



## •研究报告•

## “在哪里”和“有多少”？中国雪豹调查与空缺

刘沿江<sup>1#</sup> 李雪阳<sup>1#</sup> 梁旭昶<sup>2</sup> 刘炎林<sup>3</sup> 程琛<sup>1,14</sup> 李娟<sup>4</sup> 汤飘飘<sup>1</sup> 齐惠元<sup>5</sup>  
 卞晓星<sup>2</sup> 何兵<sup>6</sup> 邢睿<sup>7</sup> 李晟<sup>1</sup> 施小刚<sup>8</sup> 杨创明<sup>9</sup> 薛亚东<sup>10</sup> 连新明<sup>11</sup>  
 阿旺久美<sup>12</sup> 谢然尼玛<sup>13</sup> 宋大昭<sup>3</sup> 肖凌云<sup>1\*</sup> 吕植<sup>1\*</sup>

1 (北京大学生命科学院, 北京 100871) 2 (国际野生生物保护学会, 北京 100101)

3 (中国猫科动物保护联盟, 北京 101121) 4 (University of California, Berkeley, CA 94720-3114, USA)

5 (Faculty of Agriculture, University of Tokyo, Tokyo 113-8657, Japan) 6 (世界自然基金会, 北京 100037)

7 (荒野新疆, 乌鲁木齐 830000) 8 (四川卧龙国家级自然保护区, 四川汶川 623006)

9 (四川贡嘎山国家级自然保护区, 四川甘孜 626000) 10 (中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091)

11 (中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810008) 12 (原上草自然保护中心, 西宁 810012)

13 (治多县索加乡人民政府, 青海玉树 815400) 14 (山水自然保护中心, 北京 100871)

**摘要:** 雪豹(*Panthera uncia*)分布广泛且调查难度较大, 全世界的雪豹研究面临的首要问题是雪豹基础数据的缺乏。本文通过检索1980至2018年已发表的含有中国境内雪豹分布和密度信息的中英文文章共35篇, 从中提取出雪豹的分布与密度信息, 其中含有密度估计的文献18篇。同时, 来自雪豹调查的15位一线成员通过填写表格和问卷的形式提供了28个地块上未发表雪豹密度调查信息。基于此, 我们逐一分析了各省份已有的雪豹调查现状和存在的调查空缺, 发现雪豹分布调查的两大空白区域主要存在于与吉尔吉斯斯坦接壤的西天山地区和西藏南部的冈底斯-念青唐古拉山脉和喜马拉雅山脉。相对我国雪豹栖息地总面积, 有过密度估算的面积仅占1.7%, 仍然处于刚刚起步的阶段, 并且已有的密度调查几乎都是在质量较好的雪豹栖息地内进行的。今后除了需要继续努力收集汇总已有的调查结果, 仍然需要在雪豹分布区(特别是空缺区域)内增加调查。

**关键词:** 雪豹; 中国; 分布; 密度; 空缺

## Where and How many? The status of snow leopard (*Panthera uncia*) density surveys and knowledge gaps in China

Yanjiang Liu<sup>1#</sup>, Xueyang Li<sup>1#</sup>, Xuchang Liang<sup>2</sup>, Yanlin Liu<sup>3</sup>, Chen Cheng<sup>1,14</sup>, Juan Li<sup>4</sup>, Piaopiao Tang<sup>1</sup>, Huiyuan Qi<sup>5</sup>, Xiaoxing Bian<sup>2</sup>, Bing He<sup>6</sup>, Rui Xing<sup>7</sup>, Sheng Li<sup>1</sup>, Xiaogang Shi<sup>8</sup>, Chuangming Yang<sup>9</sup>, Yadong Xue<sup>10</sup>, Xinming Lian<sup>11</sup>, Awangjumei<sup>12</sup>, Xierannima<sup>13</sup>, Dazhao Song<sup>3</sup>, Lingyun Xiao<sup>1\*</sup>, Zhi Lü<sup>1\*</sup>

1 College of Life Sciences, Peking University, Beijing 100871

2 Wildlife Conservation Society, Beijing 100101

3 Chinese Felid Conservation Alliance, Beijing 101121

4 University of California, Berkeley, CA 94720-3114, USA

5 Faculty of Agriculture, University of Tokyo, Tokyo 113-8657, Japan

6 World Wide Fund for Nature, Beijing 100037

7 Wild Xinjiang, Urumqi 830000

8 Wolong National Nature Reserve, Wenchuan, Sichuan 623006

9 Gongga Mountain National Nature Reserve, Garzê, Sichuan 626000

10 Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091

11 Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008

12 Plateau Nature Conservancy, Xining 810012

13 People's Government of Suojia Township, Zhiduo County, Yushu, Qinghai 815400

14 Shan Shui Conservation Center, Beijing 100871

**Abstract:** The snow leopard (*Panthera uncia*) is widely distributed across remote and difficult-to-traverse

收稿日期: 2019-01-31; 接受日期: 2019-09-16

# 共同第一作者 Co-first authors

\* 共同通讯作者 Co-authors for correspondence. E-mail: ly.xiao@pku.edu.cn; luzhi@pku.edu.cn

terrains. Thus, the main obstacle to snow leopard research is the lack of baseline data. Here, we retrieved all articles published in either Chinese or English that studied snow leopards in China from 1980 to 2018, and from these we identified 35 papers that reported on the distribution or density of snow leopards in their results sections. Eighteen of these included a density estimation. Additionally, we obtained unpublished snow leopard density survey data from 28 different areas. On this basis, we assessed the status of snow leopard surveys and data-deficient areas in each province. We found that the two areas most lacking data for the snow leopard distribution surveys exist in the West Tianshan Mountains bordering Kyrgyzstan and the Gangdisi-Nyenchenthanglha Mountains and the Himalayas in southern Tibet. Relative to the total area of China's snow leopard habitat, density surveys still only cover a small fraction of their habitat (1.7%), so these aggregation efforts are far from complete. Finally, because existing density surveys tend to explore relatively good snow leopard habitats, we must continue to expand survey efforts, especially across data-deficient areas.

**Key words:** snow leopard; China; distribution; density; data-deficient areas

由于自然界复杂的网络关系以及人类有限的调查能力,对生物多样性的全面认知几乎是不可能实现的(Ladle & Hortal, 2013)。已被清楚调查与了解的生物多样性格局通常只占自然界的一小部分,且通常是有偏差的,这种偏差给进一步的科学研究与保护计划的制定带来了挑战与不确定性(Gaston & Rodrigues, 2003; Mace, 2004)。因此,对于调查现状的汇总与对于调查偏差与空缺的认知极为重要。物种分布与物种丰度/密度调查的空缺,分别被称为华莱士空缺(Wallacean shortfall, Lomolino & Heaney, 2004)和普雷斯顿空缺(Prestonian shortfall, Cardoso et al, 2011),对于物种保护策略制定来说,这是首先需要识别的两大空缺。

空缺分析(gap analysis)最早由Scott等(1993)提出,用于评估一个物种在多大程度上受到了保护,是快速了解一个物种的分布和保护现状的有效手段。空缺分析通常将物种实际分布数据或模型预测的潜在分布图与现有的保护地体系进行对比,来分析哪些地区是具有优先保护价值却尚未得到有效保护的空缺区域,并增加保护措施(如建立新保护地)。同理,该分析方法也可以用来识别物种调查的空缺区域,并加大调查力度以有效弥补空缺。

雪豹(*Panthera uncia*)分布广泛,并且分布地一般都处于人迹罕至的高山地带,基础数据的缺乏几乎是所有雪豹分布国面临的首要问题,这导致详实的保护目标和保护计划制定困难。2017年9月,世界自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature)将雪豹的濒危等级从濒危下调至易危(McCarthy et al, 2017),这一举措受到了一些雪豹研究者的反对:世界范围内与雪豹有关的研究尽管已

经进行了数十年,但可信的雪豹种群密度估计仍然非常有限,而且目前的成果只是基于对整个雪豹分布区面积2%的栖息地的调查所得(Ale & Mishra, 2018)。全球已发表的31篇雪豹种群密度估算的文章中,利用红外相机(Karanth & Nichols, 1998)和分子遗传学(Mondal et al, 2009)并包含探测概率估计的研究仅有17篇、数据来自6个国家(雪豹分布国共12个),而且其中有55%的文献最大有效调查面积不足481 km<sup>2</sup>,经模型测算存在极大的高估风险。Suryawanshi等(2019)认为已有的雪豹密度调查的面积所占雪豹栖息地面积比例太小(0.3%–0.9%),不具有代表性,依据现阶段的研究结果并不能对全球雪豹数量作出合理估计。

中国拥有60%的雪豹栖息地,因此中国的雪豹调查结果对于全球的IUCN物种评级工作极为重要。20世纪80年代起廖炎发和George Schaller博士在青海、甘肃和新疆进行了初步的雪豹分布调查,20世纪90年代中国科学院新疆生态与地理研究所开始进行新疆雪豹调查。2008年,北京林业大学在新疆、甘肃、内蒙古等地对当地保护区进行能力建设培训。2009年,北京大学和山水自然保护中心的保护工作者在青海省三江源开始雪豹研究和保护工作。2012年,祁连山西段及盐池湾国家级自然保护区开始开展雪豹调查和保护工作。2014年,荒野新疆在天山东部林业局的支持下,在天山东部开始雪豹调查与保护工作。同年,绿色江河和中国科学院西北高原生物研究所合作,在长江源区开始雪豹调查和保护工作;北京大学与四川卧龙等自然保护区联合在邛崃山系进行雪豹调查。2015年,国际野生生物保护学会(Wildlife Conservation Society)

与西藏自治区羌塘及色林错国家级自然保护区合作,开始在羌塘及色林错进行雪豹调查与保护工作;中国猫科动物保护联盟与四川新龙保护区、洛须白唇鹿(*Cervus albirostris*)自然保护区合作,开始在四川省甘孜州进行雪豹调查与保护工作;同年万科基金会支持下的珠峰雪豹保护中心联合珠穆朗玛峰国家级自然保护区开始进行雪豹调查与保护工作。2016年,世界自然基金会(WWF)开始在新疆、甘肃、青海开展雪豹保护工作;原上草自然保护中心在阿尼玛卿开始雪豹调查和保护工作;同年北京林业大学团队联合多团队,开始在祁连山国家公园进行系统的雪豹调查工作。

本研究中,我们通过检索已发表文献中的雪豹分布与密度调查结果,并收集未发表的国内雪豹密度调查(方法与初步结果),分别在分布层面和密度层面上总结我国雪豹调查现状并分析存在的调查空缺,以期为进一步的雪豹调查提供参考。

## 1 研究方法

在谷歌学术([www.scholar.google.com](http://www.scholar.google.com))中使用关键词“snow leopard”、“*uncia*”、“*Panthera uncia*”和“China”进行检索,在中国知网(<http://www.cnki.net/>)中使用关键词“雪豹”、“*uncia*”、“*Panthera uncia*”进行检索,识别出1980–2018年已发表的英文和中文文献。在这些文献中,我们只收集了明确关注中国雪豹并且在结果部分有雪豹分布或密度信息的文献。通过文献及文献附件中给出的调查位置(GPS坐标点或地名信息),将所有已发表雪豹调查点录入ArcGIS 10.2中生成矢量点图层。

近年来,虽然雪豹研究在国内的热度迅速提升,但大量结果还未能以文献的形式发表。作为中国雪豹研究与保护的一线工作人员,我们通过填写统一的表格和问卷(部分示例见附录1、附录2),描述各自调查区内雪豹的调查方法与初步结果,并收集调查范围的网格或边界图层。由于通过各种方式(目击、访谈等)收集到的雪豹分布信息过于零散,可信度也参差不齐,我们仅收集了依靠粪便DNA或红外相机法进行的调查,因为作为未发表雪豹密度调查,这两种方法均可以得出较为可靠的数量信息。

Li等(submitted)将已发表雪豹分布点进行汇总,得到了雪豹栖息地预测图。该雪豹栖息地预测图是利用收集到的全球6,252个雪豹分布位点通过

MaxEnt模型预测得到,这是目前能收集到的最全面的雪豹分布数据;而MaxEnt模型作为只基于“出现点”(presence-only)的模型,稳定地表现出最高的预测准确率(Phillips et al, 2006),在物种数据比较少的时候,优势尤为突出,尤其适用于那些数量稀少、较难调查的动物(Wisz et al, 2008)。在此基础上,我们叠加了通过文献和问卷收集的中国境内雪豹分布与密度调查的现状图层。

最后,我们筛选出符合密度计算统计学设计要求(Karanth & Nichols, 1998)的未发表密度调查,综合已发表文献中雪豹密度估计给出的调查面积,计算出各省区已有的雪豹密度调查面积及该调查面积占该省区全部雪豹预测栖息地面积的比例,以此来评估各省区雪豹密度调查的现状。

## 2 结果

一共检索到结果中含有雪豹分布和密度信息的文献35篇,其中有密度估计的18篇;收集到来自12家雪豹研究与保护机构的15位一线工作人员提供的未发表调查地块28片(表1)。其中的未发表数据都是根据雪豹信息管理系统(Snow Leopard Information Management System, SLIMS)提出的雪豹样线方法进行野外调查,尽量选取雪豹最佳栖息地内最可能留下痕迹的地方走样线,包括狭窄的山谷、巨大岩壁基部或者某些地界的边缘,寻找有雪豹痕迹的地方放置红外相机。而相机布设的设计则各不相同,除了基于1 km × 1 km或5 km × 5 km网格的大而连续系统布设法,也存在一些缺乏统计学设计的布设方法。

在密度调查面积汇总中,我们删除了那些未按照系统布设法,调查面积过小过于零散,难以进行密度估算的未发表调查数据。通过汇总已发表文献和未发表调查数据中密度调查的覆盖面积,发现全国雪豹密度调查覆盖面积占雪豹栖息地的1.7%。其中青海雪豹调查的完成面积最大,占全省栖息地的4.44%左右;其次是甘肃省内的调查,占栖息地的4.06%;四川的雪豹调查面积占栖息地面积的2.85%;新疆与西藏由于幅员辽阔,目前仅覆盖了栖息地的0.49%和0.68%。云南和内蒙古的雪豹栖息地较为边缘化,面积也很小,两省的雪豹密度调查几乎为零(表1)。

对比雪豹栖息地预测图,我们发现与吉尔吉斯



斯坦接壤的西天山地区和西藏南部的冈底斯-念青唐古拉山脉和喜马拉雅山脉是目前我国雪豹分布调查中的两大空缺(图1)。

2.1 甘肃省

2.1.1 已发表结果

2.1.1.1 分布

甘肃省的雪豹研究相对较少, 文献中报道过的雪豹分布点仅有21个(图1)。雪豹仅在甘肃省边缘地区的祁连山脉和叠山有分布, 但数量很少。盐池湾国

家级自然保护区(约5,000 km<sup>2</sup>)也有一个雪豹种群。此外, 甘肃-内蒙古边界外围和马鬃山地区也曾有雪豹分布, 但现在已经消失(Wang & Schaller, 1996)。

近年来, 甘肃的雪豹调查主要集中在祁连山脉。祁连山脉栖息着多种大型食肉动物, 对雪豹的保护很有可能也会惠及同域分布的赤狐(*Vulpes vulpes*)、狼(*Canis lupus*)、欧亚猞猁(*Lynx lynx*)和豺(*Cuon alpinus*)(Alexander et al, 2015a)。祁连山国家级自然保护区内雪豹的分布主要与海拔相关(Alexander

表1 各省区和全国雪豹密度调查覆盖面积及占雪豹栖息地百分比  
Table 1 The proportion of snow leopard density survey area in total snow leopard habitat in each province of China

地区 Area	雪豹栖息地面积 Snow leopard habitat (km <sup>2</sup> )	密度调查覆盖面积 Density survey area (km <sup>2</sup> )	占雪豹栖息地百分比 Proportion of snow leopard habitat (%)	已发表密度调查文献数 Literatures published on density surveys	未发表密度调查数量 Unpublished density surveys
新疆 Xinjiang	476,398	2,315	0.49	9	5
内蒙古 Inner Mongolia	21,762	0	0	0	0
甘肃 Gansu	105,815	4,300	4.06	1	8
青海 Qinghai	330,768	14,680	4.44	5	8
西藏 Tibet	660,798	4,503	0.68	2	8
云南 Yunnan	15,756	0	0	0	0
四川 Sichuan	160,366	4,578	2.85	1	4
全国 China	1,771,662	29,934	1.69	18	28

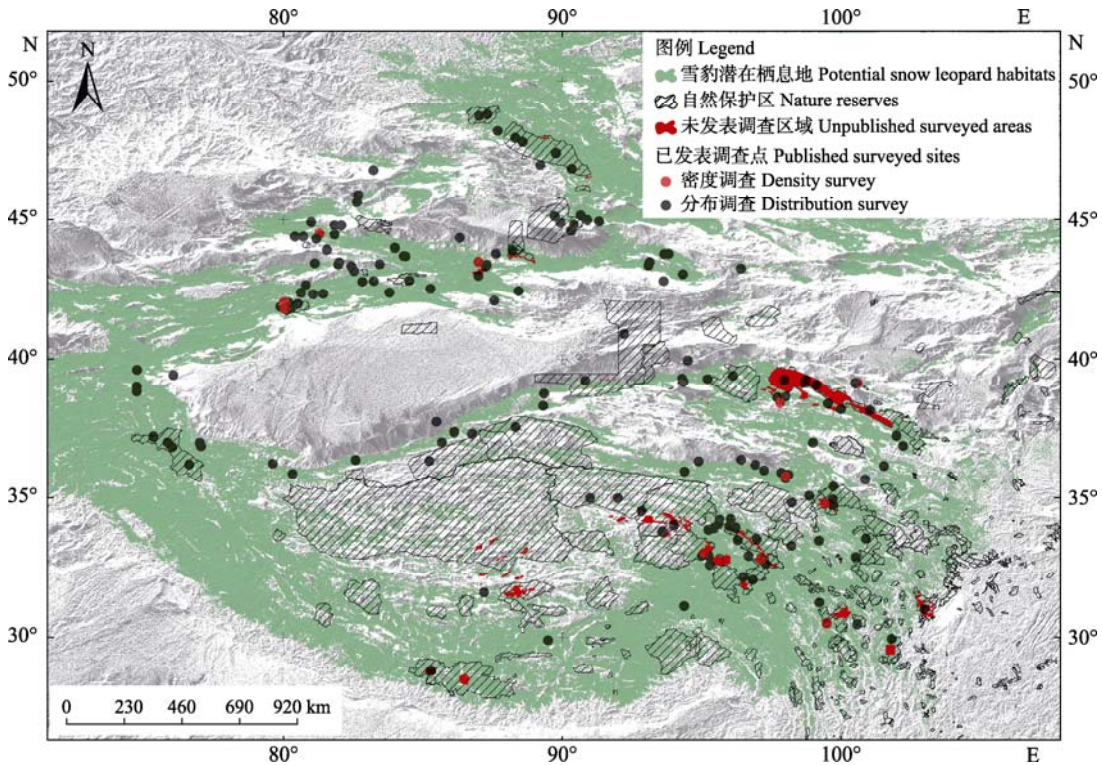


图1 中国范围内雪豹分布与密度调查区域。其中甘肃省由于数据缺乏, 祁连山国家公园的调查范围仅为示意图。  
Fig. 1 Snow leopard distribution and density surveyed areas in China. The surveyed area in the Qilian Mountain National Park (Gansu part) is schematic due to lack of data.

et al, 2016)。

甘肃党河西山地区阿克塞县检测出了雪豹样品,且结果表明该地雪豹种群与三江源地区雪豹有基因交流(周芸芸等, 2014)。周芸芸等(2015)认为青海三江源国家级自然保护区的囊谦县、治多县和甘肃省阿克塞县的3个雪豹居群来自于同一个雪豹种群,居群间遗传距离与地理位置相关。

#### 2.1.1.2 密度

Alexander等(2015b)利用红外相机在祁连山国家级自然保护区开展了雪豹种群密度调查,估计该地的雪豹密度为3.31只/100 km<sup>2</sup>,且放牧和猎物是影响雪豹密度的主要因素,由季节变化引起的种群密度波动范围在1.46–3.29只/100 km<sup>2</sup>。

#### 2.1.2 未发表密度调查

自2011年开始,中国林业科学研究院李迪强研究组在党河南山地区进行红外相机监测,2011–2013年记录到雪豹、棕熊(*Ursus arctos*)、狼、赤狐、兔狲(*Otocolobus manul*)、野牦牛(*Bos mutus*)、岩羊(*Pseudois nayaur*)、旱獭(*Marmota himalayana*)、石鸡(*Alectoris chukar*)等动物。视频数据显示,该地区有丰富的岩羊种群,雪豹拥有充足的食物来源,雪豹种群状况良好。

2013年至今,北京林业大学团队与盐池湾国家级自然保护区合作开展雪豹监测,同时,该团队承担的“雪豹生境选择及动态”项目也在祁连山开展。2017年,北京林业大学和保护区工作人员在盐池湾国家级自然保护区和祁连山国家级自然保护区开展了大范围的雪豹监测,面积分别为2,250 km<sup>2</sup>和2,000 km<sup>2</sup>,后续的数据分析还在进行中。

#### 2.1.3 空缺

如图1所示,甘肃省的雪豹调查主要集中在祁连山国家级自然保护区和盐池湾国家级自然保护区内。由于数据缺乏,甘肃省的调查区域中祁连山国家公园内的调查仅为示意图。根据估算,密度调查面积大概占甘肃省雪豹栖息地的4.06%。此外,甘肃省东南部的雪豹栖息地缺乏调查。

### 2.2 青海省

#### 2.2.1 已发表结果

##### 2.2.1.1 分布

早期调查主要以痕迹调查和居民走访为主,对雪豹的分布进行过粗略的描述。廖炎发1973–1981

年深入雪豹活动地区进行采样和访谈。他发现青海省的雪豹主要分布在昆仑山系的祁连山、托勒山、托勒南山、疏勒山、巴颜喀拉山、布尔汗布达山、阿尼玛卿山和唐古拉山,遍及青海省20个县及大柴旦部分地区,雪豹分布数量较多的县为祁连、天峻、都兰、杂多4县(廖炎发, 1985)。

Xu等(2008)在沟里乡440 km的样线调查中记录到72处雪豹痕迹,6个正常工作的红外相机捕获到8次雪豹。2005年, Janečka等(2008)两天内在都兰县收集到3份雪豹粪便样品,经检测来自于同一只雄性雪豹。

Schaller等1984–1987年在青海开展了大范围的雪豹调查。经过6个月的样线调查、有蹄类计数和对当地牧民的询问,他们在青海省的所有主要山区以及多个小山丘都发现了雪豹,并认为当时青海省9%的区域(约65,000 km<sup>2</sup>)都有雪豹分布(Schaller et al, 1988b)。而Li等(2013)利用雪豹痕迹点和MaxEnt模型预测的结果表明雪豹分布占三江源地区总面积的25%,超过89,602 km<sup>2</sup>,主要分布在昆仑山、巴颜喀拉山和唐古拉山。其核心区域约有7,674 km<sup>2</sup>雪豹栖息地,而佛教寺庙保护了8,342 km<sup>2</sup>雪豹栖息地,是对保护区的有力补充。

近年来,雪豹遗传多样性的相关研究也有所增加,结果表明青海地区雪豹遗传多样性高,可能为源种群所在地。张于光等(2009)分别于2005年和2007年在青海省都兰县宗加乡、诺木红乡和治多县索加乡收集了21份雪豹粪便,实验表明3个取样区均有雪豹存在,且存在较丰富的遗传多样性。周芸芸等(2015)在2014年对青海囊谦县、治多县和甘肃党河南山地区3地的雪豹粪便DNA进行分析,认为雪豹具有高度多态性,有较丰富的遗传多样性。根据遗传距离推测3个区域间雪豹的基因交流可能受到阻碍,地理距离和空间上的人为及自然障碍都可能是其原因。

##### 2.2.1.2 密度或数量估计

Schaller等(1988b)估计青海雪豹的总体密度约在1只/100 km<sup>2</sup>,基于此估计全省雪豹数量为650只左右。较为详细的种群密度调查主要在小范围展开。Schaller等(1988b)通过痕迹估算,认为杂多县扎青乡和昂赛乡、玉树县巴塘乡、阿尼玛卿雪山乡每25–35 km<sup>2</sup>有一只雪豹,疏勒南山可能更多,其他地区受到捕猎影响可能密度较低。研究者在昆仑山余



脉布尔汗布达山区都兰县沟里乡智玉村进行了粗略的调查后,初步估计当地雪豹最小种群数量为6.86只,该地区牧民普遍认为雪豹数量比20年前有明显下降(吴国生等, 2009)。

周芸芸等(2014)于2006至2009年在治多县、杂多县、玉树县、囊谦县和曲麻莱县共采集了45份雪豹粪便样品,分析认为该区域至少有29只雪豹,其中治多县调查点至少有15只。根据李娟(2012)报道,三江源国家级自然保护区的索加区域雪豹种群密度高达3.1只/100 km<sup>2</sup>,这可能是有记录以来密度最高的区域。

研究者也对与金钱豹(*Panthera pardus*)同域分布的雪豹种群数量进行了调查。梅索南措等在杂多县昂赛乡年都村和玉树县哈秀乡云塔村分别设立42台和16台红外相机,对其中2015–2016年的红外相机记录进行了数据分析,在年都村识别出5只成年雪豹、3只成年金钱豹和1只带幼崽的雌性金钱豹,在云塔村识别出2只雪豹和1只金钱豹。红外相机数据表示该地区为雪豹和金钱豹共存的主要区域之一(Mei et al, 2018)。

### 2.2.2 未发表密度调查

#### 2.2.2.1 黄河源

阿尼玛卿雪山是黄河流域面积最大的冰川,是诸多高原野生动植物非常重要的栖息地,也是整个藏区影响最为广泛的神山之一。2017年1月起,原上草自然保护中心在该区域内开展雪豹分布调查,与中国林业科学研究院、青海省林业厅野生动植物和自然保护区管理局合作,在下大武乡、雪山乡和东倾沟乡3地投放约100台红外相机,覆盖2,000多km<sup>2</sup>,对阿尼玛卿地区的雪豹种群进行了全面的调查。目前记录了超过500次雪豹活动的影像,表明该区域内存有一个健康的雪豹种群,后续数据仍在分析中。

#### 2.2.2.2 长江源

2014年5月初,绿色江河在措池村政府和当地寺院的支持下,在烟瘴挂峡谷两侧不足40 km<sup>2</sup>的范围内进行红外相机调查。结果显示,在该范围内生活有8–12只雪豹。2015年,绿色江河将红外相机范围在通天河北岸继续向北扩展到夏俄巴周边,红外相机数量达到54台,数据目前正在整理分析。

2016年3月,在青海林业厅项目办和中国林业科学研究院的支持下,索加乡政府的谢然尼玛等对莫曲村、牙曲村、君曲村的24位当地年轻牧民进行

了雪豹痕迹及典型栖息地识别、红外相机使用方法的培训,并放置了60台红外相机,数据仍在分析中。

2013年10月,山水自然保护中心开展社区监测项目,在通天河沿岸的哈秀乡云塔村开始红外相机培训,进行以雪豹为主要目标的食肉动物监测并一直持续至今。在2014年10月10日至2015年1月8日的84天内,共识别出11只不同个体,包括7只成年个体(其中有2只带崽雌性),2只一岁大的亚成体和2只半岁大的幼崽。经闭合标记重捕模型(O'Connell et al, 2010)计算得到所有雪豹个体在雪豹栖息地内的密度为4.7只/100 km<sup>2</sup> ( $SE = 1.1$ ),成年雪豹个体在雪豹栖息地内的密度为3.1只/100 km<sup>2</sup> ( $SE = 1.1$ )。根据有效取样面积296 km<sup>2</sup>推算,该区域共有雪豹个体14 ( $SE = 3$ )只,成年个体7 ( $SE = 2$ )只。由于云塔村的相机调查面积太小,不能达到种群调查的级别,故此密度对真实的雪豹种群密度有高估,可能是由于此地猎物密度高,周围雪豹倾向密集利用此区域。

2017年山水自然保护中心和通天河沿岸的东仲林场、曲麻莱县、称多县合作,将曲麻莱县–云塔–称多县–东仲林场连成一片,红外相机调查范围覆盖约1,775 km<sup>2</sup>的区域。数据仍在整理中。

#### 2.2.2.3 澜沧江源

2014年4月,山水自然保护中心在扎青乡地青村通过培训当地村民在900 km<sup>2</sup>的范围内进行红外相机监测。利用37个红外相机位点共91天的数据,识别出23只不同的雪豹个体。利用闭合标记重捕模型(O'Connell et al, 2010)计算得到监测区域内雪豹总数为24只( $SE = 1.36$ , 95%CI = 24–30只),其中成年个体20只( $SE = 1.38$ , 95%CI = 20–26只)。经计算,取样面积内雪豹密度为1.9只/100 km<sup>2</sup> ( $SE = 0.1$ ),成年雪豹个体密度为1.6只/100 km<sup>2</sup> ( $SE = 0.1$ )。

2015年11月开始,山水自然保护中心在昂赛乡培训牧民监测队员们开展红外相机监测,并逐渐扩展,最终在2017年11月覆盖全乡1,925 km<sup>2</sup>的区域。进一步的数据分析正在进行中。

2018年3月,巧女基金会和猫盟在白扎乡西部布设了105台红外相机,总面积1,000 km<sup>2</sup>,覆盖了白扎保护地核心区。拍摄到金钱豹、雪豹、马麝(*Moschus chrysogaster*)、马鹿(*Cervus elaphus*)、猓獾等多种野生动物,进一步的数据正在分析中。

#### 2.2.2.4 祁连山(青海片区)

2017年5月起,中国林业科学研究院与青海省

祁连山国家级自然保护区管理局共同对青海祁连山山地进行了系统调查。共布设了154台红外相机,覆盖面积近2,000 km<sup>2</sup>。截至2017年9月,总共获得251条雪豹记录,176次独立捕获。在油葫芦保护分区、央隆地区拍摄到了多个雪豹群体。调查期间还采集到了35份鉴定为雪豹的粪便样品,成功识别雄性个体5只,雌性个体5只。雪豹的个体识别及密度估计有待通过结合下一阶段的数据继续进行分析。

### 2.2.3 空缺

如图1所示,青海省雪豹调查的完成面积最大,占全省栖息地的4.44%左右,但由于全省面积大于其他省份,仍显不足。青海省的雪豹密度调查主要集中在三江源区域和青海省祁连山地区,密度调查的空缺位于果洛州东南角,昆仑山脉和祁连、昆仑山之间的小山。

## 2.3 四川省

### 2.3.1 已发表结果

#### 2.3.1.1 分布

四川的雪豹研究集中在甘孜地区和卧龙国家级自然保护区。早期,廖炎发(1985)列举了10个报道过有雪豹分布的县,包括雅安、宝兴、金川、小金、阿坝、甘孜、德格和巴塘。Schaller (1998)指出雪豹确认分布于一些大熊猫保护区内(如卧龙),它们稀疏地分布于林线之上。

2009年,卧龙国家级自然保护区管理局和北京大学以及山水自然保护中心合作,首次用红外相机证实了雪豹在卧龙国家级自然保护区的存在(Li et al, 2010)。自此,针对卧龙雪豹的研究也逐渐开展。使用MaxEnt模型预测雪豹在卧龙适宜栖息地的结果显示:雪豹的适宜栖息地面积为345 km<sup>2</sup>,占保护区总面积的12% (乔麦菊等, 2018)。2013年11月至2016年3月期间,唐卓等(2017)、乔麦菊等(2018)在银厂沟热水、梯子沟木香坡和魏家沟毛狗洞的雪豹栖息地的27个位点布设了红外相机,其中10个位点成功拍摄到雪豹影像,有效探测雪豹43次,相对多度指数为6.09。28个月中红外相机持续记录到雪豹,并且还有幼年雪豹,这说明卧龙国家级自然保护区雪豹的生存状况较好。

#### 2.3.1.2 密度与数量估计

彭基泰(2009)采用路线调查、痕迹调查、访问调查和贸易统计等方法研究了甘孜地区的雪豹资源并估算了雪豹的数量。该研究发现,甘孜地区所

辖6个县内的9个自然保护区有雪豹51–78只,全地区有雪豹400–500只。

### 2.3.2 未发表密度调查

#### 2.3.2.1 邛崃山系

自2009年首次发现雪豹以来至2016年,邛崃山系内各自然保护区的雪豹记录均来自于各自的红外相机监测,信息较为零散,缺乏对种群现状、栖息地分布、基础生态等方面的全面了解。自2016年起,由北京大学联合绵阳师范学院等单位,与区内各自然保护区协调、合作,开始在邛崃山中部保护区群内系统建立了区域性的红外相机监测网络,并采集区内食肉动物的粪便样品,对食肉动物物种组成、雪豹食性组成进行初步分析。2016–2017年,卧龙国家级自然保护区开展区内首次雪豹系统调查,并延续至今;2017年,成都市辖域内的鞍子河、黑水河大熊猫保护区联合开展成都市雪豹专项调查。

2016–2017年卧龙国家级自然保护区的调查显示,基于红外相机影像共识别出至少26只雪豹个体。2017年成都市雪豹专项调查结果显示,在黑水河与鞍子河大熊猫保护区内共识别出至少5只雪豹个体。基于红外相机数据的深入的种群密度和种群数量评估目前仍在进行当中。研究区域内雪豹的潜在猎物种类丰富,数量充足,可以支撑当地雪豹种群的长期生存。但保护区内大量散放家畜的存在使雪豹捕食家养动物的可能性较高,大大增加了人与雪豹冲突的风险。

2016–2018年,在卧龙、鞍子河、黑水河大熊猫保护区林线以上的高海拔生境中系统采集了食肉动物粪便样品约120份。初步结果显示,邛崃山雪豹的猎物包括岩羊、喜马拉雅旱獭(*Marmota himalayana*)、藏鼠兔(*Ochotona thibetana*)、绿尾虹雉(*Lophophorus lhuysii*)与家畜(家牦牛)。

基于已有调查获得的邛崃山雪豹分布位点58个(其中49个来自于红外相机调查,9个来自于粪便DNA物种鉴定结果),使用MaxEnt模型对邛崃山系内的雪豹潜在栖息地进行了预测。模型结果显示,整个邛崃山系范围内雪豹的潜在适宜栖息地总面积为9,450 km<sup>2</sup>,其中只有1,930 km<sup>2</sup>位于现有自然保护区范围内。

#### 2.3.2.2 大雪山系

2016–2017年间,在贡嘎山国家级自然保护区内按5 km网格布设相机,总调查面积750 km<sup>2</sup>,共安

放200台相机。目前共获得雪豹有效照片110张,初步鉴定有5只以上雪豹个体,此外,基本完成栖息地选择、活动节律分析等工作,其他数据也正在分析中。

### 2.3.2.3 沙鲁里山系

2016年9–10月,中国猫科动物保护联盟在四川省甘孜州石渠县洛须镇、新龙县和白玉县察青松多白唇鹿自然保护区开展调查。该团队在洛须镇约100 km<sup>2</sup>的范围内和新龙县约3,000 km<sup>2</sup>的范围内按海拔梯度进行红外相机调查;在白玉县察青松多白唇鹿自然保护区主要为走访问卷调查。调查表明,在甘孜州的3个调查区域均存在豹与雪豹同域分布的现象。

### 2.3.3 空缺

如图1所示,四川的雪豹调查面积占栖息地的2.85%。四川省的雪豹调查目前在邛崃山已有大面积进行的计划,但岷山、大雪山和沙鲁里山的调查还需要在更广泛的区域进行。

## 2.4 西藏自治区

### 2.4.1 已发表结果

#### 2.4.1.1 分布

雪豹在整个西藏地区的分布范围很广,但不同种群之间很分散,沿着喜马拉雅山脉北坡以及横跨青藏高原的较大山脉都有或多或少地连续分布。周芸芸等(2014)对2006–2009年间采集的粪便样本进行了分析,结果表明西藏羌塘国家级自然保护区有雪豹分布,但Schaller (1998)此前的调查认为羌塘国家级自然保护区以及冈底斯、念青唐古拉区域的雪豹分布都是稀少和局部性的,他将此归因于岩羊密度较低和缺乏适宜栖息地。Schaller (1998)在西藏西北部进行了大范围调研但很少遇到雪豹的痕迹;对拉萨以南沿不丹边界超过40,000 km<sup>2</sup>区域进行过调查,发现雪豹在过去10年已经在此区域消失。

Bai等(2018)基于样线调查、红外相机监测和MaxEnt模型预测的研究指出,珠穆朗玛峰国家级自然保护区内雪豹的适宜生境面积为7,001.93 km<sup>2</sup>,占保护区总面积的22.72%。与尼泊尔接壤的区域是主要的雪豹适宜栖息地,由三个栖息地片区组成。

#### 2.4.1.2 密度与数量估计

Jackson (1994)报道了在喜马拉雅和尼泊尔边界的珠穆朗玛峰国家级自然保护区(33,910 km<sup>2</sup>)有多达100只的雪豹。近年,珠峰雪豹保护中心联合珠穆朗玛峰国家级自然保护区和北京林业大学调查团队,对珠穆朗玛峰国家级自然保护区雪豹的相关

情况进行了调查。在扎弄(112 km<sup>2</sup>)、曲当(32 km<sup>2</sup>)、绒辖(96 km<sup>2</sup>)和日屋(48 km<sup>2</sup>) 4处调查地开展样线调查、布设红外相机,推测出珠穆朗玛雪豹密度为1.8–2.5只/100 km<sup>2</sup>,与相邻的尼泊尔的自然保护区相似(Chen et al, 2017)。

### 2.4.2 未发表密度调查

2015年夏季,国际野生动物保护协会在西藏自治区的阿里、那曲地区进行了雪豹种群研究的预调查,最后选择了那曲地区申扎县马跃乡两个村的山地作为雪豹种群调查区域。2016年11月,他们与申扎县林业局在这两片区域总共550 km<sup>2</sup>的区域内布设了40台红外相机。截至2017年1月的数据显示,在550 km<sup>2</sup>范围内至少有20只成体/亚成体雪豹及5只雪豹幼崽,空间标记重捕模型(spatial capture-recapture, Royle et al, 2013)计算的种群密度为3.04只/100 km<sup>2</sup> (95%置信区间1.80–4.36,  $P = 0.568$ ),是已知的同方法测算的最高密度之一。2018年1月,在这两个村的基础之上,扩大红外相机监测阵列至马跃乡全境。现该连续监测区域总面积2,000 km<sup>2</sup>,包含146个相机点位。

2017年11–12月,国际野生动物保护协会与羌塘国家级自然保护区那曲管理分局合作,在双湖县、尼玛县6个乡镇10个行政村境内建立了7片小范围监测区,总监测面积1,800 km<sup>2</sup>,由114个相机点位构成。

现羌塘红外相机监测网络总面积3,800 km<sup>2</sup>,共有260个相机点位。相机点位平均海拔5,050 m,为世界海拔最高的雪豹监测网络。目前,该网络主要由羌塘国家级自然保护区管理局专业管护站和申扎县马跃乡野生动物协议管护员维护,并负责定期收集数据。

### 2.4.3 空缺

如图1所示,西藏的雪豹栖息地幅员辽阔,雪豹密度调查目前仅覆盖了栖息地的0.68%。目前的密度调查集中在珠峰国家级自然保护区和羌塘地区,整个西藏南部的喜马拉雅山脉和冈底斯–念青唐古拉山脉都缺乏调查。

## 2.5 新疆维吾尔自治区

### 2.5.1 已发表结果

#### 2.5.1.1 分布

已有研究表明,新疆的雪豹主要分布在南部的昆仑山脉、中部的天山山脉和北部的阿尔泰山山



脉。Schaller (1988a)认为在这些适宜栖息地只要有足够的食物就会有雪豹生存,在阿尔泰山的研究结果则表明隐蔽性是雪豹栖息地选择的主要影响因素(徐峰等, 2006)。阿尔泰山东部和天山东部的样线调查显示此地区的雪豹痕迹数量已经非常稀少,主要原因是牧民的报复性猎杀和缺少食物资源(徐峰等, 2006)。在新疆东北部北塔山地区,徐峰等(2007)调查发现了67处雪豹痕迹。在塔什库尔干自然保护区, Wang等(2014)于2009年和2011年通过样线法采集食肉动物粪便,发现该地有雪豹分布,并与狼、赤狐存在高度的食性重叠。2013年前,新疆建立了35个自然保护区,其中20个有雪豹的分布(马鸣等, 2013)。

#### 2.5.1.2 密度与数量估计

新疆多地都开展了雪豹种群密度调查。1988年的调查显示昆仑山的保护区内有50–75只雪豹,并且整个新疆的雪豹数量可能不超过750只(Schaller et al, 1988a)。在天山地区, Wu等(2015)在2013–2015年采用定点观测法和样线法统计西伯利亚北山羊(*Capra sibirica*)的数量,使用食物量估算法得出雪豹密度为1.31–2.58只/100 km<sup>2</sup>。在天山的托木尔峰国家级自然保护区,多位研究者利用多种方法对雪豹的种群数量与密度开展了调查,得出该地区雪豹种群密度约在0.32–5只/100 km<sup>2</sup>,遗传学调查结果显示保护区内至少有9只雪豹个体(马鸣等, 2006, 2011; 徐峰等, 2006; McCarthy et al, 2008; Turghan et al, 2011)。其他一些地方只有初步的调查数据。在新疆博尔塔拉北部, Pan等(2016)在2012–2014年进行红外相机监测,最终监测到11–15只成年雪豹和2只未成年雪豹。

Xu等(2014)综合前人利用红外相机、样线调查、食物量估计等方法调查的文章,得出结论:新疆大部分雪豹的分布范围都被保护区覆盖,保护区内约有588–837只个体,占全新疆的50%–60%。保护区内的密度(大于2.51/100 km<sup>2</sup>)显著高于平均密度(1.93/100 km<sup>2</sup>),保护区对雪豹的生存和繁殖起着积极的作用。

#### 2.5.2 未发表密度调查

##### 2.5.2.1 阿尔泰山脉

阿尔泰山脉位于新疆自治区北部,与蒙古国、俄罗斯、哈萨克斯坦三国接壤,是具有国际意义的重要山脉,也是雪豹分布最北的栖息地。2017年,世界自然基金会与新疆阿尔泰山两河源自然保护

区和卡拉麦里有蹄类野生动物自然保护区建立合作,启动中国境内阿尔泰山脉首次雪豹专项监测。2017年4–7月,分别在阿勒泰地区青河县和富蕴县境内利用访问调查、痕迹法和红外相机法(共安装红外相机39台)开展调查,覆盖面积约500 km<sup>2</sup>,并在该区域首次拍摄到雪豹影像。通过调查,识别出两河源自然保护区的核心雪豹分布区,但雪豹数量较少,可能是与蒙古交界处的国境线围栏导致雪豹种群隔离。2018年5–8月,开始两河源雪豹系统监测,筛选优质栖息地面积约1,500 km<sup>2</sup>, 5 km × 5 km的网格60个,目前工作仍在进行中。2017年6–7月、10月及2018年1月,卡拉麦里自然保护区及其周边准噶尔盆地开始雪豹栖息地调查,对该地区的阿尔泰山前山带、准噶尔东部戈壁及与蒙古国相连的北塔山等地开展了前期调查,特别是对雪豹猎物北山羊、盘羊(*Ovis ammon*)等有蹄类的分布区进行了调查,识别出潜在的重要雪豹栖息地。

##### 2.5.2.2 天山山脉

2014年起,荒野新疆首次在乌鲁木齐郊区天山区域开展基于红外相机的雪豹调查,记录当地牧业活动情况,以做出时空分布。截至2018年,仅在乌鲁木齐南山、达坂城区两个地点就监测到超过60只雪豹个体,记录11个繁殖家庭,初步估计乌鲁木齐及周边区域雪豹数量超过100只。

##### 2.5.2.3 阿尔金山

自2010年起,中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所自然保护区与生物多样性学科组在阿尔金山北麓开展了持续的红外相机监测工作。由于研究区域属于干旱荒漠地区,为记录到尽可能多的物种,在阿尔金山北麓的7个水源地布设了红外相机,以进行鸟兽物种多样性和丰富度的监测。2010–2012年间共记录到26个物种,在2个水源点记录到雪豹分布,共5次独立捕获,2013–2016年的监测数据仍在分析中。

#### 2.5.3 空缺

如图1所示,新疆的雪豹栖息地主要分布在东西天山、阿尔金山和阿尔泰山脉,虽然各处都有关于雪豹分布的调查,但雪豹的密度调查只覆盖了栖息地的0.49%。三大山脉的密度调查都需要在更大范围内进行。

#### 2.6 内蒙古自治区

内蒙古的雪豹种群缺乏研究,也没有机构正在

进行调查。Schaller (1998)的调查显示,雪豹曾经分布在内蒙古-宁夏边界沙漠的大部分区域,包括东达山、雅布赖山、乌兰山、大庆山、贺兰山和龙首山。至20世纪90年代末,除少数个体可能残存在狼山一些荒漠地区外,该物种在内蒙古已处于灭绝的边缘(Wang & Schaller, 1996)。中国与蒙古边界的山地区域很可能是连接雪豹南部和北部(蒙古-俄罗斯)种群的重要通道之一,2013年1月,在该区域拍到了一张雪豹的照片,但在这些区域短暂逗留的个体有时会被猎杀。

## 2.7 云南省

云南省的雪豹研究较少,目前也没有机构在这里进行雪豹调查。云南省雪豹的潜在栖息地仅限于西北部靠近西藏自治区、四川省和缅甸的横断山脉的小片区域,这里也曾有过雪豹的报道(季维智, 1999)。1950–1999年,在云南西北部的5个地点曾发现了雪豹的存在(Alexander et al, 2016b),但之后,尽管Smith和Xie (2008)注意到雪豹仍然在这里存在,IUCN红色名录仍然判定其在云南灭绝(Jackson et al, 2008)。Buzzard等(2017)于2012–2014年在4个雪豹可能存在的地区进行了问卷采访和红外相机调查,尽管38名牧民声称有雪豹出现,而且红外相机捕获到了岩羊等许多雪豹潜在猎物的照片,但在总共6,300个相机日里并没有获得雪豹的照片。因此,雪豹在云南即使存在也会比较稀少,仍旧需要后续更多的调查。

## 3 讨论与建议

本研究首次汇总了全国已发表与未发表的所有雪豹调查结果,并进行了空缺分析,为未来我国的调查努力指明了方向。我们发现,雪豹分布的调查(图1中黑色点)较多,尤其集中在新疆和青海两省,最大的两片调查空白区域存在于与吉尔吉斯斯坦接壤的西天山地区和西藏南部的冈底斯-念青唐古拉山脉和喜马拉雅山脉。而有密度估算的调查(图1中红色点与红色区域)很少,面积仅占栖息地的1.7%,在各省区内和全国范围内,基于已发表信息的密度估算外推至更大区域显然是不现实的。

在未来的调查中,首先,一张足够精确、符合现实丰度分布情况的异质性雪豹分布图是目前急需的。物种占域可以作为丰度的替代指标,对那些行踪隐蔽、密度较低的物种尤其如此(MacKenzie

& Royle, 2005)。占域可以定义为物种对研究区域占有的比例或者所在景观单元物种存在的比例(MacKenzie et al, 2006)。占域模型(occupancy model)通过估计探测概率,并明确地将探测概率以及影响占有率和探测概率的环境因素加入到模型中,提高对占有率估计的精度(Mackenzie & Royle, 2005)。其次,对在地种群的精确数量估计也需要更符合统计学原理的设计。空间标记重捕法是目前公认比较可信的种群数量与密度计算模型。它的原理是认为每只雪豹有一个家域的核心,距离该核心越远则被拍摄到的概率越小,利用最大似然法或贝叶斯法,根据现有拍摄到的数据进行模拟,从而计算出真实的雪豹数量与密度(Royle et al, 2013)。

在2017年的比什凯克国际雪豹峰会上,将全球雪豹种群的可信估计确立为目标,并反映在2017《比什凯克宣言》以及全球雪豹及其生态系统保护项目(GSLEP)中。在峰会的官方高层会议上,雪豹各分布国政府决议给予这一行动最高优先级,由此全球雪豹种群评估(Population Assessment of the World's Snow Leopards, PAWS)行动正式诞生。按照PAWS计划提议的方法,我们建议:

第一,将全国进行大尺度网格(如20 km × 20 km)划分,无论是访谈、痕迹还是红外相机调查,如果能汇总每一个网格内所有的调查努力和结果,则有望应用占域模型实现对雪豹栖息地异质性分布的较为准确的模拟。

第二,抽样调查20%的中国雪豹栖息地(约34万km<sup>2</sup>),更准确地估计中国雪豹数量。各省区结合自身的具体情况,结合保护地体系和在地社区乃至公民科学的力量,开展大量局部精细的雪豹种群密度调查,综合采用红外相机、遗传学方法,在统一标准的调查设计下,应用空间标记重捕模型统一分析调查数据。

第三,在甘肃、新疆、青海、西藏、四川等雪豹主要分布省区,分别建设至少一个长期监测网络,监测局部区域的雪豹种群动态。

第四,全国尺度的雪豹分布调查和适宜栖息地预测是一项工作量巨大的任务。目前,这些工作主要是由各个机构在不同的省份独立进行。在之后的工作中,跨省区与跨机构的合作必不可少,而这些都是需要国家层面的统一计划、支持和协调。

我们的结果中可能存在一些误差,主要原因有:

(1)在检索文献时,一些研究时间较早的文献并未采用红外相机或遗传学方法来确定雪豹的分布,而是根据痕迹信息(刨坑、粪便等)和访谈结果来确定,这些记录存在误判物种的可能性。(2)目前对雪豹的密度和分布调查仍缺少统一的技术标准,不同的研究者和研究机构在进行调查时在方法上不完全统一。2015年,多家雪豹研究与保护机构在玉树雪豹论坛上建立了中国雪豹保护网络,次年的新疆雪豹论坛上,网络成员发布了《雪豹调查技术手册》,但未来依然需要在统一方法上做出更多的努力。

**致谢:**感谢全国各个雪豹研究和保护机构为本研究提供尚未发表的初步结果。感谢在各个地区参与雪豹调查的一线研究者和当地居民。感谢各地区各级政府机构对雪豹调查的大力支持。感谢北京林业大学时坤教授对结果提出的宝贵意见。

## 参考文献

- Ale SB, Mishra C (2018) The snow leopard's questionable comeback. *Science*, 359, 1110.
- Alexander JS, Cusack JJ, Chen P, Shi K, Philip R (2015a) Conservation of snow leopards: Spill-over benefits for other carnivores. *Oryx*, 50, 239–243.
- Alexander JS, Gopalaswamy AM, Shi K, Riordan P (2015b) Face value: Towards robust estimates of snow leopard densities. *PLoS ONE*, 10, e0134815.
- Alexander JS, Shi K, Tallents LA, Riordan P (2016a) On the high trail: Examining determinants of site use by the endangered snow leopard *Panthera uncia* in Qilianshan, China. *Oryx*, 50, 231–238.
- Alexander JS, Zhang C, Shi K, Riordan P (2016b) A spotlight on snow leopard conservation in China. *Integrative Zoology*, 11, 308–321.
- Bai D, Chen P, Atzeni L, Cering L, Li Q, Shi K (2018) Assessment of habitat suitability of the snow leopard (*Panthera uncia*) in Qomolangma National Nature Reserve based on MaxEnt modeling. *Zoological Research*, 39, 373–386.
- Buzzard PJ, Li X, Bleisch WV (2017) The status of snow leopards *Panthera uncia*, and high altitude use by common leopards *P. pardus*, in north-west Yunnan, China. *Oryx*, 51, 587–589.
- Cardoso P, Erwin TL, Borges PA, New TR (2011) The seven impediments in invertebrate conservation and how to overcome them. *Biological Conservation*, 144, 2647–2655.
- Chen P, Gao Y, Wang J, Pu Q, Lhaba C, Hu H, Xu J, Shi K (2017) Status and conservation of the Endangered snow leopard *Panthera uncia* in Qomolangma National Nature Reserve, Tibet. *Oryx*, 51, 590–593.
- Gaston KJ, Rodrigues ASL (2003) Reserve selection in regions with poor biological data. *Conservation Biology*, 17, 188–195.
- Jackson R, Mallon D, McCarthy T, Chundawat RA, Habib B (2008) *Panthera uncia*. The IUCN Red List of Threatened Species. <http://www.iucnredlist.org>. (accessed on 2019-01-31)
- Jackson R, Wang Z, Lu XD, Chen Y (1994) Snow leopards in the Qomolangma Nature Reserve of the Tibet Autonomous Region, pp. 85–95. In: *Proceedings of the Seventh International Snow Leopard Symposium*. International Snow Leopard Trust, Seattle, Washington.
- Janečka JE, Jackson R, Zhang Y, Li D, Munkhtsog B, Buckley-Beason V, Murphy WJ (2008) Population monitoring of snow leopards using noninvasive collection of scat samples: A pilot study. *Animal Conservation*, 11, 401–411.
- Ji WZ (1999) *Wildlife in Yunnan*. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese) [季维智 (1999) 中国云南野生动物. 中国林业出版社, 北京.]
- Karanth KU, Nichols JD (1998) Estimation of tiger densities in India using photographic captures and recaptures. *Ecology*, 79, 2852–2862.
- Ladle R, Hortal J (2013) Mapping species distributions: Living with uncertainty. *Frontiers of Biogeography*, 5, 8–9.
- Li J (2012) *Ecology and Conservation Strategy of Snow Leopard (Panthera uncia) in Sanjiangyuan Area on the Tibetan Plateau*. PhD dissertation, Peking University, Beijing. (in Chinese with English abstract) [李娟 (2012) 青藏高原三江源地区雪豹(*Panthera uncia*)的生态学研究及保护. 博士学位论文, 北京大学, 北京.]
- Li J, Wang D, Yin H, Zhaxi D, Jiagong Z, Schaller GB, Mishra C, McCarthy TM, Wang H, Wu L, Xiao L, Basang L, Zhang Y, Zhou Y, Lü Z (2013) Role of Tibetan buddhist monasteries in snow leopard conservation. *Conservation Biology*, 28, 87–94.
- Li S, Wang DJ, Lü Z, McShea WJ (2010) Cats living with pandas: The status of wild felids within giant panda range, China. *Cat News*, 52, 20–23.
- Liao YF (1985) The geographical distribution of ounces in Qinghai Province (in Mandarin). *Acta Theriologica Sinica*, 5, 183–188. (in Chinese) [廖炎发 (1985) 青海雪豹地理分布的初步调查. 兽类学报, 5, 183–188.]
- Lomolino MV, Heaney LR (2004) *Frontiers of Biogeography: New Directions in the Geography of Nature*, pp. 145–232. Oxford University Press, London.
- Ma M, Xu F, Chen Y (2013) *Snow Leopards in Xinjiang*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [马鸣, 徐峰, 程芸 (2013) 新疆雪豹. 科学出版社, 北京.]
- Ma M, Xu F, Chundawat RS, Jumabay K, Wu YQ, Aizezi, Zhu MH (2006) Camera trapping of snow leopards for the photo capture rate and population size in the Muzat Valley of Tianshan Mountains. *Acta Zoologica Sinica*, 52, 788–793. (in Chinese with English abstract) [马鸣, 徐峰, Chundawat RS, Jumabay K, 吴逸群, 艾则孜, 朱玛洪 (2006) 利用自



动照相术获得天山雪豹拍摄率与个体数量. 动物学报, 52, 788–793.]

- Ma M, Xu F, Munkhtsog B, Wu YQ, McCarthy T, McCarthy K (2011) Monitoring of population density of snow leopard in Xinjiang. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 27(1), 79–83. (in Chinese with English abstract) [马鸣, 徐峰, Munkhtsog B, 吴逸群, McCarthy T, McCarthy K (2011) 新疆雪豹种群密度监测方法探讨. *生态与农村环境学报*, 27(1), 79–83.]
- Mace GM (2004) The role of taxonomy in species conservation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences*, 359, 711–719.
- MacKenzie DI, Nichols JD, Royle JA, Pollock KH, Bailey LL, Hines JE (2006) *Occupancy Estimation and Modelling: Inferring Patterns and Dynamics of Species Occurrence*. Academic Press (Elsevier), London.
- MacKenzie DI, Royle JA (2005) Designing occupancy studies: General advice and allocating survey effort. *Journal of Applied Ecology*, 42, 1105–1114.
- McCarthy KP, Fuller TK, Ma M, McCarthy TM, Waits LP, Jumabaev K (2008) Assessing estimators of snow leopard abundance. *Journal of Wildlife Management*, 72, 1826–1833.
- McCarthy T, Mallon D, Jackson R, Zahler P, McCarthy K (2017) *Panthera uncia*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017, e. T22732A50664030. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-2.RLTS.T22732A50664030.en>. (accessed on 2019-01-11)
- Mei S, Alexander JS, Zhao X, Cheng C, Lü Z (2018) Common leopard and snow leopard co-existence in Sanjiangyuan, Qinghai, China. *Cat News*, 67, 34–36.
- Mondal S, Karanth U, Kumar N, Gopalaswamy A, Andheria A, Ramakrishnan U (2009) Evaluation of non-invasive genetic sampling methods for estimating tiger population size. *Biological Conservation*, 142, 2350–2360.
- O'Connell AF, Nichols JD, Karanth KU (2010) *Camera Traps in Animal Ecology: Methods and Analyses*. Springer Science & Business Media, Berlin.
- Peng JT (2009) An investigation on snow leopard resources in Ganzi Prefecture in the Hengduan Mountains on the south-east of the Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 30(1), 57–58. (in Chinese with English abstract) [彭基泰 (2009) 青藏高原东南横断山脉甘孜地区雪豹资源调查研究. *四川林业科技*, 30(1), 57–58.]
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259.
- Qiao MJ, Tang Z, Shi XG, Cheng YH, Hu Q, Li WJ, Zhang HM (2017) Habitat suitability assessment of snow leopards in Wolong National Nature Reserve based on MaxEnt modeling. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 38(6), 1–4. (in Chinese with English abstract) [乔麦菊, 唐卓, 施小刚, 程跃红, 胡强, 李文静, 张和民 (2017) 基于MaxEnt模型的卧龙国家级自然保护区雪豹(*Panthera uncia*)适宜栖息地预测. *四川林业科技*, 38(6), 1–4.]
- Royle JA, Chandler RB, Sollmann R, Gardner B (2013) *Spatial Capture-Recapture*. Academic Press, Massachusetts.
- Schaller GB, Li H, Talipu, Ren J, Qiu M (1988a) The snow leopard in Xinjiang, China. *Oryx*, 22, 197–204.
- Schaller GB, Ren JR, Qiu MJ (1988b) Status of the snow leopard *Panthera uncia* in Qinghai and Gansu provinces, China. *Biological Conservation*, 45, 179–194.
- Schaller GB (1998) *Wildlife of the Tibetan Steppe*. University of Chicago Press, Chicago.
- Scott JM, Davis F, Csuti B, Noss R, Butterfield B, Groves C, Ulliman J (1993) Gap analysis: A geographic approach to protection of biological diversity. *Wildlife Monographs*, 123, 3–41.
- Smith AT, Xie Y (2008) *A Guide to the Mammals of China*. Princeton University Press, Princeton.
- Suryawanshi KR, Khanyari M, Sharma K, Lkhagvajav P, Mishra C (2019) Sampling bias in snow leopard population estimation studies. *Population Ecology*, 61, 268–276.
- Tang Z, Yang J, Liu XH, Wang PY, Li ZY (2017) Research on snow leopards (*Panthera uncia*) using camera-trapping in Wolong National Nature Reserve, China. *Biodiversity Science*, 25, 62–70. (in Chinese with English abstract) [唐卓, 杨建, 刘雪华, 王鹏彦, 李周园 (2017) 基于红外相机技术对四川卧龙国家级自然保护区雪豹(*Panthera uncia*)的研究. *生物多样性*, 25, 62–70.]
- Turghan M, Ma M, Xu F, Wang Y (2011) Status of snow leopard *Uncia uncia* and its conservation in the Tumor Peak Natural Reserve in Xinjiang, China. *International Journal of Biodiversity & Conservation*, 3, 497–500.
- Wang J, Laguardia A, Damerell P, Riordan P, Shi K (2014) Dietary overlap of snow leopard and other carnivores in the Pamirs of Northwestern China. *Chinese Science Bulletin*, 59, 3162–3168.
- Wang XM, Schaller GB (1996) Status of large mammals in western Inner Mongolia. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 12, 93–104.
- Wisz MS, Hijmans RJ, Li J, Peterson AT, Graham CH, Guisan A, NCEAS Predicting Species Distributions Working Group (2008) Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*, 14, 763–773.
- Wu D, Ma M, Xu G, Zhu X, Buzzard P (2015) Relationship between ibex and snow leopard about food chain and population density in Tian Shan. *Selevinia*, 516, 186–190.
- Wu GS (2009) Snow leopard preliminary investigation in Zhiyucun, Dulan County of Qinghai Province. *Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*, 28(6), 33–34. (in Chinese with English abstract) [吴国生 (2009) 青海省都兰县沟里乡智玉村野生雪豹调查. *畜牧兽医杂志*, 28(6), 33–34.]
- Xu AC, Jiang ZG, Li CW, Guo JX (2008) Status and conse-

- vation of the snow leopard *Panthera uncia* in the Gouli Region, Kunlun Mountains, China. *Oryx*, 42, 460–463.
- Xu F, Ma M, Yin SJ, Munkhtsog B (2006) Autumn habitat selection by snow leopard (*Uncia uncia*) in Beita Mountain, Xinjiang, China. *Zoological Research*, 27, 221–224. (in Chinese with English abstract) [徐峰, 马鸣, 殷守敬, Munkhtsog B (2006) 新疆北塔山雪豹对秋季栖息地的选择. *动物学研究*, 27, 221–224.]
- Xu F, Ma M, Yin SJ, Bariushaa M (2007) Investigation on snow leopard (*Uncia uncia*) and its prey in Baytag Mountain Region, Xinjiang. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 21(3), 63–66. (in Chinese with English abstract) [徐峰, 马鸣, 殷守敬, Bariushaa M (2007) 新疆北塔山地区雪豹及其食物资源调查初报. *干旱区资源与环境*, 21(3), 63–66.]
- Xu G, Ma M, Buzzard P, Blank D (2014) Nature reserve in Xinjiang: A snow leopard paradise or refuge for how long? *Selevinia*, 516.
- Zhou YY, Feng JZ, Duo HR, Yang HL, Li J, Li DQ, Zhang YG (2014) Population survey and genetic diversity of snow leopard (*Uncia uncia*) in Qinghai-Tibet Plateau as revealed by fecal DNA. *Acta Theriologica Sinica*, 34, 138–148. (in Chinese with English abstract) [周芸芸, 冯金朝, 朵海瑞, 杨海龙, 李娟, 李迪强, 张于光 (2014) 基于粪便DNA的青藏高原雪豹种群调查和遗传多样性分析. *兽类学报*, 34, 138–148.]
- Zhou YY, Duo HR, Xue YD, Li DQ, Feng JZ, Zhang YG (2015) Genetic diversity analysis of microsatellite DNA in snow leopard (*Panthera uncia*). *Chinese Journal of Zoology*, 50, 161–168. (in Chinese with English abstract) [周芸芸, 朵海瑞, 薛亚东, 李迪强, 冯金朝, 张于光 (2015) 雪豹的微卫星DNA遗传多样性. *动物学杂志*, 50, 161–168.]
- Zhang YG, He L, Duo HR, Li DQ, Jin K (2009) A preliminary study on the population genetic structure of snow leopard (*Uncia uncia*) in Qinghai Province utilizing fecal DNA. *Acta Zoologica Sinica*, 29, 310–315. (in Chinese with English abstract) [张于光, 何丽, 朵海瑞, 李迪强, 金崑 (2009) 基于粪便DNA的青海雪豹种群遗传结构初步研究. *动物学报*, 29, 310–315.]

(责任编辑: 蒋志刚 责任编辑: 黄祥忠)

## 附录 Supplementary Material

### 附录1 未发表雪豹调查信息收集问卷

Appendix 1 Questionnaire for collecting unpublished snow leopard survey information

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019027-1.pdf>

### 附录2 未发表雪豹调查信息收集表(附填写样例)

Appendix 2 Information collection form for unpublished snow leopard surveys (with examples)

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019027-2.pdf>

刘沿江, 李雪阳, 梁旭昶, 刘炎林, 程琛, 李娟, 汤飘飘, 齐惠元, 卞晓星, 何兵, 邢睿, 李晟, 施小刚, 杨创明, 薛亚东, 连新明, 阿旺久美, 谢然尼玛, 宋大昭, 肖凌云, 吕植. “在哪里”和“有多少”? 中国雪豹调查与空缺. 生物多样性, 2019, 27 (9): 919–931.  
<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2019027>

#### 附录1 未发表雪豹调查信息收集问卷

#### Appendix 1 Questionnaire for collecting unpublished snow leopard survey information

请根据各机构实际调查情况酌情填写, 如没有结果或不方便发布的结果部分可以留空, 不清楚的地方欢迎微信或电话讨论。

调查参与机构:

调查方法: 红外相机? 粪便遗传学?

调查地点:

调查覆盖面积:

调查持续时间:

如何在野外选择合适的红外相机放置位点?

粪便痕迹调查样线的选择与痕迹判断依据?

调查设计:

红外相机: 是否按照公里网格布设? 是否设置了相邻相机间最小距离? 其他布设考虑?

粪便遗传学: 样线布设是随机还是系统? 具体样线设计?

调查初步结果:

红外相机: 布设了多少台相机? 数据是否已收回? 是否录入数据库? 得到多少张雪豹照片? 多少次雪豹独立探测? 多少个相机工作日?

粪便遗传学: 收集多少个粪便样品? 完成多少个样品的 DNA 提取? 完成多少个样品的物种鉴定?

个体识别结果:

无论使用红外相机还是遗传学, 鉴定出多少只雪豹个体? 其中成年个体多少只? 未成年个体多少只? 使用什么统计学分析方法? 得到什么种群数量与密度估计结果? 误差是多少?



<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2019027>

## Appendix 2 Information collection form for unpublished snow leopard surveys (with examples)

[illegible]