Derek Briggs, Marie Hörnig, 何雨洋, 侯先光(通讯作者)

进展简介: 2016 年 5 月 2 日, 由云南大学云南省古生物研究重点实验室古生物学家刘煜研究员和侯先光教授联合德国、美国科学家组成的研究团队, 在国际权威学术期刊《美国国家科学院院报》(PNAS) 在线发表了题为“A three-dimensionally preserved minute larva of a great-appendage arthropod from the early Cambrian Chengjiang biota”的研究论文, 首次报道了迄今为止所知最早的无节幼虫类节肢动物幼虫。该幼虫体长仅为 2 mm, 经荧光显微镜和扫描电镜分析被鉴定为早寒武世澄江化石群中的大附肢节肢动物林乔利虫(*Leancoilia illecebrosa*) 的早期幼虫, 研究人员利用先进的微型 CT 扫描技术, 揭示了保存在岩石内部的化石幼虫腹部的附肢构造。研究人员进一步发现, 该幼虫身体前部除大附肢外, 在其口板(hypostome)之后还保存有 4 对发育完好、功能完善的双肢型附肢, 用以实现游泳或在水面上漂浮等运动功能。此项研究最惊人的发现在于幼虫身体后半部的一系列尚未发育完全的附肢突起, 也称为附肢原基(limb anlagen)。从高精度微型 CT 的三维立体复原图像上可以清晰观察到这些原基有从前往后逐渐变小的趋势。这一现象说明该幼虫跟节肢动物中的甲壳动物(如: 龙虾, 螃蟹, 虾等) 的无节幼虫在形态和发育模式上极其类似。这类幼虫在孵化时仅具有头部和身体前端的少数几对发育完全且功能完善的附肢。在随后的生长发育期, 幼虫身

体后部的体节在尾板前方逐一出现并分化,而各体节所对应的附肢也在该体节分化后迅速地成对长出并发育。这类幼虫的这一个体发育模式造成了它们身体越靠后的体节和附肢在发育程度上越低的现象(插图 10)。研究人员还根据该物种成虫的体节总数进一步推断,此次发现的 2 mm 幼虫期之后还应该具有一个幼虫期以发育最后一个体节及其对应的附肢。

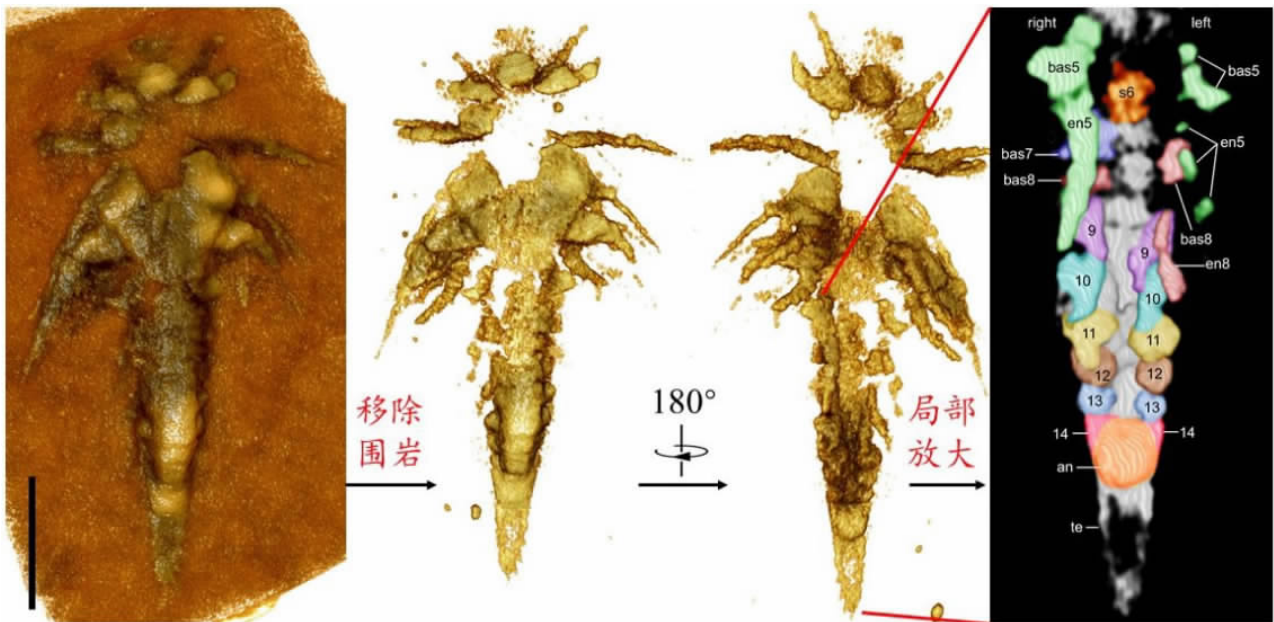


插图 10 体长仅为 2 mm 的澄江节肢动物幼虫的微型 CT 成像分析

比例尺:0.5 mm。

该幼虫口板后具有 4 对发育完好、功能完善的双肢型附肢。其仍保存在化石内部的腹面后半段具有一系列尚未发育完全且从前往后逐渐变小的附肢原基。该幼虫为最早的无节幼虫类节肢动物幼虫。

在澄江化石群长达 30 多年的研究历史中,如此精美保存的三维立体节肢动物幼虫标本的发现尚属首次。绝大多数情况下,澄江化石中节肢动物标本的大小是在厘米级别,并且在 5 亿多年的化石保存过程中被压缩,呈三维立体保存的化石稀少。此次,刘煜研究团队利用先进的微型 CT 成像技术清晰展示了在显微镜下用钢针解剖等常规研究手段所无法揭示的细微立体结构,使得距今 5 亿多年前的节肢动物幼虫化石与现生节肢动物的幼虫甚至胚胎进行直接的精细形态学对比成为了可能。由于大附肢类节肢动物一直以来都被业界认为是节肢动物的螯肢类代表,因此此幼虫的发育模式也在早期节肢动物进化方面提供了直接的化石证据,证明无节幼虫类的发育模式并不是仅存在于甲壳类节肢动物中。

此项研究成果在为未来澄江节肢动物发育生物学的研究奠定了坚实基础的同时,还为此类研究设定了更高的技术标准,使得研究者可以从化石表面和内部最大程度地提取信息。

论文信息: LIU Yu, MELZER Roland R, HAUG Joachim T, HAUG Carolin, BRIGGS Derek E, HÖRNIG Marie K, HE Yu-yang, HOU Xian-guang, 2016. A three-dimensionally preserved minute larva of a great-appendage arthropod from the early Cambrian Chengjiang biota. PNAS, 113 (20): 5542—5546. DOI: 10.1073/pnas.1522899113.

#### 并列进展十: 辽西发现最早的银杏植物木材化石

主要完成者: 蒋子堃(中国地质科学院)

其他完成者: 王永栋(通讯作者), Mar Philippe, 张武, 田宁, 郑少林

进展简介: 银杏是现存种子植物中最古老的子遗植物, 是世界上十分珍贵的树种之一, 被称作植物界中的“活化石”, 目前只有一属一种(*Ginkgo biloba*)。相比于现今的这一珍稀植物, 在久远的地质历史时期, 银杏类植物的分布十分广泛。中生代地层中就有大量的化石记录, 成为研究银杏类演化史不可或缺的重要依



据和实证。虽然银杏属确凿的营养叶和繁殖器官化石记录可以追溯到侏罗纪早中期(距今 1.7 亿年),但是现生银杏植物的木材化石在白垩纪之前却很少有报道。

由中国地质科学院高级工程师蒋子堃博士和中国科学院南京地质古生物研究所王永栋研究员联合法国科学家组成的研究团队,在辽宁西部北票地区的侏罗纪地层中发现了一种新的银杏植物木材化石,被命名为“辽宁银杏木”(Ginkgoxylon liaoningense)(新种)。该项研究成果于 2016 年 12 月发表在英国《自然》出版集团旗下学术期刊《科学报告》(Scientific Reports)上。这是目前发现的最早具有现生银杏次生木质部解剖特征的木材化石。这一发现代表了现生银杏木材演化的原始类型和早期阶段,对揭示银杏木材化石的演化具有重要意义。

参与这项研究工作的团队成员除了蒋子堃和王永栋外,还包括法国里昂第一大学 Marc Philippe 教授,中国地质调查局沈阳地质调查中心张武和郑少林研究员,以及沈阳师范大学副教授田宁博士。

本次发现自辽西北票地区的辽宁银杏木(*Ginkgoxylon liaoningense*)新种化石,产自中、晚侏罗世之交的髫髻山组地层,距今有约 1.6 亿年历史,化石结构构造保存完好,具有银杏属 *Ginkgo* 的典型木材解剖特征。其生长轮清晰,不具树脂道,具有膨大的垂向薄壁细胞束,具异细胞,排列有序的柏木型交叉场纹孔,射线细胞水平壁及端壁不具孔,双列对生的径壁纹孔上方常见眉条,径壁纹孔为混合类型(既有南洋杉式径壁纹孔,又有冷杉式径壁纹孔,且南洋杉式径壁纹孔约占 40%—50%)。上述解剖特征与现生银杏 *Ginkgo* 极为相似,仅径壁纹孔特征稍有差异(现生银杏冷杉式径壁纹孔占绝大多数,南洋杉式径壁纹孔所占比例较小)(插图 11)。

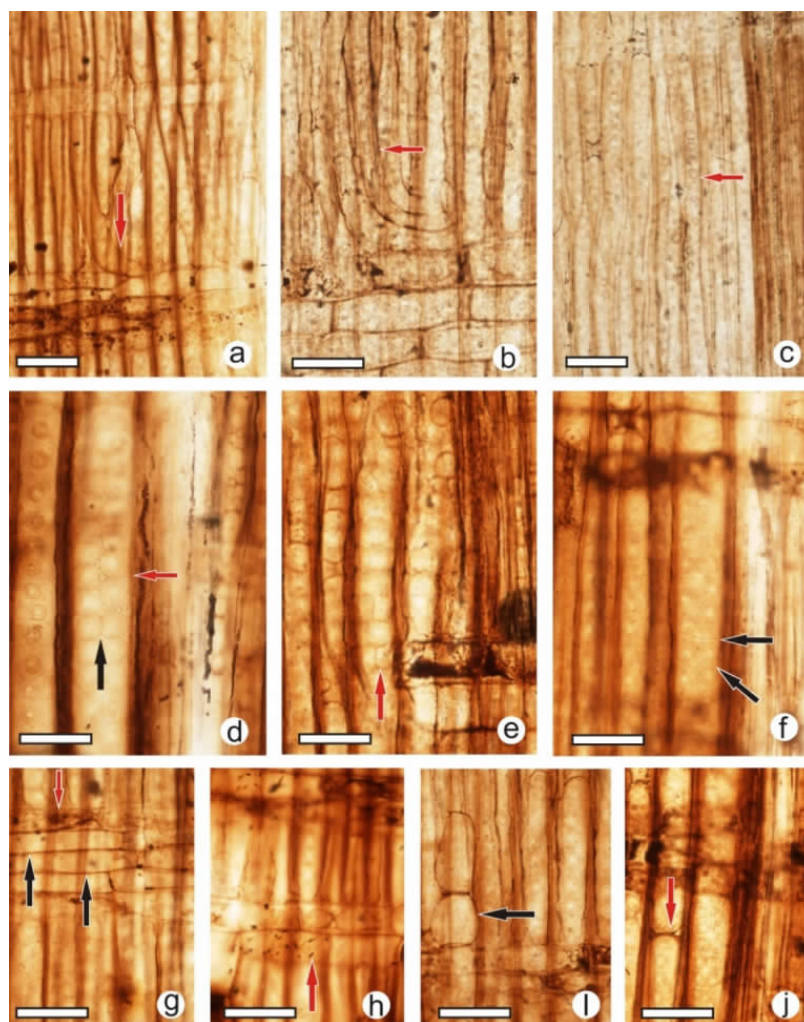


插图 11 辽宁银杏木化石的径切面解剖构造特征

a, b. 侵入形管胞末端; c—e. 径壁纹孔类型; f. 眉条; g. 射线细胞水平壁; h. 交叉场纹孔; i. 轴向薄壁细胞; j. 横格。

报道自辽宁西部中晚侏罗世之交髫髻山组的辽宁银杏木,是古植物学者首次在侏罗纪地层中发现的具有确凿解剖构造的银杏木属木材化石。辽宁银杏木的发现,不仅代表了银杏木属(*Ginkgoxylon*)出现时代最早的类型,而且还是现生银杏木材(*Ginkgo*)演化最原始的基部类型和早期阶段,为探究银杏木材的演化谱系提供了非常重要的化石证据。

基于本次木化石的记录和新发现,可以较为完整地勾勒出银杏属木材的演化序列,即:从侏罗纪原始的辽宁银杏木(*Ginkgoxylon liaoningense*),演化到早白垩世的中国银杏木(*Ginkgoxylon chinense*),再继续演化为晚白垩世的葛如特银杏木(*Ginkgoxylon gruetti*),最后演化到中新世的贝克银杏(*Ginkgo beckii*)的过程。该演化代表着径壁纹孔南洋杉型占 40%—50%到逐渐减少,而冷杉型逐渐增多,最后到冷杉型占主导地位解剖特征演化序列。

值得指出的是,之前古生物学家们在距今 2.5 亿年左右的地层中就发现了不少类似的银杏叶片化石;而与现代银杏有关的银杏属叶子和果实化石,可以追溯到距今 1.7 亿年前。但是,银杏木化石(也就是茎干化石)非常少见,之前的记录是距今 1.2 亿年的白垩纪早期,相比于保存较多的叶片化石,银杏的树干化石发现的最少。这项在辽西侏罗纪的新发现,将银杏木化石的记录由白垩纪中期的 1.2 亿年提前到了中晚侏罗世之交的 1.6 亿年,将银杏木化石的化石记录往前推了 4 000 万年。

该发现不仅对揭示银杏木材化石演化具有重要的科学意义,而且对深入研究燕辽生物群植物多样性特征、演化及环境背景等提供了难得的古植物解剖学证据。

论文信息:JIANG Zikun, WANG Yongdong, PHILIPPE Marc, ZHANG Wu, TIAN Ning, ZHENG Shaolin, 2016. A Jurassic wood providing insights into the earliest step in Ginkgo wood evolution. Scientific Reports, 6:38191. DOI: 10.1038/srep38191.

(中国古生物学会秘书处 供稿)