

“为爱发电”，他揭秘长臂猿如何“夫唱妇随”

■本报记者 李晨阳 实习生 陈雨涵



东黑冠长臂猿。赵超 / 摄



西黑冠长臂猿。赵超 / 摄



海南长臂猿。范鹏飞 / 摄

人类音乐和语言的起源与演化，是《科学》杂志在2005年提出的125个最具挑战性的科学问题之一。人类从哪里来？人类行为是如何演化的？这是非常令人着迷的问题。但在漫漫历史长河里，早期人类行为未能留下影像资料，而与行为直接相关的大脑则很难留下化石，因此，研究人类的近亲——灵长类动物，就成了理解人类行为的最佳途径。

近日，中山大学生命科学学院教授范鹏飞在《当代生物学》上发表的一篇文章，首次揭示了长臂猿雌雄“合唱”的配合机制，也为理解人类音乐的起源和演化提供了重要的数据和理论支持。

从读博士开始至今，范鹏飞与这些迷人的动物打交道已经20多年了。从发论文、评职称等功利的角度看，这并不是一个“高性价比”的研究领域。但一路走来，范鹏飞从未想过转行。他始终记得2005年自己第一次被长臂猿接纳的那一刻，那种瞬间被击中的激动和喜悦，远胜于后来的任何荣誉。

长臂猿“夫唱妇随”的秘密

长臂猿是自然界的“歌唱家”，它们的叫声婉转悠扬，持续时间长，一次鸣唱可持续10至20分钟。它们的叫声与其他动物的叫声有明显区别，非常接近于人类的歌声。研究发现，长臂猿家庭中的“歌唱”行为大致可分为3种情况：第一种是雄性独唱，雌性保持沉默；第二种是雌性唱，雌性尝试加入但失败；第三种是雌雄合唱。

成功的“夫唱妇随”是这样的：雄性长臂猿先引吭高歌，然后雌性长臂猿择机加入合唱，几个声部和鸣共振，叫声越来越兴奋、越来越快速，包含着变化丰富的音节。

但这种合作并不是每一次都能成功。有时，雌性长臂猿加入合唱的尝试会以失败告终，只留下一段短短的、充满沮丧的呜呜声。

在最近的这篇论文中，范鹏飞团队的研究对象包括13个东黑冠长臂猿家庭、5个海南长臂猿家庭和8个西黑冠长臂猿家庭。有趣的是，这些家庭都是一夫二妻群，群体成员包括一成年雄性和两只成年雌性。与典型的一夫一妻家庭群相比，一夫二妻群的配合显然更加困难。

范鹏飞团队猜想，一定有什么因素决定了合唱的成功与否，但是面对大量录音素材，他们并没有很好的处理方法。直到2020年，一个德国团队提出了一种可用于分析动物叫声节奏的新方法。

用这种方法对大量数据进行分析后，这个团队终于验证了之前的想法：长臂猿可以调整叫声的等时性、速度和节奏型，从而更好地促进成年雌性配合雄性形成合唱。

他们发现，雄性长臂猿的叫声里存在大量1:2小整数节奏，以及1:1等时节奏。这些有规律的节奏能让其他个体更容易感知到节奏的点在哪儿，从而顺利实现合唱。

在“琴瑟和谐”的东黑冠长臂猿和海南长臂猿家庭中，当雌性只想独自唱歌时，歌声通常没什么明显的节奏感，但当它想让妻子加入时，就会快速增加等时节奏，相当于给雌性长臂猿抛出了“橄榄枝”和“邀请函”。

相比之下，雌性西黑冠长臂猿则像个“铁憨憨”。它们的歌唱从头到尾都是一个调，缺少节奏变化，使得雌性长臂猿不知道什么时候可以加入，屡屡合唱失败。

此外，范鹏飞还分析了另外3个可能导致西黑冠长臂猿更容易合唱失败的原因。首先，西黑冠长臂猿生活的地区海拔更高。它们主要生活在无量山海拔1600米到

2600米的区域，这里的食物资源相对较少，为了觅食，时常出现雌雄分开的情况。而一旦相距超过30米，缺乏视觉信号辅助的雌性很难跟雄性成功配合。

其次，西黑冠长臂猿过夜时，两只雌性经常不睡在一起，这就导致第二天早上雄性鸣叫时，雌性因为相隔太远而难以合唱成功。

最后一种可能则是，西黑冠长臂猿的叫声与另外两个物种有明显区别，可能使雌雄的配合难度更高。

上述解释都有待进一步的工作验证。

命名“猿”分：被长臂猿接纳的那一刻，他哭了

研究长臂猿的鸣唱行为，远比一般人想象的要难。靠近长臂猿进行行为观察和人工录音，需要对长臂猿进行“习惯化”，即让长臂猿能够接受研究人员的近距离观察。

2002年入读中国科学院昆明动物研究所后，范鹏飞在导师安排下去无量山研究长臂猿。当时国内还没有人成功“习惯化”长臂猿。这不仅是因为长臂猿的移动速度非常快，更因为那对时盗猎现象还没有禁绝，所以长臂猿非常怕人，一看到人就跑。尽管国外有研究者曾经成功“习惯化”长臂猿，但发表的文献中没有提供可参考的细节。

听说这个外地来的小伙子想要接近长臂猿，村民都笑他根本不可能成功：哪山上养的猪和羊，不是自家的都难以靠近，更何况是野生的长臂猿呢？

范鹏飞只能凭着一腔热血“瞎摸索”。最初长臂猿只要一发现人，就会马上逃跑，能看它的时间仅有几秒钟。过了将近一年时间，范鹏飞才被允许远距离观察它们。但再接近就非常困难了。

意想不到的转折点，发生在2005年的一个冬日。

冬天山上的果实很少，长臂猿很难找到食物。可能是舍不得放弃难得的食物，长臂猿

允许研究团队近距离观察的时间得以延长。当长臂猿取食时，范鹏飞和研究团队就安静地坐着看它们；但是当长臂猿结束取食时，它们就会快速移动以摆脱观察人员。这种状况持续了很多天。

直到有一天，范鹏飞看到长臂猿沿着一个山坡跑了，便紧跟上去。后来他实在爬不动了，就坐在山坡上休息。他从包里拿出一个苹果充饥，刚啃了一口，一抬头，突然发现两只长臂猿就坐在他面前的一棵树上，距离不到10米。

范鹏飞清楚地看到它们清澈的双眼，眼神中有一丝疑惑和好奇，但是少了几分平时的恐惧。范鹏飞不敢一直盯着它们，担心会破坏这难得的共处。他慢慢低下头，透过眼睛的余光看到两只长臂猿彻底放松下来，开始互相理毛。范鹏飞愣了几秒，瞬间意识到，它们此时此刻是真的“接纳”自己了。

他一口一口地啃着苹果，眼泪不争气地流了下来。

“为爱发电”：该有的都会拥有

从功利的视角看，动物行为学、生态学和保护生物学研究是一个“性价比”比较低的领域；这些工作需要科研人员付出大量的时间和心血，承受野外工作的艰苦和种种磨砺，在历经很久的研究周期后，可能只能发表一篇影响因子并不高的论文。

在这篇论文背后，是他读博士期间就开始收集的数据资料，是一年又一年披星戴月在山林间跋涉的辛苦，是与长臂猿在一次次接触中逐渐达成的默契，是团队中一届届学生接力跑道的传承……

这个本科时就读市场营销专业的学生，凭借对野生动物的满腔热爱，跨专业研读到中国科学院昆明动物研究所。从起点并不算高的职业平台出发，一步步稳扎稳打地做到了“985”高校的教授。20多年来，越来越多的国内外同行认识了范鹏飞和他的成果，并经由这些成果认识了中国的长臂猿。

“反正我从没想过转行。”范鹏飞笑着说。他挺满意这样的人生：只管做自己喜欢的事，该有的职位、头衔、荣誉自然而然也就有了。未来，他希望能通过自己的科研工作，让更多人了解长臂猿、爱上长臂猿，并自发地保护长臂猿。他希望能让这些濒临灭绝的野生动物做更多的事。

“我们这个领域发表文章很难，但论文被任何杂志接收的喜悦，都远远比不上我被长臂猿接纳那一刻的激动和快乐。”说这句话时，范鹏飞眼中好像闪烁着星星。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.12.071>

我国首套7000米级ROV系统完成第一航段海试



ROV系统搭乘“实验6”号科考船完成海试。广州海洋实验室供图

本报讯(记者朱汉斌)近日,由南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)(简称广州海洋实验室)自主研制的我国首套7000米级ROV(水下遥控航行器)系统搭乘“实验6”号科考船,在南海中北部海域圆满完成第一航段海试。

7000米级ROV系统装备由ROV潜水器本体平台、水面支持与动力系统两大部分组成,采用无中继器模式,配置先进的照明摄影、高精度导航、液动力单元、成像声呐等设备。此次海试区域位于南海中北部3000米水深海域,其海底环境复杂,海况较为恶劣。ROV共顺利完成5次下潜,最大潜深达3448米;搭载重力仪水下作业时间超过12小时,水下测线长度超过7公里,在预定深度开展了两次动态测量及一次定点海底测量。

此次海试全面测试了ROV系统的总体性能,验证了多项关键技术及一批国产ROV核心部件性能,并通过ROV作业开展了国内首次近海底动态重力测量,获得了一批深海水样、沉积物、生物样品。

发现·进展

中国化学会电化学专业委员会

电化学十大科学问题首次发布

本报讯(记者甘晓)近日,中国化学会电化学专业委员会首次发布“电化学十大科学问题”,并邀请多位领域内知名专家学者对“电化学十大科学问题”进行中英文解读。相关成果在《电化学(中英文)》上刊发。

电化学是研究电能与化学能以及能与物质之间相互转换及其规律的学科。当前,国家“双碳”目标持续强力推进能源、材料、环境、生命健康、信息等领域快速发展,电化学进入了新的黄金发展期,遇到了前所未有的发展机遇,同时也面临着巨大挑战。

为对电化学学科和电化学工业发展中的关键科学问题和技术瓶颈进行全面梳理与分析研判,中国化学会电化学专业委员会向全国一线的电化学及其相关学科科技工作者发起征集电化学领域重大科学问题的活动。

本次活动重点围绕电化学基础理论、电化学测试技术与方法、纳米与材料电化学等18个研究方向,共收到3000余名一线科技工作者汇总的89个相关问题和难题。

多轮讨论和甄选后,最终确定的“电化学十大科学问题”是:如何在微观层次探测或模拟原位/工况条件下复杂电化学界面的动态结构变化,并建立其与宏观电化学性能的关系;如何理解和调控金属Li负极成核/生长及枝晶抑制策略;如何获得满足固态电池应用需求的高性能碱金属离子固体电解质;如何发展高能量密度多电子转移反应体系的水系电池;如何理性设计低/非铂的高效长寿命电催化剂并宏量制备;如何构筑高效气体扩散电极三相界面,理解传质传荷机制及其过程强化;如何破解生命过程中电子传递、能量/物质转化及其与人类疾病的关系和电化学调控原理;如何突破太阳能电池能量转换效率的肖克利-奎伊瑟极限;如何深入揭示腐蚀过程中多步骤电极反应动力学机制,精准调控复杂阳极过程和阴极过程;如何高效、高选择性电化学精准合成高附加值有机化学品。

相关论文信息：<https://doi.org/10.61558/2993-074X.3444>

中国科学院生物物理研究所

“女娲”基因组计划发布第五项成果

本报讯(记者孟凌霄)中国科学院生物物理研究所徐涛院士、何顺民研究员牵头的“女娲”中国人群基因组计划发布了第五项成果,重点阐释了适应性选择下非编码调控元件(启动子和增强子)对表型演化的影响。近日,相关研究发表于《分子生物学与进化》。

“女娲”中国人群基因组计划旨在构建中国人群的全基因组数据资源,并全面解析中国人群基因组变异,支撑中国人群的疾病和精准医学研究。此前,“女娲”基因组项目基于大规模汉族人群全基因组测序数据,绘制了中国汉族人群的SNP和InDel、STR、MEI的全基因组变异图谱,也对对中国汉族人群近期的适应性选择进行了分析。

最近发布的这项工作进一步将人群基因组进化的研究重点聚焦于很少被关注的非编码调控区域。在该研究中,研究团队通过系统鉴定基因组范围的适应性选择,揭示了非编码调控元件的适应性选择对人群类型的影响。

研究发现,汉族人群常染色体基因组区域大约12%的区域受适应性选择的影响,约有15%的非编码调控元件受适应性选择的影响,这一比例相对于蛋白编码基因略低。正选择调控元件主要富集在细胞黏合等生物学通路,而平衡选择调控元件主要富集在免疫相关通路。该研究通过进一步定位正选择的古人类基因渗入区域,发现这类事件集中在3p13.11区域,且该区域内的调控元件主要与紫外辐射适应有关。其中关键的靶向基因为HYAL基因,编码透明质酸酶以降解透明质酸。

此外,研究团队分析了正选择位点对连锁的疾病风险基因的影响,发现几乎一半的疾病风险基因在正选择作用下加速淘汰,还有一半的疾病风险基因在正选择作用下清除效率减缓。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1093/molbev/msae034>

一人一事

张振华：在青藏高原追逐科研梦的铿锵玫瑰

■瞿睿英 祁振军

平均海拔4000米以上的青藏高原上,不仅有高耸的雪山、绵延的草原、呼啸的风声,还有一群女科学家。她们扎根青藏高原的天地间,不惧高反和严寒,默默坚守,潜心研究,践行着“国家队”“国家队”的初心使命。

中国科学院西北高原生物研究所研究员张振华就是她们中的一员。

一路向西的寻梦之旅

2002年,张振华怀揣科研梦想,离开山东老家,来到1670公里外的青海省,与中国科学院西北高原生物研究所结缘,开始了追寻梦想的旅程。

2007年,张振华第一次到距离西宁市160公里、海拔3200米的青海海北高寒草地生态系统国家野外科学观测研究站(以下简称海北站)开展工作。

到站的第二天,张振华即掌管了15亩人工草地,就如何实现和评价高寒人工草地生产-生态功能、如何实现青藏高原生态环境保护 and 高质量发展“双赢”,开启了一边种好草、一边控好碳的“科研管家”生活。

星光不问赶路人,时光不负有心人。经过每年180余天的野外科研工作,历时5年的系统研究,张振华首次建立了单位牧草温室气体排放强度指标体系,提出了不同不草和豆科牧草混播、高产优质-低排放综合考虑的人工草地建群技术。该研究奠定了低碳型草地畜牧业理论基础,破解了人工草地生产-生态功能“双实现”的管理难题。

随着全球温室气体排放增多,气候变化加剧,青藏高原“高不胜寒”的局面逐渐演变为“高不胜暖”。

那么,全球变化背景下,高寒草地将如何演变?

张振华脑中一直在思考这个问题,因为这种演变关乎青藏高原数以千万计的家畜的生存,而家畜的生存又直接关系到当地500多万牧民的生产和生活。

为此,2012年张振华决定加入高寒生态系统与全球变化团队,全身心投入到高寒草地对全球变化的响应与适应研究中。

野外科学考察

每年4月初到11月初,是海北站高寒植物的生长期,也是野外控制试验研究工作开展的最佳时期。

为了探寻高寒草地对全球变化的响应与适应机理,张振华在海北站一待就是16年。一年又一年,张振华身边的很多人都已离开这个“苦寒之地”,而她仍努力地在一片裸草、一粒粒土里探寻奥秘。

2016年,国家重点研发计划项目“典型高寒生态系统演变规律及机制”启动。青藏高原的高寒草地是否如控制试验中观测到的一样,对气候变化以及放牧作出响应呢?张振华带着科学问题,将视野从定位站转到广阔的三江源,开启了野外科学考察的研究生涯。

初次带队的张振华满怀科研的豪情与理想,但是真正实践时,她才发现在一切都不简单。每日考察路线、调查样点的安排,样品的处理,以及队员们吃饭住宿等安全问题,张振华都要考虑周全。

忙碌、疲惫以及对任务能否完成的担忧困扰着张振华。但不服输的张振华把这些当成了“磨刀石”,在她看来,“每一位成功的生态学家可能都要经历这样一



2023年3月,张振华在阿尼玛卿山进行综合科学考察。中国科学院西北高原生物研究所供图

段心路历程,在野外耐住了寂寞、挺过了艰辛、磨练了年轻浮躁的心性,才能坚定科学理想”。

野外考察期间,张振华经受过一天7次冰雹突袭的考验,严重的高原反应曾让她头痛脑胀、眼压升高,以至于两天都无法睡觉,但她凭借坚强的意志挺了过来,并在科考一线积累了大量宝贵的一手科研资料。

作为几次江源综合科学考察中唯一的女队员,张振华已经记不清有多少人问她:一个女同志,为什么要做这么艰苦的工作?张振华坚定地说:“为的就是弄清气候变化下我们应该如何更好保护高寒草地,为青海、为牧民作出自己的一点贡献。”

艰难困苦 玉汝于成

从15亩人工草地的“管家”到深入研究高寒草地的女科学家,从洋溢青春气息的青年到带领团队、指导学生的研究员,张振华怀揣科研梦想,砥砺前行。她为探索青藏高原奥秘付出的努力,得到了鼓励、肯定和赞誉。

主持/参与国家级等科研项目9项,获得“中国科学院院长奖”“西藏自治区科学技术奖一等奖”“青海省自然科学奖一等奖”等奖项,获得中国科学院兰州分院“优秀女性科技工作者”“优秀导师”荣誉称号……比起获得的荣誉,张振华更关注的是青藏高原生态保护这项艰巨而长久的任务。

2022年1月,中国科学院西北高原生物研究所面向全国公开招聘海北站站长。经过材料审核、现场答辩、专家投票,在这里开展研究工作的张振华被任命为站长。

有同事曾问她:“要照顾老人、孩子,还要教导学生、带领团队,如今再接手海北站,你不累吗?”张振华回答:“作为中国科学院的研究人员,必须担起海北站的‘国家贵’;作为一名拥有十几年站龄的‘海北人’,必须接过接力棒,传承和发扬海北站老一辈科学家的‘牦牛精神’,把海北站的蓝图绘到底。”

气候变暖引起的冻土融化如何导致草地退化?退化的草地如何恢复植被覆盖度?什么样的草能在海拔4000米以上的高原茁壮成长?带着这些新的科学问题,张振华——这朵扎根青藏高原的铿锵玫瑰,将带领团队继续他们的科研之路。

(作者单位:中国科学院西北高原生物研究所)