

编者按：中国是全球生物多样性最为丰富的国家之一，哺乳动物资源丰富，作为生态系统中的关键功能类群，其在维持生态系统稳定与功能完整性方面发挥着不可替代的作用。然而，在经济快速发展、气候变化加剧和人类活动持续扩张的多重压力下，许多大中型哺乳动物正面临严峻的生存威胁。保护生物学的迅速发展为应对日益严峻的生物多样性保护挑战提供了重要科技支撑。目前，保护生物学研究已涵盖多个分支学科，包括行为学、生理学、遗传学、基因组学与宏基因组学、演化生物学及医学等，逐步形成系统而多元的研究体系。随着新技术与新方法的不断涌现，我国学者在哺乳动物保护生物学研究中取得了一系列突破性进展和重要成果，为制定科学有效的保护管理策略奠定了坚实基础。在此背景下，我们组织了本期“保护生物学研究”专辑，共收录13篇文章，包括9篇研究论文、3篇综述和1篇研究简报。研究对象涉及大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*)、川金丝猴 (*Rhinopithecus roxellana*)、中华穿山甲 (*Manis pentadactyla*)、亚洲黑熊 (*Ursus thibetanus*)、棕熊 (*U. arctos*)、野猫 (*Felis silvestris*)、布氏鲸 (*Balaenoptera edeni*) 等物种。研究内容涵盖生境选择与栖息地适宜性、活动节律、种群动态、气候变化与人类活动影响等多个方面，并对近15年来中国大中型陆生哺乳动物的保护研究进展进行了系统总结。本专辑旨在进一步推动我国哺乳动物保护生物学研究的不断深入，为保护管理策略的制定提供科学依据与支撑。

(本期责任编辑：聂永刚)

中国大中型陆生哺乳动物保护研究进展

聂永刚* 张超 高华窈 刘翰卿 谢冰

(中国科学院动物研究所, 动物多样性保护与有害动物防控重点实验室, 北京 100101)

摘要：中国作为全球动物多样性最丰富的国家之一，拥有包括大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*)、雪豹 (*Panthera uncia*)、金丝猴 (*Rhinopithecus* spp.)、藏羚 (*Pantholops hodgsonii*) 等旗舰物种在内的700余种哺乳动物。然而，随着气候变化加剧和人类活动扩张，许多大中型哺乳动物面临较严重的生存威胁，亟需开展系统性的保护研究。近年来，随着新技术与新方法的不断发展，我国学者在哺乳动物保护研究领域取得了一系列突破性进展与重要研究成果，为制定科学的保护管理策略提供了重要依据。本文从行为与生理适应、种群动态与物种共存机制、肠道微生物与宿主协同适应、疾病防控、遗传与适应性进化等方面，系统综述了2010—2025年间我国大中型陆生哺乳动物保护研究进展。展望未来，应加强生态系统及其重要物种的整体性保护研究，推动多学科交叉融合，积极研发应用人工智能等新兴技术手段，通过系统阐明环境变化对大中型哺乳动物的影响过程来指导科学的保护管理，以应对日益严峻的生物多样性保护挑战。

关键词：哺乳动物；保护研究；行为适应；种群动态；遗传进化；肠道微生物

中图分类号：Q16

文献标识码：A

文章编号：1000–1050 (2025) 05–0559–18

Advances in conservation research of large- and medium-sized terrestrial mammals in China

NIE Yonggang*, ZHANG Chao, GAO Huayao, LIU Hanqing, XIE Bing

(Key Laboratory of Animal Biodiversity Conservation and Integrated Pest Management, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

基金项目：国家杰出青年科学基金 (32225033)；国家重点研发计划 (2022YFF1301500)

作者简介：聂永刚 (1979–)，男，博士，研究员，主要从事濒危哺乳动物生态适应与保护研究。

收稿日期：2025–05–08；**接受日期：**2025–09–04

* 通讯作者, Corresponding author, E-mail: nieyg@ioz.ac.cn

Abstract: As one of the world's most biodiverse countries, China is home to more than 700 mammal species, including flagship species such as giant pandas, snow leopards, snub-nosed monkeys, and Tibetan antelopes. However, exacerbated by climate change and expanding human activities, many large- and medium-sized mammals face severe survival threats, necessitating systematic conservation research. In recent decades, with continuous advancements in research methodologies and technologies, Chinese scientists have achieved a series of groundbreaking research outcomes in mammalian conservation, providing critical foundations for developing scientific management and protection strategies. This paper systematically reviews research progress in the conservation of China's large- and medium-sized terrestrial mammals from 2010 to 2025, covering aspects such as behavioral and physiological adaptations, population dynamics and species coexistence mechanisms, gut microbiota-host co-adaptation, disease prevention and control, and genetic and adaptive evolution. Looking ahead, it is essential to strengthen research on holistic ecosystem conservation, promote interdisciplinary integration, and actively develop and apply emerging technologies such as artificial intelligence. By systematically elucidating the impact of environmental changes on large- and medium-sized mammals, these efforts will guide scientifically informed conservation management to address the increasingly severe challenges of biodiversity conservation challenges.

Key words: Mammals; Conservation research; Behavioral adaptation; Population dynamics; Genetic evolution; Gut microbiota

中国是全球生物多样性最丰富的国家之一, 拥有丰富的哺乳动物资源, 包括大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*)、虎 (*Panthera tigris*)、雪豹 (*P. uncia*)、金丝猴 (*Rhinopithecus* spp.)、亚洲象 (*Elephas maximus*)、麋鹿 (*Elaphurus davidianus*)、藏羚 (*Pantholops hodgsonii*)、普氏原羚 (*Procapra przewalskii*) 等保护旗舰物种。根据最新发布的《中国兽类名录 (2024 版)》统计, 我国哺乳动物有效种达到 12 目 58 科 263 属 736 种 (魏辅文等, 2025)。作为生态系统中的关键功能类群, 陆生哺乳动物在维持生态系统的稳定性和功能完整性方面发挥着不可替代的作用 (Ripple *et al.*, 2014)。然而, 在经济快速发展、气候变化加剧和人类活动不断扩张的多重压力下, 许多大中型陆生哺乳动物正面临严峻的生存威胁。在此背景下, 我国学者在中大型陆生哺乳动物保护领域开展了系统研究。行为与生理研究揭示了物种对环境变化的响应与适应机制, 种群与群落动态分析可评估物种的生存状态及生态系统稳定性, 微生物与疾病研究可预警野生动物健康风险, 而通过遗传多样性与适应性进化等研究则可评估物种的长期生存潜力。这些研究覆盖了从短期威胁到长期存续风险的核心问题, 为科学保护策略的制定提供了多尺度的理论支撑。本文重点梳理了 2010—2025 年间我国大中型陆生哺乳动物在上述研究领域的主要进展, 由于涉及内容广泛且研究成果丰富, 未能详尽涵盖所有研究成果。

1 行为与生理

1.1 行为适应

我国大中型陆生哺乳动物的行为研究在食肉目、灵长类和有蹄类物种中表现突出。在食肉目动物研究领域, 以大熊猫为代表, 研究揭示了其多维度的行为特征: 栖息地选择上显著偏好原始林, 且雌雄个体在栖息地利用模式上存在差异 (Qi *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2011); 通讯行为中会选择一定特征的树木进行气味标记, 这种选择可显著提升信号在环境中的留存时间、传播范围和探测效率 (Nie *et al.*, 2012a); 繁殖策略上, 雄性在争夺配偶的初期通过激烈的接触性攻击确立等级关系, 随后转为非接触威胁和回避行为, 优势个体采取配偶护卫策略以垄断交配机会, 而劣势个体则表现出更多的回避行为 (Nie *et al.*, 2012b)。值得注意的是, 卫星项圈监测研究发现, 圈养放归个体能够在 3~4 个月的适应期后建立稳定的野生行为模式, 包括双峰日活动节律和季节性活动变化, 并表现出主动迁移至新栖息地的行为适应性 (He *et al.*, 2019; Zhu *et al.*, 2019)。

中国作为北半球灵长类物种最丰富的国家, 在其行为学研究领域取得系列重要发现。川金丝猴 (*Rhinopithecus roxellana*) 展现出复杂的社会行为模式: 其多层级社会结构由多个单雄多雌 (OMU) 和全雄 (AMU) 单位组成, 通过季节性聚集和成员交换促进基因流动 (Qi *et al.*, 2014); 群体决策遵循“法定人数”原则, 社群中的核心个体发起移动起

始和移动方向决策，决策实施至少需要3~4个成年成员支持(Wang *et al.*, 2020)。雄性个体在首领更替后常出现杀婴行为，以缩短雌性的生育间隔(Yao *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2023a)。作为应对，雌性发展出社群单位外交配、联合防御和社群转移等反制策略(Qi *et al.*, 2020; Xiang *et al.*, 2022)。该物种还表现出死亡共情行为，对幼仔和亚成体会进行尸体照料、理毛和嗅吻，对成年个体则表现为注视、鸣叫和触碰，并表现出悲伤的情绪(Yang *et al.*, 2016, 2022a)。此外，Xiang等(2019)研究发现超过87%的川金丝猴幼仔会接受非生母雌性的哺乳，这种异母哺乳行为主要集中于幼仔出生后的前三个月，且多发生在具有亲缘关系的雌性之间。在其他物种中，白头叶猴(*Trachypithecus leucocephalus*)的全雄群体表现出与无重叠家域范围的两性群体显著不同的行为模式，取食更成熟的叶子、觅食时间更长、家域范围更广以及日移动距离更长，反映了全雄群在资源获取、竞争风险与繁殖机会间的适应性权衡(Liu *et al.*, 2025)。Yang等(2025a)通过4G太阳能夜视相机研究发现，藏酋猴(*Macaca thibetana*)虽保持典型昼行性动物的夜间高睡眠比例，但在午夜仍有包括静息、移动和社交在内的活动高峰出现，其昼夜活动模式受气温与社会因素的调控。

长臂猿行为研究揭示了其独特的生态适应策略与声学通讯机制。高黎贡白眉长臂猿(*Hoolock tianxing*)通过选择睡眠树降低被捕食风险，其偏好高大树木的顶端细枝，且极少重复使用同一棵睡眠树(Fei *et al.*, 2017)。它们会根据季节调整行为策略，在冷季选择低海拔、靠近潜在取食树的睡眠树，并延长停留时间(Fei *et al.*, 2019)。同时还展现出卓越的空间认知和路线规划能力，能根据早餐树与睡眠树的距离调整离开睡眠树的时间和移动速度，并且在捕食风险增加和天气恶劣的情况下加快前往隐蔽睡眠树的速度(Fei *et al.*, 2022, 2023)。此外，Huang等(2020a)研究发现，东黑冠长臂猿(*Nomascus nasutus*)与西黑冠长臂猿(*N. concolor*)的声学通讯系统展现出与人类语言的相似性，其鸣叫符合齐普夫省力法则和门泽拉特定律。虽然长臂猿的发声结构受遗传控制，但对东黑冠长臂猿、西黑冠长臂猿和海南长臂猿(*N. hainanus*)的研究发现，遗传差异并不是导致物种

发声结构差异的唯一因素(Han *et al.*, 2025)。在群体合唱中，雄性通过调整节奏(等时性更强、速度更快)，促进与雌性歌曲的协调(Ma *et al.*, 2024a)。

在有蹄类动物研究领域，栖息地选择、活动节律、觅食、警戒及其对人为干扰的响应是关注焦点。研究表明，中华扭角羚(*Budorcas tibetana*)的栖息地选择具有尺度依赖性，其活动节律表现为晨昏双峰型模式，家域、运动速率以及微生境选择均呈现显著季节性差异(Yan *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2020a)。北山羊(*Capra sibirica*)的栖息地选择展现出显著的性别差异，雌性个体偏好最崎岖的地形以增强自身及幼仔的安全性，而雄性选择中等崎岖度地形，在保障捕食者防御的同时兼顾优质食物资源的可获得性(Han *et al.*, 2021)。值得注意的是，道路基础设施建设等人为干扰显著改变了有蹄类动物的行为模式。藏羚在道路周边区域的警戒时间和频率显著增加，而觅食时间减少(Lian *et al.*, 2011)；野牦牛(*Bos mutus*)从主要栖息地至食物区的迁移路径也受到车辆行驶轨迹的明显干扰(Su *et al.*, 2018)。此外，有蹄类动物对人为干扰的行为响应存在群体差异。鹅喉羚(*Gazella subgutturosa*)的小规模单性别群体比大规模混合群体更易受人为干扰的影响(Xu *et al.*, 2022a)；普氏原羚雄性个体的警戒水平显著高于雌性，群体中心位置个体的警戒水平低于边缘位置个体(Shi *et al.*, 2011)；藏野驴(*Equus kiang*)的警戒行为随群体规模的减少而增加，且群体警戒倾向于同步警戒(Wang *et al.*, 2021a)。建设野生动物通道是减轻道路影响的有效措施。Ding等(2024)研究发现，蒙古野驴(*Equus hemionus*)显著偏好邻近水源且开阔度高的通道；鹅喉羚则倾向于选择具有积水特征与高开阔度的通道结构，同时铁路通道距离、捕食者和人类活动等因素会显著影响鹅喉羚的通道利用行为。

1.2 生理适应

我国大中型陆生哺乳动物的生理研究主要关注于能量代谢、繁殖生理以及对人为干扰的应激反应等。Nie等(2015)研究揭示了大熊猫维持低水平的能量消耗与其耗能器官缩小、活动水平降低和甲状腺激素水平低等特征密切相关。雄性大熊猫睾酮水平呈现交配季动态变化，但睾酮水平并非在整个交配季都持续高位，仅在遇到潜在配偶

或竞争者时激增 (Nie *et al.*, 2012c)。粪便激素分析显示, 人为干扰显著影响野生动物生理状态: 亚洲象皮质醇浓度与人为干扰强度显著正相关 (Tang *et al.*, 2020a); 雌性普氏原羚在产羔期糖皮质激素水平和警戒行为达峰值 (Liu *et al.*, 2020a)。大熊猫的皮质醇激素水平、寄生虫感染强度与营养摄入水平同步, 且幼仔和亚成体相较于成年个体承受更高的寄生虫负荷与生理应激 (Zhou *et al.*, 2020)。此外, Song 和 Wu (2022) 研究发现, 岩羊 (*Pseudois nayaur*) 在秋冬繁殖季节先天免疫和红细胞免疫功能显著降低, 这可能与繁殖系统和免疫系统间能量分配权衡机制相关, 而食物短缺、人为干扰、低温和严重干旱可能是阻碍岩羊在冬季前正常提升免疫力的原因。

2 种群与群落

2.1 种群结构与动态

种群数量、结构和变化趋势是评估物种生存状况和保护成效的重要依据。Wan 等 (2019) 通过重建公元前 905 年至公元 2006 年间 11 种大中型哺乳动物种群时空动态数据, 发现局地灭绝率与人类活动干扰强度及极端温度变化显著相关, 栖息地破碎化进一步限制了气候变暖背景下物种向高纬度或高海拔地区的迁移。研究表明, 保护区体系的建设有效改善了大熊猫的栖息地质量, 缓解了负面因素冲击, 促进了大熊猫种群数量的稳步增长 (Wei *et al.*, 2020; Tang *et al.*, 2020b)。景观连通性的提升增强了基因流动, 进而促进了大熊猫种群密度的恢复 (Wang *et al.*, 2024)。然而, Li 等 (2020b) 研究发现, 自 20 世纪 60 年代以来, 大熊猫分布范围内的保护区内, 雪豹、豹 (*Panthera pardus*)、狼 (*Canis lupus*) 和豺 (*Cuon alpinus*) 的分布范围出现显著退缩, 减少了 38%~95%, 反映了以大熊猫为核心的保护策略在保护其他大型食肉动物方面的局限性, 未来的保护工作应注重恢复高营养复杂性的生态系统, 促进大型食肉动物种群恢复。

大型食肉动物作为顶级捕食者, 其生存依赖完整的大面积栖息地和充足的大型猎物资源, 因而对栖息地丧失和破碎化尤为敏感 (Ripple *et al.*, 2014)。随着人口增长和经济发展, 森林采伐、农业开垦等活动导致原始森林大面积丧失, 不仅直接压缩了虎等大型食肉动物的栖息地, 还通过减

少大型有蹄类猎物数量和分布范围间接影响其生存 (Zhang *et al.*, 2013; Wolf and Ripple, 2017; Feng *et al.*, 2021)。此外, 盗猎、人兽冲突和疾病传播等威胁进一步加剧了这些物种的生存压力 (Wang *et al.*, 2016)。由于大型食肉动物行为隐秘且活动范围广, 其种群规模的估算极具挑战性。Li 等 (2025) 通过整合 2015—2021 年间 4 个机构在 12 个地点的红外相机监测数据, 应用空间显性捕获-重捕模型, 首次对青藏高原 $3.6 \times 10^5 \text{ km}^2$ 区域内的雪豹种群进行估算, 结果显示该区域雪豹数量约为 1 002 只, 占全球雪豹种群的 11%~21%。研究证实了该方法在个体可识别物种大规模种群研究中的适用性。得益于中俄跨境保护合作, 虎东北亚种 (*Panthera tigris altaica*) (东北虎) 种群数量自 2010 年以来呈现出显著的恢复趋势 (Wang *et al.*, 2016; Xiao *et al.*, 2016; Qi *et al.*, 2021)。2019 年东北虎豹国家公园内已监测到 26~27 只成年东北虎, 然而, 即使按最高环境承载力估算, 该公园仅可支持 101 只东北虎, 仍不足以维持其种群的长期可持续生存 (Wen *et al.*, 2022)。Wang 等 (2023b) 通过整合种群动态模型与流行病学模型, 评估了家犬管理、增强种群连通性和扩展栖息地等措施控制负面影响的可行性, 结果表明协同实施 3 种保护措施时, 可在最高近交衰退水平下将 100 年内东北虎的灭绝概率降至 5.8% 以下。与大型食肉动物相比, 中型猫科动物受关注度相对较低。Duan 等 (2024) 基于 2008—2019 年监测数据研究发现, 金猫 (*Catopuma temminckii*) 现存种群主要集中于中国西南部, 可划分为 4 个地理区域: 秦岭山地、横断山区、东喜马拉雅区域和滇南地区, 其毛色表型多样性呈东北向西南递增的趋势。

人类活动引发的环境变化显著加速了中国灵长类物种的种群衰退, 目前几乎所有物种均栖息于破碎化生境中, 形成多个孤立小种群, 致使个体迁移和基因交流严重受限 (Li *et al.*, 2018)。值得注意的是, 其中 56% 的物种分布在贫困地区, 正面临农业扩张和气候变化的双重压力 (Zhao *et al.*, 2021)。Li 等 (2024a) 研究表明, 在人类活动和气候变化的共同影响下, 中国灵长类物种的高度适宜栖息地预计将持续缩减, 导致物种被限制在当前分布范围内更小且更边缘化的区域, 从而加剧其灭绝风险。同时, 该研究表明保护区对灵长类

物种的分布具有积极影响。Zhang等(2021)研究证实,保护区通过减少森林丧失和人类干扰,有效保护了长臂猿栖息地,但自保护区建立以来,已有半数保护区的长臂猿种群消失。研究发现,长臂猿更可能在建立时间较晚、海拔较高、森林丧失较少、人类影响较低且科学研究相对充分的保护区中存活。Ma等(2020)和Fan等(2022)通过固定监听点和三角定位法分别对中越跨境东黑冠长臂猿和无量山西黑冠长臂猿种群进行调查,揭示了缓慢的种群增长趋势。Liu等(2022a)通过同步全计数调查和早晨鸣叫定位,监测海南热带雨林国家公园内的海南长臂猿种群,发现2021年种群数量较2003年增长169%,但规模仍然极小,且其繁殖潜力未完全实现。

过去50年来,在强有力的保护政策推动下,我国亚洲象种群数量已从约150头恢复至300余头(Yang *et al.*, 2021)。然而,随着橡胶、茶叶等经济作物的大规模商业化种植,西双版纳地区约40%的原始栖息地遭到破坏,导致人象冲突加剧(Yang *et al.*, 2021)。自20世纪90年代末以来,亚洲象频繁出现扩散迁移行为(Jiang *et al.*, 2021; Chen *et al.*, 2022)。Bai等(2022)通过分析1959—2021年间亚洲象分布数据,发现其新地点出现概率与气温和人口密度变化显著正相关,表明气候变暖和人类活动扩张驱动了象群向高纬度地区迁移。Jiang等(2023)进一步以云南南部的亚洲象自然保护区和适宜栖息地为生态斑块,结合地形和地表状态构建生态阻力面,利用电路理论模型和遥感数据识别出三组以灌木和草地为主的生态廊道,以及总面积602 km²的生态瓶颈点(亚洲象通过概率高但空间狭窄)。Li等(2024b)整合物种分布模型与基于图论的景观功能连通性模型,发现农田/人工林恢复对提升亚洲象的栖息地连通性有效。这些研究揭示了亚洲象最可能的迁移路线和关键生态瓶颈点,为亚洲象的种群保护与管理策略提供了科学依据。

对有蹄类动物而言,基础设施建设、矿产资源开发、栖息地破碎化、放牧压力以及旅游活动等构成了主要威胁。Xu等(2022b)研究表明,蒙古野驴在中国的历史分布范围自1950年以来大幅缩减至不足40 000 km²,总种群数量约为4 000只。普氏原羚历史上曾广泛分布于中国西部地区,但20世纪以来其分布范围已缩减至青海湖周边的几个

碎片化区域;2009—2011年和2020—2021年的调查显示,其总种群数量从1 544只增至4 000余只,但部分亚种群数量持续下降(Liu *et al.*, 2023)。Ding等(2022)在云南临沧市的豚鹿(*Axis porcinus*)历史分布区进行多年系统监测,未发现豚鹿踪迹,表明其可能已在中国野外灭绝。重引入在濒危物种保护方面发挥了重要作用,研究表明,自1998年重引入麋鹿以来,截至2021年约9 000余只麋鹿(包括2 825只野生个体)分布在83个地点,其中北京麋鹿苑、江苏大丰麋鹿自然保护区和湖北石首麋鹿自然保护区的平均出生率超过0.200,平均成年死亡率低于0.085,推动了种群的快速增长,为濒危物种保护提供了成功范例(Cheng *et al.*, 2021),近期数据显示目前中国麋鹿种群已达14 000余只。

深度学习技术的应用显著提升了物种监测的精确性和效率,为陆生哺乳动物保护管理提供了重要的技术支撑。Alibhai等(2023)开发了基于雪地足迹的东北虎个体识别技术,为景观尺度的种群恢复评估提供了可靠方法。Ma等(2025)以东北虎豹国家公园的16只野生东北虎为研究对象,设计两阶段再识别流程(分割和分类),实现了95.49%的个体识别准确率,不仅为东北虎种群监测和时空分析提供了有效工具,也为其他具有独特毛皮图案物种的保护研究提供了可借鉴的技术框架。同时,针对灵长类动物的个体识别,Guo等(2020b)开发的深度学习系统通过面部监测实现了94.1%的识别准确率,并能够每秒处理31张面部图像,为多物种的个体识别提供了高效工具。此外,在野生鹿科动物监测领域,Ma等(2024b)基于深度学习的两阶段定位和分类流程(YOLOv7和CA-Hybrid网络)有效减少了背景干扰,实现了95.9%的鹿科动物定位精度和77.73%的物种识别准确率,为无人机红外图像中的野生动物监测提供了重要参考。

2.2 群落稳定性与物种共存

群落稳定性与物种共存机制研究取得重要进展,揭示了多种生态过程在维持生物多样性和生态系统功能中的关键作用。Li等(2024c)基于占域模型和交叉小波分析揭示,东北虎豹国家公园内小型食肉动物通过昼夜时间生态位分化和全年异相位同步性活动,实现与东北虎豹的共存。She等

(2024) 通过结构方程模型进一步揭示, 东北虎分布范围内多营养级群落稳定性主要受垂直结构(营养级丰富度和功能群补偿动态)驱动, 同时水平多样性和外部因素也发挥了重要作用。在青藏高原地区, Lu 等 (2023) 利用粪便 DNA 宏条形码技术构建食肉动物群落营养网络, 发现不同物种通过猎物多样性、体型类别和利用比例的差异实现营养生态位分离, 促进其在严苛环境中的共存。研究表明, 山地森林中黑麂 (*Muntiacus crinifrons*) 和小麂 (*M. reevesi*) 通过微生境分化(小麂偏好高冠层密度和缓坡, 黑麂依赖高海拔和陡坡) 和生态位互补实现共存(Deng *et al.*, 2021)。同时, 通过对豹华北亚种 (*Panthera pardus japonensis*) 及其主要猎物活动节律的研究, 揭示了月相亮度通过视觉能力差异驱动捕食者-猎物时间生态位分化的共存机制(Zaman *et al.*, 2022)。此外, Tian 等 (2020) 研究表明, 大熊猫、毛冠鹿 (*Elaphodus cephalophus*) 和中华鬣羚 (*Capricornis milneedwardsii*) 通过显著的时间生态位分化缓解同域资源竞争, 但家畜与野生动物的高活动时间重叠表明放牧活动可能破坏这种动态平衡。

2.3 生物多样性格局

中国未来的保护区扩张须聚焦于“保护何处”而不仅是“保护多大面积”(Li and Pimm, 2020)。深入理解生物多样性格局及其动态变化, 对于识别优先保护区以及优化保护网络设计具有重要意义。Hu 等 (2021) 基于 3 种遗传标记和物种系统进化树, 对我国陆生脊椎动物的遗传多样性和系统发育多样性空间格局进行了系统评估。研究发现, 西南和华南地区具有较高的遗传多样性, 建议将其作为保护优先区域。在控制物种多样性对系统发育多样性高低的影响后, 发现南方部分区域(海南和广西等)具有显著高的系统发育多样性, 是陆生脊椎动物多样性演化的“博物馆”; 而横断山区具有显著低的系统发育多样性, 是陆生脊椎动物多样性演化的“摇篮”。进一步研究表明, 末次盛冰期的剧烈气候变化对当代生物多样性格局具有显著遗留影响, 如北方和西部地区更强的系统发育聚集性、较低的功能丰富度以及较高的功能分化和均匀度, 均与古气候波动密切相关(Huang *et al.*, 2023a)。

Wang 等 (2023c) 通过物种保护所需栖息地最小面积 (MARs) 评估现有保护地网络能否满足中国

大中型陆生哺乳动物的保护需求, 发现降水季节性、海拔、年均温和年降水是驱动 MARs 空间分布的关键因素, 多数物种主要分布的省(自治区)内最大受保护栖息地斑块面积严重不足, 大型食肉动物和受威胁物种尤为突出。对西藏现有自然保护地网络猫科动物多样性保护效力的系统评估发现, 约 76% 的优先区仍处于保护地网络之外, 是未来保护计划需要重点关注的区域(Lv *et al.*, 2024)。Zhang 等 (2025) 通过多维多样性指数识别了中国受威胁有蹄类动物的保护优先区, 发现相比于喜马拉雅和横断山区等生物多样性热点区域, 受人类活动干扰更强的东部优先区仅有约 22% 被保护区覆盖, 亟需更多的保护关注。Yang 等 (2025b) 模拟了 5 种栖息地恢复情景对大熊猫及其同域分布物种的影响, 发现大熊猫栖息地恢复策略(尤其是灌丛改造成森林)虽能提高同域分布物种的物种丰富度与功能多样性, 却可能降低系统发育多样性, 表明生态修复需平衡目标物种与伴生种的保护效益。

3 微生物与疾病

3.1 肠道微生物与宿主适应

我国在中大型陆生哺乳动物肠道微生物宏基因组学研究领域进展迅速, 揭示了肠道微生物在宿主演化与生态适应中的关键作用。Zhu 等 (2011) 首次将宏基因组学应用于大熊猫肠道微生物研究, 揭示了其对竹子消化的适应性特征; 后续研究发现其菌群富含氰化物解毒酶(Zhu *et al.*, 2018c), 并能高效代谢黄酮类化合物, 菌群结构呈现与竹叶和竹笋中黄酮类化合物同步的季节性波动特征(Wang *et al.*, 2021b)。基于宏基因组测序分析, 发现野生亚洲象偏好低纤维含量的农作物与谷物, 其胃肠道内具有专门消化这类食物的独特微生物群落、功能水解酶及代谢通路, 为解释亚洲象异常北迁提供了依据(Li *et al.*, 2023c)。Li 等 (2015) 发现, 动物肠道微生物与宿主系统发育显著相关, 大熊猫肠道微生物与系统发育更接近的亚洲黑熊 (*Ursus thibetanus*) 相似度高于同样食竹的中华小熊猫 (*Ailurus styani*)。对高、低海拔动物肠道微生物的比较分析表明, 高海拔有蹄类动物肠道微生物在碳水化合物活性酶和短链脂肪酸合成代谢通路上发生趋同进化, 展现了微生物与宿主协同适应高原环境的演化特征(Zhang *et al.*, 2016; Xu *et al.*, 2024)。

在生态环境适应方面,野生动物的肠道微生物表现出显著的季节性和地理差异,揭示了其在不同环境条件下的适应性变化。大熊猫(Wu *et al.*, 2017)、长臂猿(Lan *et al.*, 2025a)、林麝(*Moschus berezovskii*, Hu *et al.*, 2018)、扭角羚(Chen *et al.*, 2017)、梅花鹿(*Cervus nippon*, Ma *et al.*, 2024c)、白唇鹿(*Przewalskium albirostris*, You *et al.*, 2022)等物种的肠道菌群随季节变化而调整,以适应不同时期的饮食转变。同时,同一物种的肠道微生物在不同栖息地之间也表现出显著差异,这种差异主要由宿主遗传因素(同质选择)、环境过滤(异质选择)以及扩散限制驱动(Lan *et al.*, 2025a)。秦岭、岷山以及大、小相岭的大熊猫分别拥有不同的优势菌种肠道微生物谱系,这与宿主遗传特异性显著相关(Huang *et al.*, 2023b)。四川、云南和黑龙江的亚洲黑熊在肠道微生物多样性和丰富度方面也存在显著差异,揭示了生物地理因素对微生物-宿主共适应的影响(Song *et al.*, 2017)。西藏地区的猕猴(*Macaca mulatta*)与海南、南宁、贵州等地相比具有最高的微生物多样性,反映了高海拔环境对肠道微生物的独特影响(Zhao *et al.*, 2018)。野马(*Equus ferus*)和狍(*Capreolus pygargus*)等野生动物在不同栖息地间也表现出不同的肠道微生物组成与多样性差异(Yuan *et al.*, 2022; Tang *et al.*, 2023)。此外, Xia 等(2024)在滇金丝猴(*Rhinopithecus bieti*)粪便中检测出36种微塑料,发现微塑料含量与投食行为和旅游活动显著相关,但当前污染水平尚未引发其肠道菌群紊乱。

迁地保护是濒危物种保护的重要策略,旨在通过科学管理圈养种群为野外种群复壮提供基因多样性资源。研究表明,由于饮食和环境的显著差异,野外种群的肠道微生物通常比圈养种群具有更高的多样性,例如亚洲象、小熊猫、藏野驴和高黎贡白眉长臂猿等(Kong *et al.*, 2014; Gao *et al.*, 2019; Lan *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2023a)。然而,梅花鹿和麋鹿的圈养种群反而表现出更高的微生物多样性,这可能与圈养环境中的饲料多样性和管理方式有关(Guan *et al.*, 2017; Yao *et al.*, 2023)。Yan 等(2021)研究发现,相比于圈养种群,野生双峰驼(*Camelus ferus*)产挥发性脂肪酸菌群增加,产甲烷菌数量减少,从而提升能量利用效率,

帮助宿主适应贫瘠的野外环境。肠道微生物体现宿主的生理健康状态(Zhu *et al.*, 2018a),可以作为评估圈养个体是否成功重新引入野外的重要依据。Huang 等(2024)通过对放归大熊猫个体进行为期十年的宏基因组监测,发现其肠道微生物逐渐向野外个体趋同,这一变化被视为大熊猫成功适应野外环境的重要标志。此外, Guo 等(2022)发现,马鹿(*Cervus elaphus*)在重新引入野外种群的过程中,通过摄食变化塑造微生物群落,逐步适应自然环境,这表明释放后的早期阶段是微生物群落重塑的关键时期。

动物肠道病毒在协助宿主适应生态环境方面的研究也取得重要进展。哺乳动物肠道病毒中,噬菌体作为重要组成部分,在宿主生理健康方面发挥着关键作用。Gao 等(2024)研究发现,海南长臂猿肠道噬菌体与细菌群落之间存在复杂而紧密的相互作用,随着季节性饮食变化,噬菌体群落的丰度及功能与细菌群落共同做出适应性响应。类似地,大熊猫肠道噬菌体的组成和丰度也随着年龄增长和饮食变化受到显著影响(Guo *et al.*, 2020a)。

3.2 疾病影响及防控

病原体对野生动物种群,尤其是濒危物种,可能产生严重的负面影响。一旦种群中发生病原体暴发,可能导致种群数量急剧下降,甚至面临灭绝的风险。同时,病原体具有跨物种传播的能力,对同一生态系统中的其他野生动物构成极大威胁。Cui 等(2023)研究发现,小核糖核酸病毒(picornavirus)和呼吸道病毒(respiroviruses)可能在蝙蝠和穿山甲之间传播。犬瘟热病毒(canine distemper virus, CDV)是犬科动物中高度流行的致病性病毒,在一次病毒暴发中,感染CDV的6只大熊猫中有5只死亡,2只死亡的小熊猫体内也检测到了该病毒,表明其对濒危食肉目动物的威胁极为严重(Feng *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2022a)。此外, Wei 等(2016)发现新疆地区的鹅喉羚、狼、岩羊和盘羊(*Ovis ammon*)等也曾感染H7和H9禽流感病毒。

对野生种群进行病原体监测,及时掌控野生动物疫病流行状态,对于动物保护具有重大意义。Wu 等(2020)对新疆8种野生反刍动物进行病原体血清流行率调查,发现包括西尼罗病毒(west nile virus)和布鲁氏菌(*Brucella* spp.)在内的病原体均

呈血清阳性。小反刍兽疫病毒 (peste des petits ruminants viruses, PPRV) 是一种对有蹄类动物具有强致病性的病原体, 传播范围极广, 在北山羊、盘羊、鹅喉羚、岩羊和普氏原羚中均被检测到 (Bao *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2019)。Yang 等 (2022b) 发现亚洲象感染大象嗜内皮疱疹病毒 (elephant endotheliotropic herpesviruses) 的概率与其年龄显著相关。Jiang 等 (2020) 基于口蹄疫病毒 (foot-and-mouth disease, FMD) 病例报告, 使用物种分布模型, 预测了大象 FMD 风险区域及气候变化影响下的变化趋势, 为疾病预防和种群保护提供了科学依据。

通过分析病毒基因或氨基酸序列信息, 推断毒株的起源、传播路径及其与已知毒株的亲缘关系, 可以为野生动物疫病防控提供科学依据。Liu 等 (2020b) 研究发现穿山甲冠状病毒与 SARS-CoV-2 以及一组蝙蝠冠状病毒具有遗传相关性, 证实了穿山甲作为冠状病毒天然宿主的可能性。Dai 等 (2021) 从藏羚中鉴定出一种新型圆环病毒, 即羚羊环状病毒 (antelope torovirus, AToV), 重组分析发现其曾参与两株荷兰牛圆环病毒 (bovine torovirus) 的基因重组事件, 表明其可能存在跨种传播, 且在荷兰和中国均有分布。

寄生虫可能对野生动物造成临床症状, 威胁宿主健康。目前, 国内关于大中型陆生哺乳动物寄生虫的研究主要集中在有蹄类动物中 (Cong *et al.*, 2016; Qin *et al.*, 2021; Zhou *et al.*, 2021)。麋鹿中发现多种类型的寄生虫感染, 如肝吸虫 (*Fasciola hepatica*)、弓形虫 (*Toxoplasma gondii*)、犬新孢子虫 (*Neospora caninum*)、比氏肠胞微孢子虫 (*Enterocytozoon bieneusi*) 等 (Zhang *et al.*, 2015; Han *et al.*, 2016; Huang *et al.*, 2020b, 2020c)。梅花鹿中同样发现多种寄生虫感染, 包括可引起莱姆病的伯氏疏螺旋体 (*Borrelia burgdorferi*) 和比氏肠胞微孢子虫 (Zhai *et al.*, 2017; Cai *et al.*, 2022)。通过粪便镜检, 在林麝、藏羚和普氏原羚中检测出球虫、线虫、绦虫等寄生虫 (Wang *et al.*, 2016; Cao *et al.*, 2020; Gao *et al.*, 2021)。

4 遗传与进化

4.1 系统发育关系

系统发育关系研究通过构建系统发育树, 揭示生物类群的演化路径、共同祖先及分化时间,

为理解物种起源与分化提供了重要依据。基因组学技术的整合显著提升了物种演化历史的解析精度。Hu 等 (2020a) 通过对大熊猫全基因组重测序, 将其划分为中华小熊猫和喜马拉雅小熊猫 (*Ailu-
rus fulgens*), 并发现二者在更新世倒数第二个冰期开始分化。金丝猴的研究表明, 其在 6.7 百万年前起源于青藏高原东南缘, 随后于 1.69 百万年前分化成北方祖先种群和喜马拉雅祖先种群, 并在 1.6 百万年前和 0.33 百万年前进一步分化出川金丝猴、黔金丝猴 (*Rhinopithecus brelichi*)、滇金丝猴和缅甸金丝猴 (*R. strykeri*) (Zhou *et al.*, 2014)。针对川金丝猴的基因组分析显示, 古气候变化是导致种群隔离和数量减少的主要原因 (Kuang *et al.*, 2019)。Liu 等 (2020c) 通过全基因组重测序分析, 揭示乌叶猴属约在 2.9 百万年前分化为石山叶猴 (limestone langur) 和雨林叶猴 (forest langurs), 而黑叶猴 (*Trachypithecus francoisi*)、白头叶猴、老挝乌叶猴 (*T. laotum*)、印支乌叶猴 (*T. ebenus*) 和越南乌叶猴 (*T. hatinhensis*) 的祖先约在 1.1 百万年前开始分化。此外, 通过全基因组重测序及比较基因组学和种群基因组学分析发现, 现生扭角羚所有亚种可分为喜马拉雅扭角羚 (*Budorcas taxicolor*) 和中华扭角羚, 两者在形态和遗传上均存在显著差异 (Yang *et al.*, 2022b)。上述研究为珍稀濒危物种的精准保护提供了科学依据。

杂交是促进物种形成和表型多样性演化的重要因素, 但其在哺乳动物中的作用长期被低估。Zou 等 (2022) 基于涵盖所有现存物种的熊亚科种群基因组数据, 首次揭示了亚洲黑熊起源于北极熊 (*Ursus maritimus*)、棕熊 (*U. arctos*)、美洲黑熊 (*U. americanus*) 祖先与马来熊 (*Helarctos malayanus*)、懒熊 (*Melursus ursinus*) 祖先之间的历史杂交事件, 推断这一杂交事件发生在两个亲本谱系于欧亚大陆因气候变化引发的种群扩张与扩散而刚刚分化之后。Wu 等 (2023) 研究发现, 地理隔离的黔金丝猴表现出稳定的混合基因组特征, 其祖先分别源自川金丝猴以及滇金丝猴与缅甸金丝猴的共同祖先, 分别来自两个亲本谱系的关键基因可能共同塑造了黔金丝猴独特的嵌合体毛色, 从而促进了该杂交物种与亲本群体之间的交配前生殖隔离。

4.2 适应性进化

适应性进化是指物种在自然选择作用下, 通

过保留和积累有利的遗传变异,使其表型特征或生理功能更适应特定环境条件,从而提高生存和繁殖成功率的过程。传统遗传学主要依赖候选基因方法进行研究,而基因组学技术的广泛应用推动了适应性进化研究从单一基因向全基因组尺度的跨越,使研究者能够在多基因互作网络的框架下系统检测自然选择信号。如基因组学研究揭示,大熊猫食性特化为专性食竹的关键分子机制,在于其味觉受体基因的功能丧失,其鲜味受体基因 *Tas1r1* 和甜味受体基因 *Tas1r2* 均发生了假基因化 (Zhao *et al.*, 2010; Fan *et al.*, 2019)。Zhou 等 (2016) 在滇金丝猴基因组中发现多个与低氧适应相关的基因,这些基因可能解释该物种能够栖息在比其他非人灵长类更高海拔地区的原因。一项针对 50 只倭蜂猴 (*Nycticebus pygmaeus*) 的全基因组重测序分析,揭示了其代谢率低、行动缓慢和夜行性等特征的适应性进化机制 (Li *et al.*, 2022)。Qi 等 (2023) 通过组装亚洲叶猴 7 个属代表物种的高质量基因组,将宏观进化生物学与微观分子生物学的中心法则相结合,揭示了寒冷事件驱动社群聚集背后的遗传学机制。

在有蹄类动物适应性进化研究中,不同生态类型的物种展现出独特的适应机制。藏羚的基因组图谱解析显示,与能量代谢和氧运输相关的基因家族显著扩张,为其适应高原低氧环境提供了遗传基础 (Ge *et al.*, 2013)。塔里木马鹿 (*Cervus elaphus yarkandensis*) 高质量基因组的组装与注释,揭示了其适应极端干旱和炎热气候的分子机制 (Ababaikeri *et al.*, 2020)。Chen 等 (2025) 通过全基因组测序数据,鉴定出安徽麝 (*Moschus anhuiensis*) 的 32 个正选择基因,包括嗅觉受体基因、增殖相关基因和体温调节基因,揭示了其生态脆弱性成因与环境适应性的分子机制。

4.3 遗传多样性与近交衰退

遗传多样性评估是制定濒危物种保护对策的重要手段,而近交则是小种群面临的主要遗传风险。通过微卫星、SNP 和线粒体控制区等分子标记技术,研究发现大熊猫仍具有较高的遗传多样性 (Zhao *et al.*, 2013; Zhu *et al.*, 2013)。基于遗传多样性,Zhao 等 (2013) 将六大山系的野生大熊猫分为秦岭、岷山、邛崃-大相岭-小相岭-凉山 3 个种群,Lan 等 (2024) 进一步将其拆分为秦岭、岷

山、凉山、邛崃-大相岭-小相岭种群。尽管大熊猫野生种群具有中等近交水平,但其存在偏雌扩散的被动近交避免机制,有助于维持种群健康 (Hu *et al.*, 2017)。Hu 等 (2020b) 通过基因组重测序分析表明,人类活动导致的近期种群数量减少使得穿山甲近亲繁殖和遗传负荷显著增加。研究发现,有害突变在与癌症、疾病和胆固醇稳态相关的基因中富集,这可能增加了穿山甲对疾病的易感性,并降低了其适应环境变化和高胆固醇饮食的生存潜力。其他研究进一步证实,中华穿山甲 (*Manis pentadactyla*) 遗传多样性低,且近交程度较高,表明其种群生存力较弱,亟需有效的保护措施以避免种群衰退 (Wang *et al.*, 2022b; Wei *et al.*, 2024)。在灵长类中,川金丝猴表现出较高的遗传多样性,且各种群间存在显著差异 (Li *et al.*, 2003; Zhou *et al.*, 2016),而种群规模较小的黔金丝猴也拥有极高的遗传多样性 (Kuang *et al.*, 2020)。值得注意的是,种群规模较小的黔金丝猴和缅甸金丝猴近交水平较低,而规模较大的川金丝猴种群则表现出了较高的近交水平 (Kuang *et al.*, 2020)。

Wang 等 (2023a) 研究发现,虎华南亚种 (*Panthera tigris amoyensis*) 基因组中存在两个显著分化的谱系,保持了适度的遗传多样性。尽管近交衰退已清除部分有害突变,但全基因组范围内仍检测到具有广泛影响的有害非同义单核苷酸多态性和功能缺失突变 (Zhang *et al.*, 2023b)。相比之下,Lan 等 (2025b) 发现圈养东北虎的遗传多样性高于野生种群,且近交水平更低,这可能得益于科学的繁育管理策略。Yuan 等 (2023) 通过种群基因组分析发现,现生云豹 (*Neofelis nebulosa*) 种群在遗传上存在高频的生殖相关有害突变,基因组杂合度极低且近交程度较高。在有蹄类动物方面,Liu 等 (2022b) 研究发现,林麝在基因组水平上的遗传多样性处于中等水平,四川和陕西种群显著分化,这种分化不仅源于历史生物地理隔离,也与当代人类干扰有关。安徽麝的遗传多样性显著低于林麝,且近交严重,同时其基因组中积累了大量纯合有害突变,提示其面临较高的灭绝风险 (Chen *et al.*, 2025)。藏羚、麋鹿和野马等物种尽管经历过历史瓶颈,但仍保持了较高的遗传多样性,表现出良好的种群增长前景 (Du *et al.*, 2016; Zhu *et al.*, 2018b; Zhang *et al.*, 2024)。然而,在扭角羚、野马、麋鹿

等物种中均存在不同程度的近交衰退现象 (Liu *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2021; Yang *et al.*, 2022c)。

5 展望

综上所述,我国在大中型陆生哺乳动物保护研究中取得了重要成果,为系统了解物种的生物学特征、环境适应性以及科学保护提供了重要基础信息。与备受关注的大熊猫、金丝猴等旗舰物种相比,部分物种的研究基础仍较为薄弱,如小麂鹿 (*Tragulus kanchil*)、菲氏麂 (*Muntiacus feae*)、赤斑羚 (*Naemorhedus baileyi*)、云猫 (*Pardofelis marmorata*) 等。这些物种分布范围狭窄、行为隐秘,传统调查方法难以获取有效数据,目前对其种群动态、栖息地需求和遗传进化等方面均缺乏系统研究。随着保护管理实际需求和学科发展现状,未来在以下方面需重点关注。第一,长期系统的定位观测。加强野外平台建设,针对重要类群或区域开展长期定位观测研究,获取关键第一手资料。第二,生态系统整体性保护研究。从生态系统整体性出发,探索多物种的协同保护策略和生态功能维持,服务以国家公园为主体的自然保护地体系建设。第三,野生动物与人类之间的关系。针对动物种群发展可能造成社会、经济以及生态环境的影响开展系统研究,明确发生过程,探讨管理策略。第四,多学科交叉融合。整合行为学、生理学、基因组学和宏基因组学等多学科方法,从宏观到微观系统解析物种对环境变化的响应和适应机制。第五,新兴技术手段的研发与应用。推动基于人工智能的从个体到种群水平的自动识别方法在研究与保护中的应用,提升物种监测与研究效率。第六,科研成果应用转化。加强科学研究成果向保护实践转化,为物种保护管理提供切实可行的科技支撑。第七,加强国际合作。联合开展跨境生态研究项目,参与全球性保护行动计划,推动形成科学共识与协同保护策略,依托我国在独特生物地理区系中大中型陆生哺乳动物保护领域的研究优势,提升我国在全球生物多样性保护体系中的话语权和决策影响力。

参考文献:

Ababaikeri B, Abduriyim S, Tohetahong Y, Mamat T, Ahmat A, Halik M. 2020. Whole-genome sequencing of Tarim red deer (*Cervus elaphus yarkandensis*) reveals demographic history and adapta-

- tions to an arid-desert environment [J]. *Frontiers in Zoology*, **17**: 31.
- Alibhai S K, Gu J Y, Jewell Z C, Morgan J, Liu D, Jiang G S. 2023. 'I know the tiger by his paw': A non-invasive footprint identification technique for monitoring individual Amur tigers (*Panthera tigris altaica*) in snow [J]. *Ecological Informatics*, **73**: 101947. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2022.101947.
- Bai D F, Wan X R, Zhang L, Campos-Arceiz A, Wei F W, Zhang Z B. 2022. The recent Asian elephant range expansion in Yunnan, China, is associated with climate change and enforced protection efforts in human-dominated landscapes [J]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, **10**: 889077. DOI: 10.3389/fevo.2022.889077.
- Bao J Y, Wang Z L, Li L, Wu X D, Sang P J, Wu G Z, Ding G Y, Suo L C, Liu C J, Wang J W, Zhao W J, Li J M, Qi L. 2011. Detection and genetic characterization of peste des petits ruminants virus in free-living bharals (*Pseudois nayaur*) in Tibet, China [J]. *Research in Veterinary Science*, **90**: 238–240.
- Cai W M, Suding Z Y, Wang L L, Hou Z F, Liu D D, Huang S Y, Xu J J, Tao J P. 2022. A new Eimeria coccidian species (Apicomplexa: Eimeriidae) from Père David's deer (*Elaphurus davidianus* Milne-Edwards, 1866) in Dafeng Milu National Nature Reserve in Jiangsu Province, eastern China [J]. *BMC Veterinary Research*, **18** (1): 213. DOI: 10.1186/s12917-022-03308-2.
- Cao Y F, Yang Y G, Duszynski D W, Zhu Y H, Shang G Z, Hou C, Zhang T Z, Bian J H. 2020. Prevalence and parasite composition of gastrointestinal parasites in the endangered Tibetan antelope (*Pantholops hodgsonii*) from the calving ground of Hoh Xil Nature World Heritage Site, Qinghai, China [J]. *Journal of Wildlife Diseases*, **56**: 372–377.
- Chen G T, Li X A, Miao Y X, Pang D P, Wang H, Fan H Z, Zhang B W. 2025. Population genomic analysis provided insights into the evolution and conservation of two critically endangered musk deer species [J]. *Evolutionary Applications*, **18**: e70134.
- Chen J, Zhang H X, Wu X Y, Shang S, Yan J K, Chen Y, Zhang H H, Tang X X. 2017. Characterization of the gut microbiota in the golden takin (*Budorcas taxicolor bedfordi*) [J]. *AMB Express*, **7**: 81. DOI: 10.1186/s13568-017-0374-5.
- Chen Y, Sun Y K, Atzeni L, Gibson L, Hua M, Li K Y, Shi K, Dudgeon D. 2022. Anthropogenic pressures increase extinction risk of an isolated Asian elephant (*Elephas maximus*) population in southwestern China, as revealed by a combination of molecular- and landscape-scale approaches [J]. *Integrative Zoology*, **17**: 1078–1094.
- Cheng Z B, Tian X H, Zhong Z Y, Li P F, Sun D M, Bai J D, Meng Y P, Zhang S M, Zhang Y Y, Wang L B, Liu D Z. 2021. Reintroduction, distribution, population dynamics and conservation of a species formerly extinct in the wild: A review of thirty-five years of successful milu (*Elaphurus davidianus*) reintroduction in China [J]. *Global Ecology and Conservation*, **31**: e01860. DOI: 10.1016/j.gecco.2021.e01860.
- Cong W, Qin S Y, Meng Q F, Zou F C, Qian A D, Zhu X Q. 2016. Mo-

- lecular detection and genetic characterization of *Toxoplasma gondii* infection in sika deer (*Cervus nippon*) in China [J]. *Infection Genetics and Evolution*, **39**: 9–11.
- Cui X Y, Fan K W, Liang X H, Gong W J, Chen W, He B, Chen X Y, Wang H, Wang X, Zhang P, Lu X B, Chen R J, Lin K X, Liu J M, Zhai J Q, Liu D X, Shan F, Li Y Q, Chen R A, Meng H F, Li X B, Mi S J, Jiang J F, Zhou N, Chen Z J, Zou J J, Ge D Y, Yang Q S, He K, Chen T T, Wu Y J, Lu H R, Irwin D M, Shen X J, Hu Y J, Lu X M, Ding C, Guan Y, Tu C C, Shen Y Y. 2023. Virus diversity, wildlife-domestic animal circulation and potential zoonotic viruses of small mammals, pangolins and zoo animals [J]. *Nature Communications*, **14** (1): 2488. DOI: 10.1038/s41467-023-38202-4.
- Dai X Y, Lu S, Shang G B, Zhu W T, Yang J, Liu L Y, Xu J G. 2021. Characterization and identification of a novel torovirus associated with recombinant bovine torovirus from Tibetan antelope in Qinghai-Tibet Plateau of China [J]. *Frontiers in Microbiology*, **12**: 737753. DOI: 10.3389/fmicb.2021.737753.
- Deng S T, Li J Q, Qu Y S, He J, Liu K, Xue H, Cui P, Ruan X D, Wu H L. 2021. Camera trap reveals the co-occurrence patterns of two sympatric muntjac species in southern Anhui Province, China: no spatial segregation [J]. *Ecology and Evolution*, **11**: 17801–17809.
- Ding C C, Liu J, Li C W, Jiang Z G. 2022. Probable extirpation of the hog deer from China: Implications for conservation [J]. *Oryx*, **56**: 360–366.
- Ding J J, Wang Y, Koirala S, Wang M Y, Xu W X, Yang W K. 2024. Factors affecting crossing structure use by khulan and goitered gazelle in China [J]. *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, **136**: 104417. DOI: 10.1016/j.trd.2024.104417.
- Du Y R, Zou X Y, Xu Y T, Guo X Y, Li S, Zhang X Z, Su M Y, Ma J B, Guo S C. 2016. Microsatellite loci analysis reveals post-bottleneck recovery of genetic diversity in the Tibetan Antelope [J]. *Scientific Reports*, **6**: 35501. DOI: 10.1038/srep35501.
- Duan F, Zhu S Y, Wang Y, Song D Z, Shen X L, Li S. 2024. Distribution of the Asiatic golden cat (*Catopuma temminckii*) and variations in its coat morphology in China [J]. *Ecology and Evolution*, **14**: e10900. DOI: 10.1002/ece3.10900.
- Fan H Z, Wu Q, Wei F W, Yang F T, Ng B L, Hu Y B. 2019. Chromosome-level genome assembly for giant panda provides novel insights into Carnivora chromosome evolution [J]. *Genome Biology*, **20** (1): 267. DOI: 10.1186/s13059-019-1889-7.
- Fan P F, Zhang L, Yang L, Huang X, Shi K C, Liu G Q, Wang C H. 2022. Population recovery of the critically endangered western black crested gibbon (*Nomascus concolor*) in Mt. Wuliang, Yunnan, China [J]. *Zoological Research*, **43**: 180–183.
- Fei H L, de Guinea M, Yang L, Chapman C A, Fan P F. 2022. Where to sleep next? Evidence for spatial memory associated with sleeping sites in Skywalker gibbons (*Hoolock tianxing*) [J]. *Animal Cognition*, **25**: 891–903.
- Fei H L, de Guinea M, Yang L, Garber P A, Zhang L, Chapman C A, Fan P F. 2023. Wild gibbons plan their travel pattern according to food types of breakfast [J]. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, **290** (1999): 20230430. DOI: 10.1098/rspb.2023.0430.
- Fei H L, Thompson C, Fan P F. 2019. Effects of cold weather on the sleeping behavior of Skywalker hoolock gibbons (*Hoolock tianxing*) in seasonal montane forest [J]. *American Journal of Primatology*, **81** (9): e23049. DOI: 10.1002/ajp.23049.
- Fei H L, Zhang D, Yuan S D, Zhang L, Fan P F. 2017. Antipredation sleeping behavior of Skywalker hoolock gibbons (*Hoolock tianxing*) in Mt. Gaoligong, Yunnan, China [J]. *International Journal of Primatology*, **38**: 629–641.
- Feng N, Yu Y C, Wang T C, Wilker P, Wang J Z, Li Y G, Sun Z, Gao Y W, Xia X Z. 2016. Fatal canine distemper virus infection of giant pandas in China [J]. *Scientific Reports*, **6**: 27518. DOI: 10.1038/srep27518.
- Feng R N, Lu X, Xiao W, Feng J, Sun Y, Guan Y, Feng L M, Smith J L D, Ge J P, Wang T M. 2021. Effects of free ranging livestock on sympatric herbivores at fine spatiotemporal scales [J]. *Landscape Ecology*, **36**: 1441–1457.
- Gao H, Chi X, Qin W, Wang L, Song P, Cai Z, Zhang J, Zhang T. 2019. Comparison of the gut microbiota composition between the wild and captive Tibetan wild ass (*Equus kiang*) [J]. *Journal of Applied Microbiology*, **126**: 1869–1878.
- Gao S M, Fei H L, Li Q, Lan L Y, Huang L N, Fan P F. 2024. Eco-evolutionary dynamics of gut phageome in wild gibbons (*Hoolock tianxing*) with seasonal diet variations [J]. *Nature Communications*, **15** (1): 1254. DOI: 10.1038/s41467-024-45663-8.
- Gao Y Y, Duszynski D W, Yuan F L, Hu D F, Zhang D. 2021. Coccidian parasites in the endangered forest musk deer (*Moschus moschiferus*) in China, with the description of six new species of Eimeria (Apicomplexa: Eimeriidae) [J]. *Parasite*, **28**: 70. DOI: 10.1051/parasite/2021067.
- Ge R L, Cai Q L, Shen Y Y, San A, Ma L, Zhang Y, Yi X, Chen Y, Yang L F, Huang Y, He R J, Hui Y Y, Hao M R, Li Y, Wang B, Ou X H, Xu J H, Zhang Y F, Wu K, Geng C Y, Zhou W P, Zhou T C, Irwin D M, Yang Y Z, Ying L, Bao H H, Kim J, Larkin D M, Ma J, Lewin H A, Xing J C, Platt R N, Ray D A, Auvin L, Capitanu B, Zhang X F, Zhang G J, Murphy R W, Wang J, Zhang Y P, Wang J. 2013. Draft genome sequence of the Tibetan antelope [J]. *Nature Communications*, **4**: 1858. DOI: 10.1038/ncomms2860.
- Guan Y, Yang H T, Han S Y, Feng L M, Wang T M, Ge J P. 2017. Comparison of the gut microbiota composition between wild and captive sika deer (*Cervus nippon hortulorum*) from feces by high-throughput sequencing [J]. *AMB Express*, **7**: 212. DOI: 10.1186/s13568-018-0535-1.
- Guo J H, Jin Y C, Tian X M, Bao H, Sun Y, Gray T, Song Y Q, Zhang M H. 2022. Diet-induced microbial adaptation process of red deer (*Cervus elaphus*) under different introduced periods [J]. *Frontiers in Microbiology*, **13**: 1033050. DOI: 10.3389/fmicb.2022.1033050.
- Guo M, Liu G L, Chen J W, Ma J M, Lin J Z, Fu Y, Fan G Y, Lee S M

- Y, Zhang L B. 2020a. Dynamics of bacteriophages in gut of giant pandas reveal a potential regulation of dietary intake on bacteriophage composition [J]. *Science of The Total Environment*, **734**: 139424. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139424.
- Guo S T, Xu P F, Miao Q G, Shao G F, Chapman C A, Chen X J, He G, Fang D Y, Zhang H, Sun Y W, Shi Z H, Li B G. 2020b. Automatic identification of individual Primates with deep learning techniques [J]. *Isicence*, **23** (8): 101412. DOI: 10.1016/j.isci.2020.101412.
- Han F J, Fu Y, Zhang C S, Liu Q, Xu J H, Liu J. 2016. Prevalence of Antibodies against *Neospora caninum* in Père David's deer (*Elaphurus davidianus*) in Beijing, China [J]. *Journal of Wildlife Diseases*, **52**: 387–390.
- Han L, Wang Z, Blank D, Wang M Y, Yang W K. 2021. Different environmental requirements of female and male Siberian ibex, *Capra sibirica* [J]. *Scientific Reports*, **11** (1): 6064. DOI: 10.1038/s41598-021-85550-6.
- Han P, Ma H G, Wang Z D, Fan P L, Fan P F. 2025. Vocal differences in note, sequence and great call sequence among three closely related *Nomascus* gibbon species [J]. *International Journal of Primatology*, **46**: 45–68.
- He K, Dai Q, Foss-Grant A, Gurarie E, Fagan W F, Lewis M A, Qing J, Huang F, Yang X Y, Gu X D, Huang Y, Zhang H M, Li D S, Zhou X, Yang Z S. 2019. Movement and activity of reintroduced giant pandas [J]. *Ursus*, **29**: 163–174.
- Hu X L, Liu G, Li Y M, Wei Y T, Lin S B, Liu S Q, Zheng Y L, Hu D F. 2018. High-throughput analysis reveals seasonal variation of the gut microbiota composition within frest musk deer (*Moschus berezovskii*) [J]. *Frontiers in Microbiology*, **9**: 1674. DOI: 10.3389/fmicb.2018.01674.
- Hu Y B, Fan H Z, Chen Y H, Chang J, Zhan X J, Wu H, Zhang B W, Wang M, Zhang W Y, Yang L, Hou X, Shen X, Pan T, Wu W, Li J, Hu H H, Wei F W. 2021. Spatial patterns and conservation of genetic and phylogenetic diversity of wildlife in China [J]. *Science Advances*, **7** (4): eabd5725. DOI: 10.1126/sciadv.abd5725.
- Hu Y B, Nie Y G, Wei W, Ma T X, Van Horn R, Zheng X G, Swaisgood R R, Zhou Z X, Zhou W L, Yan L, Zhang Z J, Wei F W. 2017. Inbreeding and inbreeding avoidance in wild giant pandas [J]. *Molecular Ecology*, **26**: 5793–5806.
- Hu Y B, Thapa A, Fan H Z, Ma T X, Wu Q, Ma S, Zhang D L, Wang B, Li M, Li Y, Wei F W. 2020a. Genomic evidence for two phylogenetic species and long-term population bottlenecks in red pandas [J]. *Science Advances*, **6** (9): eaax5751. DOI: 10.1126/sciadv.aax5751.
- Hu J Y, Hao Z Q, Frantz L, Wu S F, Chen W, Jiang Y F, Wu H, Kuang W M, Li H P, Zhang Y P, Yu L. 2020b. Genomic consequences of population decline in critically endangered pangolins and their demographic histories [J]. *National Science Review*, **7**: 798–814.
- Huang G P, Qi D W, Yang Z S, Hou R, Shi W Y, Zhao F Q, Li Z T, Yan L, Wei F W. 2024. Gut microbiome as a key monitoring indicator for reintroductions of captive animals [J]. *Conservation Biology*, **38** (1): e14173. DOI: 10.1111/cobi.14173.
- Huang M P, Huang G P, Fan H Z, Wei F W. 2023a. Influence of Last Glacial Maximum legacies on functional diversity and community assembly of extant Chinese terrestrial vertebrates [J]. *Innovation*, **4**: 100379. DOI: 10.1016/j.xinn.2023.100379.
- Huang G P, Shi W Y, Wang L, Qu Q Y, Zuo Z Q, Wang J F, Zhao F Q, Wei F W. 2023b. PandaGUT provides new insights into bacterial diversity, function, and resistome landscapes with implications for conservation [J]. *Microbiome*, **11** (1): 221. DOI: 10.1186/s40168-023-01657-0.
- Huang M P, Ma H G, Ma C Y, Garber P A, Fan P F. 2020a. Male gibbon loud morning calls conform to Zipf's law of brevity and Menzerath's law: Insights into the origin of human language [J]. *Animal Behaviour*, **160**: 145–155.
- Huang S Y, Fan Y M, Yao N, Yang Y, Pei M Y, Ren Y J, Gong J Z. 2020b. Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* infection in the endangered Père David's deer (*Elaphurus davidianus*) in China. *Microbial Pathogenesis*, **149**: 104282. DOI: 10.1016/j.micpath.2020.104282.
- Huang S Y, Gong J Z, Ren Y J, Pan M, Cai W M, Fan Y M, Yao N. 2020c. First report on the prevalence of *Fasciola hepatica* in the endangered Père David's deer (*Elaphurus davidianus*) in China [J]. *BMC Veterinary Research*, **16**: 473. DOI: 10.1186/s12917-020-02694-9.
- Jiang F, Song P F, Zhang J J, Cai Z Y, Chi X W, Gao H M, Qin W, Li S Q, Zhang T Z. 2020. Assessing the impact of climate change on the spatio-temporal distribution of foot-and-mouth disease risk for elephants [J]. *Global Ecology and Conservation*, **23**: e01176. DOI: 10.1016/j.gecco.2020.e01176.
- Jiang X, Liu H J, Jiang Z Y, Ni R P. 2023. Identifying migration routes of wild Asian elephants in China based on ecological networks constructed by circuit theory model [J]. *Animals*, **13**: 2618. DOI: 10.3390/ani13162618.
- Jiang Z G, Li C W, Ding C C. 2021. The roaming wild Asian elephants of Yunnan, China, pose a challenge to conservation [J]. *Oryx*, **55**: 650.
- Kong F L, Zhao J C, Han S S, Zeng B, Yang J D, Si X H, Yang B Q, Yang M Y, Xu H L, Li Y. 2014. Characterization of the gut microbiota in the red panda (*Ailurus fulgens*) [J]. *PLoS ONE*, **9**: e87885. DOI: 10.1371/journal.pone.0087885.
- Kuang W M, Hu J Y, Wu H, Fen X T, Dai Q Y, Fu Q M, Xiao W, Frantz L, Roos C, Nadler T, Irwin D M, Zhou L C, Yang X, Yu L. 2020. Genetic diversity, inbreeding level, and genetic load in endangered snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus*) [J]. *Frontiers in Genetics*, **11**: 615926. DOI: 10.3389/fgene.2020.615926.
- Kuang W M, Ming C, Li H P, Wu H, Frantz L, Roos C, Zhang Y P, Zhang C L, Jia T, Yang J Y, Yu L. 2019. The origin and population history of the endangered golden snub-nosed monkey (*Rhinopithecus roxellana*) [J]. *Molecular Biology and Evolution*, **36**: 487–499.
- Lan L Y, Hong Q X, Gao S M, Li Q, You Y Y, Chen W, Fan P F. 2023.

- Gut microbiota of skywalker hoolock gibbons (*Hoolock tianxing*) from different habitats and in captivity: Implications for gibbon health [J]. *American Journal of Primatology*, **85**: e23468. DOI: 10.1002/ajp.23468.
- Lan L Y, Liu T C, Gao S M, Li Q, Yang L, Fei H L, Zhong X K, Wang Y X, Zhu C Y, Abel C, Kappeler P M, Huang L N, Fan P F. 2025a. Comparative study of gut microbiota reveals the adaptive strategies of gibbons living in suboptimal habitats [J]. *npj Biofilms and Microbiomes*, **11**: 29. DOI: 10.1038/s41522-025-00653-6.
- Lan T M, Li H M, Liu B Y, Shi M H, Tian Y P, Sahu S K, Cui L Y, Dussex N, Liu D, Ma Y, Kong W Y, Liu S L, Fan J L, Zhao Y, Fu Y, Li Q Y, Lin C, Dalen L, Liu H, Zhang L, Jiang G S, Xu Y C. 2025b. Revealing extensive inbreeding and less-efficient purging of deleterious mutations in wild Amur tigers in China [J]. *Journal of Genetics and Genomics*, **52** (5): 641–649.
- Lan T M, Yang S C, Li H M, Zhang Y, Li R G, Sahu S K, Deng W W, Liu B Y, Shi M H, Wang S Q, Du H Y, Huang X Y, Lu H R, Liu S L, Deng T, Chen J, Wang Q, Han L, Zhou Y J, Li Q Y, Li D S, Kristiansen K, Wan Q H, Liu H, Fang S G. 2024. Large-scale genome sequencing of giant pandas improves the understanding of population structure and future conservation initiatives [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **121** (36): e2406343121. DOI: 10.1073/pnas.2406343121.
- Li B G, Li M, Li J H, Fan P F, Ni Q Y, Lu J Q, Zhou X M, Long Y C, Jiang Z G, Zhang P, Huang Z P, Huang C M, Jiang X L, Oan R L, Gouveia S, Dobrovolski R, Grueter C C, Oxnard C, Groves C, Estrada A, Garber P A. 2018. The primate extinction crisis in China: immediate challenges and a way forward [J]. *Biodiversity and Conservation*, **27**: 3301–3327.
- Li B V, Pimm S L. 2020. How China expanded its protected areas to conserve biodiversity [J]. *Current Biology*, **30**: 1334–1340.
- Li H P, Meng S J, Men Z M, Fu Y X, Zhang Y P. 2003. Genetic diversity and population history of golden monkeys (*Rhinopithecus roxellana*) [J]. *Genetics*, **164**: 269–275.
- Li J, Li L, Wu X, Liu F, Zou Y, Wang Q, Liu C, Bao J, Wang W, Ma W, Lin H, Huang J, Zheng X, Wang Z. 2017. Diagnosis of peste des petits ruminants in wild and domestic animals in Xinjiang, China, 2013–2016 [J]. *Transboundary and Emerging Diseases*, **64**: e43–e47.
- Li J, Xue Y D, Zhang Y, Dong W, Shan G Y, Sun R Q, Hacker C, Wu B, Li D Q. 2020a. Spatial and temporal activity patterns of Golden takin (*Budorcas taxicolor bedfordi*) recorded by camera trapping [J]. *PeerJ*, **8**: e10353. DOI: 10.7717/peerj.10353.
- Li S, McShea W J, Wang D J, Gu X D, Zhang X F, Zhang L, Shen X L. 2020b. Retreat of large carnivores across the giant panda distribution range [J]. *Nature Ecology & Evolution*, **4**: 1327–1331.
- Li L X, Cao X A, Wu J Y, Dou Y X, Meng X L, Liu D, Liu Y S, Shang Y J, Liu X T. 2019. Epidemic and evolutionary characteristics of peste des petits ruminants virus infecting *Procapra przewalskii* in Western China [J]. *Infection, Genetics and Evolution*, **75**: 104004. DOI: 10.1016/j.meegid.2019.104004.
- Li M L, Wang S, Xu P, Tian H Y, Bai M, Zhang Y P, Shao Y, Xiong Z J, Qi X G, Cooper D N, Zhang G J, Zhu H H, Wu D D. 2022. Functional genomics analysis reveals the evolutionary adaptation and demographic history of pygmy lorises [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **119** (40): e2123030119. DOI: 10.1073/pnas.2123030119.
- Li W, Dong S X, Niu F, Li N L, Su Z Y, Wang C L, Huang K, Zhao H T, Pan R L, Zhang P, Li B G. 2023a. Infanticide in golden snub-nosed monkeys with multilevel society [J]. *Current Zoology*, **70**: 273–275.
- Li Q, Fei H L, Luo Z H, Gao S M, Wang P D, Lan L Y, Zhao X F, Huang L N, Fan P F. 2023b. Gut microbiome responds compositionally and functionally to the seasonal diet variations in wild gibbons [J]. *npj Biofilms and Microbiomes*, **9** (1): 21. DOI: 10.1038/s41522-023-00388-2.
- Li X, Chen J M, Zhang C B, Zhang S Y, Shen Q Z, Wang B, Bao M W, Xu B, Wu Q, Han N Y, Huang Z X. 2023c. Fecal metagenomics study reveals that a low-fiber diet drives the migration of wild Asian elephants in Xishuangbanna, China [J]. *Animals*, **13** (20): 3193. DOI: 10.3390/ani13203193.
- Li W B, Teng Y, Zhang M Y, Shen Y, Liu J W, Qi J W, Wang X C, Wu R F, Li J H, Garber P A, Li M. 2024a. Human activity and climate change accelerate the extinction risk to non-human primates in China [J]. *Global Change Biology*, **30** (1): e17114. DOI: 10.1111/gcb.17114.
- Li W W, Liu P, Yang N, Chen S, Guo X M, Wang B, Zhang L. 2024b. Improving landscape connectivity through habitat restoration: application for Asian elephant conservation in Xishuangbanna Prefecture, China [J]. *Integrative Zoology*, **19**: 319–335.
- Li Z L, Wang H F, Ge J P, Wang T M. 2024c. Spatiotemporal patterns of small carnivores in a human-dominated forest landscape shared with apex predators [J]. *Landscape Ecology*, **39** (12): 214. DOI: 10.1007/s10980-024-02020-w.
- Li X Y, Wei C Y, Chen X, Jia D, Li P Y, Liang S J, Jikmed A, Gao Y F, Zhao X, Chu M Y, Sharma K, Alexander J S, Lu Z, Xiao L Y. 2025. First large-scale assessment of snow leopard population in China using existing data from multiple organizations [J]. *Biodiversity and Conservation*, **34**: 1039–1055.
- Li Y, Guo W, Han S S, Kong F L, Wang C D, Li D S, Zhang H M, Yang M Y, Xu H L, Zeng B, Zhao J C. 2015. The evolution of the gut microbiota in the giant and the red pandas [J]. *Scientific Reports*, **5**: 10185. DOI: 10.1038/srep10185.
- Lian X M, Zhang T Z, Cao Y C, Su J P, Thirgood S. 2011. Road proximity and traffic flow perceived as potential predation risks: Evidence from the Tibetan antelope in the Kekexili National Nature Reserve, China [J]. *Wildlife Research*, **38**: 141–146.
- Liu G, Shafer A B A, Zimmermann W, Hu D F, Wang W T, Chu H J, Cao J, Zhao C X. 2014. Evaluating the reintroduction project of Przewalski's horse in China using genetic and pedigree data [J].

- Biological Conservation*, **171**: 288–298.
- Liu G Q, Lu X L, Liu Z, Xie Z, Qi X M, Zhou J, Hong X J, Mo Y N, Chan B P L, Chapman C A, Jiang Z G. 2022a. The critically endangered Hainan gibbon (*Nomascus hainanus*) population increases but not at the maximum possible rate [J]. *International Journal of Primatology*, **43**: 932–945.
- Liu G, Zhang B F, Chang J, Hu X L, Li C, Xu T T, Liu S Q, Hu D F. 2022b. Population genomics reveals moderate genetic differentiation between populations of endangered forest musk deer located in Shaanxi and Sichuan [J]. *BMC Genomics*, **23**: 668. DOI: 10.1186/s12864-022-08896-9.
- Liu R S, Huang R, Huang H L, Tang X P, Huang C M, Fan P L, Zhou Q H. 2025. Comparative behavioral ecology of all-male and bisexual groups of white-headed langurs in fragmented limestone habitats [J]. *American Journal of Biological Anthropology*, **186** (2): e70021. DOI: 10.1002/ajpa.70021.
- Liu R S, Shi J B, Liu D Z, Dong S K, Zhang Y, Wu Y L, Guo D S. 2020a. Effect of group size and reproductive status on faecal glucocorticoid concentration and vigilance in a free-ranging population of Przewalski's gazelle [J]. *Conservation Physiology*, **8**: coaa027. DOI: 10.1093/conphys/coaa027.
- Liu P, Jiang Z G, Wan X F, Hua Y, Li L M, Zhou J B, Wang X H, Hou F H, Chen J, Zou J J, Chen J P. 2020b. Are pangolins the intermediate host of the 2019 novel coronavirus (SARS-CoV-2)? [J]. *PLoS Pathogens*, **16**: e1008421. DOI: 10.1371/journal.ppat.1009664.
- Liu Z J, Zhang L Y, Yan Z Z, Ren Z J, Han F M, Tan X X, Xiang Z Y, Dong F, Yang Z N, Liu G J, Wang Z N, Zhang J L, Que T C, Tang C H, Li Y F, Wang S, Wu J Y, Li L G, Huang C M, Roos C, Li M. 2020c. Genomic mechanisms of physiological and morphological adaptations of Limestone langurs to Karst habitats [J]. *Molecular Biology and Evolution*, **37**: 952–968.
- Liu T, Jiang Z G, Wang W, Wang G Y, Song X R, Xu A C, Li C L. 2023. Changes in habitat suitability and population size of the endangered Przewalski's gazelle [J]. *Global Ecology and Conservation*, **43**: e02465. DOI: 10.1016/j.gecco.2023.e02465.
- Lu Q, Cheng C, Xiao L Y, Li J, Li X Y, Zhao X, Lu Z, Zhao J D, Yao M. 2023. Food webs reveal coexistence mechanisms and community organization in carnivores [J]. *Current Biology*, **33**: 647–659.
- Lv Y L, Feijo A, Guo K J, Xie W D, Cheng J L, Ge D Y, Xia L, Cui Y Q, Song G, Qu Y H, Hu J J, Dan Z, Pubu D, Wu E R, He X C, Xu Y, Wang B, Yang Q S, Wen Z X. 2024. Integrating multiple diversity and socioeconomic criteria in Tibetan felid conservation [J]. *Ecosystem Health and Sustainability*, **10** (5): 0160.
- Ma C Y, Trinh-Dinh H, Nguyen V, Le T D, Le V D, Le H O, Yang J, Zhang Z J, Fan P F. 2020. Transboundary conservation of the last remaining population of the cao vit gibbon *Nomascus nasutus* [J]. *Oryx*, **54**: 776–783.
- Ma H G, Wang Z D, Han P, Fan P L, Chapman C A, Garber P A, Fan P F. 2024a. Small apes adjust rhythms to facilitate song coordination. *Current Biology*, **34**: 935–945.
- Ma G K, Li W J, Bao H, Roberts N J, Li Y, Zhang W H, Yang K, Jiang G S. 2024b. UAV equipped with infrared imaging for Cervidae monitoring: Improving detection accuracy by eliminating background information interference [J]. *Ecological Informatics*, **81**: 102651. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2024.102651.
- Ma X F, Hu X Y, Liu K, Wang W, Jia W, Gao H Y, Lu M, Liu J, Chen Y F, Ma Y J, Li Y M, Nie Y G. 2024c. Spatiotemporal differences induced changes in the structure and function of the gut microbiota in an endangered ungulate [J]. *Animal Microbiome*, **6**: 74.
- Ma Y W, Tan M Y, Liu X Y, Zhang Y J, Xu Z C, Sun W Q, Ge J P, Feng L M. 2025. Deep learning for Amur tiger re-identification in camera traps: A tool assisting population monitoring and spatio-temporal analysis [J]. *Ecological Indicators*, **171**: 113227. DOI: 10.1016/j.ecolind.2025.113227.
- Nie Y G, Speakman J R, Wu Q, Zhang C L, Hu Y B, Xia M H, Yan L, Hambly C, Wang L, Wei W, Zhang J G, Wei F W. 2015. Exceptionally low daily energy expenditure in the bamboo-eating giant panda [J]. *Science*, **349**: 171–174.
- Nie Y G, Swaisgood R R, Zhang Z J, Hu Y B, Ma Y S, Wei F W. 2012a. Giant panda scent-marking strategies in the wild: role of season, sex and marking surface [J]. *Animal Behaviour*, **84**: 39–44.
- Nie Y G, Swaisgood R R, Zhang Z J, Liu X B, Wei F W. 2012b. Reproductive competition and fecal testosterone in wild male giant pandas (*Ailuropoda melanoleuca*) [J]. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, **66**: 721–730.
- Nie Y G, Zhang Z J, Swaisgood R R, Wei F W. 2012c. Effects of season and social interaction on fecal testosterone metabolites in wild male giant pandas: implications for energetics and mating strategies [J]. *European Journal of Wildlife Research*, **58**: 235–241.
- Qi D W, Zhang S N, Zhang Z J, Hu Y B, Yang X Y, Wang H J, Wei F W. 2011. Different habitat preferences of male and female giant pandas [J]. *Journal of Zoology*, **285**: 205–214.
- Qi J Z, Gu J Y, Ning Y, Miquel D G, Holyoak M, Wen D S, Liang X, Liu S Y, Roberts N J, Yang E Y, Lang J M, Wang F Y, Li C, Liang Z, Liu P Q, Ren Y, Zhou S C, Zhang M H, Ma J Z, Chang J, Jiang G S. 2021. Integrated assessments call for establishing a sustainable meta-population of Amur tigers in northeast Asia [J]. *Biological Conservation*, **261**: 109250. DOI: 10.1016/j.biocon.2021.109250.
- Qi X G, Garber P A, Ji W H, Huang Z P, Huang K, Zhang P, Guo S T, Wang X W, He G, Zhang P, Li B G. 2014. Satellite telemetry and social modeling offer new insights into the origin of primate multilevel societies [J]. *Nature Communications*, **5**: 5296. DOI: 10.1038/ncomms6296.
- Qi X G, Grueter C C, Fang G, Huang P Z, Zhang J, Duan Y M, Huang Z P, Garber P A, Li B G. 2020. Multilevel societies facilitate infanticide avoidance through increased extrapair matings [J]. *Animal Behaviour*, **161**: 127–137.

- Qi X G, Wu J W, Zhao L, Guang X M, Garber P A, Opie C, Yuan Y, Diao R J, Li G, Wang K, Pan R L, Ji W H, Sun H L, Huang Z P, Xu C Z, Witarto A B, Jia R, Zhang C, Deng C, Qiu Q, Zhang G J, Grueter C C, Wu D D, Li B G. 2023. Adaptations to a cold climate promoted social evolution in Asian colobine primates [J]. *Science*, **380**: eabl8621. DOI: 10.1126/science.abl8621.
- Qin S Y, Sun H T, Lyu C, Zhu J H, Wang Z J, Ma T, Zhao Q, Lan Y G, He W Q. 2021. Prevalence and characterization of *Cryptosporidium* species in Tibetan antelope (*Pantholops hodgsonii*) [J]. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, **11**: 713873. DOI: 10.3389/fcimb.2021.713873.
- Ripple W J, Estes J A, Beschta R L, Wilmers C C, Ritchie E G, Hebblewhite M, Berger J, Elmhagen B, Letnic M, Nelson M P, Schmitz O J, Smith D W, Wallach A D, Wirsing A J. 2014. Status and ecological effects of the world's largest carnivores [J]. *Science*, **343**: 1241484. DOI: 10.1126/science.1241484.
- She W, Gu J Y, Qi J Z, Liu S Y, Yang X F, Zhang Z B, Jiang G S. 2024. External and internal driving forces of community and functional group stability in the forest mammal community [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **291**: 20240775. DOI: 10.1098/rspb.2024.0775.
- Shi J B, Li D Q, Xiao W F. 2011. Influence of sex, group size, and spatial position on vigilance behavior of Przewalski's gazelles [J]. *Acta Theriologica*, **56**: 73–79.
- Song B, Wu B. 2022. Effect of seasonal changes on the innate immunity of wild *Pseudoris nayaur*: potential reason for its endangerment [J]. *Folia Morphologica*, **81**: 107–116.
- Song C, Wang B C, Tan J, Zhu L C, Lou D H, Cen X X. 2017. Comparative analysis of the gut microbiota of black bears in China using high-throughput sequencing [J]. *Molecular Genetics and Genomics*, **292**: 407–414.
- Su X K, Dong S K, Liu S L, Cracknell A P, Zhang Y, Wang X X, Liu G H. 2018. Using an unmanned aerial vehicle (UAV) to study wild yak in the highest desert in the world [J]. *International Journal of Remote Sensing*, **39**: 5490–5503.
- Tang R C, Li W W, Zhu D, Shang X T, Guo X M, Zhang L. 2020a. Raging elephants: effects of human disturbance on physiological stress and reproductive potential in wild Asian elephants [J]. *Conservation Physiology*, **8**: coz106. DOI: 10.1093/conphys/coz106.
- Tang J F, Swaisgood R R, Owen M A, Zhao X Z, Wei W, Pilfold N W, Wei F W, Yang X Y, Gu X D, Yang Z S, Dai Q, Hong M S, Zhou H, Zhang J D, Yuan S B, Han H, Zhang Z J. 2020b. Climate change and landscape-use patterns influence recent past distribution of giant pandas [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **287**: 20200358. DOI: 10.1098/rspb.2020.0358.
- Tang L P, Yan L P, Jia H P, Xiong Y, Ma X P, Chu H J, Sun Z C, Wang L, Shalitanati M, Li K, Hu D F, Zhang D. 2023. Gut microbial community structure and function of Przewalski's horses varied across reintroduced sites in China [J]. *Integrative Zoology*, **18**: 1027–1040.
- Tian C, Zhang Y Y, Liu Z X, Dayananda B, Fu X B, Yuan D, Tu Z B, Luo C P, Li J Q. 2020. Temporal niche patterns of large mammals in Wanglang National Nature Reserve, China [J]. *Global Ecology and Conservation*, **22**: e01015. DOI: 10.1016/j.gecco.2020.e01015.
- Wan X R, Jiang G S, Yan C, He F L, Wen R S, Gu J Y, Li X H, Ma J Z, Stenseth N C, Zhang Z B. 2019. Historical records reveal the distinctive associations of human disturbance and extreme climate change with local extinction of mammals [J]. *Proceedings of the National Academy Sciences of the United States of America*, **116**: 19001–19008.
- Wang C, Wu D D, Yuan Y H, Yao M C, Han J L, Wu Y J, Shan F, Li W P, Zhai J Q, Huang M, Peng S M, Cai Q H, Yu J Y, Liu Q X, Liu Z Y, Li L X, Teng M S, Huang W, Zhou J Y, Zhang C, Chen W, Tu X L. 2023a. Population genomic analysis provides evidence of the past success and future potential of South China tiger captive conservation [J]. *BMC Biology*, **21** (1): 64. DOI: 10.1186/s12915-023-01552-y.
- Wang D M, Smith J L D, Accatino F, Ge J P, Wang T M. 2023b. Addressing the impact of canine distemper spreading on an isolated tiger population in northeast Asia [J]. *Integrative Zoology*, **18**: 994–1008.
- Wang C L, Pan R L, Wang X W, Qi X G, Zhao H T, Guo S T, Ren Y, Fu W W, Zhu Z R, Li B G. 2020. Decision-making process during collective movement initiation in golden snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus roxellana*) [J]. *Scientific Reports*, **10** (1): 480. DOI: 10.1038/s41598-019-57191-3.
- Wang X X, Yang L, Zhao Y M, Yu C, Li Z Q. 2021a. The group size effect and synchronization of vigilance in the Tibetan wild ass [J]. *Current Zoology*, **67**: 11–16.
- Wang L, Huang G P, Hou R, Qi D W, Wu Q, Nie Y G, Zuo Z Q, Ma R, Zhou W L, Ma Y J, Hu Y B, Yang Z S, Yan L, Wei F W. 2021b. Multi-omics reveals the positive leverage of plant secondary metabolites on the gut microbiota in a non-model mammal [J]. *Microbiome*, **9** (1): 192. DOI: 10.1186/s40168-021-01142-6.
- Wang M, Wang G M, Huang G P, Kouba A, Swaisgood R R, Zhou W L, Hu Y B, Nie Y G, Wei F W. 2024. Habitat connectivity drives panda recovery [J]. *Current Biology*, **34**: 3894–3904.
- Wang R C, Wang X H, Zhai J Q, Zhang P, Irwin D M, Shen X J, Chen W, Shen Y Y. 2022a. A new canine distemper virus lineage identified from red pandas in China [J]. *Transboundary and Emerging Diseases*, **69**: 944–952.
- Wang Q, Lan T M, Li H M, Sahu S K, Shi M H, Zhu Y X, Han L, Yang S C, Li Q, Zhang L, Deng Z W, Liu H, Hua Y. 2022b. Whole-genome resequencing of Chinese pangolins reveals a population structure and provides insights into their conservation [J]. *Communications Biology*, **5** (1): 821. DOI: 10.1038/s42003-022-03757-3.
- Wang T M, Feng L M, Mou P, Wu J G, Smith J L D, Xiao W, Yang H, Dou H, Zhao X, Cheng Y, Zhou B, Wu H, Zhang L, Tian Y, Guo Q, Kou X, Han X, Miquelle D G, Oliver C D, Xu R, Ge J P.

2016. Amur tigers and leopards returning to China: direct evidence and a landscape conservation plan [J]. *Landscape Ecology*, **31**: 491–503.
- Wang Y H, Zhang C C, Qiu L, Yang B, Dai Q. 2023c. Gaps in mammal conservation in China: An analysis with a framework based on minimum area requirements [J]. *Global Change Biology*, **29**: 5224–5239.
- Wang Y P, Du S Y, Yang Y B, Zhang X, Duszynski D W, Bian J H, Cao Y F. 2016. Intestinal parasites in the critically endangered Przewalski's gazelle (*Procapra przewalskii*) in China, with the description of a new species of *Eimeria* (Apicomplexa: Eimeriidae) [J]. *Journal of Wildlife Diseases*, **52**: 945–948.
- Wei S C, Fan H Z, Zhou W L, Huang G P, Hua Y, Wu S B, Wei X, Chen Y T, Tan X Y, Wei F W. 2024. Conservation genomics of the critically endangered Chinese pangolin [J]. *Science China Life Sciences*, **67**: 2051–2061.
- Wei W, Swaisgood R R, Pilfold N W, Owen M A, Dai Q, Wei F W, Han H, Yang Z S, Yang X Y, Gu X D, Zhang J D, Yuan S B, Hong M S, Tang J F, Zhou H, He K, Zhang Z J. 2020. Assessing the effectiveness of China's Panda Protection System [J]. *Current Biology*, **30**: 1280–1286.
- Wei Y R, Yang X Y, Li Y G, Wei J, Ma W G, Ren Z G, Guo H L, Wang T C, Mi X Y, Adili G, Miao S K, Shaha A, Gao Y W, Huang J, Xia X Z. 2016. Serological survey of avian influenza virus infection in non-avian wildlife in Xinjiang, China [J]. *Archives of Virology*, **161**: 867–872.
- Wen D S, Qi J Z, Long Z X, Gu J Y, Tian Y M, Roberts N J, Yang E Y, Kong W Y, Zhao Y, Sun Q, Jiang G S. 2022. Conservation potentials and limitations of large carnivores in protected areas: A case study in Northeast China [J]. *Conservation Science and Practice*, **4**: e12693. DOI: 10.1111/csp2.12693.
- Wolf C, Ripple W J. 2017. Range contractions of the world's large carnivores [J]. *Royal Society Open Science*, **4** (7): 170052. DOI: 10.1098/rsos.170052.
- Wu J Y, Li J J, Wang D F, Wei Y R, Meng X X, Tuerxun G, Bolati H, Liu K K, Muhan M, Shahan A, Dilixiati D, Yang X Y. 2020. Seroprevalence of five zoonotic pathogens in wild ruminants in Xinjiang, Northwest China [J]. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, **20**: 882–887.
- Wu H, Wang Z F, Zhang Y X, Frantz L, Roos C, Irwin D M, Zhang C L, Liu X F, Wu D D, Huang S, Gu T T, Liu J Q, Yu L. 2023. Hybrid origin of a primate, the gray snub-nosed monkey [J]. *Science*, **380**: eabl4997. DOI: 10.1126/science.abl4997.
- Wu H S, Hou C Y, Wang Z R, Meng P Y, Chen H Y, Cao H B. 2022. First complete genomic sequence analysis of porcine circovirus type 4 (PCV4) in wild boars [J]. *Veterinary Microbiology*, **273**: 109547. DOI: 10.1016/j.vetmic.2022.109547.
- Wu Q, Wang X, Ding Y, Hu Y B, Nie Y G, Wei W, Ma S, Yan L, Zhu L F, Wei F W. 2017. Seasonal variation in nutrient utilization shapes gut microbiome structure and function in wild giant pandas [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **284**: 20170955. DOI: 10.1098/rspb.2017.0955.
- Xia W C, Zhou J J, Lu Z W, Li L, Zhang Y, Fan S Y, Krzton A, Li D Y. 2024. Microplastics and gut microbiomes impact on Yunnan snub-nosed monkeys in the Three Parallel Rivers region in China [J]. *Frontiers in Microbiology*, **15**: 1449522. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1449522.
- Xiang Z F, Fan P L, Chen H C, Liu R S, Zhang B, Yang W J, Yao H, Grueter C C, Garber P A, Li M. 2019. Routine allomaternal nursing in a free-ranging Old World monkey [J]. *Science Advances*, **5**: eaav0499.
- Xiang Z F, Yu Y, Yao H, Hu Q L, Yang W J, Li M. 2022. Female counter-tactics to male feticide and infanticide in a multilevel primate society [J]. *Behavioral Ecology*, **33**: 679–687.
- Xiao W H, Feng L M, Mou P, Miquelle D G, Hebblewhite M, Goldberg J F, Robinson H S, Zhao X D, Zhou B, Wang T M, Ge J P. 2016. Estimating abundance and density of Amur tigers along the Sino-Russian border [J]. *Integrative Zoology*, **11**: 322–332.
- Xu B, Song P F, Jiang F, Cai Z Y, Gu H F, Gao H M, Li B, Liang C B, Qin W, Zhang J J, Yan J Y, Liu D X, Sun G, Zhang T Z. 2024. Large-scale metagenomic assembly provide new insights into the genetic evolution of gut microbiomes in plateau ungulates [J]. *npj Biofilms and Microbiomes*, **10**: 120.
- Xu W X, Wang M Y, Blank D, Alves da Silva A, Yang W K, Ruckstuhl K E, Alves J. 2022a. Goitered gazelle *Gazella subgutturosa* responded to human disturbance by increasing vigilance rather than changing the group size [J]. *Biology*, **11** (8): 1236. DOI: 10.3390/biology11081236.
- Xu W X, Liu W, Ma W, Wang M Y, Xu F, Yang W K, Walzer C, Kaczensky P. 2022b. Current status and future challenges for khulan (*Equus hemionus*) conservation in China [J]. *Global Ecology and Conservation*, **37**: e02156. DOI: 10.1016/j.gecco.2022.e02156.
- Yan L P, Tang L P, Zhou Z C, Lu W, Wang B, Sun Z C, Jiang X, Hu D F, Li J Q, Zhang D. 2021. Metagenomics reveals contrasting energy utilization efficiencies of captive and wild camels (*Camelus ferus*) [J]. *Integrative Zoology*, **17**: 333–345.
- Yan W B, Zeng Z G, Gong H S, He X B, Liu X Y, Ma Y S, Song Y L. 2017. Seasonal variation and sexual difference of home ranges by takins [J]. *Journal of Wildlife Management*, **81**: 938–942.
- Yang B, Anderson J R, Li B G. 2016. Tending a dying adult in a wild multi-level primate society [J]. *Current Biology*, **26**: 403–404.
- Yang B, Anderson J R, Mao M, Wang K F, Li B G. 2022a. Maternal caretaking behavior towards a dead juvenile in a wild, multi-level primate society [J]. *Scientific Reports*, **12**: 4780. DOI: 10.1038/s41598-022-08660-9.
- Yang N, Bao M W, Zhu B R, Shen Q Z, Guo X M, Li W W, Tang R C, Zhu D, Tang Y P, Phalen D N, Zhang L. 2022b. Elephant endotheliotropic herpesvirus 1, 4 and 5 in China: Occurrence in multiple sample types and implications for wild and captive population surveillance [J]. *Viruses*, **14**: 411. DOI: 10.3390/v14020411.
- Yang L, Wei F W, Zhan X J, Fan H Z, Zhao P P, Huang G P, Chang J, Lei Y H, Hu Y B. 2022c. Evolutionary conservation genomics

- reveals recent speciation and local adaptation in threatened takins [J]. *Molecular Biology and Evolution*, 39: msac111. DOI: 10.1093/molbev/msac111.
- Yang N, Li W, Liu P, Zhang L. 2021. China's homeless elephants need linked reserves [J]. *Nature*, **595** (7866): 172. DOI: 10.1038/d41586-021-01820-3.
- Yang P P, Li W B, Crofoot M C, Chakravarty P, Wang X, Zhang T, Li J H. 2025a. Ecological and social pressures influence diel activity patterns in wild Tibetan macaques. *American Journal of Primatology*, **87** (3): e70016. DOI: 10.1002/ajp.70016.
- Yang B, Xu Y, Dai Q, Pan H, Yang Z S, Yang X Y, Gu X D, Ran J H, Zhang Z J. 2025b. Restoration of giant panda habitat requires balancing single- and multi-species benefits [J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **23** (6): e2844. DOI: 10.1002/fee.2844.
- Yao H, Yu H L, Yang B H, Yang W J, Xu H Q, Grueter C, Li M, Xiang Z F. 2016. Male infanticide in the golden snub-nosed monkey (*Rhinopithecus roxellana*), a seasonally breeding primate [J]. *International Journal of Primatology*, **37**: 175–184.
- Yao H Y, Mo Q Y, Wu H, Zhao D P. 2023. How do living conditions affect the gut microbiota of endangered Père David's deer (*Elaphurus davidianus*)? Initial findings from the warm temperate zone [J]. *PeerJ*, **11**: e14897. DOI: 10.7717/peerj.14897.
- Yuan J Q, Wang G Q, Zhao L, Kitchener A C, Sun T, Chen W, Huang C, Wang C, Xu X, Wang J H, Lu H M, Xu L L, Jiangzuo Q G, Murphy W J, Wu D D, Li G. 2023. How genomic insights into the evolutionary history of clouded leopards inform their conservation [J]. *Science Advances*, **9** (40): eadh9143. DOI: 10.1126/sciadv.adh9143.
- Yuan Z A, Zhong L Q, Du H R, Feng J N, Liu X X, Yuan H Y, Guo J H, Liu P, Zhang M H. 2022. Effects of vegetation type differences induced by human disturbance on the nutrition strategy and gut microbiota of Siberian roe deer [J]. *Molecular Ecology*, **32**: 2534–2550.
- Zaman M, Roberts N J, Zhu M Y, Vitekere K, Wang M, Jiang G S. 2022. Temporal activity patterns of North China leopards and their prey in response to moonlight and habitat factors [J]. *Ecology and Evolution*, **12** (6): e9032. DOI: 10.1002/ece3.9032.
- Zhai B T, Niu Q L, Yang J F, Liu Z J, Liu J L, Yin H, Zeng Q Y. 2017. Identification and molecular survey of *Borrelia burgdorferi* sensu lato in sika deer (*Cervus nippon*) from Jilin Province, north-eastern China [J]. *Acta Tropica*, **166**: 54–57.
- Zhang C, Zhang M H, Stott P. 2013. Does prey density limit Amur tiger *Panthera tigris altaica* recovery in northeastern China? [J]. *Wildlife Biology*, **19**: 452–461.
- Zhang C, Li Y M, Hu X Y, Wang H Y, Gao Z X, Nie Y G. 2025. Conservation gaps for threatened ungulates in China under human disturbance and climate change [J]. *Conservation Biology*, **39** (4): e70014. DOI: 10.1111/cobi.70014.
- Zhang C B, Lian Z H, Xu B, Shen Q Z, Bao M W, Huang Z X, Jiang H C, Li W J. 2023a. Gut microbiome variation along a lifestyle gradient reveals threats faced by Asian elephants [J]. *Genomics, Proteomics & Bioinformatics*, **21**: 150–163.
- Zhang L, Lan T M, Lin C Y, Fu W Y, Yuan Y H, Lin K X, Li H M, Sahu S K, Liu Z Y, Chen D Q, Liu Q X, Wang A S, Wang X H, Ma Y, Li S Z, Zhu Y X, Wang X Z, Ren X T, Lu H R, Huang Y T, Yu J Y, Liu B Y, Wang Q, Zhang S F, Xu X, Yang H M, Liu D, Liu H, Xu Y C. 2023b. Chromosome-scale genomes reveal genomic consequences of inbreeding in the South China tiger: A comparative study with the Amur tiger [J]. *Molecular Ecology Resources*, **23**: 330–347.
- Zhang L, Turvey S T, Chapman C, Fan P F. 2021. Effects of protected areas on survival of threatened gibbons in China [J]. *Conservation Biology*, **35**: 1288–1298.
- Zhang L J, Sun G, Azhanhan E, Li Y, Shi W, Zou D H, Zhang H F, Ding J J, Kessler M, Wang M Y, Yang W K. 2024. Genetic diversity assessment for reintroduced Przewalski's horse (*Equus ferus*) based on newly developed SSR markers [J]. *Conservation Genetics Resources*, **16**: 89–101.
- Zhang S M, Li C, Li Y P, Chen Q, Hu D F, Cheng Z B, Wang X, Shan Y F, Bai J D, Liu G. 2021. Genetic differentiation of reintroduced Père David's deer (*Elaphurus davidianus*) based on population genomics analysis [J]. *Frontiers in Genetics*, **12**: 705337. DOI: 10.3389/fgene.2021.705337.
- Zhang Z G, Xu D M, Wang L, Hao J J, Wang J F, Zhou X, Wang W W, Qiu Q, Huang X D, Zhou J W, Long R J, Zhao F Q, Shi P. 2016. Convergent evolution of rumen microbiomes in high-altitude mammals [J]. *Current Biology*, **26**: 1873–1879.
- Zhang Z J, Swaisgood R R, Zhang S N, Nordstrom L A, Wang H J, Gu X D, Hu J C, Wei F W. 2011. Old-growth forest is what giant pandas really need [J]. *Biology Letters*, **7**: 403–406.
- Zhang Z J, Huang J Y, Karim M R, Zhao J F, Dong H J, Ai W C, Li F H, Zhang L X, Wang R J. 2015. Zoonotic enterocytozoon bieneusi genotypes in Père David's deer (*Elaphurus davidianus*) in Henan, China [J]. *Experimental Parasitology*, **155**: 46–48.
- Zhao H B, Yang J R, Xu H L, Zhang J Z. 2010. Pseudogenization of the umami taste receptor gene *Tas1r1* in the giant panda coincided with its dietary switch to bamboo [J]. *Molecular Biology and Evolution*, **27**: 2669–2673.
- Zhao S C, Zheng P P, Dong S S, Zhan X J, Wu Q, Guo X S, Hu Y B, He W M, Zhang S N, Fan W, Zhu L F, Li D, Zhang X M, Chen Q, Zhang H M, Zhang Z H, Jin X L, Zhang J G, Yang H M, Wang J, Wang J, Wei F W. 2013. Whole-genome sequencing of giant pandas provides insights into demographic history and local adaptation [J]. *Nature Genetics*, **45**: 67–71.
- Zhao J S, Yao Y F, Li D Y, Xu H M, Wu J Y, Wen A X, Xie M, Ni Q Y, Zhang M W, Peng G N, Xu H L. 2018. Characterization of the gut microbiota in six geographical populations of Chinese Rhesus Macaques (*Macaca mulatta*), implying an adaptation to high-altitude environment [J]. *Microbial Ecology*, **76**: 565–577.
- Zhao X M, Li X R, Garber P A, Qi X Z, Xiang Z F, Liu X, Lian Z M, Li M. 2021. Investment in science can mitigate the negative impacts of land use on declining primate populations. *American*

- Journal of Primatology*, **83** (8): e23302. DOI: 10.1002/ajp.23302.
- Zhou M C, Shen D D, Wang J F, Lu Y, Su Y, Peng Z W, Teng L W, Liu Z S, Hou Z J. 2021. First isolation of *Trichuris* from wild blue sheep (*Pseudois nayaur*) in the Helan Mountains, China [J]. *Parasitology Research*, **120**: 2665–2670.
- Zhou X M, Meng X H, Liu Z J, Chang J, Wang B S, Li M Z, Orozco-ter Wengel P, Tian S L, Wen C L, Wang Z M, Garber P A, Pan H J, Ye X P, Xiang Z F, Bruford M W, Edwards S V, Cao Y C, Yu S C, Gao L J, Cao Z S, Liu G J, Ren B P, Shi F L, Peterfi Z, Li D Y, Li B G, Jiang Z, Li J S, Gladyshev V N, Li R Q, Li M. 2016. Population genomics reveals low genetic diversity and adaptation to hypoxia in snub-nosed monkeys [J]. *Molecular Biology and Evolution*, **33**: 2670–2681.
- Zhou W L, Gao K, Ma Y J, Wang L, Wang M, Wei F W, Nie Y G. 2020. Seasonal dynamics of parasitism and stress physiology in wild giant pandas [J]. *Conservation Physiology*, **8**: coaa085. DOI: 10.1093/conphys/coaa085.
- Zhou X M, Wang B S, Pan Q, Zhang J B, Kumar S, Sun X Q, Liu Z J, Pan H J, Lin Y, Liu G J, Zhan W, Li M Z, Ren B P, Ma X Y, Ruan H, Cheng C, Wang D W, Shi F L, Hui Y Y, Tao Y J, Zhang C L, Zhu P F, Xiang Z F, Jiang W K, Chang J, Wang H L, Cao Z S, Jiang Z, Li B G, Yang G, Roos C, Garber P A, Bruford M W, Li R Q, Li M. 2014. Whole-genome sequencing of the snub-nosed monkey provides insights into folivory and evolutionary history [J]. *Nature Genetics*, **46**: 1303–1310.
- Zhu H, Zeng D, Wang Q, Wang N, Zeng B, Niu L L, Ni X Q. 2018a. Diarrhea-associated intestinal microbiota in captive Sichuan golden snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus roxellana*) [J]. *Microbes and Environments*, **33**: 249–256.
- Zhu L F, Deng C, Zhao X, Ding J J, Huang H S, Zhu S L, Wang Z W, Qin S S, Ding Y H, Lu G Q, Yang Z S. 2018b. Endangered Père David's deer genome provides insights into population recovering [J]. *Evolutionary Applications*, **11**: 2040–2053.
- Zhu L F, Yang Z S, Yao R, Xu L L, Chen H, Gu X D, Wu T G, Yang X Y. 2018c. Potential mechanism of detoxification of cyanide compounds by gut microbiomes of bamboo-eating pandas [J]. *mSphere*, **3** (3): e00229–18. DOI: 10.1128/mSphere.00229–18.
- Zhu H M, Yang B, He K, Qing J, Zhang Z J, Zhang K, Tang B, Yang Z S, Dai Q, Gu X D, Yang X Y, Huang Y, Li D S, Zhang H. 2019. Habitat utilization and release-site fidelity of translocated captive-bred giant pandas (*Ailuropoda melanoleuca*) [J]. *Folia Zoologica*, **68**: 26–34.
- Zhu L F, Hu Y B, Qi D W, Wu H, Zhan X J, Zhang Z J, Bruford M W, Wang J L, Yang X Y, Gu X D, Zhang L, Zhang B W, Zhang S N, Wei F W. 2013. Genetic consequences of historical anthropogenic and ecological events on giant pandas [J]. *Ecology*, **94**: 2346–2357.
- Zhu L F, Wu Q, Dai J Y, Zhang S N, Wei F W. 2011. Evidence of cellulose metabolism by the giant panda gut microbiome [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **108**: 17714–17719.
- Zou T T, Kuang W M, Yin T T, Frantz L, Zhang C, Liu J Q, Wu H, Yu L. 2022. Uncovering the enigmatic evolution of bears in greater depth: The hybrid origin of the Asiatic black bear [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **119** (31): e2120307119. DOI: 10.1073/pnas.2120307119.
- 魏辅文, 杨奇森, 吴毅, 蒋学龙, 刘少英, 胡义波, 葛德燕, 李保国, 杨光, 李明, 周江, 李松, 李晟, 余文华, 陈炳耀, 张泽钧, 周材权, 吴诗宝, 张立, 陈中正, 陈德顺, 邓庆怀, 江廷磊, 张礼标, 石红艳, 卢学理, 李权, 刘铸, 崔雅倩, 李玉春, 何锴. 2025. 中国兽类名录 (2024版) [J]. 兽类学报, **45** (1): 1–16.