

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2022.819>



现代鸟类是如何演化出特有的飞行能力的?

周忠和

中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044

鸟类的起源问题历经一百多年的科学研究,近年来在学术界已有较大共识,即鸟类来自属于小型兽脚类恐龙的一支,始祖鸟依然是目前学界比较公认的已知最早、最为原始的鸟类(Xu *et al.*, 2014). 历经 1.5 亿年演化历史的鸟类家族,目前在地球上还生活了超过 10 000 个种类,几乎遍布全球各个角落. 然而鸟类演化大戏的上半场(1.5~0.66 亿年),虽然最为扑簌迷离,然而来自中国早白垩世,特别是热河生物群发现的许多鸟类化石成为了其中的主角.

迄今,脊椎动物中,3 类独自获得了真正的飞行能力,分别是翼龙、鸟类和蝙蝠. 从演化的角度来说,鸟类应当是最为成功的. 在脊椎动物中,扩展的皮膜和具有空气动力学意义的羽毛是获得飞行的两种截然不同的结构. 近年的发现表明,一些兽脚类恐龙曾经采用了皮膜+羽毛的复合策略(Wang *et al.*, 2019),然而唯有专注于利用不对称飞羽飞行的那一支恐龙获得了更大的发展,并且最终在鸟类后裔中发扬光大.

鸟类不同于其他生物的飞行方式以及由此带来的对不同生态的适应性是如何一步步获得的呢? 对鸟类飞行的起源及其演化过程的研究究竟又能带给我们什么样的启发呢?

1 核心思想

最新的研究也表明,羽毛的起源远早于鸟类的起源. 换言之,在恐龙及翼龙中已经发现了多种原始的羽毛类型. 鸟类飞行的起源与鸟类的起源、羽

毛的起源和演化紧密相关,因此要回答“现代鸟类是如何演化出其特有的飞行能力”的问题,一方面离不开对鸟类起源、羽毛起源演化过程的了解,另一方面也需要对早期鸟类飞行能力演化的深入探讨.

如何恢复古鸟类的飞行能力呢? 对鸟类飞行器官,包括骨骼(化石中最易保存的部分)及肌肉的研究是最为常见的方法(Zheng *et al.*, 2014),然而羽毛对鸟类飞行的重要性也是显而易见的,“将今论古”的法则在古鸟类功能形态学方面的应用依然前景可期(Nudds *et al.*, 2010; Matloff *et al.*, 2020). 分子埋藏学的研究也为探索古鸟类羽毛微观层次对飞行的适应提供了新的思路(Chang *et al.*, 2019; Pan *et al.*, 2019).

鸟类的飞行牵一发而动全身. 除了骨骼、肌肉、羽毛外,其他软组织及器官的适应也是飞行演化过程中不可忽视的部分(Zheng *et al.*, 2013; Wu *et al.*, 2021). 特有的化石埋藏及新的分析技术的应用将弥补这一方面研究的短板.

2 科学价值

飞行是鸟类在新生代获得成功的最重要适应特征. 飞行能力的提升需要鸟类“全身心”的配合参与,因此对鸟类飞行能力起源和演化过程的研究也需遵循“系统思维”的原则,这与目前地学界流行的“地球系统科学”的思想一脉相承. 现代鸟类飞行能力的获得不仅仅体现在骨骼和肌肉系统发生的一系列的改变,而且与鸟类生理活动相关的各个子系

作者简介:周忠和(1965—),男,研究员,中国科学院院士,主要从事古鸟类及热河生物群等研究. E-mail: zhouzhonghe@ivpp.ac.cn

引用格式:周忠和, 2022. 现代鸟类是如何演化出特有的飞行能力的? 地球科学, 47(10): 3809—3810.

Citation: Zhou Zhonghe, 2022. How did Flight in Modern Birds Evolve? *Earth Science*, 47(10): 3809—3810.

统(如生殖、呼吸、消化和循环系统等)均发生了巨大的适应性变化,譬如至少从早白垩世开始的右侧卵巢的退化(Zheng *et al.*, 2013).此外,飞行能力和飞行方式的多样性也对应于在不同生态位的适应辐射,由此我们可以进一步探索鸟类生活的环境背景(Zhou *et al.*, 2021),并且加深我们对生物演化与环境关系以及地球宜居性的认识.

3 发展前景

早白垩世是鸟类飞行演化的关键时期,大量特异精美保存的化石为恢复早期鸟类的飞行特征提供了源源不断的素材.寻找新的飞行能力与方式的指标(index)总是令人期待.新的技术手段和研究方法,结合大量基于现代鸟类飞行相关测量数据的建模分析,能够帮助填补现代鸟类及化石鸟类飞行之间的鸿沟.此外,多学科的整合,特别是现代生物学与地球科学知识的融合,或许才能最终从机制上帮助我们回答现代鸟类特有的飞行是如何通过变异、选择以及机遇而逐渐形成,从而导致了现代鸟类今天在陆地以及海洋生态系统中的成功.

参考文献

- Chang, W.L., Wu, H., Chiu, Y.K., et al., 2019. The Making of a Flight Feather: Bio-Architectural Principles and Adaptation. *Cell*, 179(6): 1409–1423. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2019.11.008>
- Matloff, L.Y., Chang, E., Feo, T.J., et al., 2020. How Flight Feathers Stick Together to Form a Continuous Morphing Wing. *Science*, 367(6475): 293–297. <https://doi.org/10.1126/science.aaz3358>
- Nudds, R.L., Dyke, G.J., 2010. Narrow Primary Feather Rachises in Confuciusornis and Archaeopteryx Suggest Poor Flight Ability. *Science*, 328(5980): 887–889. <https://doi.org/10.1126/science.1188895>
- Pan, Y.H., Zheng, W.X., Sawyer, R.H., et al., 2019. The Molecular Evolution of Feathers with Direct Evidence from Fossils. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(8): 3018–3023. <https://doi.org/10.1073/pnas.1815703116>
- Wang, M., O'Connor, J.K., Xu, X., et al., 2019. A New Jurassic Scansoriopterygid and the Loss of Membranous Wings in Theropod Dinosaurs. *Nature*, 569(7755): 256–259. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1137-z>
- Wu, Q., Bailleul, A.M., Li, Z.H., et al., 2021. Osteohistology of the Scapulocoracoid of Confuciusornis and Preliminary Analysis of the Shoulder Joint in Aves. *Frontiers in Earth Science*, 9: 617124. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.617124>
- Xu, X., Zhou, Z.H., Dudley, R., et al., 2014. An Integrative Approach to Understanding Bird Origins. *Science*, 346(6215): 1253293. <https://doi.org/10.1126/science.1253293>
- Zheng, X.T., O'Connor, J., Huchzermeyer, F., et al., 2013. Preservation of Ovarian Follicles Reveals Early Evolution of Avian Reproductive Behaviour. *Nature*, 495(7442): 507–511. <https://doi.org/10.1038/nature11985>
- Zheng, X.T., O'Connor, J., Wang, X.L., et al., 2014. On the Absence of Sternal Elements in Anchiornis (Paraves) and Sapeornis (Aves) and the Complex Early Evolution of the Avian Sternum. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(38): 13900–13905. <https://doi.org/10.1073/pnas.1411070111>
- Zhou, Z.H., Meng, Q.R., Zhu, R.X., et al., 2021. Spatiotemporal Evolution of the Jehol Biota: Responses to the North China Craton Destruction in the Early Cretaceous. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(34): e2107859118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2107859118>