

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

胡大志¹ 徐恺^{2,3} 张俊涛¹ 马堆芳¹ 倪兆睿¹ 肖治木^{2,3*}

(1. 甘肃祁连山国家级自然保护区管理局 甘肃 623006; 2. 中国科学院动物研究所农业虫鼠害综合治理研究国家重点实验室 北京 100101; 3. 中国科学院大学 北京 101407)

摘要: 本研究于 2019 年 4 月至 2020 年 4 月在甘肃祁连山国家级自然保护区的 6 个管理片区利用红外相机对野生动物资源开展本底调查。本次调查共设置 128 个 5km×5km 的有效网格和 209 个有效相机位点, 累计工作 23399 个有效相机日, 获得 5294 张独立有效照片。调查共记录到 40 个物种, 其中鸟类 5 目 8 科 19 种, 兽类 4 目 10 科 21 种, 包括国家Ⅰ级重点保护动物 6 种, 国家Ⅱ级重点保护动物 16 种; IUCN 红色名录濒危(EN)物种 2 种, 易危(VU)物种 3 种, 近危(NT)物种 3 种; 《中国脊椎动物红色名录》极危(CR)物种 2 种, 濒危(EN)物种 6 种, 易危(VU)物种 2 种, 近危(NT)物种 11 种。本次调查新增了藏狐(*Vulpes ferrilata*)1 个保护区新记录物种, 并绘制了物种多样性分布图。网格占有率最高的三种兽类为雪豹(*Panthera uncia*)、赤狐(*Vulpes vulpes*)和岩羊(*Pseudois nayau*), 而相对多度指数最高的依次为岩羊、赤狐和雪豹。鸟类中, 蓝马鸡(*Crossoptilon auritum*)和喜鹊(*Pica pica*)的网格占有率和相对多度指数较大。保护区内家牦牛和家羊等放牧现象较严重。建议加强重要物种的种群监测, 在繁殖育幼季或重要栖息地内限制或禁止放牧。本研究完善了甘肃祁连山国家级自然保护区野生动物资源本底, 为生物多样性管理保护提供参考资料。

关键词: 祁连山国家级自然保护区; 红外相机; 野生动物资源; 生物多样性保护

Wildlife Monitoring by Camera Trapping in the Qilianshan National Nature Reserve, Gansu Province

Abstract: From April 2019 to April 2020, we investigated wildlife animals using camera traps from six management areas in the Qilianshan National Nature Reserve, Gansu Province. A total of 5294 independent images were collected with up to 23399 effective camera days from 209 effective camera sites and 128 5 km×5 km effective grids in the reserve. We recorded 40 species, including 19 bird species belonging to 5 orders and 8 families, and 21 mammal species belonging to 4 orders and 10 families. Among these species, six species were listed as Class I national protected wild animals and 16 species as Class II national protected animals, with two endangered species, three vulnerable species and three near endangered species according to the *IUCN Red List*, and two critically endangered species, six endangered species, two vulnerable species and 11 near endangered species based on the *Red List of China's Vertebrates*. Moreover, we identified *Vulpes ferrilata* as new records for the reserve and mapped the distribution of species richness based on the grids in the reserve. The top three mammals with the highest grid occupancies (GOs) were *Panthera uncia*, *Vulpes vulpes* and *Pseudois nayaur*, those with the highest relative abundance index (RAI) were *Pseudois nayaur*, followed by the *Vulpes vulpes* and *Panthera uncia*. The birds with higher GOs and RAIs were *Crossoptilon auritum* and *Pica pica*. Livestock grazing by domestic yak and domestic sheep was widespread in the reserve. We recommend to perform regular monitoring for important species, and to restrict or even prohibit livestock grazing at least in the breeding seasons of wild animals in the reserve. The study provides basic information about wildlife resources for biodiversity management and protection in the Qilianshan National Nature Reserve.

Key words: Qilianshan National Nature Reserve; camera traps; wildlife resources; biodiversity conservation.

野生动物监测与评估是自然保护地生物多样性保护恢复的基础^[1]。目前红外相机技术因其高效性、连续性、低干扰性和无损性等优势^[2-3], 在评估野生动物的种群状况、时空分布和生境利用等研究中发挥了关键作用^[2, 4-5], 并已广泛应用于保护区野生动物物种多样性监测和保护评估^[6-7], 成为野生动物资源本底调查与生态学研究的重要技术手段之一^[8]。

祁连山位于青藏高原东北边缘, 跨甘肃、青海两省, 是国家重点生态功能区之一, 具有维系青藏高原

生态平衡、阻止北部沙漠南侵和补给河西内陆水源的重要作用。其北坡为甘肃省管辖,于 1987 年经国务院批准建立了甘肃祁连山国家级自然保护区(以下简称为“祁连山保护区”)。2017 年 6 月,《祁连山国家公园体制试点方案》将保护区整体纳入祁连山国家公园试点区域范围。祁连山保护区地处 97°25'-103°46'E, 36°43'-39°36'N 之间,海拔 1740-5564m,总面积 265.3023 万 hm^2 ,整个山地属高山峡谷地貌^[9]。保护区年平均气温 0.2-3.6℃,年降水量 200-500mm^[10],气温自东南向西北、自低海拔向高海拔呈降低趋势,降水自低海拔向高海拔呈增加趋势^[9]。祁连山保护区境内广袤的地域、复杂的地势、多样的气候,以及丰富的植被资源、土壤类型和河流水系,为动物演化和发展提供了环境基础,孕育了丰富多样的生命,从而成为山地生态系统和生物多样性的热点区域。

20 世纪 50 年代,祁连山就以营林为目的开展了森林资源清查^[11],自 70 年代起,针对祁连山区动植物资源的调查陆续展开^[9]。祁连山保护区成立后,保护区管理局基于样线调查和访问调查等方法,对区内生物多样性进行了较为系统的科学考察^[9, 12]。近年来,随着红外相机技术的快速发展和广泛应用,基于红外相机技术的野生动物监测调查在祁连山国家公园各片区相继推行^[13-15],为祁连山更完善的动物资源清查和重点物种保护提供了基础数据。2017 年以来,甘肃祁连山保护区于祁丰、寺大隆和哈溪 3 个管理站开展红外相机监测^[16],初步掌握了这些区域的大中型哺乳动物分布情况。在上述调查的基础上,本研究于 2019 年 4 月至 2020 年 4 月在祁连山保护区的祁丰、观山、隆畅河、寺大隆、马场和哈溪 6 个管理片区内利用红外相机技术对陆生大中型动物和地面活动鸟类等进行了为期 1 年的调查,完善了保护区网格化相机布设要求,以期更全面地掌握保护区内陆生大中型兽类和鸟类资源状况,为保护区野生动物资源监测、祁连山国家公园建设提供科学依据。

1 研究方法

1.1 红外相机布设

2019 年 4 月至 2020 年 4 月,于祁连山保护区划分祁丰、观山、隆畅河、寺大隆、马场和哈溪 6 个管理站设置样区,各样区按照 5km×5km 网格布设红外相机,每个网格内安装 1-3 台红外相机,共计 318 个相机位点(图 1)。相机主要安装在兽径、岔道或山脊等动物出没的位置,相邻两台相机距离不小于 500 m,安装高度距离地面 0.6-0.8 m,所有相机前方均不放置任何诱饵。本研究使用的红外相机型号为东方红鹰 E1 和易安卫士 L710,设定拍摄模式为“拍照+视频”,即每次触发自动连续拍摄 3 张照片和录制 30s 视频,相机感应间隔时间为 5s。调查期间每 3-4 个月进行一次数据回收和存储卡、电池的更换。

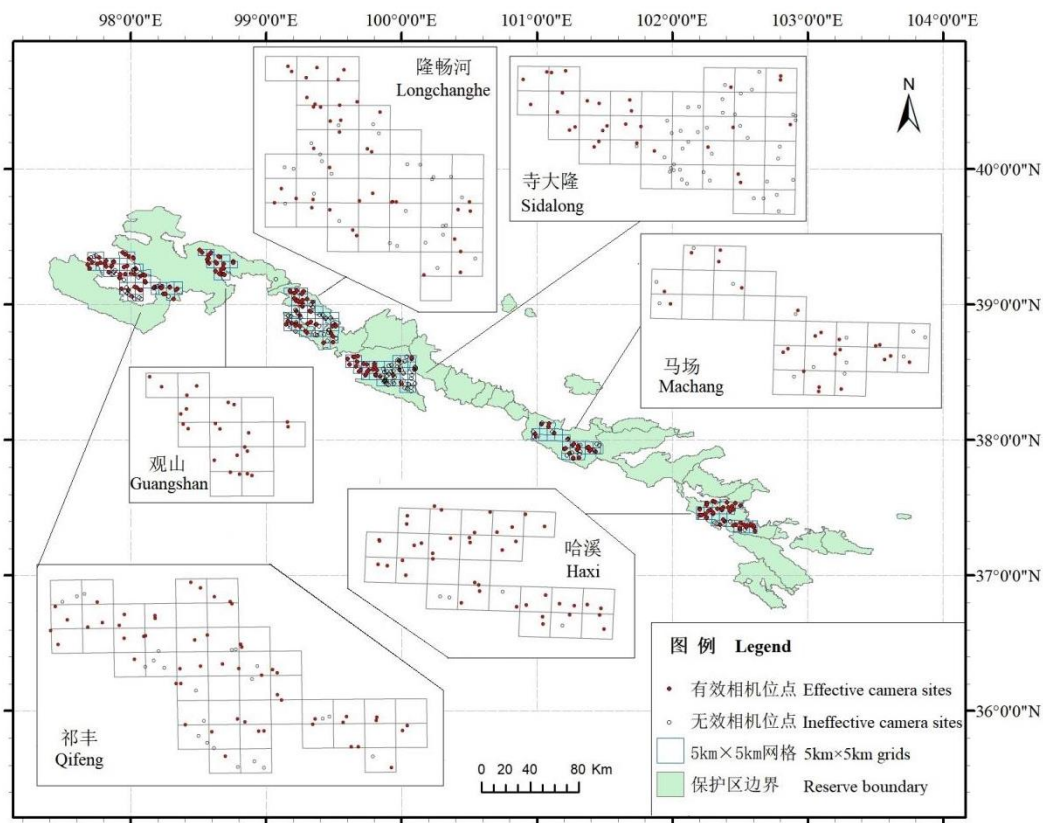


图 1 甘肃祁连山国家级自然保护区网格分布及相机位点分布图

Fig. 1 Distribution of grids and camera traps in the Qilianshan National Nature Reserve, Gansu Province

1.2 数据处理

所有红外相机拍摄的照片和视频逐一进行检查、分类和鉴定。兽类分类鉴定依据《中国哺乳动物多样性(第二版)》^[17], 鸟类分类鉴定依据《中国鸟类分类与分布名录(第三版)》^[18]; 濒危等级参照 IUCN 红色名录(<https://www.iucnredlist.org/>)和《中国脊椎动物红色名录》^[19]; 国家重点保护等级参照《国家重点保护野生动物名录》(国家林业和草原局 农业农村部公告 2021 年第 3 号, <http://www.forestry.gov.cn/main/5461/20210205/122418860831352.html>)。基于鉴定结果的物种多样性分布图在 ArcGIS 10.4 内绘制。

本研究中, 同一相机位点内红外相机持续工作 24 h 记为 1 个有效相机工作日^[20], 基于同一相机位点相隔小于 30min 内所拍到的同一物种的多张照片或视频, 记为 1 张独立有效照片^[20]。基于独立有效照片数和有效相机工作日, 利用 *vegan* 软件包^[21]对红外相机监测到鸟兽物种进行取样饱和度分析。

本研究以每个物种的网格占有率(Grid occupancy, GO)来表示该物种的活动分布范围, 即通过目标物种被拍到的网格单元数占所有正常工作的网格单元数的比例来计算^[20]。计算公式为:

$$GO_i = \frac{n_i}{N} \times 100\%$$

其中, n_i 表示拍摄到目标物种 i 的网格单元数, N 表示正常工作的网格单元总数。

计算物种在保护区所有调查样区总多度时, 本研究选取每 1000 个有效相机日捕获的独立有效照片数来表示物种的相对多度指数(Relative abundance index, RAI), 单位为次/1000 天。计算公式为:

$$RAI = \frac{\sum_{i=1} N_i}{\sum_{i=1} Trapday_i} \times 1000$$

其中， N_i 表示目标物种在第 i 个位点的独立有效照片数， $Trapday_i$ 表示第 i 个位点的有效相机日。

2 结果

调查期间，共有 209 个有效相机位点分布于 128 个有效网格中，另有 109 个相机位点记为无效相机位点（相机丢失 14 台，故障 88 台和冰封 7 台）。所有正常工作相机位点累计工作达 23399 个有效相机日，获得独立有效照片 5294 张，其中可鉴定到物种的独立有效照片 4731 张，包括鸟类 577 张和兽类 3651 张，以及人和家养动物等干扰活动的独立有效照片 503 张(表 1)。

表 1 甘肃祁连山国家级自然保护区红外相机样区调查情况

Tab. 1 Summary for camera trapping survey in each sampled areas in the Qilianshan National Nature Reserve, Gansu Province

统计项目 STATISTICS	观山 GUANSHA N	马场 MACHA NG	祁丰 QIFEN G	寺大隆 SIDALONG	哈 溪 H AXI	隆畅河 LONGCHANGH E	合计 TOT AL
布设位点数	26	36	76	67	45	68	318
有效位点数	23	23	53	29	41	40	209
有效相机日	2131	1472	7780	2535	39 74	5506	2339 8
独立有效照片数	505	657	1767	922	63 8	805	5294
记录所有物种数	21	18	27	20	15	18	40
记录鸟类物种数	9	5	12	7	6	6	19
记录兽类物种数	13	13	15	13	9	12	21

本次调查记录到鸟类和兽类物种共 40 种，包括鸟类 5 目 8 科 19 种，兽类 4 目 9 科 21 种(表 2)。分析表明，随着祁连山保护区红外相机有效监测时长和获取独立有效照片数的增加，鸟类与兽类的物种累积均趋于平稳趋势，物种监测趋于饱和状态(图 2)。其中，祁丰监测到的物种丰富度最高，哈溪的物种丰富度最低，各管理站样区监测的鸟类物种数差异较大，祁丰的鸟类物种数是马场的 2.4 倍，但兽类物种数除哈溪较低外，其他样区差异不大(表 1, 图 3)。

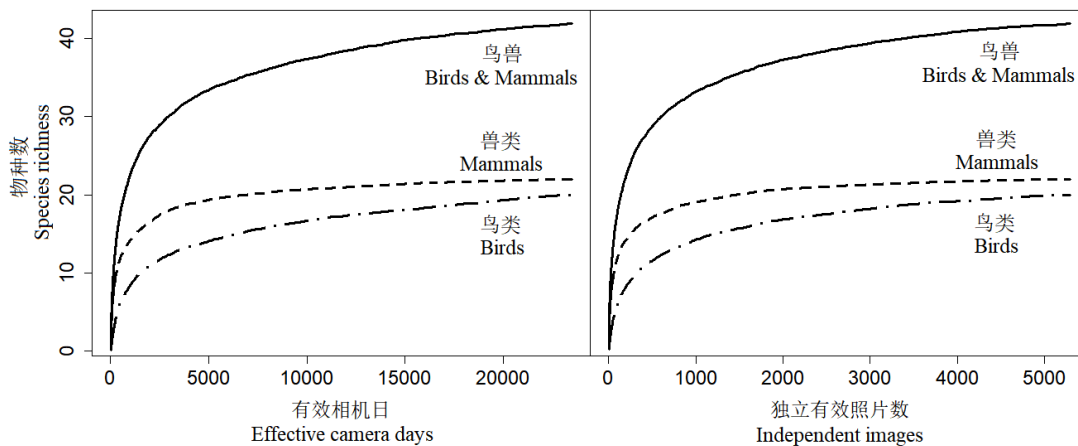


图 2 甘肃祁连山国家级自然保护区红外相机调查物种累积曲线

Fig. 2 Species accumulation curves by camera trapping in the Qilianshan National Nature Reserve, Gansu Province

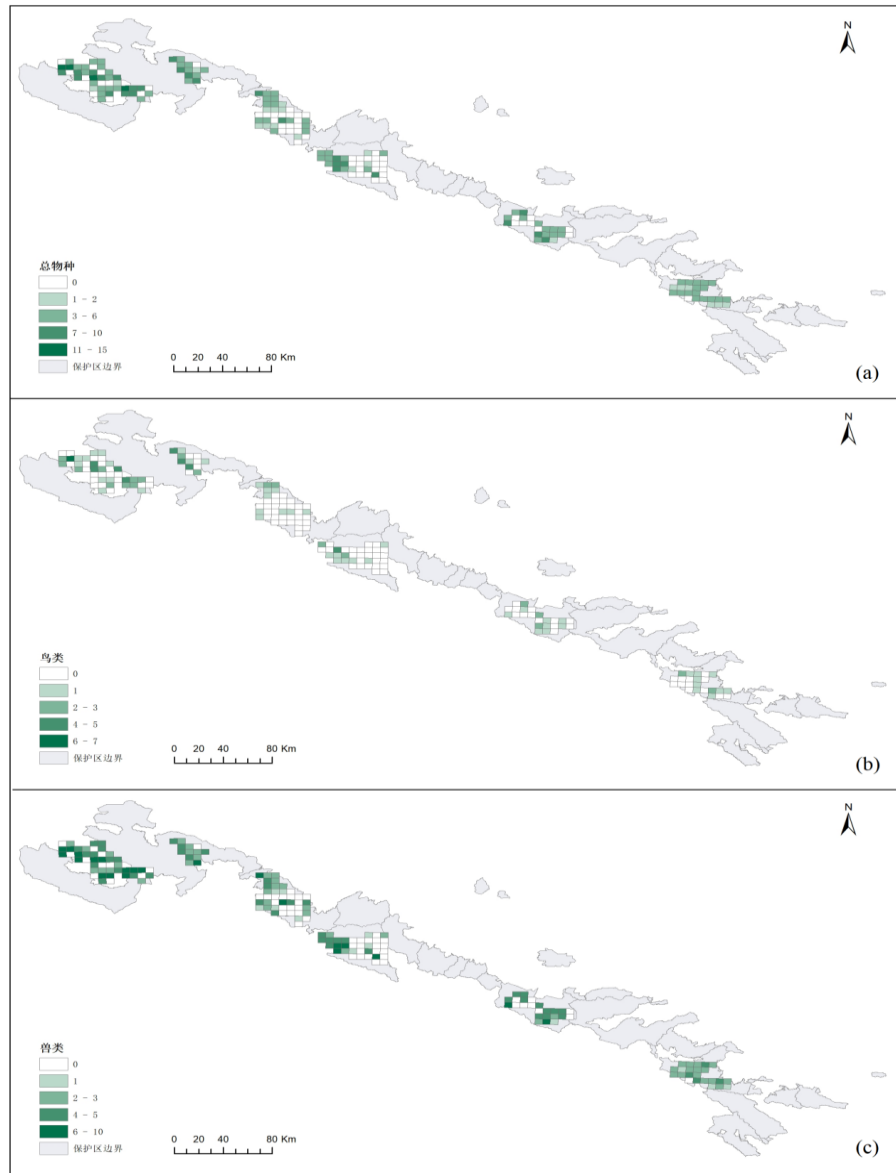


图 3 甘肃祁连山国家级自然保护区红外相机监测各网格的(a)野生动物总物种丰富度、(b)鸟类丰富度和(c)兽类丰富度示意图

Fig. 3 Schematic diagrams of total wildlife (a) species richness, (b) bird richness and (c) mammal richness of each grid monitored by camera trapping in the Qilianshan National Nature Reserve, Gansu Province

表 2 甘肃祁连山国家级自然保护区红外相机记录物种的相对多度指数和网格占有率

Tab. 2 Relative abundance indices and grid occupancies of wild animals monitored by camera trapping in the Qilianshan National Nature Reserve, Gansu Province

物种 Species	IUCN Red List	中国脊椎 动物红色名录 Red List of China's Vertebrates		相对多度 指数 RAI	网格占有 率 GO
		国家保护等级 Level of China Protection			

鸟纲 Aves

鸽形目 COLUMBIFORMES

鸠鸽科 Columbidae

雪鸽 <i>Columba leuconota</i>	LC	LC	-	0.085	0.78%
岩鸽 <i>Columba rupestris</i>	LC	LC	-	0.043	0.78%

鸡形目 GALLIFORMES

松鸡科 Tetraonidae

斑尾榛鸡 <i>Tetraastes sewerzowi</i>	NT	NT	I	0.085	1.56%
----------------------------------	----	----	---	-------	-------

雉科 Phasianidae

暗腹雪鸡 <i>Tetraogallus himalayensis</i>	LC	NT	II	0.470	3.91%
藏雪鸡 <i>Tetraogallus tibetanus</i>	LC	NT	II	0.684	0.53%
斑翅山鹑 <i>Perdix dauurica</i>	LC	LC	-	1.154	7.03%
高原山鹑 <i>Perdix hodgsoniae</i>	LC	LC	-	2.351	11.72%
蓝马鸡 <i>Crossoptilon auritum</i>	LC	NT	II	7.565	19.53%
血雉 <i>Ithaginis cruentus</i>	LC	NT	II	1.453	5.47%

雀形目 PASSERIFORMES

鸫科 Turdidae

棕背黑头鸫 <i>Turdus kessleri</i>	LC	LC	-	0.043	0.78%
------------------------------	----	----	---	-------	-------

雀科 Passeridae

麻雀 <i>Passer montanus</i>	LC	LC	-	0.214	3.13%
---------------------------	----	----	---	-------	-------

鹎科 Muscicapidae

黑喉石鹎 <i>Saxicola torquatus</i>	LC	NE	-	2.607	8.59%
白顶溪鹎 <i>Chaimarrornis leucocephalus</i>	LC	LC	-	0.128	0.78%

鸦科 Corvidae

大嘴乌鸦 <i>Corvus macrorhynchos</i>	LC	LC	-	0.342	1.56%
红嘴山鸦 <i>Pyrhrocorax pyrrhacorax</i>	LC	LC	-	3.120	10.16%
喜鹊 <i>Pica pica</i>	LC	LC	-	4.017	17.19%

隼形目 FALCONIFORMES

隼科 Falconidae

红隼 <i>Falco tinnunculus</i>	LC	LC	II	0.085	0.78%
-----------------------------	----	----	----	-------	-------

鹰形目 ACCIPITRIFORMES

鹰科 Accipitridae

大鵟 <i>Buteo hemilasius</i>	LC	LC	II	0.128	1.56%
高山兀鹫 <i>Gyps himalayensis</i>	NT	NT	II	0.085	0.78%

哺乳纲 Mammalia

啮齿目 RODENTIA

松鼠科 Sciuridae

喜马拉雅旱獭 <i>Marmota himalayana</i>	LC	LC	-	5.129	10.94%
----------------------------------	----	----	---	-------	--------

偶蹄目 ARTIODACTYLA

鹿科 Cervidae

白唇鹿 <i>Przewalskium albirostris</i>	VU	EN	I	6.795	23.44%
马鹿 <i>Cervus elaphus</i>	LC	NE	II	18.420	32.81%

马麝 <i>Moschus chrysogaster</i>	EN	CR	I	4.017	14.06%
狍 <i>Capreolus pygargus</i>	LC	NT	-	1.111	7.81%
牛科 Bovidae					
岩羊 <i>Pseudois nayaur</i>	LC	LC	II	36.713	60.16%
食肉目 CARNIVORA					
猫科 Felidae					
荒漠猫 <i>Felis bieti</i>	VU	CR	I	0.470	7.81%
猞猁 <i>Lynx lynx</i>	LC	EN	II	2.863	15.63%
兔狲 <i>Otocolobus manul</i>	LC	EN	II	0.043	0.78%
雪豹 <i>Panthera uncia</i>	VU	EN	I	24.105	61.72%
犬科 Canidae					
藏狐 <i>Vulpes ferrilata</i>	LC	NT	II	4.188	1.56%
豺 <i>Cuon alpinus</i>	EN	EN	I	0.513	7.03%
赤狐 <i>Vulpes vulpes</i>	LC	NT	II	24.575	60.94%
狼 <i>Canis lupus</i>	LC	NT	II	2.735	14.06%
熊科 Ursidae					
棕熊 <i>Ursus arctos</i>	LC	VU	II	0.513	6.25%
鼬科 Mustelidae					
艾鼬 <i>Mustela eversmanii</i>	LC	VU	-	0.085	1.56%
黄鼬 <i>Mustela sibirica</i>	LC	LC	-	0.256	3.13%
石貂 <i>Martes foina</i>	LC	EN	II	0.684	6.25%
香鼬 <i>Mustela altaica</i>	NT	NT	-	0.470	4.69%
兔形目 LAGOMORPHA					
鼠兔科 Ochotonidae					
达乌尔鼠兔 <i>Ochotona dauurica</i>	LC	LC	-	0.513	2.34%
兔科 Leporidae					
灰尾兔 <i>Lepus oiostolus</i>	LC	LC	-	21.839	32.81%
家养动物					
家狗	5			0.214	1.56%
家驴	4			0.171	0.78%
家马	36			1.539	6.25%
家牦牛	250			10.684	25.00%
家羊	82			3.504	10.16%

本次调查共记录祁连山保护区 6 种国家Ⅰ级重点保护动物, 包括斑尾榛鸡(*Tetrastes sewerzowi*)、白唇鹿(*Przewalskium albirostris*)、马麝(*Moschus chrysogaster*)、荒漠猫(*Felis bieti*)、雪豹(*Panthera uncia*)和豺(*Cuon alpinus*)等; 国家Ⅱ级重点保护动物 16 种, 包括暗腹雪鸡(*Tetraogallus himalayensis*)、藏雪鸡(*Tetraogallus tibetanus*)、蓝马鸡(*Crossoptilon auritum*)、血雉(*Ithaginis cruentus*)、红隼(*Falco tinnunculus*)、大鸮(*Buteo hemilasius*)、高山兀鹫(*Gyps himalayensis*)、马鹿(*Cervus elaphus*)、岩羊(*Pseudois nayaur*)、猞猁(*Lynx lynx*)、兔狲(*Otocolobus manul*)、藏狐(*Vulpes ferrilata*)、赤狐(*Vulpes vulpes*)、狼(*Canis lupus*)、棕熊(*Ursus arctos*)和石貂(*Martes foina*)等。

基于 IUCN 红色名录, 马麝和豺为濒危(EN)物种; 白唇鹿、荒漠猫和雪豹为易危(VU)物种; 斑尾榛鸡、

高山兀鹫和香鼬(*Mustela altaica*)为近危(NT)物种。基于《中国脊椎动物红色名录》，马麝和荒漠猫等为极危(CR)物种，白唇鹿、猓狍、兔狲、雪豹、豺和石貂等为濒危(EN)物种；棕熊和艾鼬(*Mustela eversmanii*)等为易危(VU)物种；暗腹雪鸡、藏雪鸡、斑尾榛鸡、蓝马鸡、血雉、高山兀鹫、狍(*Capreolus pygargus*)、藏狐、赤狐、狼和香鼬等为近危(NT)物种。

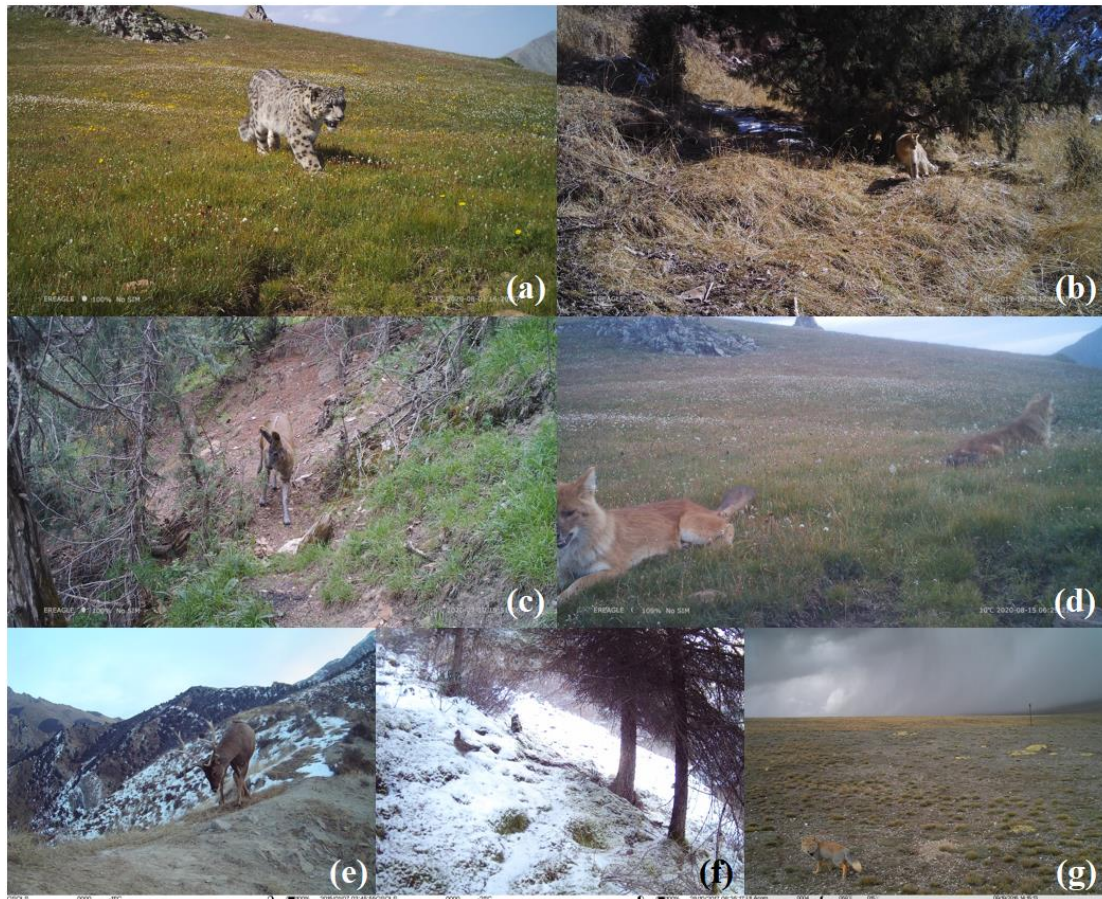


图4 甘肃祁连山国家级自然保护区重要物种照片，包括I级重点保护动物(a)雪豹(*Panthera uncia*)，(b)荒漠猫(*Felis bieti*)，(c)马麝(*Moschus chrysogaster*)，(d)豺(*Cuon alpinus*)，(e)白唇鹿(*Przewalskium albirostris*)，(f)斑尾榛鸡(*Tetrastes sewerzowi*)和保护区新记录物种(g)藏狐(*Vulpes ferrilata*)

Fig. 4 Pictures of important species in the Qilianshan National Nature Reserve, Gansu Province, including Class I national protected wild animals (a) *Panthera uncia*, (b) *Felis bieti*, (c) *Moschus chrysogaster*, (d) *Cuon alpinus*, (e) *Przewalskium albirostris*, (f) *Tetrastes sewerzowi* and new record species (g) *Vulpes ferrilata*

祁连山保护区多种兽类的活动分布范围较广，其中雪豹(GO = 61.72%)、赤狐(GO = 60.94%)和岩羊(GO = 60.16%)的活动分布范围最大，位居前三位；其后的马鹿和灰尾兔(*Lepus oiostolus*)的网格占有率均为32.81%；此外，白唇鹿(GO = 23.44%)、猓狍(GO = 15.63%)、马麝(GO = 14.06%)、狼(GO = 14.06%)和喜马拉雅旱獭(*Marmota himalayana*, GO = 10.94%)也在超过10%的网格内探测到活动(表2)。本次调查鸟类的网格占有率均较低，其中蓝马鸡、喜鹊(*Pica pica*)、高原山鹑(*Perdix hodgsoniae*)和红嘴山鸦(*Pyrhacorax pyrrhacorax*)网格占有率较大，分别为19.53%、17.19%、11.72%和10.16%(表2)。

兽类中，相对多度指数最高的是岩羊(RAI = 36.713)，其次是赤狐(RAI = 24.575)和雪豹(RAI = 24.105)，灰尾兔和马鹿同样具有较大的相对多度指数，分别为21.839和18.420(表2)。鸟类中，相对多度指数最高的是蓝马鸡(RAI = 7.565)，其次为喜鹊(RAI = 4.017)、红嘴山鸦(RAI = 3.120)、黑喉石鹇(*Saxicola torquatus*, RAI = 2.607)和高原山鹑(RAI = 2.351)(表2)。

此外, 祁连山保护区内共拍摄到家牦牛、家羊、家马、家狗和家驴等 5 种常见家养动物。其中, 家牦牛(RAI = 10.684, GO = 25.00%)和家羊(RAI = 3.504, GO = 10.16%)等放牧干扰的密度较高、网格分布较广(表 2)。

3 讨论

本次调查共记录到甘肃祁连山保护区鸟类 19 种, 兽类 21 种, 并新增藏狐为保护区新记录物种。本次调查弥补了以往传统样线法调查对夜行性和高警惕性物种的探测缺陷, 系统更新了保护区内的野生动物本底资源名录, 并绘制了物种多样性分布图。

在红外相机监测过程中, 由于祁连山保护区面积大、地形复杂、年最低温较低, 使得红外相机布设工作更为困难, 同时也大大增加了设备的故障和损坏率。本次调查的 318 个红外相机位点中有 109 台相机丢失、故障或损坏, 损耗率高达 34.3%。基于此, 本研究建议在祁连山保护区的长期红外相机监测调查中, 增设监测位点、增加相机保护(如加保护罩等)、增加设备检查和更换频率; 同时根据本次监测中拍摄到的主要干扰影响和动物出现的环境特点, 建议避开人类和自由放牧的途径道路, 选择兽径、陡坡、山脊等动物出没频繁的位置布设红外相机, 减少相机丢失和家牦牛、家羊等放牧的踩踏损坏^[22], 以期最大限度的监测祁连山保护区的野生动物种群与分布情况, 为祁连山国家公园体制试点野生动物资源普查做出贡献。

本次调查监测到 13 种食肉目动物的分布, 与之前的调查结果相似, 均表明祁连山保护区食肉目物种繁多^[14, 16, 23]。雪豹等旗舰物种的种群稳定, 揭示了祁连山具有丰富的物种资源和完整的食物网结构, 反映出祁连山国家公园试点建设的重要性和必要性。然而, 在祁连山国家公园青海片区内藏狐的密度较高、分布广泛^[15, 23], 但在甘肃片区, 一直鲜有发现藏狐的身影^[13-14]。本次调查首次在祁连山保护区境内发现藏狐的踪迹, 但其网格占有率极小, 仅在区内很小的范围内活动。一方面, 青海片区可能比甘肃片区具有更适宜藏狐生存的生境类型^[24], 另一方面, 可能是受到物种相互作用的影响, 本研究发现, 其竞争物种赤狐的网格占有率高达 60.94%, 相对多度指数为 24.575, 在祁连山保护区数量多、密度大、分布广, 可能是使藏狐的空间生态位宽度受到限制的主要原因^[25-26]。因此, 祁连山保护区应进一步加强重要物种的活动范围及其与同域分布物种的相互作用等监测和研究工作, 加强对重要物种的针对性保护。

此外, 祁连山保护区家养动物的放牧干扰较为严重, 以家牦牛和家羊的放牧较为普遍。研究表明, 放牧对野生动物的行为、分布, 乃至保护区的物种多样性和生态系统稳定性产生诸多不利影响^[27-28]。首先, 放牧的家畜与马鹿、马麝等均在隆畅河和哈溪有较大分布, 放牧会占据和消耗野生食草动物的空间与食物资源^[28-29]。其次, 本次调查显示白唇鹿和狼等多种动物在空间上回避放牧区域, 野生动物对放牧的回避^[29-30]可能会使群落内的时空和营养生态位重叠增加^[31-32], 因而加剧食草动物的被捕食风险和食肉动物的种间竞争^[33-34], 使处于劣势物种的生存与繁衍受到更大的威胁, 故而长期的过度放牧会造成祁连山保护区野生动物相互作用的变化和群落结构的失衡^[35-36], 影响物种的长期共存和多样性保护。

本研究完善了甘肃祁连山国家级自然保护区野生动物资源本底, 绘制了物种多样性分布图, 为生物多样性管理保护提供参考资料。目前保护区内家牦牛和家羊等放牧现象较严重。祁连山保护区作为祁连山国家公园的重要组成部分, 建议加强对重要物种及其伴生物种的种群动态监测, 并进一步深入放牧等人类干扰对野生动物种群数量、行为反应及时空相互作用等方面的研究, 制定与完善更好、更针对性地生物多样性保护政策, 在繁殖育幼季或重要栖息地内限制乃至禁止放牧, 以维持生物网络和生态系统的长期完整性与稳定性。

参考文献

- [1] 马克平. 监测是评估生物多样性保护进展的有效途径[J]. 生物多样性, 2011, 19(2): 125-126.
- [2] Caravaggi A, Banks PB, Burton AC, et al. A review of camera trapping for conservation behaviour research[J]. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2017, 3(3): 109-122.
- [3] 李晟, 王大军, 肖治术, 等. 红外相机技术在我国野生动物研究与保护中的应用与前景[J]. 生物多样性, 2014, 22(6): 685-695.
- [4] 肖治术, 李欣海, 王学志, 等. 探讨我国森林野生动物红外相机监测规范[J]. 生物多样性, 2014, 22(6): 704-711.
- [5] Gilbert NA, Clare JDJ, Stenglein JL, et al. Abundance estimation methods for unmarked animals with camera traps[J]. *Conservation Biology*, 2020, 35(1): 88-100.
- [6] Li S, McShea WJ, Wang D, et al. Retreat of large carnivores across the giant panda distribution range[J]. *Nature Ecology and Evolution*, 2020, 4(10): 1-5.
- [7] Tian C, Zhang YY, Liu ZX, et al. Temporal niche patterns of large mammals in Wanglang National Nature Reserve, China[J]. *Global Ecology and Conservation*, 2020, 22: e01015.
- [8] 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.
- [9] 杨全生, 刘建泉, 汪有奎. 甘肃祁连山国家级自然保护区综合科学考察报告[M]. 甘肃: 甘肃科学技术出版社, 2008.
- [10] 邸华, 刘建泉, 贺晓香. 祁连山国家级保护区近 56 年降水量变化稳定性探析[J]. 甘肃科技, 2014, 30(18): 58-59.
- [11] 刘建泉, 孙小霞. 祁连山科学研究的历史与发展[J]. 甘肃林业, 1995, 2: 17-18.
- [12] 刘贤德, 杨全生. 祁连山生物多样性研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2006.
- [13] Zhang CC, Wang J, Alexander JS, 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.
- [14] 王晓宁, 满自红, 李文涛, 等. 甘肃连城国家级自然保护区地栖鸟兽红外相机初步监测[J]. 野生动物学报, 2019, 40(2): 322-331.
- [15] 薛亚东, 李佳, 胡杨, 等. 利用红外相机调查祁连山国家公园(青海片区)兽类和鸟类多样性[J]. 兽类学报, 2019, 39(4): 466-475.
- [16] 马堆芳, 孙章运, 胡大志, 等. 基于红外相机技术对甘肃祁连山国家级自然保护区哺乳动物多样性的初步调查[J]. 兽类学报, 2021, 41(1): 90-98.
- [17] 蒋志刚, 刘少英, 吴毅, 等. 中国哺乳动物多样性(第 2 版)[J]. 生物多样性, 2017, 25(8): 886-895.
- [18] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录(第三版)[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [19] 蒋志刚, 江建平, 王跃招, 等. 中国脊椎动物红色名录[J]. 生物多样性, 2016, 24(5): 500-551.
- [20] 肖治术, 陈立军, 宋相金, 等. 基于红外相机技术对广东车八岭国家级自然保护区大中型兽类与雉类的编目清查与评估[J]. 生物多样性, 2019, 27(3): 237-242.
- [21] Oksanen J, Blanchet FG, Kindt R, et al. *Vegan: community ecology package 1.18-2*[J]. *Time International*, 2010, 1997(6): 15-17.
- [22] 王亮, 赵伟, 杨增武, 等. 红外触发相机技术在山区动物调查中的应用[J]. 野生动物学报, 2014, 35(4): 381-387.
- [23] 夏霖, 杨奇森, 相雨, 等. 青海祁连山地区兽类分布格局及动物地理学分析[J]. 兽类学报, 2003, 23(4): 295-303.
- [24] 刘群秀, 王小明. 基于地形因子的藏狐生境评价及其空间容纳量的估算[J]. 动物学研究, 2009, 30(6): 679-686.
- [25] Kajtoch Ł, Matysek M, Figarski T. Spatio-temporal patterns of owl territories in fragmented forests are affected by a top predator (*ural owl*)[J]. *Annales Zoologici Fennici*, 2016, 53(34): 165-174.
- [26] Yang HT, Zhao XD, Han BY, et al. Spatiotemporal patterns of Amur leopards in northeast China: influence of tigers, prey, and humans[J]. *Mammalian Biology*, 2018, 92: 120-128.
- [27] Filazzola A, Brown C, Dettlaff MA, et al. The effects of livestock grazing on biodiversity are multi-trophic: a meta-analysis[J]. *Ecological Letters*, 2020, 23: 1298-1309.
- [28] Feng R, Lü XY, Xiao WH, et al. Effects of free-ranging livestock on sympatric herbivores at fine spatiotemporal scales[J].

- Landscape Ecology, 2021, 36(5): 1441-1457.
- [29]Di Bitetti MS, Eugenia Iezzi M, Cruz P, Varela D, et al. Effects of cattle on habitat use and diel activity of large native herbivores in a South American rangeland[J]. Journal for Nature Conservation, 2020, 58: 125900.
- [30]Duran-Antonio J, Gonzalez-Romero A, Sosa VJ. Activity overlap of carnivores, their potential wild prey, and temporal segregation, with livestock in a Biosphere Reserve in the Chihuahuan Desert[J]. Journal of Mammalogy, 2020, 101(6): 1609-1621.
- [31]Manlick PJ, Pauli JN. Human disturbance increases trophic niche overlap in terrestrial carnivore communities[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2020, 117(43): 26842-26848.
- [32]Sévêque A, Gentle LK, Lopez-Bao JV, et al. Human disturbance has contrasting effects on niche partitioning within carnivore communities[J]. Biological Reviews, 2020, 95(6): 1689-1705.
- [33]Bonnot NC, Couriot O, Berger A, et al. Fear of the dark Contrasting impacts of humans versus lynx on diel activity of roe deer across Europe[J]. Journal of Arid Environments, 2020, 89(1): 132-145.
- [34]Mills KL, Harris NC. Humans disrupt access to prey for large African carnivores[J]. Elife, 2020, 9.
- [35]Schuette P, Wagner AP, Wagner ME, et al. Occupancy patterns and niche partitioning within a diverse carnivore community exposed to anthropogenic pressures[J]. Biological Conservation, 2013, 158: 301-312.
- [36]Haswell PM, Kusak J, Jones KA, et al. Fear of the dark? A mesopredator mitigates large carnivore risk through nocturnality, but humans moderate the interaction[J]. Behavioral Ecology and Sociobiology, 2020, 74(5): 62-62.