

科技前沿

我国首次发现具有皮膜翅膀的侏罗纪恐龙

王孝理¹, 郑晓廷¹, 徐星²

(1. 临沂大学地质与古生物研究所, 山东 临沂 276005; 2. 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044)

1 引言

作者等对发现在中国河北晚侏罗世髫髻山组地层约 1.6 亿年前的一件小型恐龙化石进行了详细研究, 采用 CT 和扫描电镜等多种技术手段和方法对化石进行分析, 获取了包括软体组织上保存的黑色素体在内的宏观和微观信息, 还分析了化石围岩和化石的化学组分。研究发现, 奇翼龙的前肢和后肢上长一种特殊的僵直长丝状羽毛, 长丝状羽毛具有多样化的黑色素体形态; 具有一个长长的棒状骨与腕骨连接, 并且在此棒状骨与手指间具有皮膜, 这是一种在恐龙中从来没有出现过的形态, 但在各种飞翔或滑翔四足动物中存在, 由此表明奇翼龙具有着与鸟类和其近亲们的羽翼完全不同的皮膜翼结构。奇翼龙独特的前肢形态揭示了恐龙形态分化中具有极其丰富的多样性, 并且在接近鸟类起源的演化中, 恐龙曾经历了超乎想象的多元演化。研究成果发表在 2015 年 4 月 30 号出版的《Nature》上, 这项研究成果对于了解恐龙形态差异和鸟类飞行起源具有重要意义, 代表着中国学者在鸟类起源研究方向上取得的又一项研究成果。这个重大成果由山东省地质学会推荐, 被中国地学学会评为 2015 年度十大地质科技进展之首。

鸟类及其恐龙近亲的翅膀拥有一个共同特点: 片状飞羽是其关键组分, 但是奇翼龙挑战了这一认知。奇翼龙属于擅攀鸟龙类的恐龙类群, 这一类群与鸟类亲缘关系非常近, 但长相奇特, 有着短粗的头, 手部外侧手指极长, 尤其是其僵硬的羽毛呈丝状, 更接近原始羽毛, 而不像其他似鸟恐龙和鸟类拥有的片状羽毛。最奇特的是奇翼龙腕部的一个棒状长骨结构, 类似结构从来没有在其他恐龙当中发现过, 但却在一些会飞的四足动物的腕部, 或者肘部,

或者踝部附近存在, 这些动物包括蝙蝠、翼龙和鼯鼠等, 奇翼龙腕部的棒状结构和日本鼯鼠腕部长着的棒状结构尤其相像。在所有这些动物中, 这种棒状结构都支撑着皮膜, 用于飞行或者滑翔。在奇翼龙标本上, 研究者在棒状结构和手指附近发现了残缺皮膜。这意味着奇翼龙有着和鸟类及其恐龙近亲完全不同的翅膀, 它的翅膀像蝙蝠和其他会飞的四足动物一样, 主要由皮膜构成, 而不是像鸟类及其近亲那样主要由羽毛构成。

生活在侏罗纪中期, 有着皮膜翅膀的奇翼龙, 是鸟类支系飞翔演化过程中的一个先锋。研究认为, 在飞翔演化的早期历史中, 充满了创新尝试, 许多支系成为了演化的死胡同, 只有现生鸟类的这种飞行模式延续至今。

2 标本产地与层位

正型标本: STM31-2(收藏于山东天宇自然博物馆), 一个个体关联部分骨骼和部分软组织印痕, 印痕呈对开板保存(图 1~图 4)。标本由一位当地的农民采集, 但其来源和真实性已经通过多种途径分析确认, 包括沉积学、埋藏学和 CT 鉴定。

产地和层位: 河北省青龙县木头凳镇髫髻山组, 卡洛维阶-牛津阶。

3 化石特征

一种兽脚类擅攀鸟龙科动物, 与其他擅攀鸟龙的区别是: 沿鼻骨中间有一条低矮的突脊; 外下颌窗相对较小并且位置偏后; 从侧面看齿冠对称并且内侧远端比齿根宽; 与胫骨相比, 肱骨和尺骨都较长(长度比例分别是 1.16 和 1.08; 树栖龙的分别为 0.96 和 0.78; 而耀龙的为 0.79 和 0.66); 肱骨三角嵴特别短; 腕部关联着一个末端细长的骨骼(针状

骨) , 针状骨与腕部尺骨一侧相关联 , 此棒状骨略弯曲 , 远端略细 , 其长度超过尺骨。标本的两侧前肢都保存着此棒状骨结构 , 其形态与任何其他的骨骼都不同。

化石标本中主要保存着羽毛和翼膜的软组织两种皮肤结构。细长的丝状羽毛保存在头骨周围和颈部的上方和下方。附生在前肢和后肢上的羽毛笔比头部和颈部的羽毛明显大。一些包括头部和颈部的丝状羽毛似乎具有简单的分支 , 但因保存的过于浓密 , 无法辨识细节。不过 , 一些分散保存的单独羽毛确实是多根羽丝从基部放射发散的羽毛结构 , 并且四肢上的羽毛主要呈现出一种独特的毛刷状形态: 每一枚羽毛近端的四分之三是一个未分化的宽轴状结构 , 而远端部分则包括大量的近乎平行的羽丝。

种系发生分析把奇翼龙归属为奇特的擅攀鸟龙科 , 擅攀鸟龙科属于其他副鸟类的一个并列类群。擅攀鸟龙类 , 包括奇翼龙 , 具有以下骨骼特征: 手部第三指高度拉长 , 骨盆高度特化等。除了这些骨骼上的特化之外 , 擅攀鸟龙类的皮肤结构也非常特殊。虽然作为基干副鸟类 , 它们却不具有羽片羽毛 , 但它们的丝状皮肤结构却与其他鸟翼类的羽片羽毛相似 , 具有变化丰富的黑色素体。这些特殊的皮肤结构说明了在鸟类起源演化中皮肤形态演化非常复杂。

近期发现大型的飞羽和翅膀出现的很早 , 它们出现在基干窃蛋龙尾羽龙中 , 也出现在基干恐爪龙类近鸟龙和小盗龙类中(其雏形也存在于擅攀鸟龙的树栖龙中) , 表明了羽毛翅膀起源于早期的羽盗龙类中 , 尽管最早的羽盗龙类还不会飞翔。系统发

生分析和所保存的肩带附属形态都表明奇翼龙的肩带骨骼可能与其他早期副鸟类相同。然而 , 其他副鸟类的大型飞羽在奇翼龙身上却至少有一部分被换成了由针状骨和手指骨支撑的翼膜结构。这种膜翅翼与鸟类及其近亲们普遍具有的羽毛翅膀是完全不同的。奇翼龙和其他擅攀鸟龙的高度拉长的第四指在兽脚类中是非常独特的 , 看上去与蝙蝠的长手指以及翼龙高度拉长的第四指非常相似。此外 , 奇翼龙翅膀的主要结构 , 翼膜和针状骨在其他有翅膀的兽脚类中也没见过 , 因此奇翼龙的发现揭示了向鸟类过渡演化中翅膀形态发生了高度多元性的变化。

已知其他四足动物的针状骨所支撑的膜翅翼都是用来飞翔或滑翔的 , 很难想象这样一种关联在肢骨远端的棒状骨骼或软骨结构能具有其他的功能。此外 , 奇翼龙的前肢几乎是后肢长度的 1.2 倍 , 明显比非鸟兽脚类甚至基干鸟类(如始祖鸟) 的前肢长 , 并且其肱骨和尺骨像股骨与胫骨一样粗壮 , 只有飞翔鸟类和飞翔的早期兽脚类才有这么粗壮的前肢。因此综合各方面信息 , 我们推测奇翼龙的膜翅翼是用来进行空中运动的 , 是飞翔的翅膀(参见封面)。

对具羽毛恐龙和原始鸟类的飞翔能力的评估是一项富有争议并具有挑战意义的工作 , 根据奇翼龙的一些特征 , 包括前肢骨骼上缺少大型肌肉的附着面 , 针状骨可能比较笨重不利于扑翼飞翔中灵活的操控前肢远端等 , 推测奇翼龙可能更多的依赖于滑翔运动。然而 , 当奇翼龙依靠由针状骨支撑的膜翅翼划过空中时 , 就代表了一种接近鸟类起源时的令人意想不到的创新演化 , 揭示了在副鸟类演化的早期阶段 , 曾发生过更多元的与飞翔有关的形态演化。

我国首次发现具有皮膜翅膀的侏罗纪恐龙



图1 中科院古脊椎动物与古人类研究所张福成研究员在奇翼龙发现地组织的野外发掘（张福成供图）



图2 奇翼龙化石照片（郑晓廷供图）



图3 奇翼龙头骨化石近照（郑晓廷供图）

图4 奇翼龙标本右侧的棒状骨结构（红色线条所指的结构），可以看到其端部周围保存着翼膜组织，以及丝状的羽毛结构（郑晓廷供图）

