

2022 年天然林保护系列宣传（二十三）

树蛙为何“祖传”滑翔技能？ 破解它或 有助防治人类疾病

国家林业和草原局政府网 <http://www.forestry.gov.cn/2022-07-26> 来源：中国绿色



视觉中国供图

动物的复杂性状可以分为表型连续分布的经典数量性状、表型间断分布的性状以及其他难以准确度量的动物各类行为和心理等。经典数量性状包括身高、寿命、体重等；表型间断分布的性状主要指人类复杂疾病和动植物复杂抗性性状等，如精神分裂、高血压、骨质疏松、植物抗病性状等。

“物竞天择，适者生存”，古往今来，这一自然法则一直不断地被印证。达尔文提出的这一自然选择学说，是生物种群层次的进化理论，自然选择是生物进化的动力。如果自然条件的变化是有方向的，那么经过长期的自然选择，微小的变异就得到积累而成为显著的变异，由此可能导致亚种或新种的形成。

动物复杂性状就是动物长期适应演化的结果。而对其形成机制的解析一直是一个科学难题，面临难以追溯、难以预测、难以调控的困难局面。近日，在国际学术期刊《美国科学院院刊》新发表的一篇封面研究论文的成果中，中国科学院成都生物研究所（以下简称中科院成都生物所）李家堂研究团队以云南西双版纳地区的“飞蛙”——黑蹼树蛙为研究对象，解析了“飞蛙”树栖适应性复杂性状的遗传基础，阐明了与其攀爬和滑翔行为相关表型的遗传基础。

解析动物复杂性状有重大应用前景

为应对外部环境条件的变化，自然界物种采取了各种各样的进化策略以适应不同的栖息地，如高原、海洋、荒漠等栖息地。例如，两

栖动物作为脊椎动物的一个重要类群，就完成了脊椎动物从水生到陆生的过渡，使动物有了向更多样化发展的可能性。

动物复杂性状是动物长期适应演化的结果。如新研究中的树蛙，就演化出一系列树栖适应表型及行为特征以占据树栖生态位。

那么，究竟什么是动物复杂性状？动物的复杂性状可以分为表型连续分布的经典数量性状、表型间断分布的性状以及其他难以准确度量的动物各类行为和心理等，举例来说，“经典数量性状包括身高、寿命、体重等；表型间断分布的性状主要指人类复杂疾病和动植物复杂抗性性状等，如精神分裂、高血压、骨质疏松、植物抗病性状等。”李家堂研究团队成员、论文第一作者吴威说。

吴威解释，有的表型间断分布的性状存在潜在的连续性分布，但在表现型上呈现间断分布特征；有的性状除了受到多种遗传因素影响外，还受到环境等非遗传因素的干扰，其机制相当复杂。“比如植物复杂的抗性性状可能受到光照、水分、或者湿度等环境条件的影响；人类的一些复杂疾病也可能受到其生存环境、个人不良习惯、性格和心情等非遗传因素的影响。”

学界普遍认为，动物复杂性状是动物长期适应进化的结果，是动物多样性存在的主要基础。因此，系统解析动物的复杂性状不仅是一项揭示大自然本质规律的基础性前沿科学工作，也有重大的应用前景。

蹼足是支持树蛙滑翔行为的关键性状

在白垩纪末期大规模物种灭绝事件后，无尾目多个科的物种独立演化出了攀爬和滑翔的相关表型，并成功拓殖树栖生态位，黑蹼树蛙就是其中的代表性物种。黑蹼树蛙隶属于树蛙科，常年生活在热带雨林树冠层，是典型的树栖蛙类，其最高栖息高度达 57 米，为目前树栖蛙类停留高度的最高纪录。黑蹼树蛙具备强大的滑翔能力，纵身一跃，张开的蹼足就像迎风打开的滑翔伞，能够助力其“飞”越十余米远并平稳降落，因此这种树蛙也获得了“飞蛙”的美名。

中科院成都生物所李家堂研究团队等科研人员猜测，滑翔这一行为与黑蹼树蛙的蹼足有关。根据蹼占指/趾间区域的比例，可将蛙的蹼划分为无蹼、半蹼、全蹼和满蹼等类型，黑蹼树蛙的蹼属于满蹼。

为证实蹼与滑翔的关系，研究人员以满蹼的黑蹼树蛙和无蹼的宝兴树蛙为研究对象，开展滑翔行为学实验。

“我们分别设置了 1 米、1.5 米和 2 米的跳台，让两种树蛙从跳台落下并记录运动轨迹。结果发现，黑蹼树蛙降落时会尽力撑开四肢和蹼足，轨迹形成一定弧度，且四肢与水平面的夹角明显更小。”吴威说，这一实验确认了树蛙的蹼在滑翔过程中起到重要作用，是支撑滑翔行为的关键性状。

作为一种复杂性状，蹼足的形成并非由单一基因所控制，而是由多基因之间复杂的调控机制形成。为解析这一调控机制，研究团队又提取了黑蹼树蛙和宝兴树蛙蹼足各个生长期的 RNA，结合这两种树蛙四肢发育过程的表型和转录组数据，并通过比较基因组学和时序基因

共表达网络分析，发现 Wnt 信号通路相关基因参与了蹼的生长和发育，对树蛙滑翔相关性状的形成起到了关键作用。

“以树蛙为模本，对动物滑翔这种复杂性状的解析，对人们开展动物特殊功能的仿生研究以及人类相关疾病的防治具有重要意义。”吴威认为，黑蹼树蛙为揭开两栖动物树栖适应之谜提供了良好的动物模型。

不是所有树栖蛙类都能滑翔

树蛙滑翔复杂性状的形成是逐渐演变而来的还是存在关键节点？

在物种水平，新物种的形成是逐渐演变而来还是突然出现的可以被认为是进化渐变论与间断平衡论的争鸣。前者认为，变异是普遍存在的，变异的原因和形式是多样的，生物在长期演化过程中经历自然选择，其微小的变异逐渐积累为显著的变异，因此祖先种和现生种之间应该存在一系列连续的、界线不明显的中间类型，化石记录的不完善可能是中间类型缺失的原因。而后者认为，物种可保持长期的稳态，但能在成种作用下跳跃式加速，实现在较短时间内快速演化为新种。

对树栖蛙类而言，几乎所有现生树栖蛙类均起源于白垩纪末期物种大规模灭绝事件之后，科学家推测，物种灭绝事件可能清空了当时的生态空间，而森林生态系统的恢复为树栖蛙类的出现创造了机会。这可能是蛙类拓殖树栖生态位的关键节点。但是需要注意的是，并不是所有树栖蛙类均会滑翔，只有演化出支持滑翔行为的相应表型，如满蹼、皮肤褶以及特殊的身体形态等特征的部分类群才具备滑翔能

力。因此，蛙类拓殖树栖生态位的节点不适合直接用于表示其滑翔行为的起源。

“蹼是支持树蛙滑翔行为的关键性状，最先被用于游泳，尤其是后肢的蹼，而后在树蛙中被用于滑翔，这属于性状的功能创新。”研究团队成员推测，从滑翔相关表型的形态演化来看，树蛙滑翔复杂性状的形成可能是逐渐演变的。

蹼可能对树蛙垂直生态位的分化起到重要作用。比如具有满蹼且能滑翔的黑蹼树蛙通常栖息在树冠层，不具滑翔能力且为弱蹼的宝兴树蛙则栖息在高原草甸或沼泽中，而一些具有半蹼的树蛙则倾向于栖息在灌木丛。“这可能是逐渐演化的一种体现，但其具体演化模式及驱动因素还需要未来深入探究。此外，需要注意的是，并不是具有发达蹼的树蛙都可以滑翔，比如白颌大树蛙具有发达的蹼足，但其身形巨大，不具备滑翔能力。”吴威说，团队将不断进行研究，持续探索相关复杂性状的演化机制。

“蛙类滑翔行为是多次独立演化的趋同事件，不同物种间演化路径是否相同需要未来持续的探索。这涉及到一系列复杂的科学问题，如趋同表型是否有相同的分子机制，其演化路径是殊途同归还是单一路径？进化是否可重复等等？这需要我们不断去追问。”在吴威看来，能不能从动物复杂性状的解析中获取一些信号，为人类疾病的防治提供启示，这也是未来要继续探索的。（罗洪焱 陈科）