



•综述• 中国猫科动物研究与保护专题

# 荒漠猫的演化遗传、分类和保护研究进展

刘珂<sup>1,2</sup>, 韩思成<sup>1,2</sup>, 遇赫<sup>1</sup>, 罗述金<sup>1,2\*</sup>

1. 北京大学生命科学学院蛋白质与植物基因研究国家重点实验室, 北京 100871; 2. 北京大学前沿交叉学科研究院北京大学-清华大学生命科学联合中心, 北京 100871

**摘要:** 荒漠猫(*Felis bieti*)是中国特有的野生猫科动物,也是世界上最鲜为人知的猫科动物之一,在IUCN濒危物种红色名录中列为易危(Vulnerable, VU),在我国被列为国家一级重点保护野生动物。本文对荒漠猫的野外分布现状、分类学地位、遗传多样性、演化史以及致危因素等近期研究进展进行了综述和展望,以期对荒漠猫的保护提供科学依据。荒漠猫定名于1892年,其分类学地位长期存在争议。形态学证据支持其独立物种的划分,但分子遗传学研究则表明荒漠猫与亚洲野猫(*Felis silvestris ornata*)等野猫亚种之间的演化距离相当,建议将其归为野猫亚种(*F. s. bieti*)。然而研究也表明包括荒漠猫在内的各野猫支系之间的分歧时间已有100万年以上,因此解决野猫类群分类学争议的另一种可能是将所有野猫亚种提升为物种水平,从而维持荒漠猫的独立物种地位,不过这需要对所有野猫类群在全基因组层面深入全面地分析。最新的基因组学研究揭示荒漠猫与亚洲野猫(*F. s. ornata*)存在着古老的基因交流,与青藏高原同域家猫之间存在近期且广泛的基因渗透。该遗传杂交信号以荒漠猫到家猫为主并局限于荒漠猫分布区,时间尺度对应于20世纪中叶,可能与藏区社会经济的发展以及家猫种群在当地的生长有关。该发现也意味着青藏高原增长的家猫种群对于同域分布的野猫产生的遗传影响将是亟需关注的问题。IUCN最新评估结果显示,荒漠猫明确分布区域仅限于青藏高原东部,包括青海东部、四川西北部、甘肃西南部以及紧邻青海的西藏东南部局部区域。荒漠猫当前面临着包括鼠药施用造成的二次毒害、毛皮贸易、开发建设造成的栖息地的丧失和碎片化、路撞以及与同域家猫杂交等在内的直接或潜在威胁。对荒漠猫开展更全面的调查和深入的研究以及评估并制定有效的保护管理措施,是保护我国唯一的特有猫科动物的重要举措。

**关键词:** 荒漠猫; 遗传演化; 基因交流; 分类; 野外分布; 致危因素; 保护

刘珂, 韩思成, 遇赫, 罗述金 (2022) 荒漠猫的演化遗传、分类和保护研究进展. 生物多样性, 30, 22396. doi: 10.17520/biods.2022396.

Liu K, Han SC, Yu H, Luo SJ (2022) The evolutionary genetics, taxonomy, and conservation of the Chinese mountain cat. Biodiversity Science, 30, 22396. doi: 10.17520/biods.2022396.

## The evolutionary genetics, taxonomy, and conservation of the Chinese mountain cat

Ke Liu<sup>1,2</sup>, Sicheng Han<sup>1,2</sup>, He Yu<sup>1</sup>, Shu-Jin Luo<sup>1,2\*</sup>

1 State Key Laboratory of Protein and Plant Gene Research, School of Life Sciences, Peking University, Beijing 100871

2 Peking-Tsinghua Center for Life Sciences, Academy for Advanced Interdisciplinary Studies, Peking University, Beijing 100871

### ABSTRACT

**Background & Aims:** The Chinese mountain cat (*Felis bieti*) is the only wild felid endemic to China, and it is one of the world's least studied felids. It is listed as Vulnerable in the IUCN Red List of Threatened Species and is listed as a nationally first-class protected species in China. Here, we reviewed recent advances in the distribution, range, taxonomy, genetic diversity, evolutionary history, and conservation threats to the Chinese mountain cat to provide a much needed scientific basis for conservation efforts.

**Review Results:** Scientists have not reached a unanimous agreement on the taxonomic status of the Chinese mountain cat (*Felis bieti*) since its inception as a species in 1892. Morphological distinctiveness supports its independent species status, yet recent genetic studies revealed that it is equidistant with other currently recognized wildcat subspecies and

收稿日期: 2022-07-12; 接受日期: 2022-09-22

基金项目: 国家自然科学基金(32070598)

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: luo.shujin@pku.edu.cn

hence should be considered a wildcat conspecific (*Felis silvestris bieti*). However, because of the divergent evolution that occurred over one million years between the wildcat subspecies, an alternative approach to resolve the dispute over the Chinese mountain cat's taxonomy would be to elevate all *F. silvestris* lineages to the species level, thus retaining the Chinese mountain cat as *F. bieti*. Nevertheless, this proposition would require a comprehensive analysis of the entirety of the genome data from all wildcat taxa. In addition, a complex admixture scenario was depicted, including an ancient introgression from the Asiatic wildcat (*F. s. ornata*) to the Chinese mountain cat, as well as a widespread signal of contemporary genetic introgression from *F. s. bieti* to domestic cats across, but not beyond, the range of *F. s. bieti*. Regional socioeconomic change in the Tibetan region since the mid-20th century may have facilitated an expansion of domestic cats that had likely recently arrived to the Plateau, setting the stage for their close contact, frequent interaction, and interbreeding with sympatric Chinese mountain cats. This raises concern for conservationists about the opposite direction of gene flow that may pose a threat to the Chinese mountain cat and jeopardize its genetic integrity as well as its evolutionary adaptation to high altitude, an issue with profound conservation implications. The IUCN Red List assessment confirmed the Chinese mountain cat's range to be restricted to the eastern Qinghai-Tibet Plateau, encompassing the eastern Qinghai, north-western Sichuan, south-western Gansu, and a small area in south-eastern Tibet adjacent to Qinghai. The free-ranging population of the Chinese mountain cat is likely threatened by indirect poisoning by rodenticide, illegal trade, poaching for furs, habitat loss, fragmentation, and road kills caused by grazing and infrastructure development, as well as potential introgression from local domestic cats.

**Conclusion:** There is an urgent need to assess the efficacy of current conservation measures in place for the protection of the Chinese mountain cat, including the effectiveness of the management of current protected areas, to safeguard China's only endemic felid.

**Key words:** Chinese mountain cat; evolution; genetic introgression; taxonomy; distribution; threats; conservation

荒漠猫(*Felis bieti*)又名中国山猫、草猫、草猯猯, 属脊椎动物门哺乳动物纲食肉目猫科猫属(*Felis*), 是世界猫科动物中唯一的中国特有类群。荒漠猫定名于19世纪末(*Felis bieti* Milne-Edwards, 1892), 其分类学地位长期存在争议, 传统形态学和生物地理学的证据支持荒漠猫作为独立物种。而近期的分子遗传学(Driscoll et al, 2007)和基因组学研究(Yu et al, 2021)则表明荒漠猫应当与分布在欧洲地区的欧洲野猫(*Felis silvestris silvestris*)、分布在北非及近东地区的非洲野猫(*F. s. lybica*)、分布在里海东部中亚地区的亚洲野猫(*F. s. ornata*)以及分布在非洲南部的南非野猫(*F. s. cafra*)一同被划分为野猫(*Felis silvestris*)的亚种。

荒漠猫的体型在小型猫科动物中偏大, 约是家猫的两倍(Sanderson et al, 2010)。其体色在冬季为浅黄灰色, 夏季毛色较深, 为灰褐色或黄褐色。初生幼体身上和四肢都有明显的深色横纹, 但荒漠猫成体只有额头、脸颊和腿部具较明显的深色条纹, 身上并无明显斑纹(Han et al, 2020)。荒漠猫耳尖有明显的簇毛, 尾巴较粗, 后半段有3–6个明显的黑色环纹, 尾尖呈黑色(图1)。全身和脚掌被有厚毛, 以抵御寒冷气候。与其他野生猫科动物相比, 荒漠猫具有独特的淡蓝色虹膜表型。



图1 青藏高原特有猫科动物荒漠猫(*Felis bieti*)正模标本(法国巴黎国家自然历史博物馆馆藏ZM-MO-1891-391; 图Cecile Callou/MNHN)

Fig. 1 The holotype specimen of the Chinese mountain cat (*Felis bieti*) endemic to the east of the Qinghai-Tibet Plateau (ZM-MO-1891-391, National Museum of Natural History, Paris, France; Photo by Cecile Callou/ MNHN)

荒漠猫种群曾被认为广泛存在于中国西部地区, 包括甘肃、四川、内蒙、青海、宁夏、西藏和新疆等省区(Jacobi, 1923; Allen, 1938; Pocock, 1951; 高耀亭等, 1987; Wang, 1990)。最新评估结果显示其明确的分布区域仅限于青藏高原东部, 包括青海东部、四川西北部、甘肃西南部以及紧邻青海的西藏东南部部分地区(He et al, 2004; Luo et al, 2022)。在此范围, 荒漠猫和家猫的杂交现象偶有报道(Yin et al, 2007; Sanderson et al, 2010)。荒漠猫等中国本土

野猫类群是否与家猫存在基因交流甚至参与家猫在亚洲本土的驯化, 一直是世界家猫遗传领域悬而未决的问题。

根据荒漠猫分布面积和种群密度的评估结果, 其种群数量不超过1万只, 已被IUCN濒危物种红色名录列为“易危”等级(Vulnerable, VU), 并是CITES附录II中的保护动物。2021年, 我国将荒漠猫提升为国家一级重点保护野生动物(<http://www.forestry.gov.cn/main/151/20210225/112119430483186.html>)。荒漠猫是目前了解最少但又具有重要研究和保护价值的野生猫科动物之一。如何应对荒漠猫当前所面临的生存威胁, 并为其野生种群的稳定繁衍提供保护方案, 是荒漠猫保护事业中亟需解决的重要问题和挑战。为了给荒漠猫野生种群的保护提供重要的科学依据, 我们需要深入了解其在演化过程中经历的历史事件和种群动态变化。因此, 本文将从自然史、遗传演化、分类学地位和保护等科学问题入手, 对荒漠猫的研究进展进行综述。

## 1 荒漠猫的野外发现和分布

1892年法国动物学家Alphonse Milne-Edwards根据位于巴黎自然历史博物馆中的两张从中国四川西部收购的毛皮, 首次对荒漠猫的外形进行记录和描述, 并将其命名为一个独立的物种*Felis bieti* (Milne-Edwards, 1892)。直到2007年, 研究人员才在四川海拔约3,570 m的地区通过红外触发相机拍摄到世界上第一张野生荒漠猫的照片(Yin et al, 2007)。此后, 荒漠猫陆续在青藏高原东部边缘地区被目击和记录。2018年9月中旬, 研究人员首次在青海省三江源地区记录到荒漠猫抚育幼崽的影像(Han et al, 2020)。

荒漠猫的中文名来自于其英文名“Chinese desert cat”或“pale desert cat”的翻译(Allen, 1938; Ellerman & Morrison-Scott, 1951)。该名字可能是根据荒漠猫麻褐色的毛皮推测其生活在荒漠环境而提出。事实上, 荒漠猫主要栖息在海拔高度为2,000–5,000 m之间的高海拔草原、高寒草甸、高寒灌丛和针叶林边缘地带(He et al, 2004; Luo et al, 2022)。根据其栖息环境, 荒漠猫更为贴切的名字应该是中国山猫(Chinese mountain cat)。

根据记载, 荒漠猫在中国西部包括甘肃、四川、

内蒙古、青海、宁夏、西藏和新疆等省区均有分布(Jacobi, 1923; Allen, 1938; Pocock, 1951; 高耀亭等, 1987; Wang, 1990)。然而, 研究者通过对文献信息的整理以及对标本或活体动物的检验和核对发现, 许多荒漠猫的记录属于鉴定错误或者来源不可靠(He et al, 2004)。来自新疆、宁夏和内蒙古的荒漠猫记录属于其他野猫谱系(亚洲野猫)或家猫, 或者来源不可靠无法证实(Haltenorth, 1953; Guggisberg, 1975; Groves, 1980; Sunquist & Sunquist, 2002; Smith & Xie, 2008)。通过对相关荒漠猫的分布资料, 尤其是过去十多年来自然观察记录及红外相机调查结果的核实, 其县级分布区如表1所示(Luo et al, 2022)。一个县只要满足下述条件之一, 即可认为该县为荒漠猫的分布区: (1)该县通过红外相机捕捉或直接拍摄到过荒漠猫的活体或者尸体; (2)该县为荒漠猫剥制标本等样品的确切地理来源; (3)该县虽然近期没有确切的荒漠猫野外记录, 但这可能是由于野外调查的匮乏, 根据可靠的信息仍可判定该县为荒漠猫分布区的可能性较高。以县级行政单位的地理坐标作为分布点, 通过核密度估计(kernel density estimation)计算其分布范围, 其中位于格尔木市的记录仅来自于西宁动物园的动物来源记载(廖炎发, 1988), 而无更确切的分布信息, 因此将该点排除在分布区域之外, 最终得到荒漠猫分布面积为941,620 km<sup>2</sup> (图2)。综上所述, 荒漠猫明确的分布区域确定为青藏高原东部, 包括青海东部、四川西北部、甘肃西南部以及紧邻青海的西藏东南部的部分地区。

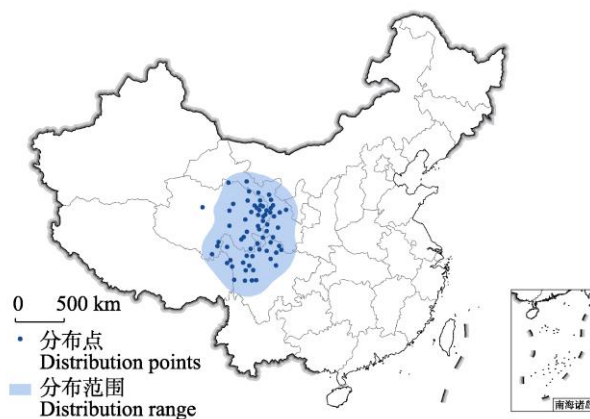


图2 中国荒漠猫县级水平分布示意图(修改自Luo et al, 2022)

Fig. 2 The range-wide county-level distribution of the Chinese mountain cat (modified from Luo et al, 2022)



**表1 中国荒漠猫县级分布地区**  
**Table 1 The county-level distribution of the Chinese mountain cat**

省/自治区 Province	州/市 Prefecture/City	县/区 County/District	参考文献 Reference	其他来源(个人通讯) Other sources (personal communications)
四川省 Sichuan Province	甘孜藏族自治州 Ganzi Tibetan Autonomous Prefecture	甘孜县, 新龙县, 雅江县, 石渠县, 康定市, 巴塘县, 道孚县, 炉霍县, 德格县, 理塘县 <sup>#</sup> , 白玉县 <sup>#</sup> , 色达县 <sup>#</sup> Ganzi, Xinlong, Yajiang, Shiqu, Kangding, Batang, Daofo, Luhuo, Dege, Litang <sup>#</sup> , Baiyu <sup>#</sup> and Seda <sup>#</sup>	Milne-Edwards, 1892; Pousargues, 1898; Allen, 1938; Pocock, 1951; Haltenorth, 1953; Guggisberg, 1975; Groves, 1980; He et al, 2004; Chen et al, 2005; Wang et al, 2021	李晟, 宋大昭, 张铭, CatSG数据库 Sheng Li, Dazhao Song, Ming Zhang, CatSG database
	阿坝藏族羌族自治州 Aba Tibetan and Qiang Autonomus Prefecture	阿坝县, 红原县, 若尔盖县, 九寨沟县 <sup>#</sup> , 松潘县, 壤塘县, 黑水县 <sup>#</sup> , 汶川县 <sup>#</sup> Aba, Hongyuan, Ruorgai, Jiuzhaigou <sup>#</sup> , Songpan, Rangtang, Heishui <sup>#</sup> and Wenchuan <sup>#</sup>	Jacobi, 1923; Weigold, 1923; Allen, 1938; Pocock, 1951; Haltenorth, 1953; Guggisberg, 1975; Groves, 1980; He et al, 2004; Yin et al, 2007; Webb et al, 2016	李晟, 罗述金, 宋大昭, CatSG数据库 Sheng Li, Shu-Jin Luo, Dazhao Song, CatSG database
	绵阳市 Mianyang City	平武县 Pingwu	Li et al, 2020	
甘肃省 Gansu Province	兰州市 Lanzhou City	永登县, 皋兰县 <sup>#</sup> Yongdeng and Gaolan <sup>#</sup>	Sanderson et al, 2010; Wan et al, 2020	孙悦华, 方昀, CatSG数据库 Yuehua Sun, Yun Fang, CatSG database
	白银市 Baiyin City	靖远县 <sup>#</sup> Jingyuan <sup>#</sup>		罗述金 Shu-Jin Luo
	临夏回族自治州 Linxia Hui Autonomous Prefecture	永靖县, 康乐县 Yongjing and Kangle	Wan et al, 2020	孙悦华, 方昀 Yuehua Sun and Yun Fang
	定西市 Dingxi City	渭源县 Wei yuan		孙悦华, 方昀 Yuehua Sun and Yun Fang
	甘南藏族自治州 Gannan Tibetan Autonomous Prefecture	碌曲县, 玛曲县, 临潭县, 卓尼县, 夏河县, 迭部县 Luqu, Maqu, Lintan, Zhuoni, Xiahe and Diebu	Lonnberg, 1925; Pocock, 1951, Haltenorth, 1953; Guggisberg, 1975; Groves, 1980; Sanderson et al, 2010	孙悦华, 方昀, 刘炎林, 罗述金, 张铭, 善觉, CatSG数据库 Yuehua Sun, Yun Fang, Yanlin Liu, Shu-Jin Luo, Ming Zhang, Jue Shan, CatSG database
	武威市 Wuwei City	古浪县, 凉州区, 天祝藏族自治县 Gulang, Liangzhou and Tianzhu Zangzu Autonomous County		罗述金 Shu-Jin Luo
青海省 Qinghai Province	张掖市 Zhangye City	山丹县, 肃南裕固族自治县 Shandan and Yugur Autonomous County of Sunan		何兵, 马堆芳 Bing He and Duifang Ma
	西宁市 Xining City	大通回族自治县, 湟中区 <sup>#</sup> , 湟源县 <sup>#</sup> Datong Hui and Tu Autonomous County, Huangzhong <sup>#</sup> and Huangyuan <sup>#</sup>	B üchner, 1892; Allen, 1938; Pocock, 1951; Guggisberg, 1975; Groves, 1980; Liao, 1988	刘炎林 Yanlin Liu
	海北藏族自治州 Haibei Tibetan Autonomous Prefecture	祁连县, 门源回族自治县, 刚察县, 海晏县 Qilian, Menyuan Hui Autonomous County, Gangcha and Haiyan	Liao, 1988; He et al, 2004	刘炎林 Yanlin Liu
	海南藏族自治州 Hainan Tibetan Autonomous Prefecture	共和县, 兴海县 <sup>#</sup> , 贵德县 Gonghe, Xinghai <sup>#</sup> and Guide	Matschie, 1908; Allen, 1938; Pocock, 1951; Guggisberg, 1975; Groves, 1980; He et al, 2004; Liao, 1988	
	海东市 Haidong City	互助县, 民和县, 乐都区 <sup>#</sup> , 化隆回族自治县 <sup>#</sup> Huzhu, Minhe, Ledu <sup>#</sup> and Hualong <sup>#</sup>	Liao, 1988; He et al, 2004	罗述金 Shu-Jin Luo
	黄南藏族自治州 Huangnan Tibetan Autonomous Prefecture	河南蒙古族自治区, 尖扎县 <sup>#</sup> , 泽库县 <sup>#</sup> , 同仁市 <sup>#</sup> Mongolian Autonomous County of Henan, Jianzha <sup>#</sup> , Zeku <sup>#</sup> and Tongren <sup>#</sup>	Liao, 1988	刘炎林 Yanlin Liu
	果洛藏族自治州 Guoluo Tibetan Autonomous Prefecture	久治县, 玛沁县, 玛多县 <sup>#</sup> , 甘德县 <sup>#</sup> , 达日县 <sup>#</sup> , 班玛县 <sup>#</sup> Jiuzhi, Maqin, Maduo <sup>#</sup> , Gande <sup>#</sup> , Dari <sup>#</sup> and Banma <sup>#</sup>	Liao, 1988; Sanderson et al, 2010	阿旺, 刘炎林, 罗述金, 宋大昭, 张铭 Wang A, Yanlin Liu, Shu-Jin Luo, Dazhao Song and Ming Zhang
	玉树藏族自治州 Yushu Tibetan Autonomous Prefecture	称多县, 囊谦县 <sup>#</sup> , 玉树市 <sup>#</sup> Chengduo, Nangqian <sup>#</sup> and Yushu <sup>#</sup>	Liao, 1988; Han et al, 2020	

表1 (续) Table 1 (continued)

省/自治区 Province	州/市 Prefecture/City	县/区 County/District	参考文献 Reference	其他来源(个人通讯) Other sources (personal communications)
	海西蒙古族藏族自治州 Haixi Mongol and Tibetan Autonomous Prefecture	天峻县, 都兰县 <sup>#</sup> , 乌兰县 <sup>#</sup> , 格尔木市 <sup>#</sup> Tianjun, Dulan <sup>#</sup> , Wulan <sup>#</sup> and Golmud <sup>#</sup>	Liao, 1988	刘炎林 Yanlin Liu
西藏自治区 Tibet Autonomous Region	昌都市 Changdu City	江达县 <sup>#</sup> Jianga <sup>#</sup>		宋大昭, CatSG数据库 Dazhao Song, CatSG database

<sup>#</sup> 该县为荒漠猫分布区的可能性较高。

<sup>#</sup> There is a likely presence of the Chinese mountain cat in the county.

## 2 荒漠猫的演化历史

作为青藏高原的特有类群, 荒漠猫的遗传溯源、基因交流和演化历史, 尤其是荒漠猫等中国本土野猫类群是否和家猫之间存在基因交流, 是否参与了家猫在中国本土的驯化, 都是世界家猫遗传研究领域的热点。2021年, Yu等从中国全境尤其是在家猫-荒漠猫同域分布地区采集了27只荒漠猫、4只亚洲野猫和239只家猫的组织、血液、粪便、毛发或博物馆标本样品, 综合系统发生和种群动态历史研究分析, 发现荒漠猫与亚洲野猫等其他野猫类群的分歧时间相近(Yu et al, 2021)。家猫-非洲野猫支系和荒漠猫-亚洲野猫支系大约在187万年前开始分化, 而荒漠猫与亚洲野猫两支系大约在127万年前开始分化(Yu et al, 2021)。种群动态历史分析结果显示, 荒漠猫在约200万年至100万年前曾经历了一个较小的种群增长, 随后从约100万年前开始至数万年前, 其有效种群数量持续下降(Yu et al, 2021)。

基因交流是演化生物学界备受关注的问题。越来越多的基因组学证据表明, 杂交是自然界中普遍存在的现象, 并在生物演化过程中起着重要的作用(Taylor & Larson, 2019)。种间或者亚种间的杂交在猫科动物中十分普遍, 如在豹支系、豹猫支系、猞猁支系等多个类群中都有发现(Trigo et al, 2013; Li et al, 2016; Figueiró et al, 2017)。基于最新的系统发生学和种群历史分析结果, 荒漠猫、亚洲野猫和家猫3个支系间也存在多种杂交事件(Yu et al, 2021)。荒漠猫与亚洲野猫在历史上存在着密切的基因交流(图3), 结合线粒体数据和基因组数据的分析结果, 可以推断这一历史杂交事件大概率发生于雌性亚

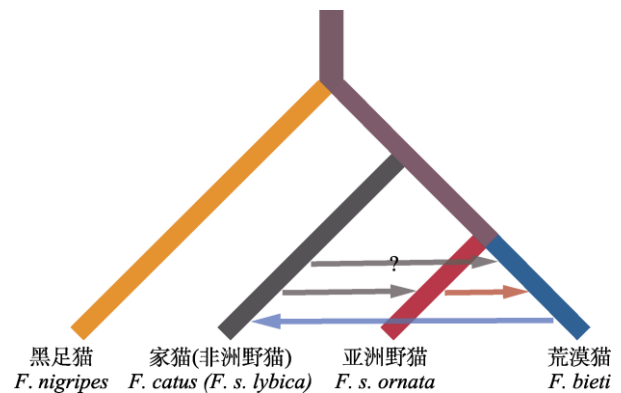


图3 野猫类群和家猫系统发生关系和基因流信号示意图  
Fig. 3 Phylogenetic relationships and introgression signals among wildcat lineages and domestic cats

洲野猫和雄性荒漠猫之间, 并且其杂交后代进入到了荒漠猫种群中。而对于荒漠猫和中国家猫, 该研究发现, 尽管包括荒漠猫在内的中国本土野猫没有参与中国家猫的驯化, 但荒漠猫与其同域家猫之间广泛存在近期的基因渗透。该遗传交流信号普遍存在于荒漠猫分布区内的家猫中, 时间尺度对应于20世纪中叶, 可能与藏区社会经济发展以及家猫种群在当地的生长相关(Yu et al, 2021)。此外值得注意的是, 种群遗传多样性的历史分析的确检测到从家猫到荒漠猫基因渗透, 不过该基因流的强度在基于不同荒漠猫个体进行的分析中结果差异很大。这一发现也意味着青藏高原家猫种群对同域分布的荒漠猫可能产生的遗传影响将是亟需关注的问题。

## 3 荒漠猫的分类学研究进展

1892年, 法国动物学家Milne-Edwards对荒漠猫进行了首次记录, 并将其命名为“*Felis bieti*”

(Milne-Edwards, 1892)。1917年, 俄国科学家Birula将采集自“Goizso from Gobi of Southern Mongolia”(实际上是宁夏西北部)的标本命名为一个新物种“*Felis chutuchta*”(Birula, 1917; 高耀亭等, 1987; He et al, 2004), 之后该物种被认定为是荒漠猫的一个亚种(Allen, 1938; Pocock, 1943, 1951), 即宁夏亚种。1943年, 英国动物学家Pocock将采集于“Yulin, Shaanxi”(陕西榆林)的标本, 命名为荒漠猫的另一亚种“*Felis bieti vellerosa*”(Pocock, 1943; 高耀亭等, 1987), 即陕西亚种。但Haltenorth在1953年以及Groves在1980年分别指出上述所提及的宁夏亚种事实上应为亚洲野猫(Haltenorth, 1953; Groves, 1980; He et al, 2004)。此外, Groves等还在1980年指出陕西亚种实际上是家猫(Groves, 1980; He et al, 2004)。因此, 荒漠猫被认为是单型种。

尽管荒漠猫传统意义上被认为是一个独立的物种, 但它与其他野猫类群的分类学关系在学界尚未达成一致意见。Driscoll等(2007)基于分子遗传学证据, 提出荒漠猫、亚洲野猫、欧洲野猫、非洲野猫和南非野猫分属5个分歧明显但又关系紧密的演化支系, 且野猫支系和家猫间能普遍发生基因交流, 表明各支系间并不存在生殖隔离, 因此荒漠猫及其他4类野猫应当属于野猫的不同亚种。然而, Kitchener和Rees (2009)基于气候变化对野猫在末次冰盛期以来的地理分布进行了重建, 结果表明荒漠猫和亚洲野猫的分布区域可能存在交叠。结合形态上的差异, 他们推测二者之间存在生殖隔离, 因此认为荒漠猫应当被列为一个独立的物种。IUCN猫科动物专家组(IUCN SSC Cat Specialist Group)在发表分类名录时也采用了上述观点, 将荒漠猫列为独立的物种(Kitchener et al, 2017)。Yu等(2021)通过所采集的荒漠猫、亚洲野猫和家猫共计270个个体的线粒体和Y染色体多位点测序以及51个个体的全基因组测序数据, 基于系统发生、种群遗传结构、基因交流和种群动态历史研究分析, 证明了荒漠猫和亚洲野猫之间的演化遗传距离相当, 依据分类学原则应当将荒漠猫归为野猫亚种。不过由于荒漠猫、亚洲野猫和家猫的分歧时间已有100年以上, 该研究也为解决野猫类群的分类学争议提供了另一种可能, 即将所有野猫亚种提升为独立的物种, 从而维持荒漠猫的物种地位。但这一分类观点的可

行性还需要获得所有野猫类群的基因组数据, 在全基因组层面进行深入地分析(Yu et al, 2021)。

## 4 荒漠猫的致危因素和保护

目前尚没有关于荒漠猫种群数量的研究和报道, 通过其分布区面积和种群密度可做粗略估计(Luo et al, 2022)。荒漠猫的分布面积(图2)大约941,620 km<sup>2</sup>, 以其近缘野猫种群密度为参考, 荒漠猫成体数目保守估计不到1万只(Luo et al, 2022)。基于现有的荒漠猫野外记录, 可以推测其种群实际栖息地仅占分布区的部分区域。假设荒漠猫的实际栖息地面积仅为分布区域的50%或25%, 而密度范围为1–10只/100 km<sup>2</sup>, 则荒漠猫个体数预计在2,354–47,081只之间。假设其中50%的荒漠猫为成体, 则其成体数目在1,177–23,540只之间。根据这一估算结果, 并考虑到荒漠猫种群正在面临的威胁以及潜在威胁包括鼠药施用造成的二次毒害、毛皮贸易、西部开发造成的栖息地的丧失和碎片化以及与当地家猫种群之间的遗传杂交现象(He et al, 2004; Sanderson et al, 2010; Yu et al, 2021), 荒漠猫成体数目保守估计不到1万只。且这些威胁因素的持续存在可能会导致荒漠猫种群数量继续下降。

鼠药施用造成的二次毒害和非法毛皮交易可能仍在威胁着荒漠猫种群(Sanderson et al, 2010; Riordan et al, 2015)。鼠兔被认为会和家畜争夺牧草, 1958–1978年, 青海、四川和甘肃等地广泛使用灭鼠剂控制鼠兔数量, 但同时造成大量以鼠兔为捕食对象的食肉动物受到毒害(Sanderson et al, 2010)。虽然现在已经禁止大范围使用有毒化学试剂控制小型啮齿动物数量, 但仍存在一些小规模的灭鼠活动。此外, 与毛皮贸易相关的捕猎活动也曾在部分地区广泛存在(Chen et al, 2005)。但由于荒漠猫毛皮的经济价值不高, 市场和贸易规模较小, 毛皮贸易目前对荒漠猫可能并不是主要威胁(Luo et al, 2022)。

而西部开发、基础设施建设等人为因素也可能导致环境的改变以及荒漠猫栖息地的丧失、退化或碎片化(He et al, 2004; Luo et al, 2022)。并且近年来也陆续目击和报道由于路撞等人为活动造成的荒漠猫死亡事件。这些与栖息地相关联的影响因素对荒漠猫种群造成的威胁可能被低估, 需要进一步的实地研究和监测。



此外, 当地家猫种群对荒漠猫种群可能存在的基因渗透影响不容忽视。长期以来对欧洲野猫的研究已经证明, 来自家猫基因渗透严重影响了这一类群的遗传多样性和环境适应能力(Allendorf et al, 2001; Randi et al, 2001; Randi, 2008)。近期的基因组学研究同样显示荒漠猫与其同域家猫间存在普遍的基因渗透(Yu et al, 2021)。虽然目前发现的交流信号为从荒漠猫到家猫, 但考虑到该研究收集的样品以家猫为主, 荒漠猫检测数量较少, 我们不能忽视荒漠猫中同样存在来自家猫基因渗入的可能性。因此, 对荒漠猫种群进行进一步广泛的遗传评估, 全面深入地在荒漠猫基因组中检测是否存在来自当地家猫的基因渗透, 对于了解野生荒漠猫种群的现状和制定有效的保护措施至关重要。

总体而言, 为保护中国唯一的地方性猫科动物, 当务之急是评估现有荒漠猫种群保护措施的有效性, 包括现有保护区管理的有效性。

## 5 总结与展望

荒漠猫是世界猫科动物中唯一的中国特有类群, 也是世界上最鲜为人知的猫科动物之一。随着分子遗传学和基因组学的发展, 有关荒漠猫遗传演化和分类的研究取得了重要的进展。最新的基因组学研究为荒漠猫分类学地位的划分提供了新的遗传学观点和证据, 并系统地阐释了荒漠猫自更新世中期开始的演化历程, 以及荒漠猫与亚洲野猫、家猫之间的基因交流图景, 为荒漠猫和亚洲野猫等珍稀濒危野生猫科动物的保护提供了科学依据(Yu et al, 2021)。





基于荒漠猫的栖息地面积及其近缘野猫类群的密度估计, 荒漠猫成熟个体数保守估计在1万只以内, 且种群数量目前仍处于下降趋势(Luo et al, 2022)。基于现有研究, 荒漠猫种群正面临的一系列威胁, 不仅包括鼠药施用造成的二次毒害、毛皮贸易(Sanderson et al, 2010), 还包括经济建设开发造成的栖息地的丧失和片段化(He et al, 2004)以及路撞等人为因素。此外, 当地家猫种群与荒漠猫之间可能的基因渗透也应当被重视(Yu et al, 2021)。这可能会导致荒漠猫种群未来面临遗传多态性和环境适应能力丧失的风险。因此, 与荒漠猫相关的适应性演化机制以及荒漠猫是否面临着来自青藏高原

同域家猫遗传渗透的威胁以及威胁程度仍需进一步地探索和研究。

此外, 最近十余年来, 研究人员和自然爱好者通过红外相机监测和自然观察项目, 在西北分布区域逐步发现了更多关于荒漠猫的活动记录(Luo et al, 2022)。然而, 为进一步评估栖息地等相关因素对荒漠猫种群数量的影响, 以及制定出一套有效的保护行动计划, 我们仍迫切地需要对荒漠猫进行更多的野外监测和研究, 开展更为全面的系统调查, 并评估当前保护管理措施的有效性, 以此来保护我国唯一特有的猫科动物。

**致谢:** 感谢宋大昭、李晟、刘炎林、何兵、马堆芳、张铭、阿旺、孙悦华、方昀、齐新章、蒋可威、玛才让加、陈怀庆、蒙皓、闻丞、图登华旦、尹玉峰、耿栋、赵建友、刘永萍、李文靖、巫嘉伟、Nobuyuki Yamaguchi等在确定荒漠猫分布信息时提供的帮助。

## ORCID

刘珂  <https://orcid.org/0000-0003-2328-3560>  
韩思成  <https://orcid.org/0000-0002-5228-7723>  
遇赫  <https://orcid.org/0000-0003-1323-4730>  
罗述金  <https://orcid.org/0000-0003-3515-8070>

## 参考文献

- Allen GM (1938) The mammals of China and Mongolia Part I. Natural History of Central Asia. American Museum of Natural History, New York, USA.
- Allendorf FW, Leary RF, Spruell P, Wenburg JK (2001) The problems with hybrids: Setting conservation guidelines. Trends in Ecology & Evolution, 16, 613–622.
- Birula A (1917) De Felibus asiaticus duabus novis. Annuaire du Musée Zoologique de l'Académie des Sciences, Petrograd, (Nouvelles et Faits divers), 21, 1–2.
- Büchner E (1892) Über eine neue Katzen-Art (*Felis pallida* n. sp.) aus China. Bulletin de l'Académie Impériale des Sciences de Saint-Petersbourg III, 35, 433–435.
- Chen NM, Li L, Sun S, Yin YF, Sanderson J (2005) Status of the Chinese mountain cat in Sichuan Province (China). Cat News, 43, 25–27.
- Driscoll CA, Menotti-Raymond M, Roca AL, Hupe K, Johnson WE, Geffen E, Harley EH, Delibes M, Pontier D, Kitchener AC, Yamaguchi N, MacDonald DW (2007) The Near Eastern origin of cat domestication. Science, 317, 519–523.
- Ellerman JR, Morrison-Scott TCS (1951) Checklist of Palaearctic and Indian Mammals 1758 to 1946. British Museum (Natural History) Trustees, London, UK.

- Figueiró HV, Li G, Trindade FJ, Assis J, Pais F, Fernandes G, Santos SHD, Hughes GM, Komissarov A, Antunes A, Trinca CS, Rodrigues MR, Linderot T, Bi K, Silveira L, Azevedo FCC, Kantek D, Ramalho E, Brassaloti RA, Villela PMS, Nunes ALV, Teixeira RHF, Morato RG, Loska D, Saragüeta P, Gabaldón T, Teeling EC, O'Brien SJ, Nielsen R, Coutinho LL, Oliveira G, Murphy WJ, Eizirik E (2017) Genome-wide signatures of complex introgression and adaptive evolution in the big cats. *Science Advances*, 3, e1700299.
- Gao YT, Wang S, Zhang ML, Ye ZY, Zhou JD (1987) Fauna Sinica•Mammalia (8): Carnivora. Science Press, Beijing. (in Chinese) [高耀亭, 汪松, 张曼丽, 叶宗耀, 周嘉楠 (1987) 中国动物志•兽纲(第八卷): 食肉目. 科学出版社, 北京.]
- Groves CP (1980) The Chinese mountain cat (*Felis bieti*). *Carnivores*, 3, 35–41.
- Guggisberg CAW (1975) Wild Cats of the World. Taplinger Publishing Company, New York.
- Haltenorth T (1953) Die Wildkatzen der Alten Welt. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, Germany.
- Han XS, Chen HQ, Dong ZY, Xiao LY, Zhao X, Lu Z (2020) Discovery of first active breeding den of Chinese mountain cat (*Felis bieti*). *Zoological Research*, 41, 341–344.
- He L, García-Perea R, Li M (2004) Distribution and conservation status of the endemic Chinese mountain cat *Felis bieti*. *Oryx*, 38, 55–61.
- Jacobi A (1923) Zoologische Ergebnisse der Walter Stötznerschen Expeditionen nach Szetschwan, Osttibet und Tschili auf Grund der Sammlungen und Beobachtungen Dr. Hugo Weigolds. 2. Teil, Aves: 4. Fringillidae und Ploceidae. Abhandlungen und Berichte des Museums für Tierkunde und Völkerrunde Dresden, 16, 23–37.
- Kitchener AC, Breitenmoser-Würsten C, Eizirik E, Gentry A, Werdelin L, Wilting A, Yamaguchi N, Abramov AV, Christiansen P, Driscoll C, Duckworth JW, Johnson W, Luo SJ, Meijaard E, O'Donoghue P, Sanderson J, Seymour K, Bruford M, Groves C, Hoffmann M, Nowell K, Timmons Z, Tobe S (2017) A revised taxonomy of the Felidae. The final report of the Cat Classification Task Force of the IUCN/SSC Cat Specialist Group. *Cat News Special Issue* 11.
- Kitchener AC, Rees EE (2009) Modelling the dynamic biogeography of the wildcat: Implications for taxonomy and conservation. *Journal of Zoology*, 279, 144–155.
- Li G, Davis BW, Eizirik E, Murphy WJ (2016) Phylogenomic evidence for ancient hybridization in the genomes of living cats (Felidae). *Genome Research*, 26, 1–11.
- Li S, McShea WJ, Wang DJ, Shen XL, Bu HL, Guan TP, Wang F, Gu XD, Zhang XF, Liao HH (2020) Construction progress of the camera-trapping network for the mountains of Southwest China. *Biodiversity Science*, 28, 1049–1058. (in Chinese with English abstract) [李晟, McShea WJ, 王大军, 申小莉, 卜红亮, 官天培, 王放, 古晓东, 张晓峰, 廖灏泓 (2020) 西南山地红外相机监测网络建设进展. 生物多样性, 28, 1049–1058.]
- Liao YF (1988) Some biological informations of desert cat in Qinghai. *Acta Theriologica Sinica*, 8, 128–131. (in Chinese with English abstract) [廖炎发 (1988) 青海荒漠猫的一些生物学资料. 兽类学报, 8, 128–131.]
- Lonnberg E (1925) Notes on some cats from Eastern Asia with description of a new subgenus. *Arkiv for Zoologi*, 18A(2), 1–22.
- Luo S, Han S, Song D, Li S, Liu Y, He B, Zhang M, Yamaguchi N (2022) *Felis bieti*. The IUCN Red List of Threatened Species 2022: e. T8539A213200674. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2022-1.RLTS.T8539A213200674.en>. (accessed on 2022-07-21)
- Matschie P (1908) Mammalia. In: Über chinesische Säugetiere, besonders aus den Sammlungen des Herren Wilhelm Filchner. Wissenschaftliche Ergebnisse der Expedition Filchner nach China und Tibet 1903–1905. Ernst Siegfried Mittler und Sohn, Berlin, 10, 134–244.
- Milne-Edwards A (1892) Observations sur les Mammifères du Thibet. *Révue. Générale Des Sciences Pures Appliqué*, 30, 670–672.
- Pocock RI (1943) *Felis bieti vellerosa* subsp. nov. *Proceedings of the Zoological Society of London*, 113B, 172–175.
- Pocock RI (1951) Catalogue of the Genus *Felis*. British Museum (Natural History), London, UK.
- de Pousargues E (1898) Sur l'identité spécifique du *Felis bieti* (A. M.-E.) et du *Felis pallida* (Buchn.). *Bulletin du Muséum National d'Histoire Naturelle (Paris)*, 4, 357–359.
- Randi E (2008) Detecting hybridization between wild species and their domesticated relatives. *Molecular Ecology*, 17, 285–293.
- Randi E, Pierpaoli M, Beaumont M, Ragni B, Sforzi A (2001) Genetic identification of wild and domestic cats (*Felis silvestris*) and their hybrids using Bayesian clustering methods. *Molecular Biology and Evolution*, 18, 1679–1693.
- Riordan P, Sanderson J, Bao W, Abdulkadir A, Shi K (2015) *Felis bieti*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T8539A50651398. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T8539A50651398.en>. (accessed on 2021-06-25)
- Sanderson J, Yin YF, Naktsang D (2010) Of the only endemic cat species in China: The Chinese mountain cat—*Felis bieti*. *Cat News*, 5, 18–21.
- Smith AT, Xie Y (2008) A Guide to the Mammals of China. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Sunquist ME, Sunquist F (2002) Wild Cats of the World. University of Chicago Press, Chicago.
- Taylor SA, Larson EL (2019) Insights from genomes into the evolutionary importance and prevalence of hybridization in nature. *Nature Ecology and Evolution*, 3, 170–177.
- Trigo TC, Schneider A, de Oliveira TG, Lehugeur LM, Silveira L, Freitas TRO, Eizirik E (2013) Molecular data reveal complex hybridization and a cryptic species of neotropical



- wild cat. *Current Biology*, 23, 2528–2533.
- Wan YQ, Li JQ, Yang XW, Li S, Xu HG (2020) Progress of the China mammal diversity observation network (China BON-Mammal) based on camera-trapping. *Biodiversity Science*, 28, 1115–1124. (in Chinese with English abstract) [万雅琼, 李佳琦, 杨兴文, 李晟, 徐海根 (2020) 基于红外相机的中国哺乳动物多样性观测网络建设进展. *生物多样性*, 28, 1115–1124.]
- Wang S (1990) The Chinese desert cat (*Felis bieti*). *Felid* 4:1.
- Wang Y, Liu Y, Gu X, Luo SJ, Song D (2021) Xinlong County of Ganzi, Sichuan, a newly discovered felid hotspot in South-west China. *Cat News*, 73, 32–36.
- Webb R, Francis S, Telfer P, Guillemont A (2016) Chinese mountain cat and Pallas's cat co-existing on the Tibetan Plateau in Sinchuan. *Cat News*, 63, 31–33.
- Weigold H (1923) Eine dringende Pflicht der Naturforscher. Sonderdruck Auflage.
- Yin YF, Drubyal A, Lu Z, Sanderson J (2007) First photographs in nature of the Chinese mountain cat. *Cat News*, 47, 6–7.
- Yu H, Xing YT, Meng H, He B, Li WJ, Qi XZ, Zhao JY, Zhuang Y, Xu X, Yamaguchi N, Driscoll CA, O'Brien SJ, Luo SJ (2021) Genomic evidence for the Chinese mountain cat as a wildcat conspecific (*Felis silvestris bieti*) and its introgression to domestic cats. *Science Advances*, 7, eabg0221.

(责任编辑: 李晟 责任编辑: 闫文杰)