

研究显示种群仍保持一定的遗传多样性水平 华南虎再啸山林不是梦

◎实习记者 李诏宇

“锯牙钩爪利如锋，一啸寒生万壑风。”自古以来，虎尤其是华南虎因其威猛的外表和蕴含的深厚文化意蕴而深受中国人的喜爱和关注。

然而近百年来，随着栖息地的破坏和盗猎的影响，华南虎在中国几乎绝迹，野外难寻虎踪。所幸，由于保护得及时，华南虎得以在动物园人工养殖的环境中繁衍生息，没有步履海虎、巴厘虎、爪哇虎的后尘。

国虎幸存绝非“天佑”，在这背后，其实是数十年来动物保护工作者的不懈努力。

前不久，一个与华南虎有关的好消息传来：中国科学院昆明动物研究所博士生涂小龙、广州动物园（广州市野生动物研究中心）正高级兽医师陈武等研究人员，对来自4家主要动物园的29只华南虎进行了基因组测序。研究表明，经过将近30年的努力和科学管理，华南虎种群中仍然保持着适度水平的遗传多样性，甚至出现了两个遗传上差异明显的“家族”。4月18日，相关论文发表于《BMC生物学》。

专家认为，此研究表明华南虎的保护或将迎来新的曙光。只要时机成熟，虎啸山林可期。

华南虎种群恢复潜力较好

作为唯一独产于我国的虎亚种，华南虎曾广泛分布于广东、湖南、江西、广西等地。20世纪50年代，我国华南虎数量还有数千只之多，甚至一度在某些地区形成了所谓“虎患”。

“虎患”从根本上来讲是人虎争地引起的冲突。在历史上，这种冲突便存在。民间广为流传的“典韦逐虎过涧”“武松打虎”等传说故事，就是这种冲突的体现。只不过随着近百年来人口的迅速膨胀和生产力的飞速发展，人虎冲突愈演愈烈。最终，由人类用地扩张引起的栖息地丧失以及猎杀行为，导致华南虎在野外存活较少。

“目前国内动物园中有200多只圈养华南虎，都是贵阳黔灵公园来自贵州省的1雄虎2雌虎和上海动物园来自贵州省的1雄虎1雌虎及来自福建省的1雌虎的后代。”论文共同第一作者、广州动物园（广州市野生动物研究中心）博士王晨对记者说。

既然现存的圈养华南虎是6个个体的后裔，人们不禁忧虑：华南虎是否是猎豹等大型猫科动物一样，已经陷入因极度近亲繁殖种群难以存续的境地？“此次研究表明，这种情况并不存在。”论文共同通讯作者涂小龙表示。

涂小龙介绍，在此次研究中，研究人员利用高通量测序技术，组装出了染色体水平的高质量华南虎参考基因组，为今后对华南虎基因的功能研究与遗传保护提供了重要的依据。

“利用组装好的参考基因组，我们对29只圈养华南虎进行了全基因组重测序，并结合网上已有的苏门答腊虎、东北虎、孟加拉虎等6个虎亚种40余个个体的基因组数据，通过计算得知华南虎的遗传多样性在这些亚种中并非最低的。”涂小龙说，“我们通过群体遗传结构分析发现，现存圈养华南虎种群中存在两个‘家族’，即上海系和贵阳系。我们还发现，当前华南虎种群中几乎不含有其它虎亚种的血缘，这说明在过去几十年来，圈养华南虎种群得到了相当成功的保护。”

涂小龙进一步指出，华南虎基因组中纯合区域的总体水平较高，这种高度近交的现象应该是近60年来6只圈养华南虎近交产生的结果。“然而，与其它5个虎亚种的数据相比，华南虎基因组中的高、中两种有害突变的纯合子比例明显低于其它虎亚种，这表明华南虎的基因组正在经历清除高、中两种有害突变纯合子遗传负荷的过程。”涂小龙说，“通俗地讲，尽管近亲繁殖的情况客观上存在，但华南虎的基因组正在顽强地‘自愈’，且成效十分显著。”

华南虎种群的遗传学研究表明，现存华南虎种群的遗传多样性处于中等水平，具有较好的种群恢复潜力。华南虎种群希望犹存。

华南虎种群的

遗传学研究表明，现存华南虎种群的遗传多样性处于中等水平，具有较好的种群恢复潜力。

华南虎种群希望犹存。



广州动物园（广州市野生动物研究中心）供图

科技助力华南虎保护工作

研究显示，目前华南虎仅有上海系和贵阳系两个主要的“家族”，这个结论是如何得出的？

王晨介绍，研究人员利用全基因组中的SNP位点进行群体遗传结构分析，发现构建系统发育树和Admixture软件分析均显示，当前圈养华南虎种群分成两个分支（上海系和贵阳系两个祖先遗传背景）以及兼具两个遗传背景的混合个体。此研究揭开了现存圈养华南虎两大“家族”之谜。

“由于圈养华南虎祖先数量过少，即使中国动物园协会华南虎CCP（一级管理项目）工作组建立了圈养华南虎的合作繁育机制，圈养华南虎群体间繁育种质的交流仍然比较有限。数十年来，经过遗传漂变，华南虎的两大‘家族’随之自然形成。”王晨表示，“基于研究结论，我们应该进一步加强两个华南虎群体的遗传交流，避免小种群内更高的近交，最大程度维持华南虎的种群遗传多样性。”

除了利用传统的繁育控制手段提高遗传多样性之外，近年来，基因编辑和辐照、诱变药物等新兴科技手段同样引起了人们的关注。那么，这些手段是否可行？

在中国科学院广州生物医药与健康研究院研究员赖良学看来，答案显然是否定的。“采用上述手段来改变华南虎的基因序列，从而达到提高多样性的目的，有理论上的可行性，但总体上还是行不通。”赖良学表示，“辐照、诱变药物对动物基因的改变是随机的、不可控制的，可能诱导出不正常的表型，反而会对濒危动物产生严重的危害，因此不适合在濒危动物上实施；就基因编辑而言，目前的技术水平需要大量华南虎的受精卵和代孕母虎才能进行，这就要求受试动物有一定的种群规模，不可能适用于仅有两百余只的华南虎。”

赖良学说，尽管上述手段不太可行，但其他科技手段可以有效助力华南虎保护。“例如，通过诱导多能干细胞技术，我们可以将华南虎成熟的体细胞诱导成干细胞，然后利用干细胞的多能性，让其分化为精子或卵子，从而提高华南虎的繁殖能力。”赖良学说，“我们曾与广州动物园合作开展过相关研究，但仍有许多技术细节尚待探索。”

多方协力让华南虎“虎虎生威”

论文共同通讯作者陈武介绍，中国动物园协会早

在20世纪八九十年代就充分意识到华南虎抢救性保护的必要性，并于1995年成立了华南虎保护协调委员会。该委员会将散落在全国各个动物园的华南虎当成一个种群来管理，统一调配种源开展合作繁育，避免近亲繁殖。此后，委员会还建立了华南虎的谱系簿，对华南虎进行科学配对管理，并在中国动物园协会的协调组织下，开展了华南虎精液评估、华南虎人工哺育技术、华南虎基因污染个体鉴定、华南虎重要疫病防控等研究工作，解决了一系列圈养繁育上的重大问题。有关部门还筛选了部分优秀华南虎个体，先后送到了福建省梅花山和南非等地开展野化训练工作，并取得了一定进展。

“通过几代人的艰苦奋斗，华南虎种群规模终于从6只发展到了200多只。”陈武欣慰地说，“本次研究证实此前华南虎种群遗传管理卓有成效。”

陈武表示，在华南虎的抢救性保护工作中，还有很多问题需要攻关和克服。

“毋庸讳言，在华南虎抢救性保护的60年当中，尽管我们做出很大的成绩。但种群中已经发现了近交衰退的问题，例如较低的幼崽存活率。”陈武说，“我们需要对华南虎基因组中一些纯合致死的隐性基因和突变速率进行分析研究，进而更好地阐明华南虎近交衰退的机制，并在基因层面精准地指导繁殖配对，促进华南虎的保护管理。”

专家一致认为，应该建立华南虎种质资源库，构建华南虎基因组图谱，以更加全面地保存和记录华南虎的遗传信息。

“此外，通过建立个体基因组数据库，我们可以科学地进行健康管理、疾病预防和育种指导。”涂小龙指出。

陈武认为，一个连续、面积广阔且资源充足的原生栖息地生境对华南虎的生存至关重要。栖息地生境的恢复是野外种群复壮的关键要素。因此，要保护好华南虎，首先要保护好其赖以生存的自然环境。

“我们圈养华南虎的最大目标是为野外种群提供优质种源。一方面，我们要加强华南虎疾病的防控，保障华南虎种群的健康；另一方面，我们要加强华南虎种群的管理，保障华南虎种群永续发展；最重要的是，社会和公众应该充分认识到华南虎保护对于生态文明建设和生物多样性保护的重要意义，加强资金、设施、人才资源的投入，进一步完善管理措施，特别是加强华南虎个体的移动管理，为保育机构之间适龄华南虎的合作繁育提供便利。”陈武说，“我相信，在各方的共同努力下，华南虎一定会迎来更加美好的明天！”

新知

树干加粗生长

动力来自两个干细胞“工厂”

◎洪恒飞 周炜 本报记者 江耘

植物的维管组织系统是自然界中尤为精妙的器官，类似于动物的骨骼与血管，能在支撑植物身躯的同时传输营养和水分。在木本植物中，次生维管组织发生与发育的分子调控过程还有大量待解之谜。

5月1日，国际学术期刊《分子植物》以封面论文的形式刊登了浙江大学生命科学院博士杜娟与合作团队的科研成果。联合团队系统观察并研究了木本植物维管组织系统的发生与发育过程，发现植物次生维管组织中存在两个相互独立的干细胞中心，颠覆了传统认知。

这一研究首次系统解析了植物次生维管组织干细胞的起源发生与发育过程，绘制了维管组织干细胞及其衍生细胞在各个分化阶段的细胞形态结构与特征表达基因图谱，为进一步研究陆生植物维管组织系统演化提供了重要的资源。

两个荧光信号引出全新认知

现有研究认为，大约4亿年前，蕨类植物首先演化出了维管系统，这成为植物由水生到陆生拓展的关键演化性状。维管系统能让植物离开水生环境，从土壤中吸收水分进行长距离运输，参与叶片的光合作用，固定大气中的二氧化碳并释放氧气。

相对于草本植物，多年生木本植物的维管组织系统更为复杂高效。它们在初生维管组织的基础上，进一步演化出了次生分生组织——维管形成层。维管形成层干细胞是树木茎干加粗生长以及逐年积累木材组织的动力中心，在树木的加粗生长中起到了“发动机”的作用。

维管形成层的干细胞通过平周分裂分化形成木质部——木材组织，同时通过光合作用将太阳能和二氧化碳固定并储存在木材组织的细胞壁中，完成生物固碳的过程。因此，林木维管形成层的活性决定了木材的产量、材性以及森林碳汇和森林木材蓄积量的效率。但是目前，在维管形成层的结构组成与活动规律上还有大量未解之谜。

1873年，德国植物学家萨尼奥(Sanio)提出了维管形成层干细胞是由一层干细胞组成的假说：维管形成层区域中有一层具有双向分裂能力的干细胞，即向外侧分裂形成韧皮部母细胞，向内分裂形成木质部母细胞。

这个“一层干细胞”的假说，如今仍被教科书普遍采用。但由于技术方法的局限，这一假说一直缺少实验证据的支撑。

对此，2018年，杜娟选择木本模式研究植物——杨树。她设计了一项验证实验，将杨树茎维管组织的原位杂交切片放到激光共聚焦显微镜下观察。她预估，如果顺利，干细胞特征表达的基因探针将显示一个闪亮的荧光信号，它所在的位置就是次生维管组织的“发动机”——干细胞中心。

但奇怪的是，醒目的荧光信号竟然来自于维管组织内的两个不同区域，一个在韧皮部，一个在形成层，并不是学界普遍认为的——维管组织中仅在形成层区域存在一个干细胞中心。

“那两个荧光信号激起了我的好奇心，也指引着我此后5年的研究。”杜娟说，当年她看到的，实际上是人们此前未真正“看清楚”过的区域。那里发生的事，关系到拥有百年寿命之久的树木的茎干怎样变粗以及木材怎样形成。

追踪两类干细胞群生成过程

近5年来，杜娟通过采用3组不同层面的研究策略与实验方法，首次建立起茎维管组织的空间转录组学的研究技术方法，将电子显微镜观察与空间转录组测序相结合，来追踪研究杨树的茎从顶端原形成层干细胞逐步发育形成次生维管组织干细胞的连续过程。

“解析这一连续发育过程中的细胞形态学与特征基因表达图谱，就能回答一系列问题。”杜娟解释说，空间转录组测序技术能够有效地将细胞的空间位置信息与细胞类型特异表达的特征基因信息同时解析出来，它可以解答研究者观察到的干细胞的特征表达基因。

通过连续电镜切片的观察，杜娟发现杨树茎从初生生长阶段起就出现了分化：茎顶端的原形成层干细胞的衍生细胞在离心方向（韧皮部）和向心方向（木质部）两个组织区域中，分别形成了形态差异显著的两类干细胞群。

“使用空间转录组学方法也再次确定了这一发现。”她介绍说，在韧皮部中的干细胞群，细胞形态特征与原形成层干细胞类似，具有细胞分裂能力，负责韧皮部细胞的形成；在维管形成层区域的干细胞群，由已知的形成层纺锤状原始细胞和射线原始细胞组成，负责木质部细胞的形成。

森林木本植物是陆地生态系统的主体，也是陆地生态系统最重要的贮碳库。木本植物通过光合作用，将太阳能和二氧化碳转化成有机物储存在木材组织中，完成生物固碳。

杜娟认为，本次研究为筛选维管组织发育与木材形成的关键调控因子进行分子育种、改良植物株型、调控植物生长发育与抗逆提供了新的研究视角。在此基础上，团队还将进一步解析林木干细胞协同调控林木纵向向高生长与径向加粗生长的机理，希望获得关键的候选功能基因，并应用于培育具有高效碳汇能力的林木新品种，以期获得具有高附加值的林木新产品。



视觉中国供图

4.6亿年前的“海绵宝宝”重见天日

◎本报记者 张晔

4.6亿年前的“海绵宝宝”长什么样？软躯体生物化石为何特别珍稀？它们的发现对动物演化研究有哪些帮助？5月1日，一项发表在国际期刊《自然—生态与进化》的成果论文为我们揭开了4.62亿年前奥陶纪海底“迷你世界”的奇妙景观，也为早期动物小型化研究提供了一个新视角。

中国科学院南京地质古生物研究所的国际科研团队在英国威尔士中奥陶世地层中找到一个保存有大量精美软躯体化石的特异埋藏化石库，发现该生物群中的170多种生物，其中海绵动物最为丰富，约40种。科研人员将其命名为城堡滩生物群。

保存软躯体生物的特异埋藏化石库

化石是研究地球历史、生物演化的重要的直接证据，特别是保存有软躯体的生物类群化石，为了解早期生物的形态和生态群落特征提供了宝贵的窗口，此种生物类群被称为“特异埋藏化石库”。

此次，由南京古生物所外籍科学家约

瑟夫·鲍廷(Joseph P.Botting)、副研究员马俊业与研究员张元动等组成的国际科研团队在英国威尔士中部城堡滩采石场发现了一个“布尔吉斯页岩型”特异埋藏化石库——城堡滩生物群。

布尔吉斯不仅是个地名，更是特异性埋藏的代名词。1909年，在加拿大西南部的寒武纪中期布尔吉斯页岩中发现大量软躯体生物化石，“布尔吉斯页岩型”由此得名。这类岩层保存下的化石库，不仅可以保存动物骨骼，还能保存软体形态的组织、器官。对研究远古软躯体生物的科学家来说，“布尔吉斯页岩型”意味着更高的价值。但保存完好的“布尔吉斯页岩型”化石库通常限于寒武纪，而在年代更新的奥陶纪地层中鲜有发现。

该团队通过对笔石生物地层的研究发现，城堡滩生物群所处的时代为中奥陶世达瑞威尔期，距今约4.62亿年，处于奥陶纪中期，当时该地区位于阿瓦隆尼亚大陆板块，位于南半球温带地区。

马俊业介绍，截至目前，已发现城堡滩生物群的170多种生物，涵盖海绵动物、刺细胞动物、棘皮动物、脊索动物、节肢动物、软体动物、昆虫类、曳鳃动物、苔藓动物、环节动物、腕足动物等多个动物门类。其中，海绵动物最为丰富，约40种。

其中一种海绵动物属于现代六射海绵的干支类群，已具有了现代海绵动物的一些原始特征。

同时，这些化石中大多保存着软组织，如消化系统和神经组织如眼睛、视神经和大脑等。该生物群最大的特征是动物体型普遍较小，大多数生物体长1—5毫米，可以说是海底的“迷你生物世界”，这也为研究早期动物小型化提供了一个新的视角。

“小不点”见证历史性生物演变

奥陶纪生物多样性大幅度增加，在科学界有“奥陶纪生物大辐射”之称。那个时代的生物，不再囿于近海，而是向更广阔的大洋进军。近岸浅海、远洋深海、水体表层、海洋底部都被种类丰富的生物占领，此后，海洋开始真正热闹起来。

和早奥陶世“布尔吉斯页岩型”动物群相比，城堡滩生物群无论是在总体生物方面，还是在软躯体生物方面，都具有较高的生物多样性。

在这个毫米级的“迷你生物世界”中，生物种类多达170余种，而且已经构成了一个比较完整的食物链。在食物链顶端

的是一种长相类似寒武纪欧巴宾海蝎的节肢动物，属于捕食型生物。而位于食物链底端的是各种海藻，它们是各种滤食性动物的“主菜”。食物链的中部则是海绵动物、腕足动物、笔石等生物。

因此，研究团队认为，城堡滩动物群不仅提供了海洋动物群由寒武纪生物群向古生代生物群演变的新视角，也揭示了海洋生态平衡系统从寒武纪捕食型主导向古生代滤食性动物主导类型转变的新阶段。

何种原因促成了这种变化？马俊业推测，寒武纪末—奥陶纪初期，海洋环境发生了变化，浮游生物大量出现，促进了滤食性动物的繁盛。同时，研究人员还发现了一些节肢动物中现代泛甲壳类生物的干支类群，进一步丰富了当时的生物多样性。

但与以往发现的奥陶纪化石相比，城堡滩生物群明显体型更小。马俊业表示，这些生物具有生长发育到一定阶段后才会出现的用以详细分类的具体特征，因此可以初步排除生物处于幼年阶段的可能性。同时，低氧环境导致生物体体型较小的观点也难以解释城堡滩生物群丰富的生物多样性。因此，这个数亿年前海底的“迷你生物世界”，仍有待进一步研究。