



数据资源 RESOURCES

中国三北地区 2011—2020 年 大中型兽类多样性红外相机调查状况与评估

朱淑怡^{1,2}, 田佳², 岳建兵¹, 段菲^{2,3}, 李晟^{2*}

1. 国家林业和草原局野生动物保护监测中心, 北京 100714;
2. 北京大学生命科学学院, 北京 100871;
3. 国家自然博物馆, 北京 100050)

稿件运行过程

收稿日期: 2024-10-30
修回日期: 2024-12-13



摘要

关键词: 陆生兽类;
三北地区;
生物多样性编目;
大型食肉动物;
红外相机

Keywords: Terrestrial mammals;
Three-North Regions;
Biodiversity inventory;
Large carnivores;
Camera-trapping

中图分类号: Q958.1

文献标志码: A

文章编号:

2310-1490(2025)-04-0895-14

DOI: 10.12375/ysdwxb.202410036

大中型兽类是生态系统中具有标识性和重要生态功能的动物类群,了解三北地区大中型兽类物种的组成与分布现状是三北地区生物多样性保护的基础。本研究基于全面的文献检索,以中国三北地区体质量 ≥ 1 kg的陆生兽类物种为目标类群,汇总整理了2011—2020年中国三北地区目标兽类的分布数据,以红外相机实地调查的观测记录为主体,共收集到文献与数据集375份,汇总物种记录2 158条。结果显示:2011—2020年在三北地区共记录到分属6目15科的目标兽类68种,占全国目标兽类物种总数的48.23%。其中,被列为国家一级和二级重点保护野生动物的兽类分别有29种和27种,被中国红色名录评估为受威胁(CR、EN、VU)的物种有40种。在三北地区中,西北地区是记录目标类群兽类物种数最多(63种)的区域,甘肃则是记录物种数最多(49种)的省级行政区。在不同动物地理分区中,青藏区是记录物种数最多(41种)的区域,内蒙古高原区记录物种数最少(22种)。新疆是记录目标类群兽类平均体质量最大(81.11 kg)的省级行政区。三北地区目前共记录到6种大型顶级食肉动物,而北京、天津和辽宁三省市无大型顶级食肉动物记录。本研究结果有助于增进对近10年来三北地区兽类资源现状的认识,为后续三北地区兽类物种的多样性编目更新,以及受威胁物种的研究与保护管理工作提供重要的基础资料。

基金项目: 科技部重点研发项目(2022YFF0802300;2022YFF1301500)

第一作者简介: 朱淑怡(1993—),女,工程师;主要从事兽类、鸟类生态与保护管理研究。E-mail:19801308351@163.com

*通信作者: 李晟, E-mail:shengli@pku.edu.cn

The Status and Evaluation of Camera-Trapping Surveys on the Diversity of Large- and Medium-Sized Mammals in the Three-North Regions of China, 2011–2020

ZHU Shuyi^{1,2}, TIAN Jia², YUE Jianbing¹, DUAN Fei^{2,3}, LI Sheng^{2*}

(1. Wildlife Conservation Monitoring Center, National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100714, China;

2. School of Life Sciences, Peking University, Beijing 100871, China;

3. Natural History Museum of China, Beijing 100050, China)

Abstract: Large- and medium-sized mammals are critical functional group in ecosystems, and determining the status of species diversity of these mammals in the Three-North Regions are precondition for their conservation across the regions. In this study, we conducted a comprehensive literature search and review on the occurrence records of large- and medium-sized terrestrial mammals (body mass ≥ 1 kg) as our study species in the Three-North Regions during 2011–2020, mainly derived from observatory records in camera-trapping studies. We summarized the number of species of the target fauna in each province and administrative region to determine their occurrence status and species composition. With a total of 375 literatures and datasets collected, we obtained 2 158 occurrence records of 68 species (belonging to six orders and 15 families), accounting for 48.23% of the total number of target mammals in China. Among them, 29 and 27 species are listed respectively, as first class and second class national protected animals, 40 species are assessed as threatened (i.e., Critically Endangered, Endangered, or Vulnerable) by China's Red List. Among the Three-North Regions, the Northwest Region held the highest species richness ($N = 63$), and Gansu held the highest richness ($N = 49$) among all provincial administrative regions. Among the different zoogeographic regions, the Qinghai-Xizang Region had the highest richness ($N = 41$), whereas the Inner Mongolia Plateau Region as the lowest ($N = 22$). In terms of body mass, Xinjiang had the largest mean body mass (81.11 kg) of target mammals. Six large carnivore species, who serve as the apex predators within the ecosystems, were recorded across the Three-North Regions, whereas none in Beijing, Tianjin and Liaoning. These results will improve our understanding of the status of mammals occurring in the Three-North Regions, and provide basic information for subsequent inventory, scientific research and conservation management of mammals across the regions.

在地球生物圈中,大中型兽类是最具标志性的动物类群之一,也是陆地生态系统中的关键类群,对生态系统结构和功能具有重要的调控作用^[1]。大中型兽类通过取食、捕食、踩踏和传播植物种子等方式,可以在生态系统中起到维持食物网稳定、促进生态系统中物质与营养循环等关键作用,甚至可以在栖息地地貌景观的塑造中起到至关重要的作用^[2]。这些动物与人类关系密切,可以通过直接或间接的多种途径,对人类的生产生活和生态环境产生多方面的影响,但同时也受到多方面人类活动的影响和威胁^[3-5]。

三北地区是指中国的西北、华北和东北区域,拥有丰富且独特的陆生兽类资源,它们在该区域的干

旱、半干旱生态系统中具有重要作用^[6-8]。新中国成立以来,我国在三北地区开展了广泛的资源动物调查与野生动物监测工作,并结合“三北”工程、天然林保护工程等重大项目 and 工程的实施,组织开展了大量的野外基础调查^[6,9]。这些工作为摸清三北地区陆生兽类的多样性本底,了解主要物种和类群的分布状况奠定了坚实的基础。20世纪80年代以来,三北地区的各省(区)大多完成了较为系统的区内野生动物基础调查,相继出版了多部省级的动物志等专著,为区内野生动物的研究与保护工作提供了重要的参考和本底资料。

然而,三北地区的大中型兽类历史上曾长期经

受人类较高强度的捕猎,同时受到放牧、农耕等人为活动的干扰,生存面临极大压力,物种受威胁等级较高^[6,10]。此外,大中型兽类家域面积广,对食物需求量大,在原有栖息地被人类破坏或占据的情况下,经常出现在人居环境周围取食、践踏农林作物或捕食家禽家畜的情况,容易引发人兽冲突^[3,5,10]。尤其是 20 世纪中期以来,在人口与城镇化率快速增长、人类生产生活快速发展和土地利用格局快速变化的背景下,三北地区的野生动物丧失了大面积的适宜栖息地,现存栖息地破碎化严重,许多物种的种群与分布现状发生了较大变化^[11-13]。因此,亟需对区域内物种多样性的现状进行更新和完善,并持续开展系统的编目总结与评估。

2010 年以来,以红外相机为代表的多种技术在陆生兽类的野外调查和监测中得到了广泛应用,积累了大量基于实地观测记录的物种分布信息,为更新兽类物种的多样性现状和开展深入的生态研究奠定基础^[14-15]。为了解三北地区大中型兽类当前的分布与记录现状,本研究以体质量 ≥ 1 kg 的陆生兽类为研究对象,通过系统的文献检索,收集、汇总 2011—2020 年三北地区以红外相机调查为主的具有实证记录的大中型兽类调查与研究的文献和报道,从中提取各物种的出现记录,对研究区域内当前大中型兽类物种多样性进行编目更新。同时,考虑到国际自然保护联盟(IUCN)所提供的物种分布图层是目前在物种多样性研究与评估中应用最为广泛的数据源^[16],为了解和评估当前野外实地记录与 IUCN 物种分布图层之间的吻合程度,本研究收集了各省(区)目标物种的 IUCN 分布图层,并与其当前具有实证记录的调查信息进行比较。本研究的结果可以加深我们对近 10 年三北地区兽类资源现状的了解,为后续三北地区兽类物种的多样性编目,以及受威胁物种的科学研究与保护管理工作提供重要的基础资料,从而为进一步推动三北地区的野生动物与生物多样性保护提供支持。

1 研究方法

1.1 研究区域

三北地区为中国西北、华北和东北 3 个行政区域,总面积约 5.60×10^6 km²^[17]。区内植被覆盖度呈现东北高、西北低的趋势,部分区域土地荒漠化严重^[18]。其中,西北区包括新疆、青海、陕西、甘肃和宁

夏;华北区包括内蒙古、山西、河北、北京和天津;东北区包括黑龙江、吉林和辽宁。

传统上,我国动物地理区系被分为 7 个主要的地理分区^[19]。He *et al.*^[20]基于实际调查数据,采用定量指标进一步详细划分了中国陆生脊椎动物新的地理分区。本研究参照 He *et al.*^[20]的地理区划,将三北地区的动物地理分区划为内蒙古高原区、陇中区、华北区、东北区、西北区、青藏区和华南区 7 个分区,其中华南区仅涉及陕西省东南部(秦岭以南)面积极小的区域,文中不再讨论该分区。

1.2 研究类群

以三北地区体质量 ≥ 1 kg 的兽类为研究对象(附录 1),以《中国兽类分类与分布》^[21]为分类参考系统。考虑到红外相机技术对兽类物种监测的有效性,在具体物种选择上,设定以下 3 条筛选标准。

(1) 栖息环境:仅研究陆生物种,其中也包括欧亚水獭(*Lutra lutra*)、河狸(*Castor fiber*)等半陆生物种,以及树栖、半树栖物种,如灵长目(Primates)猴科(Cercopithecidae)物种。

(2) 体质量:成体体质量 ≥ 1 kg。

(3) 排除仅依靠外部形态和影像难以识别的啮齿目(Rodentia)松鼠科(Sciuridae)物种(附录 2)。

关于“大中型”兽类的界定,研究者通常根据不同研究区域、不同研究内容等具体情况,在不同的研究中采用有不同的体质量划分界限^[22-25],未有对“大中型”兽类体型标准的严格统一界定。本研究参考以往研究,以 1 kg 作为划分阈值^[22,25-28],将成体体质量 ≥ 1 kg 的物种作为大中型兽类。

1.3 当前分布数据收集

本研究的数据收集以红外相机调查文献与记录为主,并补充其他有确认证据的数据来源。通过以下多种途径收集 2011—2020 年三北地区大中型兽类的确认分布记录与信息(附录 3)。

1.3.1 基于已发表的红外相机调查数据

使用“红外相机”“相机陷阱”“camera trap”“camera trapping”为检索词,在知网(CNKI, <https://cnki.net/>)和 Web of Science(<https://webofscience.com/>)期刊数据库进行文献检索。对检索结果逐条核对,删去无关记录,获得使用红外相机技术对三北地区野生动物进行监测与研究的学术论文及学位论文共 143 篇。

1.3.2 基于有实证信息的会议记录及新闻媒体数据

收集部分相关学术会议中的物种记录,并参考 Shen *et al.*^[29]与刘轲等^[30]兽类分布研究中扩展收集物种分布记录的方法,使用前述检索词在百度新闻 (<https://news.baidu.com/>)、必应 (<https://cn.bing.com/>)以及微信公众号搜索栏中进行全面检索,收集到三北地区有照片或视频等实证信息的相关会议记录、报道共178份。

1.3.3 GBIF (Global Biodiversity Information Facility) 数据库

使用 R 4.0.2^[31]的 *rgbif* 包^[32],在 GBIF 数据库 (<https://www.gbif.org/>)中以中国目标兽类物种的拉丁学名及其同物异名检索该物种的记录数据。提取每条记录的经纬度坐标、记录时间等信息,选择分布于三北地区的大中型兽类数据,数据条目有238条^[33]。

1.3.4 其他数据

收集部分未发表的红外相机记录和照片记录数据作为补充,包括中国猫科动物保护联盟(猫盟 CFCA)、荒野新疆(新疆维吾尔自治区青少年发展基金会荒野新疆基金)等调查数据及调查项目报告8份。对于普通红外相机调查中难以记录到或探测率较低的林地树栖物种(如猴科动物)、开阔草原环境生存的物种(如普氏原羚 *Procapra przewalskii*)和半水栖陆生物种(如河狸、欧亚水獭),使用其物种名(中文名、英文名及拉丁学名)作为检索词,在知网和 Web of Science 期刊数据库检索这些物种在三北地区的野外观察、行为学以及存在 DNA 样品鉴定等确认证据(目击、实体和 DNA 样品等)的学术论文,共收集文献45份。

对所有记录进行审核,删除同一物种相同位点的重复记录以及位点信息模糊的记录。对剩余的确认记录,提取每条记录里目标物种出现的地理位置。如有定位坐标点则直接提取位点的经纬度坐标;如果没有精确坐标点,则根据发现地点的小地名(保护地名、村镇名和地理地标等),在百度地图或 Google Earth 中查询获得发现地点中心的经纬度坐标。在 ArcGIS 10.8 (ESRI Inc., USA) 中生成确认记录分布点的矢量点图层,作为兽类的当前分布点。

1.4 IUCN 分布图层数据收集

IUCN 受威胁物种红色名录 (<https://www.iucnredlist.org/>)是目前全球动植物等信息最全面的数

据来源,已评估物种超163 000种,且数据仍在不断更新。本研究收集2021年IUCN提供的中国三北地区目标类群的物种分布图层,并依照《中国兽类分类与分布》^[21]的分类系统对数据中存在的物种同物异名进行校对与统一,保留物种状态为 Extant 或者 Probably Extant 的部分^[16],形成IUCN来源的中国三北地区大中型兽类分布数据集。汇总基于IUCN图层的各省级行政区的兽类物种数,并计算各省(区)基于IUCN分布图层记录的目标类群物种数与当前基于调查数据的物种数的相似率,即各省(区)IUCN来源和实际野外调查同时记录的物种与各省(区)记录总物种的比例^[34]。

1.5 各省本底数据收集

考虑到省级行政区是我国行政管理构架和项目规划与实施的主要单元,而且已有的区域性动物志和本底调查资料也多是以省级行政区为单位,因此对各省(区)的兽类物种本底信息进行收集,以期汇总出的信息与结果能够更方便地服务于未来的物种保护管理和后续的调查、监测规划。检索收集各省级行政区出版的动物志、兽类志及兽类综合调查专著,以专著中的目标兽类物种记录作为各省级行政区兽类物种历史本底记录,并将物种按照《中国兽类分类与分布》^[21]的分类系统进行核对与修正。对于未查阅到出版动物志书籍的省份(仅吉林),使用该省在 SP2000 数据库 (<http://sp2000.org.cn/>)^[35] 中的数据进行补充(附录4)。分别汇总各省级行政区的兽类物种数,并通过 R 4.3.0 软件使用维尔科克森秩和检验 (Wilcoxon rank test) 进行显著性检验。

1.6 数据统计

为了解三北各分区和各省级行政区内的物种多样性组成,本研究分别以三北各分区、每个省级行政区和每个动物地理分区作为一个地域单元。分别统计各区域内的目标类群兽类物种分布记录,统计各省级行政区记录到的国家重点保护野生动物记录和中国生物多样性红色名录受威胁物种记录。其中,国家重点保护野生动物及其保护等级参照国家林业和草原局及农业农村部2021年公布的《国家重点保护野生动物名录》^[36],中国生物多样性红色名录等级参照《中国生物多样性红色名录:脊椎动物》^[37-39]。扭角羚属 (*Budorcas*)、盘羊属 (*Ovis*) 物种和马鹿 (*Cervus elaphus*) 的分类较为复杂,在其物种和亚种的认定上存在多种意见。在《国家重点保护野生动物名录》中对这些物种的分类与本研究所参照的魏辅

文^[21]的分类系统之间存在差异：后者将秦岭羚牛(*Budorcas bedfordi*)和四川羚牛(*B. tibetanus*)并为中华扭角羚(*B. tibetana*),将不丹羚牛(*B. whitei*)和贡山羚牛(*B. taxicolor*)并为喜马拉雅扭角羚(*B. taxicolor*),将塔里木马鹿(*Cervus yarkandensis*)、西藏马鹿(*C. wallichii*)和马鹿(*C. canadensis*)均合并为马鹿(*C. elaphus*),将阿尔泰盘羊(*Ovis ammon*)、哈萨克盘羊(*O. collium*)等7种盘羊均合并为盘羊(*O. ammon*)。在本研究中,将合并后的2种扭角羚与马鹿、盘羊的国家保护等级分别按照《国家重点保护野生动物名录》中各细分物种中的最高保护等级处理,即均按国家一级进行统计计算。

为研究三北各分区、各省级行政区和每个动物地理分区的类群组成和物种体型特征,计算了三北各分区和各省级行政区记录到的目标类群兽类物种的平均体质量,其中物种体质量参照Cooke *et al.*^[40]。考虑到三北各分区、各省级行政区和各动物地理分区面积差异大,本研究同时计算了单位面积内的物种数。用大型顶级食肉动物(即在其所处生态系统中作为顶级捕食者的大型食肉动物)是否被记录到衡量省级行政区内群落的完整性。参考Ripple *et al.*^[41]对大型食肉动物的定义,确定三北地区有历史分布记录的大型兽类中的虎(*Panthera tigris*)、豹(*P. par-*

cus)、雪豹(*P. uncia*)、云豹(*Neofelis nebulosa*)、猞猁(*Lynx lynx*)、狼(*Canis lupus*)和豺(*Cuon alpinus*)7种大型食肉动物作为群落内的大型顶级食肉动物;棕熊(*Ursus arctos*)和亚洲黑熊(*U. thibetanus*)虽然在分类上隶属于食肉目(Carnivora),且在部分研究中被列为大型食肉动物^[41],但由于其食性组成以杂食性为主,在本研究中不作为大型顶级食肉动物。

2 结果

2.1 数据收集

共收集2011—2020年三北地区有记录位置信息的野外实地调查文献及数据集375份,包括学术与学位论文188份,GBIF数据集1份(包含记录238条),会议及新闻报道178份,未发表数据及项目报告8份。从这些文献与数据集中共提取研究目标类群的兽类物种记录2158条,去重后记录条目1310条,去重后研究位点407个。

根据行政区划来看,收集到数据份数最多的3个省(区)为青海(70份)、陕西(66份)和新疆(60份),收集到数据条数最多的3个省为陕西(435条)、青海(393条)和甘肃(296条),去重后位点数最多的3个省(区)青海(133条)、新疆(68条)和陕西(50条),宁夏、河北、辽宁和天津去重位点不足10个(表1)。

表1 2011—2020年中国三北地区各省级行政区的目标类群兽类物种记录

Table 1 Records of target mammal species in each province of the Three-North Regions, China, 2011–2020

分区 Region	省(区) Province	数据收集份数 Number of datasets collected	原始数据条数 Number of raw data records	去重数据条目 Number of data records after deleting duplicates	去重点位数 Number of sites after deleting duplicates	记录物种总数 Number of species recorded	体质量/kg Body mass	
							平均值 Mean value	95%置信区间 95% Confidence interval
西北 Northwest China	新疆	60	233	176	68	33	81.11	[44.92, 123.60]
	青海	70	393	319	133	38	64.38	[34.83, 102.57]
	甘肃	54	296	169	38	49	79.54	[48.01, 116.72]
	宁夏	16	77	31	6	20	32.17	[15.68, 51.75]
	陕西	66	435	238	50	26	39.98	[20.20, 66.01]
华北 North China	内蒙古	29	107	75	28	25	55.97	[26.72, 92.14]
	山西	19	102	72	18	12	20.42	[7.24, 37.24]
	河北	10	80	22	5	13	20.33	[7.79, 36.48]
	北京	23	218	75	26	13	33.01	[11.47, 61.14]
	天津	6	19	7	1	7	14.03	[4.95, 25.02]
东北 Northeast China	黑龙江	25	99	73	18	22	60.82	[28.11, 101.08]
	吉林	25	85	44	14	19	49.84	[24.02, 79.29]
	辽宁	3	14	9	2	6	26.19	[3.89, 55.92]

2.2 物种多样性现状

在2011—2020年收集的数据中,三北地区共记录到分属6目15科的目标类群兽类68种(表2,附录1),占全国大中型兽类物种总数的48.23%(表2)。其中鲸偶蹄目(Cetartiodactyla)和食肉目记录物种数最多,均为27种;鲸偶蹄目和食肉目记录物种占全国大中型兽类物种总数的38.30%,占三北地区记录

物种数的79.41%。在科的水平上,记录到物种数最多的3个科是牛科(Bovidae,12种)、鹿科(Cervidae,10种)和猫科(Felidae,9种)。与全国大中型兽类物种名录相比,三北地区未记录到鳞甲目(Pholidota)和长鼻目(Proboscidea)物种,有7个科的物种在本次数据收集中无记录(表2)。

表2 2011—2020年中国三北地区记录到的目标类群兽类各目、科的物种数

Table 2 The number of target mammals in each order and family recorded in the Three-North Regions, China, 2011–2020

目 Order	分类 Category 科 Family	中国大中型兽类物种总数 Total number of large- and medium-sized mammal species in China	三北地区物种数 Number of species in Three-North Regions	三北地区记录物种占比/% Proportion of Three-North Regions	
灵长目 Primates	懒猴科 Lorisidae	1	0		
	猴科 Cercopithecidae	19	3	15.79	
	长臂猿科 Hylobatidae	7	0		
	合计 Total	27	3	11.11	
鳞甲目 Pholidota	鲛鲤科 Manidae	2	0		
	合计 Total	2	0		
食肉目 Carnivora	犬科 Canidae	8	6	75.00	
	熊科 Ursidae	5	3	60.00	
	小熊猫科 Ailuridae	2	0		
	鼬科 Mustelidae	12	8	66.67	
	灵猫科 Viverridae	9	1	11.11	
	獾科 Herpestidae	1	0		
鲸偶蹄目 Cetartiodactyla	猫科 Felidae	12	9	75.00	
	合计 Total	49	27	55.10	
	长鼻目 Proboscidea	象科 Elephantidae	1	0	
		合计 Total	1	0	
	奇蹄目 Perissodactyla	马科 Equidae	3	3	100.00
		合计 Total	3	3	100.00
鲸偶蹄目 Cetartiodactyla	猪科 Suidae	1	1	100.00	
	骆驼科 Camelidae	1	1	100.00	
	麝鹿科 Tragulidae	1	0		
	麝科 Moschidae	6	3	50.00	
	鹿科 Cervidae	15	10	66.67	
	牛科 Bovidae	22	12	54.55	
啮齿目 Rodentia	合计 Total	46	27	58.70	
	河狸科 Castoridae	1	1	100.00	
	豪猪科 Hystricidae	2	1	50.00	
兔形目 Lagomorpha	合计 Total	3	2	66.67	
	兔科 Leporidae	10	6	60.00	
兔形目 Lagomorpha	合计 Total	10	6	60.00	

按三北分区来看,西北地区记录兽类最多,记录有63种,华北次之(32种),东北24种,各分区记录单位面积内的物种数接近:东北区记录0.31种/10⁴ km²,华北区记录0.20种/10⁴ km²,西北区记录0.19种/10⁴ km²。按不同省级行政区划来看,记录物种最多的省份是甘肃,记录兽类物种49种;其次是青海,记录38种;辽宁、天津记录兽类物种不足10种(表1);单位面积内记录物种最多的省级行政区是北京,记录7.92种/10⁴ km²,最低的省级行政区是新疆,记录0.18种/10⁴ km²。

2.3 受威胁物种记录

在三北地区记录的目标类群兽类物种中,列为国家一级重点保护野生动物的有29种,如虎、豹、雪豹和普氏原羚等;列为国家二级有27种,如兔狲(*Otocolobus manul*)、亚洲黑熊和岩羊(*Pseudois nay-*

aur)等;被中国受威胁物种红色名录评估为受威胁(CR、EN、VU)的物种有40种(附录1)。

在三北地区中,西北记录到的国家一级(26种)和二级(26种)兽类物种数最多,合计占西北记录兽类物种总数的82.54%,记录中国特有种9种;华北地区记录的国家一级(10种)和二级(15种)重点保护野生动物合计占区内兽类物种总数的78.13%,记录中国特有种1种;东北地区记录的国家一级(8种)和二级(11种)兽类合计占区内兽类物种总数的79.17%,未记录到中国特有种。被中国红色名录评估为受威胁的兽类物种数超过20个的省份是甘肃(29种)和青海(23种)(附录1)。记录到国家一级重点保护野生动物超过10种的省级行政区是甘肃(19种)、青海(14种)和新疆(13种)(图1)。

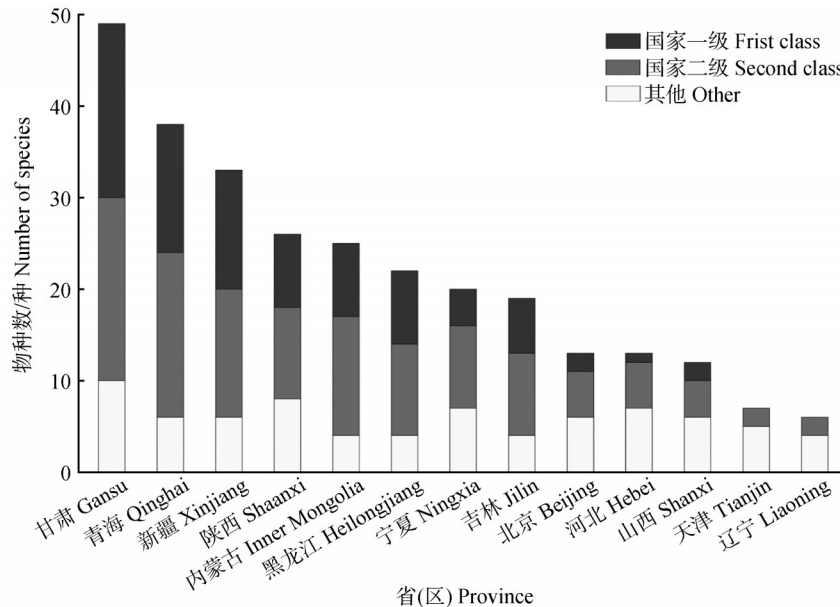


图1 三北地区各省(区)记录到的目标类群兽类物种数

Figure 1 The number of target mammal species recorded in each province of the Three-North Regions

在三北地区的各动物地理分区中,青藏区记录到的国家一级(16种)和二级(18种)大中型兽类物种数最多,内蒙古高原区记录国家一级(4种)大中型兽类物种数最少。被中国红色名录评估为受威胁的兽类物种数最多和最少的动物地理分区分别是青藏区(25种)和内蒙古高原区(11种)(表3)。

2.4 体型特征和类群组成

在各省(区)记录到的目标类群兽类中,新疆记录兽类平均体质量81.11[95%置信区间:44.92, 123.60] kg,是物种平均体质量最高的省级行政区。甘肃次之,记录物种平均体质量为79.54[48.01,

116.72] kg。青海、黑龙江和内蒙古记录物种平均体质量超过50 kg,辽宁、山西、河北和天津记录物种平均体质量低于30 kg,天津记录兽类平均体质量为14.04[4.95, 25.02] kg,是记录物种平均体质量最低的省级行政区(表1)。按三北各分区来看,西北物种平均体质量(72.73[45.68, 104.04] kg)最高,东北次之(56.20[26.64, 93.81] kg),华北物种平均体质量最低(51.45[27.02, 80.53] kg)。按动物地理分区来看,西北区物种平均体质量(94.88[50.18, 147.38] kg)最高,青藏区次之(72.63[39.75, 113.30] kg),陇中区物种平均体质量最低(30.83[16.55, 48.20] kg)(表3)。

表3 各动物地理分区本底与2011—2020年记录到的大中型兽类物种数

Table 3 The numbers of large- and medium-sized mammal species recorded in the baseline of each zoogeographic region, 2011–2020

动物地理分区 Zoogeographic region	记录物种总数 Number of species recorded	国家一级物种数 Number of first class species	国家二级物种数 Number of second class species	红色名录受威胁物种数 Number of threatened species in Red List	体质量/kg Body mass	
					平均值 Mean value	95%置信区间 95% confidence interval
东北区 Northeast	26	9	12	16	53.25	[26.02, 87.42]
华北区 North	32	10	13	18	40.10	[21.62, 63.91]
西北区 Northwest	34	13	14	19	94.88	[50.18, 147.38]
内蒙古高原区 Inner Mongolia Plateau	22	4	12	11	39.10	[19.77, 61.59]
陇中区 Longzhong	23	8	9	14	30.83	[16.55, 48.20]
青藏区 Qinghai-Xizang	41	16	18	25	72.63	[39.75, 113.30]

三北地区共记录到6种顶级食肉动物,分别是豺、狼、虎、豹、雪豹和猞猁。其中,西北记录到5种(豺、狼、豹、雪豹和猞猁);华北记录到3种(狼、豹和猞猁);东北记录到4种(狼、虎、豹和猞猁);北京、天津和辽宁3个省级行政区无顶级食肉动物记录(附录1)。按动物地理分区来看,青藏区记录5种(豺、狼、豹、雪豹和猞猁),西北区记录4种(狼、豺、雪豹和猞猁),东北区记录4种(狼、虎、豹和猞猁),陇中区记录3种(豺、狼和雪豹),华北区(豺、豹)和内蒙古高原区(狼、猞猁)各记录2种。

2.5 IUCN分布图层各省级行政区物种记录

基于各省(区)的IUCN物种分布图层数据,西北、华北和东北共记录目标类群兽类72种,其中西北地区记录67种,华北地区40种,东北地区28种。IUCN分布图层物种记录与实际调查物种记录相比,IUCN记录物种数普遍高于实际记录物种数,但对比物种组成时发现,IUCN同样存在低估物种记录的情况。在所有的省级行政区中,黑龙江、甘肃和新疆3个来源的数据集记录物种的相似度高于75%;山西、天津和辽宁记录物种的相似度不足50%。辽宁记录物种数差值最大(14种);北京记录物种数虽无数值差异,但记录物种组成不完全一致,物种相似度为62.50%。在记录到的国家一级、二级重点保护野生动物和中国受威胁物种中,黑龙江、甘肃记录的物种相似率高于80%,辽宁记录物种相似率不足30%(表4)。

2.6 各省级行政区历史本底记录

在各省级行政区本底调查数据收集中,西北、华北和东北共记录兽类76种,其中西北地区记录71种,华北地区47种,东北地区33种。兽类记录物种数最

多的3个省级行政区是甘肃(58种)、青海(44种)和新疆(42种)。各省级行政区历史本底调查中记录的兽类物种数显著高于2011—2020年调查所记录到的物种数(Wilcoxon rank test, $W = 91, P = 0.0016$);其中,山西省本底调查数据记录到的兽类物种与当前实际收集数据差值最大(16种)(表5)。

在各省(区)本底调查中,记录国家一级兽类33种,国家二级兽类30种。在国家一级和二级兽类和中国受威胁物种中,除宁夏的国家二级兽类外,各省级行政区本底记录中的物种数均高于近10年实际调查中记录到的物种数。内蒙古是本底记录中国家一级兽类物种数高于近10年实际记录物种数最多的省级行政区(差值9种)。山西是本底记录中国家二级兽类物种数高于近10年实际记录物种数最多的省级行政区(差值7种)(表5)。

3 讨论

3.1 物种多样性与调查空缺

本研究系统收集了2011—2020年三北地区的大中型兽类物种调查数据,汇总更新了目标类群兽类物种当前的编目资料。这10年间,三北地区记录到的大中型兽类物种数接近全国目标兽类物种总数的一半,其中食肉目、鲸偶蹄目记录到的物种数超过全国该目物种总数的半数,说明三北地区具有相当高的兽类物种多样性水平。

从本研究所收集到的数据来看,2011—2020年三北地区广泛开展大中型兽类野外调查工作,但调查点的空间分布并不均匀。已有的调查位点在长白山、太行山、秦岭、祁连山、三江源、天山和阿尔泰山

表4 2011—2020年各省级行政区记录目标类群兽类和IUCN图层记录目标类群兽类物种数
Table 4 The number of target mammal species recorded in each province and in IUCN range maps, 2011-2020

分区 Region	省(区) Province	记录物种总数 Number of species recorded				国家一级、二级物种数 Number of first class and second class species				中国红色名录受威胁物种数 Number of threatened species in China's Red List			
		当前 Current	IUCN	差值 Difference	物种相似率/% Similarity rate	当前 Current	IUCN	差值 Difference	物种相似率/% Similarity rate	当前 Current	IUCN	差值 Difference	物种相似率/% Similarity rate
		西北 Northwest China	新疆	33	38	5	77.50	27	31	4	75.76	18	21
青海	38		42	4	73.91	32	35	3	71.79	23	25	2	71.43
甘肃	49		56	7	84.21	39	45	6	82.61	29	33	4	87.88
宁夏	20		23	3	59.26	13	16	3	52.63	11	12	1	64.29
陕西	26		35	9	69.44	18	25	7	65.38	13	17	4	66.67
华北 North China	内蒙古	25	35	10	66.67	21	28	7	68.97	15	22	7	60.87
	山西	12	19	7	47.62	6	11	5	30.77	4	9	5	30.00
	河北	13	21	8	54.55	6	13	7	35.71	4	10	6	40.00
	北京	13	13	0	62.50	7	6	-1	44.44	4	4	0	33.33
	天津	7	10	3	41.67	2	4	2	20.00	2	2	0	33.33
东北 Northeast China	黑龙江	22	26	4	84.62	18	20	2	90.00	14	16	2	87.50
	吉林	19	25	6	62.96	15	18	3	65.00	13	14	1	68.75
	辽宁	6	20	14	30.00	2	13	11	15.38	2	10	8	20.00

表5 各省级行政区历史本底与2011—2020年记录到的目标兽类物种数

Table 5 The number of target mammal species between the historical baseline and records in 2011-2020 in each province

分区 Region	省(区) Province	记录物种总数 Number of species recorded			国家一级物种数 Number of first class species			国家二级物种数 Number of second class species			中国红色名录受威胁物种数 Number of threatened species in China's Red List		
		当前 Current	本底 Baseline	差值 Difference	当前 Current	本底 Baseline	差值 Difference	当前 Current	本底 Baseline	差值 Difference	当前 Current	本底 Baseline	差值 Difference
		西北 Northwest China	新疆	33	42	9	13	20	7	14	16	2	18
青海	38		44	6	14	16	2	18	21	3	23	27	4
甘肃	49		58	9	19	24	5	20	24	4	29	37	8
宁夏	20		24	4	4	8	4	9	9	0	11	14	3
陕西	26		40	14	8	13	5	10	16	6	13	23	10
华北 North China	内蒙古	25	39	14	8	17	9	13	17	4	15	29	14
	山西	12	28	16	2	9	7	4	11	7	4	18	14
	河北	13	24	11	1	6	5	5	11	6	4	14	10
	北京	13	16	3	2	3	1	5	6	1	4	6	2
东北 Northeast China	天津	7	15	8	0	3	3	2	6	4	2	7	5
	黑龙江	22	29	7	8	10	2	10	13	3	14	19	5
	吉林	19	25	6	6	7	1	9	11	2	13	16	3
	辽宁	6	20	14	0	5	5	2	8	6	2	11	9

等山地区域较为聚集,而在东部的平原和丘陵以及内蒙古中西部(如阿拉善地区)、新疆南部(如塔里木与昆仑山地区)的调查位点较为缺乏。就省级行政区来看,河北、天津和辽宁三省的调查相对不足。调

查位点聚集往往与物种多样性丰富或区域内存在受关注度高的动物有关,例如三江源、祁连山地区物种多样性丰富,秦岭地区大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)受关注度高^[42-43]。在后续的调查监测工作中,

建议在现有以红外相机监测体系为主的调查监测基础上,进一步完善国内调查监测布局,增加辽宁、天津和河北区域的物种调查与监测,逐步填补监测空缺。

本研究的结果显示,在三北地区各省级行政区历史本底中记录到的兽类物种数显著高于2011—2020年实地观测所记录到的物种数。这可能是多方面原因造成的,包括(1)本研究收集的当前分布数据和信息可能仍不全面。本研究基于系统的文献检索,收集汇总了多种数据来源的大量调查数据,但由于部分已有研究目前可能尚未发表,使得部分地区的调查信息和数据未能被纳入。(2)在空间范围上,当前调查相比于本底调查可能存在部分区域上的空缺。各省(区)的历史本底记录是长期以来大量调查结果的汇总,涉及的调查区域和范围更为广泛,其中部分区域可能在近10年内未开展过实地调查。(3)本底调查中可能存在来源于早期文献的陈旧记录或错误记录。例如,《内蒙古动物志》^[44]中曾记录应分布在南方地区的丛林猫(*Felis chaus*),这可能是部分野放家猫个体在形态上与丛林猫类似而导致的错误识别记录,但因无标本、图片或其他实证记录留存,现无法考证。(4)部分物种可能出现了区域性消失。随着人类活动的不断增强,曾经广布的豺、狼、虎和豹等大体型物种由于肉食性的取食特性以及生存所需面积较大等原因,容易引发人-兽冲突。全球范围内已出现广泛的大型食肉动物区域性消失现象^[45],三北地区部分大型食肉动物也出现区域性消失,例如《北京兽类志》^[46]中记录有豹的分布,但该物种自20世纪90年代末期之后,在北京地区再未有过野外记录,被认为在该区域已经消失^[13,47];黑龙江、吉林、辽宁以及山西等省份在各省本底数据的收集中均记录到豺^[35,48-50],但通过2011—2020年的数据收集,这些省份都未出现豺的野外记录。与Li *et al.*^[51]在大熊猫保护区的研究结果相似,自20世纪60年代以来,大熊猫保护区内分布的豺,其原有分布地已经严重缩减。此类部分大型兽类分布范围的大面积缩减情况,亟需引起研究人员、政府管理部门及保护工作者的关注。

由于不同调查所采用的抽样方案、调查技术与方式、调查区域等均存在差别,所记录到的物种数之间的差值往往难以用来直接反映物种多样性的增减。受限于本底资料获取的困难和调查方式的改变,本研究的结果仅能粗略展示各省级行政区的历史本底调查与当前实际记录兽类的物种多样性情

况,但对已出现兽类区域性消失现象的地区仍需增加调查与监测。虽然各省级行政区历史本底记录物种丰富度更高,但由于近年来红外相机等新技术的广泛使用和调查、监测力度的加大,部分省(区)近期也有新记录到的兽类物种,比如宁夏回族自治区于2016年首次发现有毛冠鹿(*Elaphodus cephalophus*)分布^[52],吉林省于2022年首次记录到花面狸(*Paguma larvata*)分布^[53]。

从IUCN分布图层数据来看,各地区基于IUCN分布图层统计得到的目标类群物种数均高于实际野外调查记录物种数。高估的原因可能来自多个方面,例如IUCN部分物种图层的生成方式是使用所有已知出现点绘制最小凸多边形,或生成分布图层时所参照的物种分布资料过于陈旧等。但对照各区域物种组成记录,本研究发现IUCN图层对许多物种的分布范围也存在低估的情况,山西、辽宁和天津物种相似率不足一半,这可能是在估计部分物种的分布时,保守地将分布范围限制在某些已知该物种有分布的有限区域^[16,54]。近年来,有越来越多的研究将IUCN分布图层作为评估物种分布和生物多样性趋势的标准数据集,并经常基于此数据为保护规划和政策制定提供指导,背离了其最初用于支持物种受威胁状况及其动态评估的初衷^[55-57]。由于三北地区半数以上省份中两个来源的数据所记录大中型兽类物种的相似率低于75%,建议今后在更新IUCN分布图层时,评估组应更多结合最新的实际调查数据(如红外相机调查数据),并且在当前一段时期内不建议将IUCN物种分布图层作为基础数据直接应用于保护规划工作^[34,58-59]。

3.2 组成完整性

我国三北地区拥有多种大型顶级食肉动物,它们位于食物链的顶端,可以起到维持中小型食草动物种群数量稳定的作用,帮助维持生态系统结构和功能,这通常被认为是生态系统组成完整性的标志^[1,45]。大型顶级食肉动物消失可能会带来中级肉食动物的释放(mesocarnivore release)^[60-61],并对食物网稳定性、营养循环等方面产生重要影响^[2]。本研究的结果显示,三北地区华北地区的北京、天津和辽宁,其野生兽类群落中目前尚未记录到大型顶级食肉动物,且物种平均体质量较低。历史上,大型顶级食肉动物中的豹在我国曾广泛分布于除戈壁沙漠和西部高海拔地区的大部分省(区);狼也曾广泛分布

于中国的大部分省(区),北京(最后调查记录时间 1983 年)、天津(最后发表记录时间 2006 年)和辽宁(最后调查记录时间 2006 年)也均有狼的历史记录^[62]。

对于这些近 10~20 年未记录到顶级食肉动物的区域,需要增加对顶级捕食者的物种调查与监测,警惕顶级食肉动物丧失可能对生态系统功能造成的影响。在未来的保护行动中,可以借鉴其他国家和地区已有的成功案例,考虑通过重引入(reintroduction)或促进现有源种群自然扩散的方式,恢复和重建这些关键物种的区域种群^[63-65]。在我国东北地区,通过近几十年来持续不懈的保护和跨境合作,东北虎(*Panthera tigris altaica*)与东北豹(*P. pardus orientalis*)的种群已经得到了较好的恢复^[66-67]。在华北地区,华北豹(*P. p. japonensis*)目前可能以区域性集合种群的形式分布于数十个相互分离的栖息地斑块之中,其中山西和顺、陕西子午岭等几个核心栖息地斑块中规模较大的局域种群,有可能成为该物种将来向北京、河北等历史分布区扩散和恢复的源种群^[13,68-69]。2022 年,北京市门头沟区发布了《迎豹回家——北京市门头沟区野生动植物栖息地保护与恢复行动计划(2022—2027 年)》,希望通过改善生态系统质量,为豹提供回归家园的条件,构建完整食物链^[70]。这些工作,将为三北地区兽类群落组成完整性的恢复奠定重要的基础。

3.3 长期监测与动态更新

我国已建立起众多区域性及全国性的红外相机监测平台^[15],为我国兽类物种多样性调查提供大量的观测数据^[15,71-72],对深入了解物种资源分布及现状起到重要作用^[73]。本研究的结果显示,目前红外相机调查已成为三北地区大中型兽类分布记录的主要来源之一。建议在现有以红外相机监测体系为主的调查监测基础上,进一步完善国内调查监测布局,增加辽宁、天津和河北区域的物种调查与监测,建立更加全面的陆生大中型兽类监测网络。建立或完善各地区、各物种的本底资源调查数据库,形成详细、标准化的本底资源数据,大数据管理是未来发展的必然趋势,将给予物种多样性保护管理与研究强有力的支撑^[15,74]。

对近 10 年内野外记录空缺但省级行政区内曾存在历史分布的物种,尤其是国家重点保护野生动物,建议后续开展专项调查,采取多种调查手段,对物种历史分布区及适宜栖息地开展长期监测,摸清

未记录物种野外种群的实际情况。如确认物种区域性消失,应全面评估可能对生态系统造成的影响,并咨询领域内相关专家开展针对性保护工作。

致谢:衷心感谢中国猫科动物保护联盟(CFCA)、荒野新疆提供的数据共享,并感谢张子依参与数据收集,感谢刘鸣章在稿件准备中提出的建议,感谢刘斌在稿件准备和数据处理过程中提供的无私帮助。

参考文献:

- [1] HOEKS S, HUIJBREGTS M A J, BUSANA M, *et al.* Mechanistic insights into the role of large carnivores for ecosystem structure and functioning[J]. *Ecography*, 2020, 43(12): 1752-1763.
- [2] WILSON E E, WOLKOVICH E M. Scavenging: How carnivores and carrion structure communities[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2011, 26(3): 129-135.
- [3] 李冰. 珙春自然保护区东北虎及猎物种群现状及保护研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2010.
LI B. Status of Amur tiger and prey population in Hunchun Nature Reserve, China and conservation research [D]. Shanghai: East China Normal University, 2010.
- [4] NAIDOO R, STUART-HILL G, WEAVER L C, *et al.* Effect of diversity of large wildlife species on financial benefits to local communities in northwest Namibia[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2011, 48(2): 321-335.
- [5] 王长平, 刘雪华, 武鹏峰, 等. 应用红外相机技术研究秦岭观音山自然保护区内野猪的行为和丰富度[J]. *兽类学报*, 2015, 35(2): 147-156.
WANG C P, LIU X H, WU P F, *et al.* Research on behavior and abundance of wild boar (*Sus scrofa*) via infrared camera in Guanyinshan Nature Reserve in Qinling Mountains, China [J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2015, 35(2): 147-156.
- [6] 林骥. “三北”防护林地区野生动物资源考察概况[J]. *野生动物*, 1982, 3(1): 72; 61.
LIN J. Survey of wildlife resources in ‘Three North’ shelterbelt area[J]. *Wildlife*, 1982, 3(1): 72; 61.
- [7] 徐峰, 马鸣, 殷守敬, 等. 新疆北塔山地区雪豹及其食物资源调查初报[J]. *干旱区资源与环境*, 2007, 21(3): 63-66.
XU F, MA M, YIN S J, *et al.* Investigation on snow leopard (*Uncia uncia*) and its prey in Baytag Mountain region, Xinjiang [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2007, 21(3): 63-66.
- [8] 胡大志, 徐恺, 张俊涛, 等. 甘肃祁连山国家级自然保护区野生动物红外相机监测分析[J]. *野生动物学报*, 2022, 43(3): 692-703.
HU D Z, XU K, ZHANG J T, *et al.* Wildlife monitoring by camera trapping in the Qilianshan National Nature Reserve, Gansu Province [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2022, 43(3):

- 692-703.
- [9] ZHANG C C, WANG J, ALEXANDER J S, *et al.* Biodiversity assessment of mammal and bird species from camera trap data in Yanchiwan National Nature Reserve, Gansu Province, China [J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2018, 9(5): 566-574.
- [10] 王一晴, 马子驭, 王刚, 等. 太行山华北豹袭击家畜的时空特点与管理建议: 以山西省和顺县为例[J]. *生物多样性*, 2022, 30(9): 21510.
- WANG Y Q, MA Z Y, WANG G, *et al.* Spatiotemporal patterns of cattle depredation by the North Chinese leopard in Taihang Mountains and its management strategy: A case study in Heshun, Shanxi Province[J]. *Biodiversity Science*, 2022, 30(9): 21510.
- [11] YANG L, ZHANG R, DUO H R, *et al.* Historical distribution of lynx (*Lynx lynx*) in northeast China on the basis of historical records[J]. *Russian Journal of Ecology*, 2017, 48(6): 569-575.
- [12] 张睿. 基于历史资料中国五种濒危动物历史分布变化(1950-2010)[D]. 北京: 北京林业大学, 2017.
- ZHANG R. Historical distribution change of five China's endangered animals based on historical data from 1950 to 2010 [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2017.
- [13] WANG Y D, LIU M Z, XIA F, *et al.* Big cats persisting in human-dominated landscape: Habitat suitability and connectivity of leopards in central north China [J]. *Landscape Ecology*, 2024, 39(5): 94.
- [14] 肖治术, 李学友, 向左甫, 等. 中国兽类多样性监测网的建设规划与进展[J]. *生物多样性*, 2017, 25(3): 237-245.
- XIAO Z S, LI X Y, XIANG Z F, *et al.* Overview of the mammal diversity observation network of Sino BON [J]. *Biodiversity Science*, 2017, 25(3): 237-245.
- [15] 李晟. 中国野生动物红外相机监测网络建设进展与展望[J]. *生物多样性*, 2020, 28(9): 1045-1048.
- LI S. Development progress and outlook of the wildlife camera-trapping networks in China [J]. *Biodiversity Science*, 2020, 28(9): 1045-1048.
- [16] HERKT K M B, SKIDMORE A K, FAHR J. Macroecological conclusions based on IUCN expert maps: A call for caution [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2017, 26(8): 930-941.
- [17] 中华人民共和国民政部. 全国行政区划信息查询平台 [DB/OL] [2024-12-13]. <http://xzqh.mca.gov.cn/map>. Ministry of Civil Affairs of the People's Republic of China. National administrative division information query platform [DB/OL] [2024-12-13]. <http://xzqh.mca.gov.cn/map>.
- [18] 谢舒笛, 莫兴国, 胡实, 等. 三北防护林工程区植被绿度对温度和降水的响应[J]. *地理研究*, 2020, 39(1): 152-165.
- XIE S D, MO X G, HU S, *et al.* Responses of vegetation greenness to temperature and precipitation in the Three-North Shelter Forest Program [J]. *Geographical Research*, 2020, 39(1): 152-165.
- [19] 张荣祖, 赵肯堂. 关于《中国动物地理区划》的修改[J]. *动物学报*, 1978, 24(2): 196-202.
- ZHANG R Z, ZHAO K T. On the zoogeographical regions of China [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 1978, 24(2): 196-202.
- [20] HE J K, KREFT H, GAO E H, *et al.* Patterns and drivers of zoogeographical regions of terrestrial vertebrates in China [J]. *Journal of Biogeography*, 2017, 44(5): 1172-1184.
- [21] 魏辅文. 中国兽类分类与分布 [M]. 北京: 科学出版社, 2022.
- WEI F W. Taxonomy and distribution of mammals in China [M]. Beijing: Science Press, 2022.
- [22] EPPS C W, MUTAYOBA B M, GWIN L, *et al.* An empirical evaluation of the African elephant as a focal species for connectivity planning in East Africa [J]. *Diversity and Distributions*, 2011, 17(4): 603-612.
- [23] MCCARTHY J L, MCCARTHY K P, FULLER T K, *et al.* Assessing variation in wildlife biodiversity in the Tien Shan Mountains of Kyrgyzstan using ancillary camera-trap photos [J]. *Mountain Research and Development*, 2010, 30(3): 295-301.
- [24] MORRISON J C, SECHREST W, DINERSTEIN E, *et al.* Persistence of large mammal faunas as indicators of global human impacts [J]. *Journal of Mammalogy*, 2007, 88(6): 1363-1380.
- [25] SALOM-PÉREZ R, CORRALES-GUTIÉRREZ D, ARAYA-GAMBOA D, *et al.* Forest cover mediates large and medium-sized mammal occurrence in a critical link of the Mesoamerican Biological Corridor [J]. *PLoS One*, 2021, 16(3): e0249072.
- [26] DOS SANTOS BERNARDO P V, DE MELO F R. Assemblage of medium and large size mammals in an urban semideciduous seasonal forest fragment in Cerrado biome [J]. *Biota Neotropica*, 2013, 13(2): 76-80.
- [27] CHEN C W, XU A C, DING P, *et al.* The small-island effect and nestedness in assemblages of medium- and large-bodied mammals on Chinese reservoir land-bridge islands [J]. *Basic and Applied Ecology*, 2019, 38: 47-57.
- [28] HUANG G, SREEKAR R, VELHO N, *et al.* Combining camera-trap surveys and hunter interviews to determine the status of mammals in protected rainforests and rubber plantations of Menglun, Xishuangbanna, SW China [J]. *Animal Conservation*, 2020, 23(6): 689-699.
- [29] SHEN Y Y, LIU M Z, WANG D J, *et al.* Using an integrative mapping approach to identify the distribution range and conservation needs of a large threatened mammal, the Asiatic black bear, in China [J]. *Global Ecology and Conservation*, 2021, 31: e01831.
- [30] 刘轲, 刘炎林, 李晟. 欧亚猞猁在中国的分布现状与适宜栖息地预测[J]. *兽类学报*, 2023, 43(6): 652-663.
- LIU K, LIU Y L, LI S. The current distribution and prediction of suitable habitat of Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in China [J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2023, 43(6): 652-663.
- [31] R Core Team. R: a language and environment for statistical computing [CP/OL]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing [2023-10-11]. <https://www.r-project.org>.
- [32] CHAMBERLAIN S, BOETTIGER C. R Python, and Ruby clients for GBIF species occurrence data [J]. *PeerJ Preprints*,

2017. DOI:10.7287/peerj.preprints.3304v1.
- [33] GBIF occurrence download [DB/OL] (2023-08-09) [2023-10-11]. <https://doi.org/10.15468/dl.e7uztx>.
- [34] CHEN C, GRANADOS A, BRODIE J F, *et al.* Combining camera trap surveys and IUCN range maps to improve knowledge of species distributions[J]. *Conservation Biology*, 2024, 38(3): e14221.
- [35] JI L Q. China checklist of animals [DB/OL]//The Biodiversity Committee of Chinese Academy of Science. Catalogue of life China: 2023 annual checklist [2023-05-31]. <http://www.sp2000.org.cn/>.
- [36] 国家重点保护野生动物名录(2021年2月1日修订)[J]. *野生动物学报*, 2021, 42(2): 605–640.
List of national key protected wild animals in China (revised on February 1, 2021) [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2021, 42(2): 605–640.
- [37] 蒋志刚. 中国生物多样性红色名录: 脊椎动物: 第1卷: 哺乳动物: 上册[M]. 北京: 科学出版社, 2021.
JIANG Z G. China's Red List of biodiversity: Vertebrate: Vol. I: Mammals: I [M]. Beijing: Science Press, 2021.
- [38] 蒋志刚. 中国生物多样性红色名录: 脊椎动物: 第1卷: 哺乳动物: 中册[M]. 北京: 科学出版社, 2021.
JIANG Z G. China's Red List of biodiversity: Vertebrate: Vol. I: Mammals: II [M]. Beijing: Science Press, 2021.
- [39] 蒋志刚. 中国生物多样性红色名录: 脊椎动物: 第1卷: 哺乳动物: 下册[M]. 北京: 科学出版社, 2021.
JIANG Z G. China's Red List of biodiversity: Vertebrate: Vol. I: Mammals: III [M]. Beijing: Science Press, 2021.
- [40] COOKE R S C, BATES A E, EIGENBROD F. Global trade-offs of functional redundancy and functional dispersion for birds and mammals[J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2019, 28(4): 484–495.
- [41] RIPPLE W J, ESTES J A, BESCHTA R L, *et al.* Status and ecological effects of the world's largest carnivores[J]. *Science*, 2014, 343(6167): 1241484.
- [42] 关于印发《中国生物多样性保护战略与行动计划》(2011—2030年)的通知 [EB/OL] (2010-09-17) [2023-07-23]. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201009/t20100921_194841.htm. Notification on the publication of “China's biodiversity conservation strategy and action plan (2011–2030)” [EB/OL] (2010-09-17) [2023-07-23]. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201009/t20100921_194841.htm.
- [43] 李国春, 吴逊涛, 胡理乐, 等. 太白山自然保护区大熊猫冬栖地动物多样性监测[J]. *陕西林业科技*, 2016, 44(6): 32–36; 42.
LI G C, WU X T, HU L L, *et al.* Animal species diversity of giant panda's winter habitat in Taibaishan Nature Reserve monitored by infrared camera [J]. *Shaanxi Forest Science and Technology*, 2016, 44(6): 32–36; 42.
- [44] 旭日干. 内蒙古动物志: 第6卷: 哺乳纲: 非啮齿动物[M]. 呼和浩特: 内蒙古大学出版社, 2016: 221–224.
XU R G. Fauna Inner Mongolia: Vol. 6: Mammalia: Non-rodents [M]. Hohhot: Inner Mongolia University Press, 2016: 221–224.
- [45] PACIFICI M, RONDININI C, RHODES J R, *et al.* Global correlates of range contractions and expansions in terrestrial mammals[J]. *Nature Communications*, 2020, 11: 2840.
- [46] 陈卫, 高武, 傅必谦. 北京兽类志[M]. 北京: 北京出版社, 2002: 142–146.
CHEN W, GAO W, FU B Q. Beijing Fauna[M]. Beijing: Beijing Publishing House, 2002: 142–146.
- [47] LAGUARDIA A, KAMLER J F, LI S, *et al.* The current distribution and status of leopards *Panthera pardus* in China [J]. *Oryx*, 2017, 51(1): 153–159.
- [48] 马逸清, 程继臻, 傅承钊, 等. 黑龙江省兽类志[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1986.
MA Y Q, CHENG J Z, FU C Z, *et al.* Fauna of Heilongjiang Province [M]. Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 1986.
- [49] 肖增祜, 王永久, 王丕烈, 等. 辽宁动物志: 兽类[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1988.
XIAO Z H, WANG Y J, WANG P L, *et al.* Fauna Liaoningica: Mammalia [M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 1988.
- [50] 樊龙锁, 刘焕金. 山西兽类[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996.
FAN L S, LIU H J. Mammals of Shanxi Province [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1996.
- [51] LI S, MCSHEA W J, WANG D J, *et al.* Retreat of large carnivores across the giant panda distribution range [J]. *Nature Ecology & Evolution*, 2020, 4(10): 1327–1331.
- [52] 高惠, 马忠其, 滕丽微, 等. 宁夏回族自治区六盘山国家级自然保护区发现毛冠鹿[J]. *动物学杂志*, 2017, 52(6): 1066–1068.
GAO H, MA Z Q, TENG L W, *et al.* Tufted deer (*Elaphodus cephalophus*) was discovered in the Liupan Mountain National Nature Reserve, Ningxia Hui Autonomous Region, China [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2017, 52(6): 1066–1068.
- [53] 张雷, 常劲, 冯超凡, 等. 辽宁省兽类新记录: 花面狸[J]. *兽类学报*, 2023, 43(6): 760–764.
ZHANG L, CHANG J, FENG C F, *et al.* New records of *Paguma larvata* in Liaoning Province, China [J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2023, 43(6): 760–764.
- [54] SCHIPPER J, CHANSON J S, CHIOZZA F, *et al.* The status of the world's land and marine mammals: Diversity, threat, and knowledge [J]. *Science*, 2008, 322(5899): 225–230.
- [55] BOITANI L, MAIORANO L, BAISERO D, *et al.* What spatial data do we need to develop global mammal conservation strategies? [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2011, 366(1578): 2623–2632.
- [56] BROOKS T M, PIMM S L, AKÇAKAYA H R, *et al.* Measuring terrestrial area of habitat (AOH) and its utility for the IUCN red list [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2019, 34(11): 977–986.
- [57] MARSH C J, SICA Y V, BURGIN C J, *et al.* Expert range

- maps of global mammal distributions harmonised to three taxonomic authorities [J]. *Journal of Biogeography*, 2022, 49(5): 979–992.
- [58] HUGHES A C. Mapping priorities for conservation in Southeast Asia [J]. *Biological Conservation*, 2017, 209: 395–405.
- [59] HUGHES A C, ORR M C, YANG Q M, *et al.* Effectively and accurately mapping global biodiversity patterns for different regions and taxa [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2021, 30(7): 1375–1388.
- [60] CROOKS K R, SOULÉ M E. Mesopredator release and avifaunal extinctions in a fragmented system [J]. *Nature*, 1999, 400(6744): 563–566.
- [61] RITCHIE E G, JOHNSON C N. Predator interactions, mesopredator release and biodiversity conservation [J]. *Ecology Letters*, 2009, 12(9): 982–998.
- [62] WANG L, MA Y P, ZHOU Q J, *et al.* The geographical distribution of grey wolves (*Canis lupus*) in China: A systematic review [J]. *Zoological Research*, 2016, 37(6): 315–326.
- [63] FORD A T, GOHEEN J R, AUGUSTINE D J, *et al.* Recovery of African wild dogs suppresses prey but does not trigger a trophic cascade [J]. *Ecology*, 2015, 96(10): 2705–2714.
- [64] PERINO A, PEREIRA H M, NAVARRO L M, *et al.* Rewilding complex ecosystems [J]. *Science*, 2019, 364(6438): eaav5570.
- [65] RIPPLE W J, LARSEN E J. Historic aspen recruitment, elk, and wolves in northern Yellowstone National Park, USA [J]. *Biological Conservation*, 2000, 95(3): 361–370.
- [66] WANG T M, FENG L M, MOU P, *et al.* Amur tigers and leopards returning to China: Direct evidence and a landscape conservation plan [J]. *Landscape Ecology*, 2016, 31(3): 491–503.
- [67] WANG T M, FENG L M, YANG H T, *et al.* A science-based approach to guide Amur leopard recovery in China [J]. *Biological Conservation*, 2017, 210: 47–55.
- [68] YANG H T, XIE B, ZHAO G J, *et al.* Elusive cats in our backyards: Persistence of the North Chinese leopard (*Panthera pardus japonensis*) in a human-dominated landscape in central China [J]. *Integrative Zoology*, 2021, 16(1): 67–83.
- [69] FU Y W, ZHAO G J, DAI W Q, *et al.* Surprising leopard restoration in fragmented ecosystems reveals connections as the secret to conservation success [J]. *Science of the Total Environment*, 2023, 858: 159790.
- [70] 涂铭, 赵琬微. 百花山翠待豹归 [N]. *新华每日电讯*, 2023-05-22(4).
TU M, ZHAO W W. The forests of Baihua Mountain are verdant and waiting for the leopard to return [N]. *Xinhua Daily Telegraph*, 2023-05-22(4).
- [71] 肖治术. 红外相机技术在我国自然保护地野生动物清查与评估中的应用 [J]. *生物多样性*, 2019, 27(3): 235–236.
XIAO Z S. Application of camera trapping to species inventory and assessment of wild animals across China's protected areas [J]. *Biodiversity Science*, 2019, 27(3): 235–236.
- [72] 万雅琼, 李佳琦, 杨兴文, 等. 基于红外相机的中国哺乳动物多样性观测网络建设进展 [J]. *生物多样性*, 2020, 28(9): 1115–1124.
WAN Y Q, LI J Q, YANG X W, *et al.* Progress of the China mammal diversity observation network (China BON-Mammal) based on camera-trapping [J]. *Biodiversity Science*, 2020, 28(9): 1115–1124.
- [73] 李佳琦, 徐海根, 万雅琼, 等. 全国哺乳动物多样性观测网络 (China BON-Mammals) 建设进展 [J]. *生态与农村环境学报*, 2018, 34(1): 12–19.
LI J Q, XU H G, WAN Y Q, *et al.* Progress in construction of China mammal diversity observation network (China BON-Mammals) [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2018, 34(1): 12–19.
- [74] MCSHEA W J, 申小莉, 刘芳, 等. 中国的野生动物红外相机监测需要统一的标准 [J]. *生物多样性*, 2020, 28(9): 1125–1131.
MCSHEA W, SHEN X L, LIU F, *et al.* China's wildlife camera-trap monitoring needs a unified standard [J]. *Biodiversity Science*, 2020, 28(9): 1125–1131.

附录 Supplementary Material

附录1 本研究中涉及的陆生大中型兽类物种及其在三北地区分布的省(区)

Appendix 1 List of terrestrial large- and medium-sized mammals included in this study and their distribution in Three-North provinces

附录2 体质量大于1 kg但未纳入本研究的兽类物种

Appendix 2 The mammal species whose body mass > 1 kg but excluded in this study

附录3 2011—2020年三北地区目标类群兽类分布记录数据来源

Appendix 3 Sources of target mammal records in the Three-North Regions, 2011–2020

附录4 三北地区各省级行政区大中型兽类本底记录来源

Appendix 4 Sources of the baseline records of large- and medium-sized mammals in each province of Three-north Regions, China

<https://dx.doi.org/10.12375/ysdwx.202410036>