DOI: 10.20152/j.np.202310240021

祝常悦, 钟旭凯, 王昱心, 范鹏飞. 海南热带雨林国家公园旗舰种海南长臂猿保护的历史与未来. 国家公园(中英文), 2023, 1(4): - .
Zhu C Y, Zhong X K, Wang Y X, Fan P F. Conservation on the Hainan Tropical Rainforest National Park flagship species Hainan black-crested gibbon (*Nomascus hainanus*) in the history and the future. National Park, 2023, 1(4): - .

海南热带雨林国家公园旗舰种海南长臂猿保护的历史与未来

祝常悦, 钟旭凯, 王昱心, 范鹏飞*

中山大学生命科学学院, 广州 510275

摘要:海南长臂猿(*Nomascus hainanus*)的保护是国家公园体系下,整合政府、NGO、科研机构、社区与媒体等多方力量,拯救濒危物种的精彩案例。本文回顾了海南长臂猿分类地位的变动和该物种的保护与研究历史;综述了与海南长臂猿保护相关的生物学与生态学信息,包括种群历史与现状、种群结构与繁殖参数、家域与食性、栖息地选择及遗传多样性的研究结果;列举了海南热带雨林国家公园(HTRNP)成立后,实施的海南长臂猿保护措施;从种群动态、繁殖、健康监测及栖息地的识别、修复与管理等方面展望了海南长臂猿保护的未來。本文指出,国家公园调动了空前的资源投入到海南长臂猿的研究与保护中,目前的种群恢复状况也肯定了这一举措。然而,该物种仍面临遗传多样性下降、栖息地破碎化、人为干扰、极端天气气候事件等多方面的威胁,须加强研究的前瞻性和创新性,并重视科研成果对保护行动的转化。

关键词:国家公园;海南长臂猿;海南热带雨林国家公园;濒危物种保护

Conservation on the Hainan Tropical Rainforest National Park flagship species Hainan black-crested gibbon (*Nomascus hainanus*) in the history and the future

ZHU Changyue, ZHONG Xukai, WANG Yuxin, FAN Pengfei*

School of Life Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

Abstract: The conservation of Hainan black-crested gibbon (*Nomascus hainanus*) is a significant case of the new Chinese National Parks system that integrates the government, NGOs, research institutes, local communities and the public media to save endangered species. This article reviews the changes in the taxonomy of Hainan black-crested gibbon and the research and conservation history of this species. The basic biological and ecological information of *N. hainanus* was summarized, including the past and current population status, population structure and reproductive parameters, home range and diet, habitat preference and genetic diversity. The protection measures for Hainan black-crested gibbon have implemented since the establishment of Hainan Tropical Rainforest National Park (HTRNP) were outlined. The future is prospected from monitoring population dynamics, reproduction and health, while habitat identification, restoration and management. HTRNP has invested extraordinary resources into the research and conservation of Hainan black-crested gibbon which undeniably facilitate the current population status. However, this species is still facing various threats such as decline in genetic diversity, habitat fragmentation, human disturbance, and weather and climate extremes. Thus, it is urgent to develop pioneering and innovative studies, and focusing on the application of scientific findings into conservation actions.

Key Words: National Parks, Hainan black-crested gibbon (*Nomascus hainanus*), Hainan Tropical Rainforest National

基金项目:海南国家公园研究院(KY-2000105-KT)

收稿日期:2023-10-24; 采用日期:2023-12-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fanpf@mail.sysu.edu.cn

Park (HTRNP), endangered species conservation

1 海南长臂猿的分类地位与保护研究历史

海南长臂猿(*Nomascus hainanus*)是全球现存 20 种长臂猿科(Hylobatidae)动物中种群最濒危的物种,也是唯一一种中国特有的类人猿,仅分布于海南岛^[1]。

1892 年,Oldfield Thomas 描述了英国自然历史博物馆馆藏的一只于 1891 年在海南岛被捕获的黑色长臂猿标本,并将其命名为“*Hylobates hainanus*”^[2]。之后的约一个世纪,海南长臂猿的分类学地位几经变动,争议不断^[3]。1904 年,De Pousargues)认为其与越南北部的 *H. nasutus* 为同一物种,直到 2004 年仍被 Brandon-Jones 等研究者归为东黑冠长臂猿(*N. nasutus*)的“海南亚种”^[4-5]。而 Pocock 和 Welch 分别在 1905 和 1911 年根据各自对笼养海南长臂猿个体的观察,指出其独特的形态与鸣叫特征,认为应保留独立物种(*H. hainanus*)的地位^[6]。1993 年,Delacour 在 Pocock 于 1927 年命名“黑长臂猿(*H. concolor*)”的基础上,提出“黑长臂猿海南亚种(*H. c. hainanus*)”的称呼并沿用至 1990 年代^[7-11]。随着分子生物学的发展,1996 年,宿兵等采用非损伤性 DNA 基因分型技术建立了中国“黑长臂猿”分子系统树,结合形态学研究的报道,建议将 *H. hainanus* 提升为独立物种^[12]。张亚平于 1997 年通过线粒体细胞色素 b 基因建立的系统发育关系明确了冠长臂猿属(*Nomascus*)的四个分支,Monda 与合作者在 2007 年对该属线粒体 DNA 高变区-1(HVR-1)的分析支持 *N. hainanus* 和 *N. nasutus* 作为两个独立物种^[13-14]。2006 年的世界自然保护联盟红色名录(IUCN Red List of Threatened Species)评估会议上,海南长臂猿被与会专家正式作为一个独立物种对其种群状况进行评估,并就相关保护议题开展讨论^[15]。

17 至 19 世纪,陵水、会同、琼山、儋州、崖州等州县志中皆见“猿”的记载;20 世纪初至 50 年代,海南长臂猿曾广布全岛 12 县^[8]。1978 年春,刘振河等人开展了针对海南长臂猿种群的首次科学调查,在五指山、黎母山、尖峰岭、霸王岭和鹦哥岭共发现 7—8 个家庭群,个体数量约 30 只^[8]。然而,20 世纪 70 年代海南长臂猿面临巨大的捕猎压力,仅东线开发时期,霸王岭林区就有 30—40 只长臂猿被猎杀^[8]。该报道首次指出生境退缩与恶化、捕猎猖獗是导致海南长臂猿濒临灭绝的主要因素,建议采取宣传、立法、加强自然保护区管理建设、开展长臂猿生态生物学专题研究等等有效措施^[8]。1980 年即在霸王岭地区成立了以保护海南长臂猿为目的的省级自然保护区,1988 年升级为国家级自然保护区,海南长臂猿也被《中华人民共和国野生动物保护法》列为国家一级保护动物^[16]。

1980—1990 年代,岛上除霸王岭外其它地区的海南长臂猿种群相继走向灭绝^[17-18]。自 1984 年,徐龙辉、余斯绵、袁喜才、张荣祖、刘振河与江海声持续监测仅存于霸王岭片区的海南长臂猿种群^[19]。1985 年,首个海南长臂猿野外监测站建立^[19]。通过 6 年的行为观察和栖息地调查,刘振河的团队在霸王岭自然保护区内共发现海南长臂猿 4 群 21 只^[19]。1982—1989 年,共记录到 12 只婴猿出生,其中 11 只存活,但仅有 3 只雌性,性比严重偏雄^[19]。Liu 等等描述了海南长臂猿在婴猿、青少年、亚成年、成年和老年 5 个年龄段体型、毛色及其它形态学和行为学特征,为海南长臂猿积累了重要的生物学基础信息^[19]。此后,关于海南长臂猿的家域、食性、繁殖、种群结构等问题持续为生物学与生态学者们关注,吸引了众多研究与保护团队参与,也引发了大量的争论与探索。

1994 年,海南公布了商业伐木禁令,以保护海南岛上剩余的热带森林。霸王岭国家级自然保护区投入工作人员(周亚东、张剑锋、陈庆、郑海强、陈少伟等)专职进行海南长臂猿的监测与保护。至 1998 年,海南长臂猿的数量恢复到 4 群 23 只;而至 2003 年又减至 2 群 13 只,且仅分布在保护区内斧头岭周围有限的季雨林中^[20-21]。

本世纪以来,霸王岭国家级自然保护区强化野外巡护,开展了海南长臂猿及其栖息地调查监测、科学研究、保护宣传教育等系列工作;采取了停止森林采伐、栖息地改造等重大举措。自 2002 年以来,海南省每年安

排专项经费强化野外巡护看守,指导保护区与周边社区签订社区共管协议书。2014年3月,“海南长臂猿保护博鳌国际论坛”上,逾50位专家及相关人士报告了海南长臂猿的保护现状和受到的威胁,分制约种群增长的因素、栖息地面临的困境、人为活动影响、政策与管理四个主题组织专家讨论,汇总为《海南长臂猿国际保护规划研讨会总结报告(International Conservation Planning Workshop for the Hainan Gibbon: Final Report)》,并发布愿景宣言^[22]:

“愿海南长臂猿的健康种群得以在完整的森林生态系统中增长。愿保护海南长臂猿能在当地社区、广大公众、政府与相关企业的共同支持下,在未来成为海南甚至全中国人的骄傲。”

近20年来,中国科学院动物研究所、嘉道理农场暨植物园、伦敦动物学会、中山大学、海南大学、贵州师范大学、中国林业科学研究院、中国热带农业科学院、北京林业大学、海南师范大学等多家研究机构围绕海南长臂猿的种群动态、生态需求、繁殖生物学和保护开展了大量的研究工作。

2 海南长臂猿的生物学与生态学信息

2.1 种群动态

2000—2002年,斧头岭周围可能还有4个家庭群^[21]。2003年下降到2个,分别是位于斧头岭东侧的A群和北侧的B群,每群均有2只可繁殖的雌性^[17]。第三个已知的家庭群(C群)形成于2011年,位于A群东南方更靠近人类聚居区的森林内,也包括2只成年雌性^[23]。2015年在B群附近又发现了以一雄一雌配偶形式存在的D群,且在发现时已育有后代^[24],该家庭群于2019年观察到新增了一只雌性并于2020年诞下1只婴猿^[25]。2019年在斧头岭北侧直线距离约8KM的东崩岭发现了一夫一妻的E群且已成功繁殖一胎^[26]。2020年的调查估测海南长臂猿共5群33只^[25]。2021年B、D群分别新生1只婴猿。2022年5月在斧头岭与东崩岭之间的保联岭新形成一夫二妻的家庭群F群。2022—2023年A、B、D群分别新生1只婴猿,C群新生2只婴猿,加上已确定的独猿个体,海南长臂猿的种群恢复到6群近40只^[25,27]。

2.2 群体结构与繁殖参数

海南长臂猿主要营一夫二妻的家庭结构,即一个家庭群中长期同时生活着一只成年雄性和2只与该雄性配合鸣叫并交配繁殖的成年雌性,以及它们未成年的后代^[28]。

然而,已知的海南长臂猿家庭其结构表现出高度变异。1989年首次报道的海南长臂猿群体大小为4—7只,已观察到一雄一雌或者一雄多雌两种情况,刘振河等研究者认为后者是群内成年个体因缺少合适的栖息地和配偶无法迁出造成的^[19]。Li等根据群体结构和行为观察结果将海南长臂猿A、B、D群为一夫二妻制,C群描述为多雄多雌制,E群为一夫一妻制,并提出海南长臂猿的社会结构受到栖息地质量、性比偏差和种群动态等因素影响,具有一定的可变性^[27]。2021年3月—2022年12月中山大学范鹏飞团队对海南长臂猿A、B、C及F群的跟踪观察发现:A群的两只成年雌性中年龄较大的一只已接近14年未繁殖但仍留在群内。A、B、C群都曾有群内雄性亚成年后代在群内鸣叫达一年以上后离群,暂时营造了“多雄多雌”的“假象”。一雄多雌的家庭中雌性经常通过理毛主动维持社会关系,当B群与F群相遇时两群的雌性会伴随行动,对它群雌性进行警叫和驱逐,表明其社会关系紧密,并非以容忍和回避的方式相处,表明一夫二妻制在海南长臂猿中是一种稳定的配偶制^[29]。尽管C群雌性的确会与两只雄性都交配,但雄性之间会有激烈追逐行为,且其中一只雄性虽会参与鸣叫但取食、移动、过夜时常常与大群相距较远,尚不能确定C群这种多配制是稳定的社会结构^[29]。

Zhou等于2002—2004年对海南长臂猿的繁殖和交配行为进行了29个月的观察,报道了A、B两群这期间的繁殖情况:海南长臂猿的繁殖间隔约24—30个月,孕期约136—137日,哺乳期约12—18个月^[30]。两群都仅观察到一只雌性生育后代,另一只雌性由于年老已无法繁殖,但仍留在家庭群内与其它成员同步活动^[29]。海南长臂猿雌性约7—9岁开始繁殖,根据其它野外冠长臂猿的寿命推测可能超过40岁,繁殖年限约20年^[19,31—33]。

2.3 家域

1989年,Liu等估测每个家庭群的家域约300—500 hm²,在山脊或村寨附近两群间存在几十至数百米不等的家域重叠,一群每日的活动范围约50—100 hm²[19]。早期关于海南长臂猿家域研究结果为每群300—987 hm²[19,31],在长臂猿科的所有物种中占据最大的家域面积[16]。Bryant和同事对海南长臂猿A、B、C群进行了跟踪观察,收集了35天共75小时跨雨、旱两季的长臂猿活动位点数据,并使用多种家域估算方法重新对海南长臂猿的家域面积进行了评估,得到的家域估算结果为1—2 km²[34]。王昱心在对海南长臂猿B、C两群进行习惯化后,使用2022年1月—12月每月至少50小时(约6日)行为学跟踪获得的GPS位点数据,最小凸多边形(MCP)法得到B群年家域面积207.5 hm²、C群113.9 hm²,核密度估计(KDE)法估测B群年家域229.9 hm²、C群116.8 hm²,与Bryant等的结论更接近[29,34]。

2.4 食性

长臂猿被认为是依赖原始森林生态系统的食果性树栖灵长类,亦取食叶、嫩叶、花、芽等多种植物器官或部位,食源植物的类型包括乔木、藤本、附生、寄生多种,还偶尔利用虫瘿、虫卵、昆虫的成虫、两爬类、鸟蛋、雏鸟甚至松鼠、鼯鼠等动物性食物[35—39]。海南长臂猿已知食谱中,果实占比高于同属的东黑冠、西黑冠和北黄颊长臂猿,且偏好取食成熟的果实,高度适应热带季雨林的生存环境[37—38,40—43]。1989年,Liu等识别了119种海南长臂猿的食源植物,监测了15种果实性植物的物候[19]。刘振河和覃朝锋根据一年期的行为观察列出了40种海南长臂猿喜食的物种[44]。2006年,华南农业大学和霸王岭保护区一同应用样方调查法,在4800 m²的样方中共发现41种被海南长臂猿采食的植物,在群落重要值排名前20名的物种中占11席,判定现生栖息地食源植物物种比较丰富[45]。Deng and Zhou整理了海南长臂猿A、B、C群跨越13年的取食行为观察数据,报道了来自51科、83属共133种食源植物和5种动物性食物[46]。此研究结果支持了海南长臂猿以食果为主,突出强调其对樟科(Lauraceae)与桃金娘科(Myrtaceae)植物的利用显著高于其它科,结合物候监测数据作者猜测樟科全年结果的特性有利于其在食物匮乏的季节为海南长臂猿提供果实性食物[46]。针对海南长臂猿食源植物的物候调查也试图证明上述结论,Du等等在对海南热带雨林国家公园内维管植物普查的基础上,监测了139种海南长臂猿潜在食源植物的物候,以桑科(Moraceae)与樟科物种的多样性及多度推断其为海南长臂猿的重要食物资源,并预测樟科可与桑科果实形成互补,作为海南长臂猿在1—5月的替代性食物[47]。Zhong等等首次对习惯化的海南长臂猿B、C群的食性进行了年周期观察,通过大量、连续的行为学观察构建了海南长臂猿的全年量化食谱[39]。自2021年9月至2022年12月共获取B群取食记录6539条,C群逾万条,报道两群共取食146种植物,来自111属,涉65科[39]。Zhong等等的结果也支持海南长臂猿高度依赖果实性食物,两群全年平均食果(含榕果)比例高达85.36%[39]。他们还通过量化食谱筛选出了8种对于海南长臂猿极其重要的食源植物,包括:笔管榕(*Ficus subpisocarpa*),白颜树(*Gironniera subaequalis*),黄桐(*Endospermum chinense*),黄叶树(*Xanthophyllum hainanense*),桃榄(*Pouteria annamensis*),高山榕(*Ficus altissima*),秋风(*Bischofia javanica*)和纽榕(*Ficus sarmentosa*)^[39]。此外,该研究发现这两群海南长臂猿取食10种樟科植物,樟科植物虽然在海南长臂猿的栖息地中丰度很高,但是对海南长臂猿的取食贡献非常低,仅有1.59%,这一结果说明樟科植物并不是海南长臂猿的重要食物,因此并不推荐选择樟科植物用于海南长臂猿的栖息地恢复^[39]。

2.5 栖息地选择

刘振河和覃朝锋最早分析了海南长臂猿栖息地利用的偏好,指出它们倾向于栖息在海拔800—1200 m有高大乔木的沟谷雨林和山地雨林中^[44]。2002—2007年,周江调查了海南长臂猿B群对家域内地形要素和植被的选择利用情况,发现海南长臂猿对坡度和坡向没有明显的选择偏好,但对海拔表现出明显的选择性,最喜800—900 m,700—800 m和900—1000 m次之,很少利用低于700 m或高于1000 m的区域^[30]。王昱心通过B、C群一个完整年周期行为观察积累的共15080个有效海拔位点,计算其不同海拔段的利用偏好指数,发现两群全年都表现出对900—1000 m海拔段的偏好性,而回避利用低海拔段(<800 m)及各自家域内的高海拔

段(B群>1200 m,C群>1000 m);且两群全年海拔段利用分布都与食物斑块分布呈极显著正相关^[29]。毕玉和金崑综合实际跟踪与公开文献筛选出的海南长臂猿分布位点(5群共111个)与10个环境变量数据导入MaxEnt模型,获得当前气候条件下适宜栖息地的分布,并分析其与环境因子的关系,发现海南长臂猿偏向于分布在降雨丰富的区域;对林冠下层的利用率低,对高大粗壮植株的依赖性强^[48]。2023年,华南师范大学的团队运用物种分布模型重建了70年前、50年前和10年前海南长臂猿的适宜栖息地,发现人为干扰与栖息地变化、天然林覆盖率、景观格局指数、与交通干线的距离是影响该物种分布最主要的四个因素^[49]。

2.6 遗传多样性

李志刚等首先利用D-loop区对2008—2009年采自同一个家庭群内6只海南长臂猿雄性的35份粪便样品进行了线粒体遗传多样性研究,发现了4个线粒体单倍型,5个变异位点,单倍型多样性是0.600,核苷酸多样性是0.00829,指出海南长臂猿遗传多样性较低^[50]。Bryant等利用11个微卫星位点比较了海南长臂猿历史种群(馆藏标本,1899—1980;N=8)和2010—2011年种群(N=9)的遗传多样性,发现现生种群的遗传多样性比历史种群至少下降了30%,经历过遗传瓶颈并存在近交风险^[51]。Guo等的微卫星研究也证实与百年前相比,海南长臂猿发生了等位基因丢失^[52]。Guo等于2018年采集了三群12个雄性的36个粪便样品,亦发现5个多态性位点,但只有两个单倍型,单倍型多样性将为0.545,核苷酸多样性是0.00271(根据韩玲,2019修正),表明海南长臂猿遗传多样性处于下降的趋势^[33,53]。黄霞运用分子粪便学手段,从采集的97份海南长臂猿粪便样品,成功识别来自4个家庭群和1只独猿共21个个体^[54]。黄霞发现现存海南长臂猿线粒体控制区多态性位点为5,单倍型数量为2且分布非常不均匀(H1:H2=6:16,核苷酸多样性为0.00306^[54])。从已采样的个体获知,海南长臂猿群内成年雌雄间平均亲缘系数(0.111±0.092)比群间(0.292±0.043)显著更小,微卫星分子标记也显示近交系数小于零,目前海南长臂猿还没有出现近交繁殖的现象,但整体形势已经非常严峻,其平均有效等位基因数量和平均期望杂合度都呈下降趋势^[54]。

3 海南热带雨林国家公园(HTRNP)的海南长臂猿保护措施

2019年1月,《海南热带雨林国家公园试点方案》获批,2019年4月,海南热带雨林国家公园管理局成立。2020年分别出台了《海南热带雨林国家公园总体规划(试行)》、《海南热带雨林国家公园条例(试行)》、《海南热带雨林国家公园特许经营管理办法》等法律法规。海南热带雨林国家公园建设的重点工作之一就是海南长臂猿为代表的生物多样性保护。《海南热带雨林国家公园试点方案》中明确要求“强化科技支撑,设立海南热带雨林国家公园研究机构”。

2019年11月,海南国家公园研究院成立。2020年8月,时任世界自然保护联盟主席章新胜先生发起了“海南长臂猿保护国际研讨会”,呼吁全世界共同努力拯救海南长臂猿。根据之前的行动计划,发布了新的《海南长臂猿保护行动计划框架》。

2020年11月,海南国家公园研究院在海南热带雨林国家公园管理局霸王岭分局、中国林业科学研究院、中国科学院、中国热带农业科学院、北京林业大学、贵州师范大学、海南大学、海南师范大学、中山大学等单位专家的支持下,组织了一次海南长臂猿野外调查,重点聚焦于海南长臂猿数量、种群结构、活动范围、食源植物和栖息地等方面。至2023年11月,这项“年度大调查”已举办四次,为海南长臂猿研究和保护工作提供和更新种群本底数据。

3.1 专题研究

2020年成立之初,海南国家公园研究院即安排2000万元资金开展海南长臂猿保护研究项目,包括海南长臂猿保护的灾害预警方案、疾病预防、种群监测体系、营养生态及与近缘种的比较、繁殖生物学、捕食者与竞争者等研究课题。海南长臂猿栖息地及周边热带雨林生态修复研究项目,包括适宜生境的植被和景观特征分析、活动生态廊道构建有效性及生态系统质量评价、栖息地监测体系建设、退化生境恢复技术及示范等课题。此外,还开展了海南长臂猿等珍稀物种保护和国家公园建设与国际接轨、海南热带雨林国家公园现代治理和

管理体制及可持续发展、海南热带雨林国家公园及生态文明建设法律保障等研究项目。

海南国家公园研究院科研项目以海南长臂猿保护为核心,以海南长臂猿栖息地修复及周边区域发展为主要内容,兼顾海南热带雨林国家公园建设和其他珍稀物种保护,对海南长臂猿的行为、生态、繁殖、营养、生理等方面开展了系统研究,同时也开展了社区可持续发展等与海南长臂猿长远保护息息相关的人文社科类研究。

3.2 学生科研项目

针对 2014 年《海南长臂猿国际保护规划研讨会总结报告》中确定的关键需求,各机构之间开展了学生科研合作项目^[22]。中国科学院动物研究所、海南大学、中山大学、中国林业科学研究院、伦敦动物学会、帝国理工学院(Imperial College London)、伦敦大学(University of London)、伦敦大学学院(University College London)等科研院校的硕博及本科生团队,收集、整理、分析了海南长臂猿的形态学、声学、行为学、遗传学、空间分布等多类型数据,在海南长臂猿种群动态^[25,54]、栖息地选择^[29]、食性与营养^[39,55]、繁殖与扩散^[25,54]、栖息地质量评估^[47,56]、潜在栖息地识别^[48,56-57]和新型监测技术探索^[58-59]等方面积累了指导保护行动的重要信息。针对长臂猿栖息地周边社区的访问调查,厘清了当地社会环境变量,如与海南长臂猿种群衰落、局部灭绝过程的关系,评估了过往科普与保护意识提升工作的有效性,开展了运用参与式绘图(participatory mapping)和小组讨论(focused group discussions)等社会科学方法确定人类活动和长臂猿栖息地空间关系的研究^[60-62]。通过半结构化访谈与专家研讨,评估海南热带雨林国家公园管理的决策过程,特别是有关基础设施建设与扩展,对海南长臂猿及当地多样性的潜在影响,探究结构化决策在保护管理中的有效性,将成为首个应用于中国脉络的保护决策框架,为其他地区提供宝贵的经验^[63]。

3.3 中国智慧、海南经验、霸王岭模式

海南热带雨林国家公园是中国首批十个国家公园试点之一,成立了海南国家公园研究院作为海南长臂猿保护研究的专业机构。先后 10 余所国内外高等院校、科研院所开展或参与了 60 多个研究项目,涉及海南长臂猿种群生态、繁殖行为、栖息地结构、食源植物、保护对策等。通过开展科普宣教提升了全民保护海南长臂猿的意识,出台了系列海南长臂猿保护政策措施,组建了海南长臂猿保护监测队伍。这种结合多部门资源、深入国际合作、在科学指导下开展基于自然的保护行动、统一管理的栖息地修复、加强当地社区参与的保护模式取得了举世瞩目的成效,海南长臂猿种群数量已由本世纪初最少时的 7—9 只,增加到近 40 只,总结的《中国智慧、海南经验、霸王岭模式》得到了国际社会的高度评价^[63]。

4 海南长臂猿研究与保护的未来展望

目前海南长臂猿仍处于种群小、分布范围狭窄的极度濒危状态,面临遗传多样性低、现有栖息地与潜在栖息地连通性差等种群恢复方面的挑战。海南长臂猿因其独特性、稀缺性、无可替代的生态价值吸引了大量科研和保护机构的关注,因此更要避免项目重叠和资金浪费,实现数据共享及科研成果的及时转化。唯有通过准确、严谨的科学研究结果指导保护决策、为保护行动提供依据,才有望持续、稳定地实现种群恢复。

4.1 种群动态与繁殖生态学

近十年来,随着监测和研究力度的增大,观测到迁出个体形成新家庭群及婴猿出生的频次上升,既是保护工作初具成效的好消息,也对种群监测提出了更高的要求 and 新的挑战。未来的海南长臂猿种群动态监测须关注敏感性、及时性和精准性。婴猿出生、亚成体迁离出生群、独猿动向、新群形成、老年或被取代个体下落等信息都是重要的种群变化,可反映整个种群的繁殖潜力,又恰恰是监测实践中目击和追踪难度较大的内容,易错过关键的观察阶段。为了保证获取种群数据的及时性,在建设规范化、专业化海南长臂猿监测队伍的基础上,建议积极应用新技术,尤其是自动化的数据收集方法。嘉道理农场暨植物园与海南大学等团队的工作已证明在重要的食物斑块、树冠层通道和过夜地附近的林冠层安装红外相机,能够拍摄到已习惯化海南长臂猿的清晰影像,并实现雨林环境中的自动识别^[64-65]。中山大学的黄霞利用分子粪便学技术结合行为监测确认了海

南长臂猿个体扩散的过程^[54]。对于未习惯化的家庭群和独猿个体,无人机搭载热成像与地面人工观测相结合、5G 实时传输网络与红外相机相结合等方式可提升海南长臂猿野外监测的时效性和准确度^[66-68]。通过收集鸣叫数据,建立声音数据库,根据海南长臂猿多营一雄二雌社会结构的特点,通过雄性鸣声的个体识别,结合被动声学监测,在海南热带雨林国家公园全域尺度上实现家庭群数量、新家庭形成、雄性取代、亚成年鸣声发育的实时监测和研究^[58-59,69]。进一步建立各繁殖单元个体档案,通过行为观察和遗传学方法,确定配偶关系、亲缘关系、性成熟时间、性激素指标、免疫蛋白指标开展海南长臂猿的繁殖和扩散行为研究,了解新家庭群的形成过程与机制、繁殖规律及潜在的影响因素^[54]。

4.2 种群健康监测

百年来,霸王岭片区海南长臂猿的遗传多样性在持续降低,但显著的遗传多样性丧失在短时间内难以检测,对于极度濒危的海南长臂猿小种群而言,遗传多样性的长期监测必不可少^[51,54]。利用已有的分子体系可以实现对海南长臂猿个体进行跟踪监测,但随着近交的加剧,现有的微卫星位点在未来的个体识别中可能遇到瓶颈,需引入基因组等精度更高的手段,才能更准确地评估该物种整体的遗传多样性和未来的发展潜力。

基因多样性丧失增加了遗传疾病患病与传染性疾病感染的风险。建立疾病监测预警机制,如海南长臂猿与近缘种共患病预防,寄生虫、细菌性、病毒性疾病监测与预防等。随着国家公园内森林植被恢复、人为干扰减少,海南长臂猿种群密度具有明显的上升趋势,靠近人类聚居区和生产生活用地的林区内皆有可能成为独猿迁徙、扩散的通道,甚至新家庭群的潜在栖息地,需及时检测与控制人兽共患疾病、制定海南长臂猿紧急救助预案,确保种群不受毁灭性打击。同时,探讨人工干预救助救护的可能性,择机以海南长臂猿近缘种开展相关技术研究。

4.3 栖息地的识别、修复与管理

曾广布海南全岛 12 县的海南长臂猿种群在数十年间骤缩至霸王岭片区内斧头岭周围有限的热带季雨林中,其生态系统的稳定性和功能完整性也受到严峻挑战。

针对现有种群及栖息地,须在食性、营养生态、肠道微生物、移动认知、栖息地利用等研究成果的指导下,了解海南长臂猿适应现有栖息地环境的机制,进而开展不同尺度的修复与管理实践。如通过多个年周期的行为观察,获得海南长臂猿的量化食谱后,按食谱实地采集取食部分,测定其大分子营养物质与次生代谢物,了解海南长臂猿的能量需求、觅食策略及年际间的变化。结合不同季节肠道微生物、日移动距离与家域利用模式的特点,在景观尺度上对海南长臂猿的栖息地进行评估和分级。关于海南长臂猿的栖息地需求,曾有大相径庭的结论,进而影响着具体的保护决策与实践。1990 年估算四群海南长臂猿总家域面积达 1200 hm²,结合 20 世纪 90 年代霸王岭区域仅 15 km²的适宜栖息地面积,容易得出海南长臂猿种群已接近环境容纳量、有限的栖息地限制了种群复壮的结论^[19,44]。2008 年,周江等研究人员针对当时仅存的海南长臂猿种群给出了 B 群 584 hm²,A 群高达 987 hm²的估算结果,并提出应大力开展栖息地修复与扩大工作^[30-31]。而近年来,使用更精准定位手段、采用更长期且规范化的野外数据、运用多种家域估算方法的团队均给出了最大值为 1.9 km²或 2.3 km²的年家域面积,指出栖息地面积不是限制种群增长的主要因素^[29,34]。与大面积的造林活动相比,关注种群遗传多样性的持续降低和其它人为干扰因素对栖息地连通性造成的破坏是更迫在眉睫的保护行动需求^[29,34]。栖息地修复中食源植物的补种亦面临相似的讨论与决策。现有的海南长臂猿食性资料均来源于习惯化程度较高,被观察时间较长的 B 群和 C 群^[39,45],对不同海拔段(A 群)、不同林型(D 群、E 群、F 群)可提供给海南长臂猿的潜在食源植物了解仍十分匮乏,亦缺少年际间的物候变化信息^[56]。相较于盲目地栽种食源树种,客观评估不同海南长臂猿家庭群的现有栖息地质量是否满足了其家域大小和营养等生态学需求,结合微地形与微气候,拓宽补种思路,除乔木外亦可补种重要食源藤本与附生植物,可在较短的周期内响应海南长臂猿的食物资源需求^[39]。

极端天气带来的地质灾害,气候变化对植物生理、生态及物候期的影响,使海南长臂猿的生存环境长期处于动态变化中,且不稳定性可能有加剧的趋势。评估海南长臂猿栖息地内的现有干扰(包括自然灾害与人为

活动),有效预测潜在的干旱、火灾、滑坡、泥石流等隐患,灾害发生后及时采取绳桥、廊道等修复措施,是海南长臂猿保护必须实现的关键技术^[57,64]。这些技术逐步扩展应用于帮助个体的迁徙与扩散、新家庭的形成、种群间的交流,才能为这种世界上最濒危的灵长类动物带来希望与明天。

参考文献(References):

- [1] Geissmann T, Bleisch W. *Nomascus hainanus*. The IUCN Red List of Threatened Species, 2020; e.T41643A17969392.
- [2] Thomas O. Note on the gibbon of the island of Hainan (*Hylobates hainanus*, sp. n.). Journal of Natural History, 1892, 9: 145-146.
- [3] 范鹏飞. 中国长臂猿科动物的分类和保护现状. 兽类学报, 2012, 32(3): 248-258.
- [4] De Pousargues E. Mammiferes de l'Indo-Chine // Pavie A eds. Mission Pavie Indo-Chine 1879 - 1895, Paris: Ernest Leroux, 1904; 510 - 549.
- [5] Brandon-Jones D, Eudey A A, Geissmann T, Groves C P, Melnick D J, Morales J C, Shekelle M, Stewart C B. Asian primate classification. International Journal of Primatology, 2004, 25: 97-164.
- [6] Pocock R I. 6. Observations upon a Female Specimen of the Hainan Gibbon (*Hylobates hainanus*), now living in the Society's Gardens. Proceedings of the Zoological Society of London, 1905, 75(3): 169-180.
- [7] Pocock R I. The gibbons of the genus *Hylobates*. Proceedings of the Zoological Society of London, 1927, 97(3): 719-741.
- [8] 刘振河, 余斯绵, 袁喜才. 海南长臂猿的资源现状. 野生动物, 1984, 6: 1-4.
- [9] 马世来, 王应祥. 中国南部长臂猿的分类与分布——附三个新亚种的描述. 动物学研究, 1986, 7(4): 393-410.
- [10] Groves C, Wang Y. The gibbons of the subgenus *Nomascus* (Primates, Mammalia). Zoological Research, 1990, 11: 147-154.
- [11] Geissmann T. Gibbon systematics and species identification. International Zoo News, 1995, 42: 467-501.
- [12] 宿兵, Kressirer P, Monda K, 王文, 蒋学龙, 王应祥, Woodruff D S, 张亚平. 中国黑冠长臂猿的遗传多样性及其分子系统学研究——非损伤取样 DNA 序列分析. 中国科学(C辑), 1996, 26(5): 414-419.
- [13] 张亚平. 长臂猿的 DNA 序列进化及其系统发育研究. 遗传学报, 1997, 24(3): 231-237.
- [14] Monda K, Simmons R E, Kressirer P, Su B, Woodruff D S. Mitochondrial DNA hypervariable region-I sequence variation and phylogeny of the concolor gibbons, *Nomascus*. American Journal of Primatology, 2007, 69: 1285-1306.
- [15] Geissmann T. Status reassessment of the gibbons: Results of the Asian Primate Red List Workshop 2006. Gibbon Journal, 2007, 3: 5-15.
- [16] Chan B P, Fellowes J R, Geissmann T, Zhang T. Hainan Gibbon Status Survey and Conservation Action Plan. 2005.
- [17] Zhou J, Wei F, Li M, Zhang J, Wang D, Pan R. Hainan black-crested gibbon is headed for extinction. International Journal of Primatology, 2005, 26(2): 453-465.
- [18] Turvey S T, Bryant J V, Duncan C, Wong M H, Guan Z, Fei H, Ma C, Hong X, Nash H C, Chan B, Xu Y, Fan P. How many remnant gibbon populations are left on Hainan? Testing the use of local ecological knowledge to detect cryptic threatened primates. American Journal of Primatology, 2017, 79: e22593.
- [19] Liu Z, Zhang Y, Jiang H, Southwick C. Population structure of *Hylobates concolor* in Bawanglin Nature Reserve, Hainan, China. American Journal of Primatology, 1989, 19: 247-254.
- [20] 宋晓军, 江海声, 张剑锋, 陈庆, 王昌和, 林位福. 海南黑长臂猿数量调查. 中国动物科学研究——中国动物学会第十四届会员代表大会及中国动物学会 65 周年年会论文集. 1999: 712-717.
- [21] Wei W, Wang X, Claro F, Ding Y, Souris A, Wang C, Wang C, Berzins R. The current status of the Hainan black-crested gibbon *Nomascus* sp. cf. *nasutus hainanus* in Bawangling National Nature Reserve, Hainan, China. Oryx, 2004, 38(4): 452-456.
- [22] Turvey S T, Traylor-Holzer K, Wong M H, Bryant J V, Zeng X, Hong X Long Y. International Conservation Planning Workshop for the Hainan Gibbon: Final Report. London: Zoological Society of London, 2015.
- [23] Deng H, Zhang M, Zhou J. Recovery of the critically endangered Hainan gibbon *Nomascus hainanus*. Oryx, 2017, 51(1): 161-165.
- [24] Bryant J V, Brulé A, Wong M, Hong X, Zhou Z, Han W, Jeffrey T E, Turvey S. Detection of a new Hainan gibbon (*Nomascus hainanus*) group using acoustic call playback. International Journal of Primatology, 2016, 37: 534-547.
- [25] Liu G, Lu X, Liu Z, Xie Z, Qi X, Zhou J, Hong X, Mo Y, Chan B, Chapman C A, Jiang Z. The critically endangered Hainan gibbon (*Nomascus hainanus*) population increases but not at the maximum possible rate. International Journal of Primatology, 2022, 43: 932-945.
- [26] Chan B, Lo Y, Mo Y. New hope for the Hainan gibbon: Formation of a new group outside its known range. Oryx, 2020, 54: 296.
- [27] Li P, Garber P A, Bi Y, Jin K, Qi X, Zhou J. Diverse grouping and mating strategies in the critically endangered Hainan gibbon (*Nomascus hainanus*). Primates, 2022, 63(3): 237-243.
- [28] Guan Z, Ma C, Fei H, Huang B, Ning W, Ni Q, Jiang X, Fan P. Ecology and social system of northern gibbons living in cold seasonal forests. Zoological Research, 2018, 39(4): 255-265.

- [29] 王昱心. 海南长臂猿(*Nomascus hainanus*)的家域利用[D]. 广州: 中山大学, 2023.
- [30] 周江. 海南黑冠长臂猿的生态学及行为特征[D]. 长春: 东北师范大学, 2008.
- [31] Zhou J, Wei F, Li M, Chan B, Wang D. Reproductive characters and mating behaviour of wild *Nomascus hainanus*. *International Journal of Primatology*, 2008, 29: 1037-1046.
- [32] Hu N, Guan Z, Huang B, Ning W, He K, Fan P, Jiang X. Dispersal and female philopatry in a long-term, stable, polygynous gibbon population: Evidence from 16 years field observation and genetics. *American Journal of Primatology*, 2018, 80: e22922.
- [33] 韩玲. 海南长臂猿种群遗传多样性研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2019.
- [34] Bryant J V, Zeng X Y, Hong X J, Chatterjee H J, Turvey S T. Spatiotemporal requirements of the Hainan gibbon: Does home range constrain recovery of the world's rarest ape?. *American Journal of Primatology*, 2017, 79: e22617.
- [35] Smuts B B, Cheney D L, Seyfarth R M, Wrangham R W eds. *Primate Societies*. Chicago: University of Chicago Press, 1986: 135-145.
- [36] Bartlett T Q. The hylobatidae, small apes of Asia // Campbell C J, Fuentes A, Mackinnon K C, Panger M, Bearder S K eds. *Primates in perspective*. New York: Oxford University Press, 2007: 274-289.
- [37] Fan P, Ni Q, Sun G, Huang B, Jiang X. Gibbons under seasonal stress: The diet of the black crested gibbon (*Nomascus concolor*) on Mt. Wuliang, Central Yunnan, China. *Primates*, 2009, 50(1): 37-44.
- [38] Fan P, Jiang X. Predation on giant flying squirrels (*Petaurista philippensis*) by black crested Gibbons (*Nomascus concolor jingdongensis*) at Mt. Wuliang, Yunnan, China. *Primates*, 2009, 50(1): 45-49.
- [39] Zhong X, Zhu C, Wang Y, Qi X, Fan P. Quantified diet provides suggestions for habitat restoration for the world's rarest primate. *Biological Conservation*, 2023, 284: 110215.
- [40] 李紫千, 朱永亮, 李林国, 李伟, 杨建光, 管振华, 蒋学龙. 一夫一妻西黑冠长臂猿的群体活动及其影响因素. *兽类学报*, 2023, 43(2): 141-148.
- [41] Fan P, Fei H, Scott M B, Zhang W, Ma C. Habitat and food choice of the critically endangered cao vit gibbon (*Nomascus nasutus*) in China: Implications for conservation. *Biological Conservation*, 2011, 144(9): 2247-2254.
- [42] Ning W, Guan Z, Huang B, Fan P, Jiang X. Influence of food availability and climate on behavior patterns of western black crested gibbons (*Nomascus concolor*) at Mt. Wuliang, Yunnan, China. *American Journal of Primatology*, 2019, 81(12): e23068.
- [43] Hon N, Behie A M, Rothman J M, Ryan K. Nutritional composition of the diet of the northern yellow-cheeked crested gibbon (*Nomascus annamensis*) in northeastern Cambodia. *Primates*, 2018, 59: 339-346.
- [44] 刘振河, 覃朝锋. 海南长臂猿栖息地结构分析. *兽类学报*, 1990, 10(3): 163-169.
- [45] 林家怡, 莫罗坚, 庄雪影, 陈庆, 陈升华, 张剑锋. 海南黑冠长臂猿栖息地群落优势种及采食植物生态位特性. *华南农业大学学报*, 2006, 27(4): 52-57.
- [46] Deng H, Zhou J. Thirteen years observation on diet composition of Hainan gibbons (*Nomascus hainanus*). *North-Western Journal of Zoology*, 2018, 14(2): 213-219.
- [47] Du Y, Li D, Yang X, Peng D, Tang X, Liu H, Li D, Hong X, Song X. Reproductive phenology and its drivers in a tropical rainforest national park in China: Implications for Hainan gibbon (*Nomascus hainanus*) conservation. *Global Ecology and Conservation*, 2020, 24: e01317.
- [48] 毕玉, 金崑. 基于环境变量的海南长臂猿适宜栖息地识别. *陆地生态系统与保护学报*, 2022, 2(6): 79-87.
- [49] Zhang Y, Yu J, Lin S, He J, Xu Y, Tu J, Jiang H. Spatiotemporal variation of anthropogenic drivers predicts the distribution dynamics of Hainan gibbon. *Global Ecology and Conservation*, 2023, 43: e02472.
- [50] 李志刚, 魏辅文, 周江. 海南长臂猿线粒体 D-loop 区序列分析及种群复壮. *生物多样性*, 2010, 18(5): 523-527.
- [51] Bryant J V, Gottelli D, Zeng X, Hong X, Chan B, Fellowes J R, Zhang Y, Luo J, Durrant C, Geissmann T, Chatterjee H J, Turvey S T. Assessing current genetic status of the Hainan gibbon using historical and demographic baselines: Implications for conservation management of species of extreme rarity. *Molecular Ecology*, 2016, 25(15): 3540-3556.
- [52] Guo Y, Chang J, Han L, Liu T, Li G, Garber P A, Xiao N, Zhou J. The genetic status of the critically endangered Hainan gibbon (*Nomascus hainanus*): A species moving toward extinction. *Frontiers in Genetics*, 2020, 11: 608633.
- [53] Guo Y, Peng D, Han L, Liu T, Li G, Garber P A, Zhou J. Mitochondrial DNA control region sequencing of the critically endangered Hainan gibbon (*Nomascus hainanus*) reveals two female origins and extremely low genetic diversity. *Mitochondrial DNA Part B Resources*, 2021, 6(4): 1355-1359.
- [54] 黄霞. 基于分子粪便学的长臂猿遗传、繁殖和扩散行为研究[D]. 广州: 中山大学, 2023.
- [55] 唐玮璐, 毕玉, 金崑. 海南热带雨林国家公园海南长臂猿食源植物组成. *野生动物学报*, 2021, 42(3): 675-685.
- [56] Zhang A, Li Z, Zhang D, Zang R, Liu S, Long W, Chen Y, Liu S, Liu H, Qi X, Feng Y, Zhang Z, Chen Y, Zhang H, Feng G. Food plant diversity in different-altitude habitats of Hainan gibbons (*Nomascus hainanus*): Implications for conservation. *Global Ecology and Conservation*,

- 2022, 38: e02204.
- [57] He Q, Yan S, Garber P A, Ren B, Qi X, Zhou J. Habitat restoration is the greatest challenge for population recovery of Hainan gibbons (*Nomascus hainanus*). *Integrative Zoology*, 2023, 18(4): 630-646.
- [58] Dufourq E, Durbach I, Hansford J P, Hoepfner A, Ma H, Bryant J V, Stender C, Li W, Liu Z, Chen Q, Zhou Z, Turvey S T. Automated detection of Hainan gibbon calls for passive acoustic monitoring. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2021, 7: 475-487.
- [59] 冯慧敏, 金崑. 基于卷积神经网络的雄性海南长臂猿声纹识别. *林业科学*, 2023, 59(1): 119-127.
- [60] Qian J, Mills M, Ma H, Turvey S. Assessing the effectiveness of public awareness-raising initiatives for the Hainan gibbon *Nomascus hainanus*. *Oryx*, 2021, 56: 249-259.
- [61] Ma H. *Local Perceptions of Biodiversity Loss and Conservation: Insights from Rural Communities Around a Key Protected Area in Hainan, China*. London: Royal Holloway, University of London, 2021.
- [62] Ma H, Papworth S K, Ge T, Wu X, Yu C, Zhang H, Turvey S. Local awareness and interpretations of species extinction in a rural Chinese biodiversity hotspot. *Frontiers in Conservation Science*, 2021, 2: 689561.
- [63] 海南国家公园研究院. 中国智慧 海南经验 霸王岭模式. 北京: 中国友谊出版公司, 2022.
- [64] Chan B, Lo Y, Hong X, Mak C, Ma Z. First use of artificial canopy bridge by the world's most critically endangered primate the Hainan gibbon *Nomascus hainanus*. *Scientific Reports*, 2020, 10: 15176.
- [65] Wang X, Wen S, Niu N, Wang G, Long W, Zou Y, Huang M. Automatic detection for the world's rarest primates based on a tropical rainforest environment. *Global Ecology and Conservation*, 2022, 38: e02250.
- [66] Zhang H, Wang C, Turvey S, Sun Z, Tan Z, Yang Q, Long W, Wu X, Yang D. Thermal infrared imaging from drones can detect individuals and nocturnal behavior of the world's rarest primate. *Global Ecology and Conservation*, 2020, 23: e01101.
- [67] 陈耀亮. 基于 5G 网络在保护珍稀动物长臂猿中的应用. *数字技术与应用*, 2022, 40: 29-31.
- [68] Zhang H, Turvey S, Pandey S P, Song Z, Sun Z, Wang N. Commercial drones can provide accurate and effective monitoring of the world's rarest primate. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2023.
- [69] Ruan W, Wu K, Chen Q, Zhang C. ResNet-based bio-acoustics presence detection technology of Hainan gibbon calls. *Applied Acoustics*, 2022, 198: 108939.