

UNDP-GEF 加强青海湖-祁连山景观区保护地体系项目

**以普氏原羚和雪豹为主的青海湖-祁连山景观区域
保护空缺分析研究报告**

**青海省林业和草原项目服务中心
中国科学院地理科学与资源研究所**

2020年9月

目 录

中文摘要	2
ABSTRACT	4
第一章 项目区概况	7
1.1 青海湖国家级自然保护区	7
1.2 祁连山国家公园青海省片区	9
第二章 物种保护空缺分析研究进展	12
2.1 前言	12
2.2 空缺分析基本流程	13
2.3 研究进展	16
第三章 青海湖-祁连山区域主要保护对象及空缺分析	19
3.1 引言	19
3.2 主要保护对象筛选	20
3.3 保护物种的空缺分析方法	22
3.4 物种保护空缺分析结果	25
第四章 普氏原羚保护空缺分析	27
4.1 前言	27
4.2 普氏原羚潜在栖息地模拟	28
4.3 普氏原羚保护空缺	30
4.4 普氏原羚的保护策略	32
第五章 雪豹保护空缺分析	36
5.1 引言	36
5.2 雪豹潜在栖息地预测	38
5.3 青海湖-祁连山雪豹分布格局	41
5.4 青海湖-祁连山景观区雪豹保护策略	41
第六章 主要研究结果	44
主要参考文献	46

中文摘要

祁连山是我国西部重要生态安全屏障，是中国生物多样性保护优先区域；青海湖是我国最大的内陆咸水湖，是维系青藏高原东北部生态安全的重要水体。青海湖-祁连山景观区域是世界高海拔地区生物多样性最丰富的地区之一，对保护全球意义的生物多样性具有十分重要的意义。

为了支持“加强青海湖-祁连山景观区保护地体系项目”制定雪豹和普氏原羚等物种保护和恢复计划，本研究通过整合各类生物多样性和环境数据，利用生态位模型模拟、实地调查、专家咨询和 GIS 空间分析等多种手段获取该区域主要珍稀濒危物种的分布格局，特别是普氏原羚和雪豹。在此基础上，采用空缺分析方法评估现有保护区对这些物种保护空缺，提出了物种保护策略。

依据已有研究成果，结合专家咨询，本研究确定了青海湖-祁连山景观区域 40 种重点珍稀濒危物种作为保护对象，其中包括 6 种国家一级保护物种。空缺分析结果表明，9 个物种的栖息地被当前保护区保护了 30%以上，24 个物种的栖息地被保护 20%以上，31 个物种栖息地被保护了 15%； 34 个物种的栖息地被保护了 10%以上，4 个物种的栖息地被保护的比​​例小于 10%。据各个物种的保护目标（普氏原羚和雪豹除外，单独分析），有 26 个物种已经达到物种的保护目标，有 11 个物种栖息地被保护的比​​例并没有达到应有的保护目标，需要在未来的保护规划中进行适当调整。

对普氏原羚研究结果表明，当前栖息地面积为 11 万公顷，其中 3.1 万公顷的普氏原羚栖息地被保护区所保护，占当前栖息地总面积的 28.6%。未来需要扩大现有的自然保护区，建立新的保护地，或建立生态廊道以改善普氏原羚栖息

地景观连通性。模型模拟显示，未来可作为其栖息地约为 8 公顷，其中 2 万公顷已在保护区内，因此未来可划为保护区的潜在栖息地有 6 万公顷。位于天天峻县的快尔玛区域和生格乡区域草场较好，可以成为扩展栖息地区域；其次，共和县的哇玉区域可以适当考虑扩展栖息地；刚察县的哈尔盖铁路南、哈尔盖铁路北面和海晏县的甘子河铁路南、甘子河铁路北这四个分布区相邻，但由于铁路和围栏的阻隔，这些区域将来应该考虑廊道建设来加强栖息地的连通性。

青海湖-祁连山景观区域总面积约为 6.5 万平方公里，适合雪豹栖息的区域约有 0.66 万平方公里，占区域面积 10.3%，其中位于祁连山国家公园的雪豹栖息地约为 0.29 万平方公里，占 43.9%。虽然当前该区域国家公园内已经保护了近一半的雪豹栖息地，但这还不足以保护其重要的生存环境。因此，未来应首先以国家公园建设为基础，尽量调整或扩大自然保护区核心区对雪豹栖息地的覆盖。其次，祁连山国家公园与青海湖区域之间存在很多雪豹潜在栖息地，未来在设计保护廊道时，应该优先考虑这些区域和雪豹栖息地，增加生态系统连通性；最后，未来应当大力开展社区参与式保护，扩大雪豹栖息地保护范围和野外种群数量。

Abstract

Qilian Mountain is an important ecological security barrier in Western China and also a priority area for biodiversity conservation in China. Qinghai Lake is the largest inland salt water lake in China to maintain the ecological security in the northeast of the Qinghai Tibet Plateau. Qilian Mountain-Qinghai Lake landscape area is one of the areas in the world with the richest biodiversity, which is of great significance to protect the globally important biodiversity.

In order to support the project of " Strengthening the Protected Area System in the Qilian Mountain-Qinghai Lake Landscape" for the formulation of the species conservation and restoration plan such as snow leopard and *Procapra przewalskii*, this study obtained the spatial distributions of major rare and endangered species in the area by integrating various biodiversity and environmental data, using niche model simulation, field investigation, expert consultation and GIS spatial analysis. The gap analysis was used to evaluate the conservation gaps of these species in the existing reserves and national park. Conservation strategies were put forward, especially for snow leopard and *Procapra przewalskii* in this landscape area.

Based on the existing research results, combined with expert consultation, 40 species of rare and endangered species in the landscape area of Qilian Mountain-Qinghai Lake were identified as the conservation features, including 6 species under national first-class protection. GAP analysis shows that more than 30% habitats of 9 species have been protected by the current nature reserves, 24 species have been

protected by more than 20%, 31 species have been protected by 15%; 34 species have been protected by more than 10%, and 4 species have been protected by less than 10% in Qinhai Province. According to the conservation objectives of each species (except for *Procapra przewalskii*, and snow leopard, which are analyzed separately), 26 species have reached the proposed conservation objectives of the species, and the proportion of 11 species whose habitats have not been protected has not reached the proposed conservation objectives, which needs to be properly adjusted in the future conservation planning.

Our results show that the current habitat area of *Procapra przewalskii*, is 110000 ha, of which 31000 ha are protected by the reserve, accounting for 28.6% of the total habitat area. In the future, it is important to expand the existing nature reserve, establish new conservation areas, or build ecological corridors to improve the landscape connectivity of the habitats. Our model simulation also shows that 80000 ha can be used as habitat in the future, of which 19322.9 hectares are located in the reserve, so the potential habitat that can be classified as the reserve in the future is 600000 ha. Kuairma district and Shengge Township, located in tiantianjun County, have better grassland, which can become habitat; Secondly, Wayu District in Gonghe County can properly consider expanding habitat; the South and north of halgay railway in Gangcha County and the South and north of Ganzi River Railway in Haiyan County are adjacent to each other, but due to the barrier of railway and fence, these areas are becoming fragmentation. In the future Corridor construction should be considered to maximize habitat connectivity.

The total area of Qinghai Lake-Qilian Mountain Landscape Area is about 65000 square kilometers, and the area suitable for snow leopard habitat is about 6600 square kilometers, accounting for 10.3%. Among them, the habitat of snow leopard in Qilian Mountain National Park is about 2900 square kilometers, accounting for 43.9%. Although nearly half of habitat has been protected in the National Park in the region, it is not enough to protect its important living environment. Therefore, in the future, based on the construction of national park, we should first integrate the functions between the national designated nature reserves and the folk reserves, try to adjust or expand the core area of the current nature reserves, and expand the coverage of the core area of the nature reserves to the snow leopard habitat. Secondly, there are many potential habitats of snow leopard between Qilian Mountain National Park and Qinghai Lake area. In the future, when designing the conservation corridor, priority should be given to snow leopard habitat to increase the connectivity of the ecosystems. Finally, community protection should be carried out in the future to expand the protection of snow leopard habitat and the number of wild populations.

第一章 项目区概况

1.1 青海湖国家级自然保护区

1.1.1 简介

青海湖国家级自然保护区位于青藏高原东北部，地理位置为东经 99°34′—100°48′，北纬 36°31′—37°15′ 之间，总面积 565716.40hm²，范围包括青海湖整个水域及鸟类栖息的湖中及湖岸五座岛屿和半岛，即蛋岛、海西皮、海心山、沙岛与三块石岛和湖岸湿地。。

1.1.2 植物和植被

青海湖保护区地处中国三大地理区和气候区的交汇处，在植物区系上与东部季风区、西北干旱区和青藏高寒区均有一定程度的联系，因此植物种类构成复杂多样。

已查明的种子植物共计 445 种，分属于 52 科 174 属，表现为温性植被与高寒植被共存的分布格局。青海湖水体内有浮游植物 35 属，其中常年出现的有 9 属，优势种为圆盘硅藻。其它水生高等植物极度贫乏，偶见有少量的菹齿眼子菜和一些大型轮藻等沉水植物。与湖水岸毗邻的沼泽草甸地带植物生长茂密，主要以矮蒿草、小蒿草、珠芽蓼、针茅、高山唐松草等为优势种。沿河有一些低矮柳灌，附近的沟谷内有高山柳、金露梅、鬼箭锦鸡儿等灌丛，片状分布。青海湖环湖地区主要分布有三大植物类型：（1）温性草原，代表群落为西北针茅草原、芨芨草草原，这一类型在青海湖地区分布最广，鸟岛地区为典型分布区；（2）以短花针茅草原为主要群落的温性荒漠，主要分布与环湖东北地区；（3）高寒草甸，以高山蒿草为主要群落，主要分布与青海湖周边海拔 3500m 以上的山地。另在青

海湖还存在高寒草甸的三个植被亚类型，分别为高寒沼泽化草甸，以湿生植物为群落是湿地的典型植被类型；高寒灌丛，以金露梅、高山柳为群落主要分布于青海湖周边的高山沟谷之间；盐渍化草甸，以水柏枝为群落主要分布于河流滩地。

1.1.3 动物资源

青海湖国家级自然保护区野生动物资源丰富，据调查，共有鸟类 16 目 43 科 225 种，兽类 6 目 13 科 41 种，两栖爬行类 5 种，其中属国家 I、II 级重点保护的野生动物有 37 种。另有鱼类 8 种。青海湖湿地是水鸟集中栖息繁殖、迁徙停歇、越冬的重要场所。鸟类种类数量占全省鸟类总数的一半以上，水鸟种类达到青藏高原水鸟种类的 70% 左右，每年在青海湖繁殖的四大候鸟，棕头鸥、斑头雁、渔鸥、普通鸬鹚的繁殖种群为全球分布的 30%，青海湖水鸟达到世界分布种群量级 1% 的水鸟有 14 种。每年有近 20 余种水鸟迁徙途经此地，数量达 10 余万只。春秋两季迁徙途中在此区作短暂停留的旅鸟有近 20 种，多为湿地鸟类，如凤头潜鸭、针尾鸭、白眉鸭、赤嘴潜鸭、绿翅鸭、普通秋沙鸭、鹊鸭等，数量在 10 余万只以上。国家一级保护动物黑颈鹤也在保护区湿地草甸地带繁殖。保护区内有 1500 只左右的大天鹅越冬。独特的地理环境，为水鸟提供了理想的栖息场所。

动物区系组成以典型青藏高原野生动物成份为主体，湖区的兽类动物总数占全省的四分之一，其中，以啮齿目、食肉目、偶蹄目种类较多。普氏原羚是湖滨沙化草地的代表种，也是世界最濒危的野生动物之一，仅在青海湖环湖部分区域有分布。两栖爬行类有高山蛙、西藏蟾蜍、沙蜥和高原蝮蛇等，主要分布于较潮湿的沼泽或积水较深的丘沟洼地地带。湖区鱼类资源独特，有青海湖裸鲤、硬刺条鳅、斯氏条鳅、背斑条鳅、隆头条鳅等，主要分布在青海湖内，产卵期在湖周围的河流中产卵。

1.1.4 湿地资源

青海湖形成于早中更新世，早期曾经是个外泄湖，水体不大，第四纪中更新世，在新构造运动的影响下，湖区东部的达坂山、日月山、团保山、野牛山等地势剧烈升起，使外泄式的青海湖，从此变成内陆湖盆。到了晚更新世，环湖山区冰川极其发育，并有部分冰川流入湖盆，储蓄了大量的固体水资源。第四纪以后，冰川消融，冰川水流入湖盆，形成了巨大的湖泊水体。同时在环青海湖一带分布有 40 余条入湖内陆河流，共同构成青海湖环湖雄浑浩淼的青海湖湿地。

根据《全国湿地资源调查与监测技术规程》第二章第九条湿地分类标准，结合青海省湿地资源的类型特征，将青海湖保护区的湿地可划分为盐湖（主湖体）、河流、泛滥地（沼泽）、永久性淡水湖泊、时令碱咸水盐沼（湖滨时令湿地）五大类型，各类型统计如下：

青海湖湿地面积为 4662km²，其中盐湖类型（青海湖主湖体及其子湖）的湿地面积为 4400km² 占总湿地面积的 94.58%；河流类型的湿地面积为 100km² 占总量的 2.36%；泛滥地（沼泽）面积为 82km² 占总量的 1.76%；永久性淡水湖泊 12km² 占总量的 0.27%；时令碱、咸水盐沼（湖滨时令湿地）47km² 占总面积的 1.03%。由此，可以看出青海湖湿地的分布主要以青海湖湖体和其子湖为主，次之是泛滥地（沼泽）。

1.2 祁连山国家公园青海省片区

1.2.1 简介

祁连山是中国西部重要的生态安全屏障，黄河重要的水源地和生物多样性保护的优先区域。2017 年 9 月，中国政府批准建设祁连山国家公园，是中国 10 大

国家公园之一，主要职责为保护祁连山生物多样性和自然生态系统原真性、完整性。祁连山国家公园位于中国青藏高原东北部，横跨甘肃和青海两省，总面积 5.02 万平方公里，其中青海省境内总面积 1.58 万平方公里，占国家公园总面积的 31.5%。行政区范围包括海北藏族自治州门源县、祁连县，海西州天峻县、德令哈市，共有 17 个乡镇 60 个村 4.1 万人。

1.2.2 自然资源概况

祁连山国家公园青海省片区内生态系统独特，自然景观多样，平均海拔 4000-5000 米。冰川广布，分布多达 2683 条，面积 7.17 万公顷，储量 875 亿立方米，是青藏高原北部的“固体水库”。河流密布，主要有黑河、八宝河、托勒河、疏勒河、党河、石羊河、大通河 7 条河流，流域地表水资源总量为 60.2 亿立方米。区内自然资源丰富，其中草地是自然资源最重要、分布范围最为广阔的景观类型之一，草原面积达 100.72 万公顷。主要类型有高山嵩草型、矮生嵩草型、线叶嵩草型、藏嵩草型、粗喙苔草型、黑褐苔草型、其它苔草型、紫花针茅型、垫状驼绒藜型、红景天型、亚菊型等。祁连山国家公园青海片区林地 15.24 万公顷，林分类型主要有青海云杉（我国特有树种的森林，为当地顶级群落）、祁连圆柏林、山杨林、白桦林、红桦林，灌木林有杜鹃灌丛、山生柳灌丛、金露梅灌丛等。公园内湿地总面积 39.98 万公顷。湿地类包括河流、湖泊、沼泽。河流湿地包括永久性河流，季节性河流，洪泛平原，湖泊湿地为永久性淡水湖，沼泽湿地为沼泽化草甸。片区内湿地土壤为沼泽土，主要分布于山间洼地，地下水位高，地表有季节性积水或终年积水现象。由于寒冷低温，土壤积水，通气不良，有机质不能充分分解，表层土壤腐殖质化或泥碳化，下部土壤发生灰粘化过程。

1.2.3 主要保护对象

野生动植物丰富，有野生脊椎动物 28 目 63 科 294 种，国家重点保护野生动物雪豹、白唇鹿、马麝、黑颈鹤、金雕、白肩雕、玉带海雕等物种。野生高等植物 68 科 257 属 617 种。祁连山国家公园青海省境内包括 1 个省级自然保护区、1 个国家级森林公园、1 个国家级湿地公园，其中祁连山省级自然保护区核心区面积 36.55 万公顷，缓冲区面积 17.51 万公顷，实验区面积 26.17 万公顷。仙米国家森林公园面积 19.98 万公顷，黑河源国家湿地公园面积 6.43 万公顷。

1.2.4 生态气象

据《2019 年祁连山国家公园青海片区生态气象公报》显示，2019 年祁连山国家公园青海片区年平均气温为 0.2 度，与近 10 年（2009 至 2018 年）平均基本持平，年降水量为 530.2 毫米，较近 10 年偏多 1 成，日照时数为 2561.3 小时，较近 10 年略偏少 5.3%。近年来祁连山岗纳楼冰川、岗格尔肖合力冰川、八一冰川面积和冰储量均略有退缩：面积分别减少了 3.2%、6.0%、3.2%，冰储量分别减少了 3.6%、5.9%、3.8%；季节性冻土下限抬升，年最大冻土深度变小，冻土退化相对明显；2019 年大通河年径流量为 30.07 亿立方米，与近 10 年平均年径流量基本持平。2019 年积雪季各月积雪日数 ≥ 2 天的积雪面积较近 10 年同期平均增加 1.4 倍，积雪日数较近 10 年同期平均增多 17 天以上。2019 年祁连山国家公园青海片区植被生态质量趋好，呈东部向西北减小的分布格局，自 2000 年以来植被净初级生产力和植被覆盖度平均每年分别增加 2.75 克碳/平方米和 0.24%。牧草主要生长季（6 至 8 月）园区降水偏多，土壤墒情总体偏好，部分地区草地返青期提前，黄枯期延后，生育期略延长，大部地区草地地上生物量持平或增加，2019 年草地长势年景综合评价为“丰年”；2019 年园区荒漠化土地总面积较近 10 年平均减少 6.4%。

第二章 物种保护空缺分析研究进展

2.1 前言

在过去的半个多世纪，物种灭绝在加速发生，灭绝速度甚至超过了预想的背景速率的 1000 倍。自然界生物的分布并不是均匀的，所以保护学家首先应该确定要保护的最重要的地区。保护单一物种的作用是十分有限的。从目前的认知水平和保护规划实践的可行性来说，特别是数据信息的可获取性，我们最少应该在关键物种和生态系统的水平上进行全面的评估。一个给定生物区最大限度地保护生物多样性的先决条件，尽可能确定一个包括每一个物种的保护区网络。Burley 于 1958 年首次提出 GAP 分析 (Geographic approach to protection of biodiversity) 的概念，即生物多样性影响因素的鉴别、分类方法以及调查现有保护系统的方法。通过此方法，可以确定那些应该得到保护，但在现有的保护体系中却没有表现出来或是很少被表现出来的因素 (比如植被类型、栖息地类型、物种等)。最后，参考这种信息，确立下一步保护行动中要优先考虑的因素和保护方案，如设计未来的保护方案和规划土地利用等。

事实上自然界中的每一个物种都值得保护。优先顺序不是选择生物多样性的哪一组成部分值得重视和保护，哪一部分不值得保护，而是决定哪些要素需要首先注意。因为生物多样性的组成部分并不是都具有相同的保护需要，对全球生物多样性保护也不是具有相同的贡献。优先次序是必要的，因为资源有限，因此需要投资战略方法，以确保我们的保护工作能对全球生物多样性保护获得最大的贡献。

保护区从保护物种最大的威胁—栖息地丧失出发，已成为世界上最重要和有

效的维护生物多样性的工具。在自然界建立保护区，是常见的保持生物多样性的基础工作。但仅仅依靠扩大保护面积来进行生物多样性的保护与管理是不够的。Rodrigues 等在 2004 年的研究表明，在现有保护体系下，全球仍有超过 20% 的濒危物种处于保护空缺状态；并且经过对当时已有的 11633 个陆生脊椎动物数据的分析得出，其中至少有 1424 种（占有研究数据的 12.2%）处于保护空缺状态，没有被任何保护区覆盖，成为了“GAP 物种”，并且他们认为这些物种仅是 GAP 物种中的一小部分。

2.2 空缺分析基本流程

GAP 分析的基本过程就是对所要考查的物种和植被类型的分布与保护区分布进行比较。首先是绘制植物群落分布图，然后结合地形图、土地利用现状图、遥感影像图等其他资料来模拟物种分布，将植被图、物种分布图和土地管理图重叠起来就可以显现植物群落和物种在现有的保护网络中的表现情况，那些既不适应人为环境，也没有在保护区内得到充分保护的物种和植被类型就被认为是 GAP，被认为是非常脆弱的。这些物种和植被就是下一步保护工作的焦点。具体工作步骤有以下四点：

（1）土地覆盖分类与制图

土地覆盖制图是将各种土地覆盖类型按最小制图单元面积和分辨率要求表达在地图上，类型主要包括各种植被或植被类群、无植被地带、水面和居住地等。这一工作可通过分类解译 TM 卫星图像并参考航空照片、航空摄像、数字高程图（DEM）、土壤图、土地覆盖/利用图、国家湿地名录图、小尺度植被图（<1:1000000）及实地调查数据等来完成，将具有相对均质性的区域从 TM 影像中描绘出来，标

以植被分类系统中确定的植被类型及其他类型区域。

(2) 物种分布制图

通过栅格数据和矢量数据两种数据形式来记录已经获得的动植物分布数据。栅格数据首先都要在 GIS 软件中绘制一张将研究区域划分为网格系统的电子数字地图，网格系统可以按照经纬网格、EMAP 六边形、自然生态区、县等行政单位划分，并将物种分布数据记录在网格系统中。

矢量数据的获得较容易，可通过点数据或分布范围数据来获取。

①点数据

动植物的特有物种、濒危物种、稀有物种和全部物种多样性的点出现数据是使用 GPS 记录经纬度和海拔高度等地理信息的数据，并记录在矢量或网格系统中获得。这种数据是记录物种出现的最简单的一种形式，只能说明该物种过去在哪里出现过，网格系统中的空白区域也不能说明它并没有出现过，所以它的精确性不高。

②发生范围数据

动植物物种的发生范围数据是通过将物种在它生境栖息地中的生活范围的地理信息记录在网格系统中获得。与点出现数据相比较，它能够提供物种的生存范围，可以很好的鉴定出保护区中没有保护的区域，对于 GAP 分析的双重目的：保护物种和它的生境栖息地来说是有利的。但是动物往往并不是占据它的全部的发生范围，用此类数据分析往往得出的结论也不甚精确。它们的发生范围可以通过物种-生境模型或生境适宜性模型两种分布模型来获得，根据分布模型确定物种与一定的植被型的联系，利用 GIS 的网格系统电子数字地图，进一步预测物种的分布，并根据现有的资料（已知物种的 GIS 图）和观测情况确定每个单元格中

的物种分布丰度，最终完成制图。

（3）土地管理权属制图

土地管理权属制图要完成两项任务：一是获取土地归属的地理边界数据，确定每片土地管理者；二是确定每一片土地的生物多样性管理状态。土地被保护状态与土地所有者、管理方法、支出、利用的政治或经济压力以及其他因素相关。美国各个州的 GAP 分析通常将研究区域划分为 4 个生物多样性管理等级，这也是对研究区域的保护状态进行统计的一种方法。

状态（1）——有保护管理措施并且制定了保护相应的计划，来保护自然状态不被打乱的区域，如大多数的国家公园、自然保护区、国家级的野生动物庇护所、科学研究自然区等具有特殊自然价值的管理区。

状态（2）——制定了保护计划保护它的初级自然状态，但是又由于一些人为活动而降低了现存自然生物群落的质量，使自然状态有所降低的区域，如大部分荒地，环境关注区等具有一般自然价值管理区。

状态（3）——其内大部分土地有了保护，但是受到了诸如伐木和开矿的影响，已经出现了濒危和受到威胁动物的区域，如森林、公园等存在潜在破坏性利用的地区。

状态（4）——管理部门没有制定管理条例阻止自然生境类型转变为人类的居住地，且已完全转变成了非自然土地的区域，如高强度开发成住宅区的土地。

（4）GAP 分析

①保护空白的分析

通过土地覆盖类型图层和土地管理权属图层的叠制，即分析出哪些区域与哪些生态系统没有得到保护。通过物种分布图层和土地管理权属图层的叠制，如果

是点分布数据，就可以统计物种出现的地方被保护网络覆盖的情况，即物种是否受到保护以及受到保护的百分比；如果是范围分布数据和分布模型，就可统计出保护区网络是否覆盖了物种的分布范围，即物种是否受到保护以及受到保护的百分比。这样，没有得到保护的生态系统、动植物物种及区域即为保护空缺(gaps)。

②热点地区及优先保护地区分析

热点地区生物多样性具有不可替代性与不可恢复性，因此经济发展造成热点地区生物多样性损失是不可接受的。根据植被类型图及物种分布图，确定物种多样性最丰富的热点地区，并作为保护的优先地区。另外，确定应该优先受到保护的生态系统、特有物种、濒危物种和稀有物种分布地区，这些地区也是保护的优先地区。

2.3 研究进展

国外关于 GAP 分析始于 1985 年，美国的 Scott 针对夏威夷濒危森林鸟类的保护做 GAP 分析后，发现现有保护区几乎没有保护濒危物种多样性的热点地区，后来以此为基础建立了 Hakalau 国家森林公园野生动物保护区，并在美国 Idaho 州进行的 GAP 分析时，预测出一种尖尾鹤有可能分布在以前从未记载过的地区，后来的野外调查证实了预测结果，因此这种方法也被认为是 GAP 的标准格式而在美国各州推广。美国于 1994 年开始第一次用 TM 图像来制作 48 个州的植被覆盖图，是最先进行 GAP 计划的国家，建立了全国 GAP 分析项目网，并提出了技术手册。

GAP 分析在全球范围内相继开始，北美的美国、墨西哥、危地马拉等 3 国；欧洲的法国、西班牙等 10 国；非洲埃及、利比亚等 6 国开始进行；中东地区的以色列、土耳其等国正在执行；亚洲只有日本开始了这一计划。另外，南美洲、大洋洲和南极洲的 GAP 计划尚未开始。计划的实施在寻找保护缺陷方面取得较为

满意的结果。

就 GAP 分析的方法而言，寻找保护空缺可通过使用空间扫描统计方法（spatial scan statistic）和 SOM（self-organizing Mps）自组地图统计方法两种实现。空间扫描分析使用一个圆形视窗来呈现群落的空间分布区域，通过不断的改变圆圈的圆心和半径，来检测到每一种群落聚集的偏好地理分布区域。日本的 Mikio 和 Nobukazu 在 satscan4.03 软件的支持下采用此方法分析了 6 种森林群落的群落聚集区中的保护空缺。SOM 是一种将变量聚类的分析方法，它将收集到的物种分布数据、生境类型数据和保护区分布数据等记录在保护区网格系统中（每一个网格均要编号），再使用 Matlab 软件的 SOM 运算法则将这些网格聚类分析，数据相似的网格被集中在一起，并以图表的形式展现。2006 年，美国的 Matthew 等也使用 SOM 自组地图统计方法寻找出了西维吉尼亚的保护空缺

为了在区域尺度上保护我国的生物多样性，我国学者将国外的 GAP 分析理论与方法引进中国，并将其运用到实践中，取得了一定的成绩。解焱（2004）利用 GIS 分析方法对中国自然保护区系统的生态系统和物种有效性覆盖效率进行了评估，使用了中国生物地理区划的 124 个生物地理单元，以及总计 3254 种陆生脊椎动物的分布数据，发现中国国家级保护区面积比例过大、大部分保护区分布在西部地区、我国仍然有许多地区没有得到很好的保护区覆盖；一些物种未受到（或未很好的受到）保护区覆盖；部分生物地理单元没有保护区覆盖或仅有少量保护区覆盖；部分具有重要生物多样性的生物地理单元保护力度不够、保护海洋中生活的动植物的保护区不足。李迪强等（1999）利用地理信息系统技术分析了青海湖地区的生物多样性空间特征，通过生物多样性保护的的代表性、特有性、濒危性、敏感性原则与已经建立的青海湖国家级自然保护区叠加，进行 GAP 分析，

发现代表性的生态系统和普氏原羚等国家级保护动物的最适宜的生境没有包括在保护区内。然后，提出了青海湖自然保护区的分区方案及青海湖生物多样性的保护对策。栾晓峰等（2009）根据东北地区生物多样性特征，分析了规划单元的不可替代性值，确定了区域生物多样性热点地区，并根据保护区分布现状进行了生物多样性保护空缺分析，发现东北地区不可替代性较高的热点地区有 4 个，根据已建保护区分布情况研究发现，区域内存在 3 个明显的保护空缺：长白山西北部林区、大兴安岭北段山地区和大兴安岭南段森林草原过渡区，进而建议新建和扩建保护区，同时建立生态廊道把相应的保护区关联起来，以实现区域内生物多样性保护目标。

第三章青海湖-祁连山区域主要保护对象及空缺分析

3.1 引言

生物多样性保护是人类面临的一项长期而艰巨的任务（唐小平，2005；徐卫华等，2006；Zhang *et al.*， 2015）。实践证明保护区的设立能够在很大程度上有效阻止栖息地转化和生物多样性丧失（Bruner *et al.*， 2001； Sanchez-Azofeifa *et al.*， 2003； 陈雅涵等， 2009； 顾垒等， 2015）。然而，现有的相当数量的保护区的系统保护规划并不是基于生物多样性保护目标而设计的。过去很多保护区的选址和建立主要出于某些特殊的目的，即保护美好的风景，保护河流的源头，旗舰物种的存在、低潜力的经济和政治冲突，或高潜力的旅游和娱乐价值。这些保护区的设立往往并没有充分地考虑生物多样性的代表性（Rodrigues *et al.*， 1999； Margules & Pressey， 2000； 赵广华等， 2013）。事实上，许多区域分析表明，现有保护区网络并不足以保护生物多样性（Fjeldsa *et al.*， 2004； O’ Dea *et al.*， 2006）。

生物多样性保护空缺分析有助于有效评估保护对象在保护区代表性，以及确定生态系统中关键的保护优先区域（李迪强等， 2002； 马克平， 2010； 高俊琴等， 2011）。它是成功保护生物多样性的关键（李迪强和宋延龄， 2000， 闻丞等， 2015， Zhang *et al.*， 2015）。保护学家可以此为基础，提供给生物多样性管理者更好的建议和保护策略（徐卫华和欧阳志云， 2006； 杨军等， 2012； 郑姚闽等， 2012）。空缺分析通常采用不同的评估方法，针对不同的保护对象，设定不同的保护目标来确定保护区对物种等保护目标的保护代表性（李迪强等 1999； 李迪强和宋延龄， 2006）。不可替代性的方法是近年来国内外引入生物多

样性保护的空缺分析中（刘敏超和李迪强，2007），通过不同的不可替代性指数既可以评估现有保护区对生物多样性的保护贡献率，同时又能提供未被选为保护区的规划单元对保护目标潜在的保护贡献，还能确定不同保护目标的保护有效性（栾晓峰等，2010）。

该景观区被认可的生物多样性关键区（KBAs）包括祁连山东部（生物多样性关键区识别号 15510）和青海湖/科科诺（生物多样性关键区识别号 15569）。在这些生物多样性关键区中，该项目的两个目标保护区是：祁连山国家公园青海片区和青海湖国家级自然保护区。祁连山-青海湖景观对全球意义的生物多样性具有重要意义，包括在国际自然与自然资源保护联盟（IUCN）濒危物种红色名录中分别列为濒危和易危物种的普氏原羚和雪豹。这里出现的其他关键物种包括野牦牛，白唇鹿（全球易危物种），藏羚羊，岩羊和四川岩羊。仅青海湖地区就有超过 243 种脊椎动物，包括 41 种动物，189 种鸟类，3 种两栖动物和 8 种鱼类。青海湖是棕头鸥和几种重要的特有鱼类的主要繁殖地，被列入拉姆萨尔国际重要湿地名录。

3.2 主要保护对象筛选

1995 年 10 月青海省人民政府批准发布了《青海省重点保护野生动物名录》，确定 35 种野生动物为省级重点保护动物。青海省林业厅 2013 年又提出了《青海省珍稀濒危野生动植物名录》。该名录中珍稀动物包括 79 种，珍稀植物 11 种。我们主要依据前期对整个青海省的系统保护规划研究成果（Li 等，2018），结合专家咨询，初步确定了青海湖-祁连山景观区域主要保护对象（见表 1）。这些物种包括 40 种需要重点关注的珍稀濒危物种，其中包括 6 种国家一级保护物种，

它们是：普氏原羚、雪豹、马麝、黑颈鹤、野牦牛、藏野驴，其余物种大多是国家二级保护物种或青海省重要的保护物种。

表 1 祁连山-青海湖景观区域重点关注的保护物种

中文名	学名	中国保护级别	IUCN 等级
暗腹雪鸡	<i>Tetraogallus himalayensis</i>	II 级	LC
白唇鹿	<i>Cervus albirostris</i>	II 级	VU
白肩雕	<i>Aquila heliaca</i>	II 级	VU
斑尾榛鸡	<i>Bonasa sewerzowi</i>	II 级	NT
藏雪鸡	<i>Tetraogallus tibetanus</i>	II 级	LC
藏野驴	<i>Equus kiang</i>	I 级	LC
藏原羚	<i>Procapra picticaudata</i>	II 级	EN
草原雕	<i>Aquila nipalensis</i>	II 级	LC
赤狐	<i>Vulpes vulpes</i>	青海省珍稀濒危	LC
大鵟	<i>Buteo hemilasius</i>	II 级	LC
大天鹅	<i>Cygnus cygnus</i>	II 级	LC
高山兀鹫	<i>Gyps himalayensis</i>	II 级	NT
黑耳鸢	<i>Milvus migrans lineatus</i>	II 级	LC
黑颈鹤	<i>Grus nigricollis</i>	I 级	VU
红隼	<i>Falco tinnunculus</i>	II 级	LC
胡兀鹫	<i>Gypaetus barbatus</i>	II 级	NT
荒漠猫	<i>Felis bieti</i>	II 级	EN
黄鼬	<i>Mustela sibirica</i>	II 级	LC
灰鹤	<i>Grus grus</i>	II 级	LC
蓝马鸡	<i>Crossoptilon auritum</i>	II 级	LC
猎隼	<i>Falco cherrug</i>	II 级	EN
鬣羚	<i>Capricornis sumatraensis</i>	II 级	VU
马鹿	<i>Cervus elaphus</i>	II 级	LC
马麝	<i>Moschus chrysogaster</i>	I 级	EN
盘羊	<i>Argali sheep</i>	II 级	NT
普氏原羚	<i>Procapra przewalskii</i>	I 级	CR
雀鹰	<i>Accipiter nisus</i>	II 级	LC
猞猁	<i>Felis lynx</i>	II 级	LC
石貂	<i>Martes foina</i>	II 级	LC
蓑羽鹤	<i>Anthropoides virgo</i>	II 级	LC
秃鹫	<i>Aegypius monachus</i>	II 级	NT

兔狲	<i>Otocolobus manul</i>	II级	NT
香鼬	<i>Mustela altaica</i>	青海省珍稀濒危	NT
雪豹	<i>Uncia uncia</i>	I级	VU
血雉	<i>Ithaginis cruentus</i>	II级	LC
岩羊	<i>Pseudois nayaur</i>	II级	LC
野牦牛	<i>Bos mutus</i>	I级	VU
游隼	<i>Falco peregrinus</i>	II级	LC
玉带海 雕	<i>Haliaeetus leucoryphus</i>	II级	VU
臧棕熊	<i>Ursus arctos pruinosus</i>	II级	EN

3.3 保护物种的空缺分析方法

本研究针对区域特别重要的两个保护物种（普氏原羚和雪豹）开展了单独的保护空缺分析。对于其他的物种空缺分析，依据前期在整个青海省所做的研究成果(Li 等, 2015)，我们获得了其中 37 个物种的青海省保护空缺结果。空缺分析的基本方法简介如下：采用国际上广泛用于模拟物种栖息地分布的最大熵模型 (MAXENT) 模拟这些主要珍稀濒危物种的栖息地。MAXENT 是把研究区所有像元作为构成最大熵的可能分布空间，将已知物种分布点的像元作为样点，根据样点像元的环境变量如气候变量、海拔、土壤类型、植被类型得出约束条件，探寻此约束条件下的最大熵的可能分布(即探寻与物种分布点的环境变量特征相同的像元)，据此来预测物种在研究区的生境分布(Phillips et al., 2006)。该模型在进行物种生境预测与评价时只需要物种“出现点”的数据，并且即使在出现点数据较少的情况下，也具有较高的预测精度(Hernandez et al., 2006; Phillips et al., 2006; Pearson et al., 2007)。运行模型时输入物种样本点分布数据和环境变量，物种分布点数据被随机分为两部分，70%作为训练数据集(training data)用于建模，30%作为检验数据集(test data)用于模型评价。输入的环境数据包括 bio1-bio19 生物气候变量(www.worldclim.com)，坡度、坡

向、人类干扰指数、距水源地距离等。以通用的 0.5 作为物种分布概率阈值确定物种栖息地分布。最后在 ArcGIS 支持下进行空间叠加，分析栖息地空间保护空缺。

物种的保护目标通常指物种栖息地被保护区所保护的比例，一般由物种的濒危程度、受威胁状况、分布面积大小以及稀有性等因素共同决定 (Rodrigues et al., 2004)。综合参考当前国内外的研究 (曲艺等, 2012, Fajardo et al., 2014)，并结合青海省实际保护情况，本研究的物种保护目标 (Tspecies) 由以下三种因素共同决定：保护稀有性指数 (Irarity)、保护地位指数 (Iedangered) 以及保护特有性指数 (Iendemic)。每个物种的保护目标计算公示如下：

$$Tspecies = Irarity + Iedangered + Iendemic$$

保护稀有性指数按比例计算一种物种栖息地的稀有性，分布面积较小的物种具有更高的保护优先性和保护目标，分布面积较大的物种具有较低的保护目标 (Butchart et al., 2004)。结合青海省的实际特点，计算方法是，面积小于 1000 平方公里，稀有性为 100%，应该得到全面保护，面积大于 60000 平方公里稀有性指数为 5%，即保护栖息地面积的 5%；面积处于二者中间的稀有性指数按线性比例计算稀有性指数见图 1。按照国际上的通用做法，60000 平方公里是按该区域有较大栖息地保护三分之一物种所确定 (Fajardo et al., 2014)。

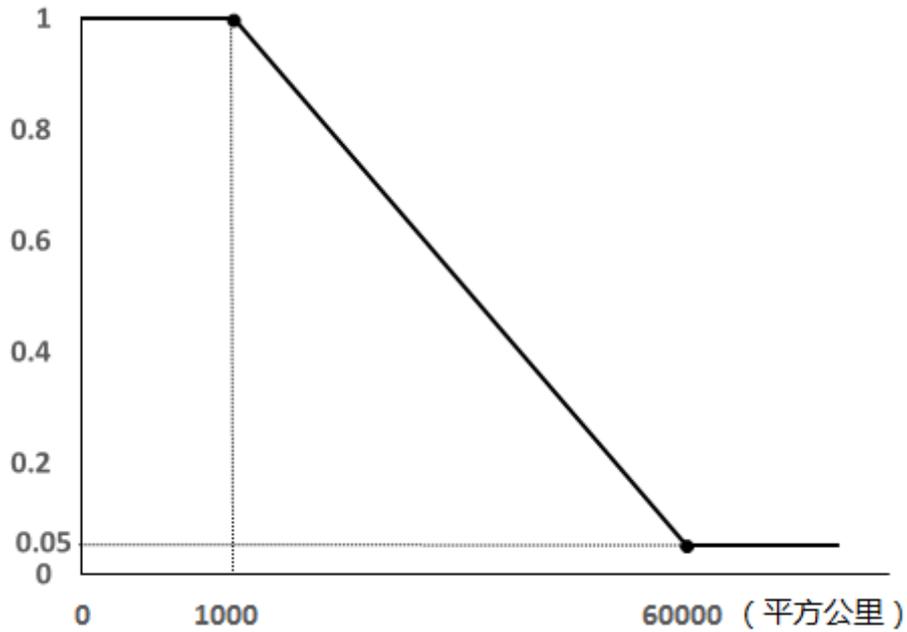


图 1 物种栖息地稀有性指数计算示意图

物种保护地位指数 (Iendangered): 根据 IUCN1994 年 11 月, IUCN 第 40 次理事会会议正式通过了经过修订的“Mace-Lande 物种濒危等级标准”作为新的 IUCN 物种濒危等级标准系统(IUCN, 1994)。Mace-Lande 物种濒危等级标准使用了如下等级:(1)灭绝(Extinct, EX);(2)野生灭绝(Extinct in the Wild, EW);(3)极危(Critically Endangered, CR);(4)濒危(Endangered, EN);(5)易危(Vulnerable, VU);(6)低危(Lower Risk, LR);(7)数据不足(Data Deficient, DD);(8)未评估(Not Evaluated, NE)。我们根据国际通用标准来确定物种保护地位指数, CR 级别物种保护现有栖息地的 25%, EN 保护 17.5%, VU 保护 10%, NT 保护 5%, LC 保护 0% ((Fajardo et al., 2014)。

保护特有性指数 (Iendemic) 是代表物种在青海省的特有程度, 我们讨论确定青藏高原特有物种其特有性指数为 20%; 中国特有物种为 5%, 其余为 0%。最后的物种总体保护目标为三者之和。最后我们根据物种栖息地适合度的分布状况, 在 GIS 支持下, 按照保护目标比例, 取每个物种的更高质量的栖息地作为将来的

空缺分析的依据。

3.4 物种保护空缺分析结果

青海省当前保护区有效地保护了超过 60%的上面选定的主要保护对象的栖息地。根据这些重点物种的保护目标来看，根据这些重点物种潜在生境被自然保护区保护的情况，以<10%， >15%， >20%， >30%的几个水平对物种进行了统计。其中保护了物种的潜在栖息地 30%以上的为 9 种，保护了物种的潜在栖息地 20%以上的为 24 个，保护了 15%比例达到 31 个物种，有 34 个物种都保护了当前栖息地的 10%以上。仅有 4 个物种的栖息地被保护的比例小于 10%。特别需要重点关注的是游隼、蓑羽鹤、红隼等物种，其栖息地被保护的比例相对较低。

根据各个物种的保护目标对物种保护情况进行分析发现，有 26 个物种已经达到物种的保护目标，而且有些物种远远超过本身需要保护的比例，存在过度保护现象。这些物种包括岩羊、鬣羚、斑尾榛鸡、马鹿、血雉等。有 11 个物种栖息地被保护的比例并没有达到物种应有的保护目标，需要在未来的保护规划中进行适当调整（表 2）。

表 2 青海主要濒危物种预设保护目标及其被保护现状

物种名	保护比例 (%)	保护目标 (%)	物种名	保护比例 (%)	保护目标 (%)
暗腹雪鸡	10.3	5	猎隼	21.6	24.1
白唇鹿	27.7	20.8	鬣羚	72.5	34.1
白肩雕	21.3	26.1	鬣羚	72.5	34.1
斑尾榛鸡	25.7	15	马鹿	36.1	25
藏雪鸡	36.8	25	马麝	20.7	46.7
藏野驴	39.2	35	盘羊	23.8	18.4
藏原羚	54.5	42.5	雀鹰	30.3	27.3
草原鹞	15	5	猞猁	26.5	5

赤狐	19	5	石貂	22	5
大鸛	26.5	5	蓑羽鶴	5.3	14.3
大天鵝	11.6	20.8	禿鶯	18.5	20.1
高山兀鶯	20.9	5	兔狲	20.6	5
黑耳鸛	17.3	8.1	香鼬	17.7	10
黑頸鶴	24.8	39.7	血雉	31.7	5.2
紅隼	8.7	5.3	岩羊	41.7	5
胡兀鶯	27.8	11.5	野牦牛	29.6	35.5
黃鼬	15.4	15	游隼	1.4	20.1
灰鶴	17.3	14.1	玉帶海鷗	10.5	33.9
藍馬雞	21.9	24.9			

第四章 普氏原羚保护空缺分析

4.1 前言

普氏原羚是 1875 年俄罗斯探险家普热瓦斯基(*Przewalski*)首次发现的。普氏原羚别名滩原羚、黄羊,在分类上属于偶蹄目(*Artiodactyla*)、牛科(*Bovidae*)、羚羊亚科(*Antilopinae*)、原羚属(*Procapra*),拉丁学名 *Procapra przewalskii*, 英文名 *Przewalski's gazelle*。成年原羚体长 110 厘米左右,尾长 7~10 厘米,全身黄褐色,颌下、四肢内侧和腹部着有白色绒毛,后腿中间为醒目的棕色尾巴。一旦受到惊吓,普氏原羚的白色臀斑竖起外翻,在草地的衬托下显得格外醒目,以此警示同伴有危险临近。仅雄性有环棱的黑色硬角,双角角尖相向钩曲,栖息于山间平盆地和湖周半荒漠草原地带,以莎草科、禾本科及其他沙生植物为食。在非繁殖季节,同一性别的个体以数头或数十头为群,聚在一起活动。冬季 11~3 月为发情期,雄雌原羚往往结成大群,5~8 月产仔,每胎 1 仔。

普氏原羚曾经广泛分布于内蒙古、宁夏、甘肃、新疆及青海。由于人类活动影响及栖息地恶化,该物种的数量下降,分布区范围锐减,而现在普氏原羚只分布于青海湖周边地区。青海省海北州分布区:(1)海北州刚察县哈尔盖铁路南北;(2)青海湖农场;(3)海晏县甘子河乡铁路南北;(4)海晏县同宝村沙岛;(5)海晏县甘子河乡塔例宣果;(6)鸟岛核心区;(7)青海湖农场一分厂;(8)克图区域。青海省海西州分布区包括:(9)天峻县生格乡(10)天峻县快尔玛乡。青海省海南州分布区:(11)共和县倒淌河元者;(12)湖东地区;(13)香日德哇合村;(14)加什科村。这些区域呈不连续的间断分布,种群之间彼此

隔离。

普氏原羚早已成为世界上最濒危的有蹄类动物之一。1989年颁布的《中华人民共和国重点保护野生动物名录》将普氏原羚列为国家一级重点保护野生动物。1996年、1998年、2000年和2002年IUCN(国际自然保护联盟)红色名录和1998年中国濒危动物红皮书均将普氏原羚的濒危程度列为极危(CR)级。2000年普氏原羚被列入中国野生动植物保护工程的15大物种之一。

普氏原羚的野外个体数量由1986年约350只降为1994年的300只左右,在1998年刘丙万等重新调查普氏原羚的数量,发现数量呈增长趋势,约582只。但近年来,随着人类放牧等活动的日益加剧,普氏原羚的栖息地受到了严重的破坏,普氏原羚数量呈缓慢下降的趋势。曾有报道,普氏原羚的野外种群数量不足600只,虽然实际的普氏原羚的数量多于600只,但也相差不大。正是普氏原羚数量如此稀少的报道引起了人们的关注,对普氏原羚的研究和保护越来越热。随着人们生态保护意识的提升和对普氏原羚研究调查的深入,已知的普氏原羚数量逐渐增多。海湖国家级自然保护区管理局每年进行种群数量的监测工作,通过多年的监测,普氏原羚种群数量大幅度增加,至2018年的8月份种群数量增加到2793只,2019年8月份调查数量达3000余只。

4.2 普氏原羚潜在栖息地模拟

物种分布模型主要是利用物种的分布数据与环境数据,依据特定算法估计物种的生态位,并投射到景观中,结果可以解释为物种出现的概率、生境适宜度或物种丰富度等。物种及其多样性和丰富度的地理分布取决于人们是否真正理解和认识它们的生态位,对量化物种分布和丰富度的环境因子的测量是加

强对物种生态位认识的重要一步。生态位是物种在群落内部位置的一个抽样特征，取决于促成物种进化的资源梯度在时空上的分布变化。基于生态位的大多数模型是靠一般植物、动物和生物多样性的研究发展而来。MaxEnt (maximum entropy)模型是基于为已知分布因素找到一个满足最大熵的概率分布。最大熵模型作为机器学习算法模型的一种，是目前应用最广泛、预测效果较好的物种分布模型之一。本研究采用最大熵模型对物种栖息地空间分布进行模拟。

普氏原羚分布数据来自于青海湖国家级自然保护区提供的空间分布数据(图 1)。该数据由青海湖国家级自然保护区管理局、国际野生动物保护学会(WCS)、北京山水自然保护中心(CI)、青海省林业局项目办经过多年进行了青海湖周边地区普氏原羚种群分布、种群数量、种群结构，繁殖状况、生态环境、行为、栖息地状况、栖息地致危因素、社区基本情况、走访牧民等多方面进行了调查和研究工作的结果。我们从当前栖息地分布图随机采样点 1000 个点作为物种出现点数据输入模型。物种分布点数据随机分为两部分,70%作为训练数据集(training data)用于建模,30%作为检验数据集(test data)用于模型评价。根据普氏原羚栖息地特点，输入模型的环境变量数据包括 bio1-bio19 生物气候变量(表 3)，坡度、距水源地距离、人类干扰指数、生长季最大植被指数、土壤有机碳含量，所有模型环境变量的空间分辨率统一为 30 米。

表 3. 19 个生物气候变量及其描述

生物变量	变量描述
Bio1	年均温 Annual Mean Temperature
Bio2	气温日较差 Mean Diurnal Range
Bio3	等温性 Isothermality
Bio4	温度季节性变动率 Temperature Seasonality
Bio5	最热月最高温 Max Temperature of Warmest Month

Bio6	最冷月最低温 Min Temperature of Coldest Month
Bio7	年温度变化范围 Temperature Annual Range
Bio8	最湿季平均温度 Mean Temperature of Wettest Quarter
Bio9	最干季平均温度 Mean Temperature of Driest Quarter
Bio10	最热季平均温度 Mean Temperature of Warmest Quarter
Bio11	最冷季平均温度 Mean Temperature of Coldest Quarter
Bio12	年降雨量 Annual Precipitation
Bio13	最湿月降水量 Precipitation of Wettest Month
Bio14	最干月降水量 Precipitation of Driest Month
Bio15	降雨量季节性变化 Precipitation Seasonality
Bio16	最湿季降水量 Precipitation of Wettest Quarter
Bio17	最干季降水量 Precipitation of Driest Quarter
Bio18	最热季降水量 Precipitation of Warmest Quarter
Bio19	最冷季降水量 Precipitation of Coldest Quarter

4.3 普氏原羚保护空缺

根据生态位模型模拟预测普氏原羚栖息地概率分布结果（图 3），并结合项目组两次实地考察、青海湖国家级自然保护区最新调查，我们发现普氏原羚在青海湖环湖周边地区的半沙漠化和芨芨草滩活动，这些区域成为普氏原羚来回往返觅食、交配繁殖、躲避天敌、家畜和人为干扰的重要场所。活动区域主要分布在“三州四县”，即海北州海晏县和刚察县、海西州天峻县以及海南州共和县。

研究结果显示，当前普氏原羚的栖息地面积约为 11 万 公顷，其中约 3.1 万公顷的普氏原羚栖息地被当前自然保护区所覆盖和保护，占当前栖息地总面积的

约 30%，这意味着普氏原羚栖息地大约 70% 目前没有得到自然保护区所保护(图 4)。未来的保护迫切需要扩大现有的自然保护区，建立新的保护地或建立迁移廊道以加强普氏原羚栖息地和各种群之间的景观连通性。研究显示，将来可作为普氏原羚潜在栖息地约为 8 万公顷，其中 2 万公顷已经在保护区内，因此未来可划为保护区的潜在栖息地约为 6 万公顷左右(图 4)。

具体来讲，普氏原羚在青海湖流域栖息地分布位于共和县元者区域(a1)、湖东一克图(a2)，位于海晏县的沙岛区域(a3)、甘子河铁路南(a4)、甘子河铁路北(a4)、塔列宣果区域(a5)；刚察县的哈尔盖铁路南(a5)、哈尔盖铁路北面(a6)、青海湖农场一分厂、鸟岛区域(a7)；天天峻县快尔玛区域(a8)、生格乡区域(a8)。共和县切吉(a9)，哇玉(a10)(图 5)。

4.4 普氏原羚的保护策略

保护濒危动物是一项集财力、物力、人力、时间、资金、政策措施和科研为一体的、而又十分艰巨的工作，需要采用法律、行政、经济和舆论的综合手段来完成。为了进一步建立健全保护制度，不断完善保护措施，继续做好普氏原羚保护工作，今后的主要保护策略包括：

4.4.1 进一步去除网围栏带刺、降低网围栏高度

在青海湖周边地区，牧民群众为了便于管理自家的牛羊，防止草山纠纷，在政府的支持下，牧民将各自的草场用网围栏圈了起来，并且在最上面加上了刺丝。草场上网围栏高度在 1.2 米到 1.5 米左右，网围栏成为阻碍普氏原羚在草原自由奔跑、觅食、繁衍生息的屏障。虽然保护区已经通过各种项目来降低普氏原羚栖息地的围栏高度以及去除围栏上的铁刺，但普氏原羚因为围栏而受伤甚至死亡，

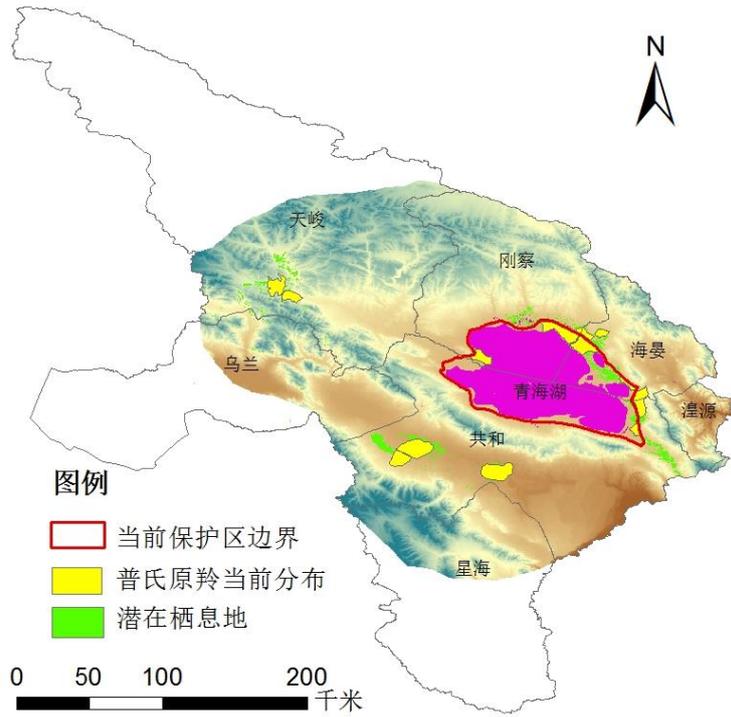


图 4. 普氏原羚栖息地当前分布及潜在栖息地分布格局

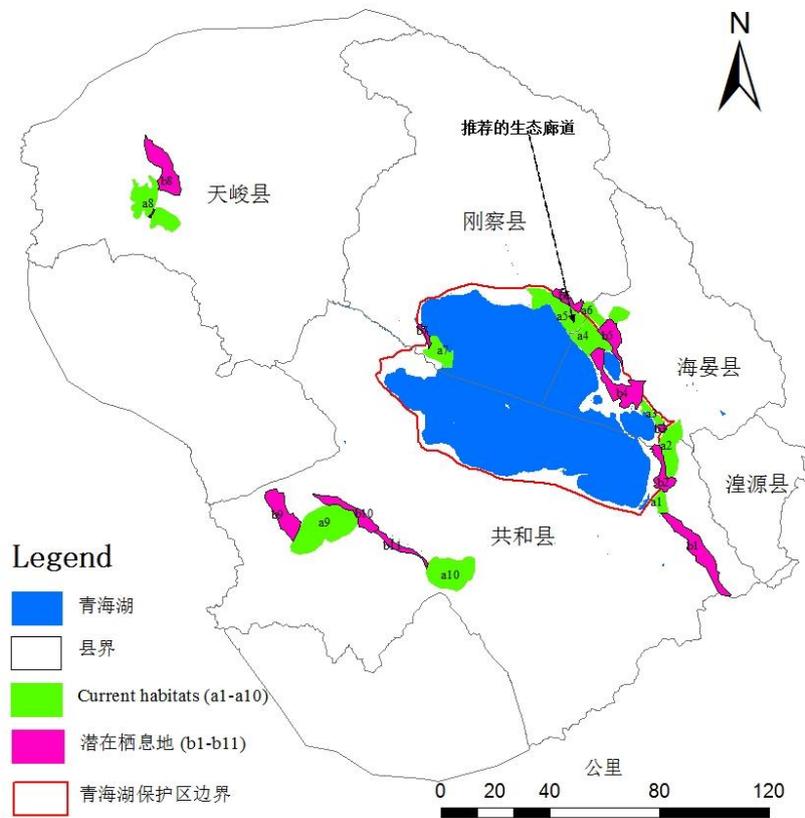


图 5. 普氏原羚当前和未来潜在栖息地分布格局

所以保护区将加大力度来降围去刺，最终的目标是拆除普氏原羚栖息地的围栏，增大普氏原羚的栖息地面积，更方便不同种群间的交流。

4.4.2 扩展自然保护区，增加保护潜在栖息地面积

预测模拟和实地调查发现：共和县元者区域(a1)可以适当增加栖息地；湖东一克图(a2)向东已经是沙漠区域，不可能扩展栖息地；位于海晏县的沙岛区域(a3)中的旅游隔离对栖息地产生很大的影响，需要重点考虑其对普氏原羚的影响；甘子河铁路南(a4)、甘子河铁路北(a4)、可以增加甘子河铁路北边的区域，南边下方现在已经是栖息地。刚察县城附近由于被铁路隔断，目前种群数量很少；共和县的哇玉区域(a10)可以适当考虑扩展栖息地，但由于干旱缺水，是一个巨大的限制因素；天天峻县快尔玛区域和生格乡区域(a8)草场很好，围栏很少，两条种群之间有一条干河，两种群之间并无交流，坡地可以成为栖息地，已经向上移动，未来可以充分利用，左下方由于被山背隔开，比较难成为栖息地。

4.4.3 增加栖息地连通性，促进种群之间基因更多交流

位于刚察县的哈尔盖铁路南、哈尔盖铁路北面 and 位于海晏县的甘子河铁路南、甘子河铁路北这四个种群的分布区虽然相邻，但由于铁路和围栏的阻隔，四个分布区域的种群是否能够合群尚无法确定，但这些区域将来应该设计廊道建设，尽可能加强栖息地的连通性，从而促进种群之间基因更多交流。此外，未来可考虑在位于湖东种羊场东部的湖东元者种群和位于湖东厂部东北部湖东种群之间建立廊道，因为两个区域相隔只有几公里，但通道建设必须达到一定的宽度，以便普氏原羚更好的迁移利用。

4.4.4 加强社区工作，完善补偿机制

普氏原羚的栖息地与社区牧民的牧场重叠性很大，要恢复普氏原羚的栖息地

难免会影响农牧民的利益，但为了普氏原羚的保护，一方面要加强农牧民的生态保护意识，缓解普氏原羚保护造成的冲突；另一方面完善生态补偿机制，减轻农牧民因生态保护所损失的经济利益，达到“保护与发展相统一”的最终目标。

4.4.5 开展普氏原羚濒危机制的相关研究

青海湖国家级自然保护区、各类高校和研究机构、各类保护组织已经对普氏原羚的分布状况与种群数量、主要栖息地的生境和受危因素等做了大量的科学研究，这对其栖息地保护具有很大的价值。针对普氏原羚未来的保护，建议对普氏原羚开展种群生存能力的研究、各类肠道疾病的研究以及其它种群内部的濒危机制的研究，这些内容将是未来的普氏原羚保护工作的方向和重点。

4.4.6 加强宣传力度, 增强保护意识

要使普氏原羚这个物种长久地繁衍下去，最重要的是要让保护普氏原羚的观念深入人心，让更多的人自觉加入到保护的队伍中来。所以是加强宣传力度，以多种不同形式进行宣传，使人们了解保护普氏原羚的重要性和必要性，提高人们参与普氏原羚保护的积极性和能动性，在社区进行环保教育工作，提高农牧民群众的环保意识。

第五章 雪豹保护空缺分析

5.1 引言

雪豹 (*Panthera uncia* 或 *Uncia uncia*, 英语: Snow leopard), 是一种重要的大型猫科食肉动物和旗舰种, 由于其常在雪线附近和雪地间活动, 故名“雪豹”。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。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。雪豹是高原地区的岩栖性的动物。经常在永久冰雪高山裸岩及寒漠带的环境中活动, 在祁连山 4500 米以下至 4100 米以上的山顶脊部, 在珠穆朗玛峰北坡 5400 米高的雪地上曾见雪豹的足迹。常栖于海拔 2500~5000 米高山上。夏季可在 3000~6000 米的高山上见到, 冬季多随着食物的迁徙而下降至 2000~3500 米。有的雪豹在冬季仍生活在 5000 米的高山上。雪豹并非全部都生活在海拔高的地方或是山上, 内蒙古包头以西约 10 公里的乌拉山 (最高仅 2185 米) 一带的雪豹常年是在 1000 米左右的环境中生活。也有居住在 600-500 米高的草原地带。

雪豹以岩羊、北山羊、盘羊等高原动物为主食, 也捕食高原兔、旱獭、鼠类等小动物以及雪鸡、马鸡、虹雉等鸟类, 在食物缺乏时也盗食家畜、家禽。其猎食往往采取伏击或偷袭的方法, 常在野羊活动地区附近隐藏, 其进食时一般先食腹部、内脏, 然后再吃肌肉, 最后食头。食时用前爪抓肉, 类似小猫, 并以臼齿撕裂咬食。为了猎食, 雪豹往往出去很远, 常按一定的路线绕行于一个地区。雪豹饱食后可以一个星期不进食。雪豹在袭击牧民的羊群时, 总是先悄悄地潜伏

在岩石峭壁的缝隙里，而且一次只猎杀一只。雪豹在食物短缺时也吃植物。

雪豹是中亚和南亚山地的特产，分部为斑状分布，分布面积广达 123 万平方公里，跨越中亚的 12 个国家，历史上也曾在缅甸有分布。具体而言，其分布于哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、塔吉克斯坦和吉尔吉斯斯坦等前苏联的中亚各国、蒙古、阿富汗、印度北部、尼泊尔、巴基斯坦、克什米尔等地，以及中国的西藏、四川、新疆、青海、甘肃、宁夏、内蒙等省区的高山地区，如喜马拉雅山、可可西里山、冈底斯山、天山、帕米尔高原、昆仑山、唐古拉山、阿尔泰山、阿尔金山、祁连山、贺兰山、阴山、乌拉尔山等等。在平原地区偶尔也有踪迹。

雪豹的栖息环境有 4 种，即高山裸岩、高山草甸、高山灌丛和山地针叶林缘。这 4 种生境均为岩羊出没之地，雪豹则以岩羊为主食，也食麝、狍、野兔等。（1）高山裸岩。一般海拔 4000 米以上，其中 4500 米以上为永久冰雪覆盖层，4100-4500 米为堆积成片的砾石和岩屑，4000 米附近有高山植物，如风毛菊、小蒿草等。夏季黄昏时，岩羊常来这里觅食，雪豹则随岩羊群活动，常埋伏以突然袭击方式捕食岩羊，咬其喉部使之死亡。（2）高山草甸。海拔 3700-4000 米，植物以藏蒿草占绝对优势，伴生种中，莎草和禾草数量较多。此地带为岩羊主要栖息场所，常可观察到岩羊与家畜混群在同一地点觅食。（3）高山灌丛。海拔 3400-3600 米，主要植物有山生柳、苔草等。冬季雪豹随岩羊多在此活动。（4）山地针叶林缘。海拔 3000-3300 米，阴坡以云杉为主，阳坡多为圆柏。冬春大雪以后，雪豹常随岩羊来此地带活动，有时由于饥饿，竟闯入羊圈盗食绵羊。

中国拥有全世界 60% 的雪豹适宜栖息地 (Jackson et al, 2013)，雪豹在中国被列为国家 I 级重点保护野生动物，在青海、甘肃、新疆、四川、宁夏、西

藏、云南等省（自治区）均有分布. 中国的雪豹保护对全球雪豹保护意义重大。过去 20 年来，中国的雪豹保护热度不断提升，有越来越多的民间力量自发参与其中，包括社会公众、民间组织、科研工作者以及当地社区等，在政府的主导下，有效补充了保护地资源与人力的不足。

5.2 雪豹潜在栖息地预测

雪豹栖息于高山地区，生活的海拔高度通常在 3000—4500 米，上下限可能达到 1000—5800 米。这些区域距离人类聚居区极为遥远，野外工作难度大、成本高。相对雪豹在西部和高山生态系统的关键地位来说，全社会在这个物种身上投入的关注和资源都显得很不足，远不足以支持一个大尺度分布的旗舰物种保护所需的资源。总体而言，雪豹基础数据缺乏是目前最大的问题。幸运的是，中国从 80 年代开始有些零星的调查，2000 年后才陆续有系统的调查和研究，但机构和从业人员极少；2008 年后才开始有多家机构共同关注，陆续对外发布或发表雪豹栖息地的调查数据或分布数据，这为较系统分析雪豹的保护工作奠定了基础。

表 4 青海省雪豹分布数据来源

数据来源	数据类型
刘沿江 等，2019，“在哪里”和“有多少”？中国雪豹调查与空缺，生物多样性，27（9）：919 - 931	雪豹密度或分布调查点数据
肖凌云 等，2019，三江源地区雪豹保护优先区规划，生物多样性，27（9）：943 - 950	三江源地区雪豹空间分布数据
Alexander et.al. A spotlight on snow leopard conservation in China. Integrative Zoology 2016; 11: 308 - 321	在中国的雪豹发现点数据
迟翔文 等，2019，三江源国家公园雪豹和岩羊生境适宜性分析，兽类学报，39（4），397-409.	雪豹发现点数据

Li et al., Defining priorities for global snow leopard conservation landscapes , Biological Conservation 241 (2020) 108387。	雪豹空间分布数据
全国濒危物种数据库	出现点数据

本研究主要采取文献收集，整理了当前发表的主要雪豹文献（表 4）。我们对不同来源的数据采用多种方法进行数字化，提取了雪豹空间分布点或面的数据。具体数字化的方法以下：（1）采用 R2V 数字化软件矢量化雪豹面状栖息地。Raster2Vector 5.x（R2V）是一种高级光栅图矢量化软件系统。该软件系统将强有力的智能自动数字化技术与方便易用的菜单驱动图形用户界面有机地结合到 Windows & NT 环境中，为用户提供了全面的自动化光栅图像到矢量图形的转换，可以处理多种格式的光栅（扫描）图像，是一个可以用扫描光栅图像为背景的矢量编辑工具。由于该软件的良好适应性和高精度度，其非常适合于 GIS、地形图、CAD 及科学计算等应用。（2）采用 GetData Graph Digitizer 提取文献中关于雪豹的分布点数据。它是一款非常好用和优秀的图像数字化软件，主要是将图像类文件数字化，通过像素的排布从而得到实际图像上实际点坐标，并输出需要的格式。最后，我们在面状数据上随机采用一些点的数据，结合文章中收集的点分布数据和全国濒危物种数据库关于雪豹的分布点数据，通过各种渠道，总共获得雪豹在青海省的出现点的数据 593 个点（图 6），我们以此作为雪豹栖息地模拟的基础数据。

我们仍采用国际上通用的最大熵模型 (MAXENT) 模拟了青海省雪豹主要栖息地分布。MAXENT 是把研究区所有像元作为构成最大熵的可能分布空间，将已知雪豹分布点的像元作为样点，根据样点像元的环境变量如气候变量、海拔、土壤类约束条件，探寻此约束条件下的最大熵的可能分布(即探寻与物种分布点的

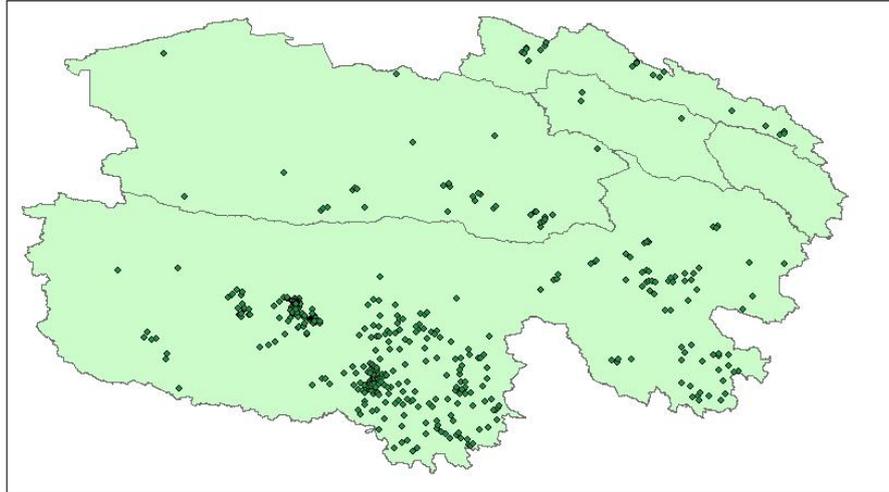


图 6. 青海省雪豹历史出现点空间分布格局图

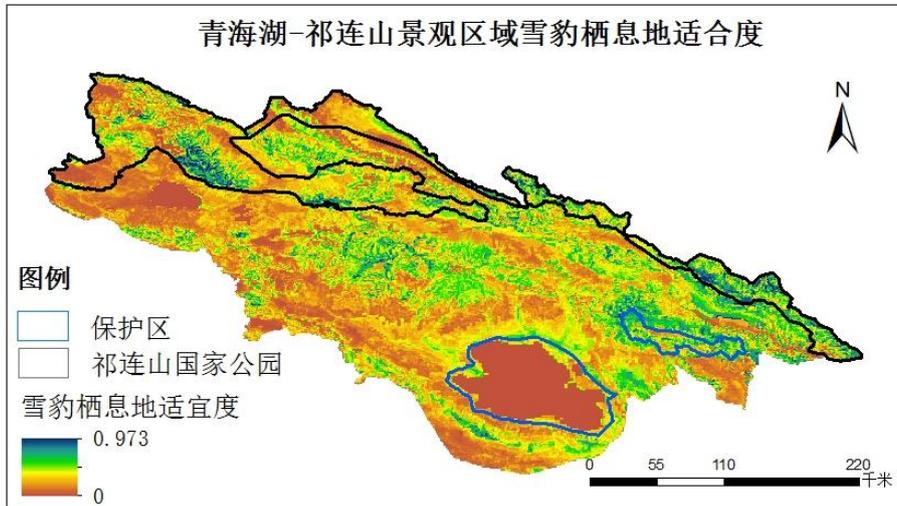


图 7. 青海湖-祁连山景观区域雪豹栖息地适宜度分布图

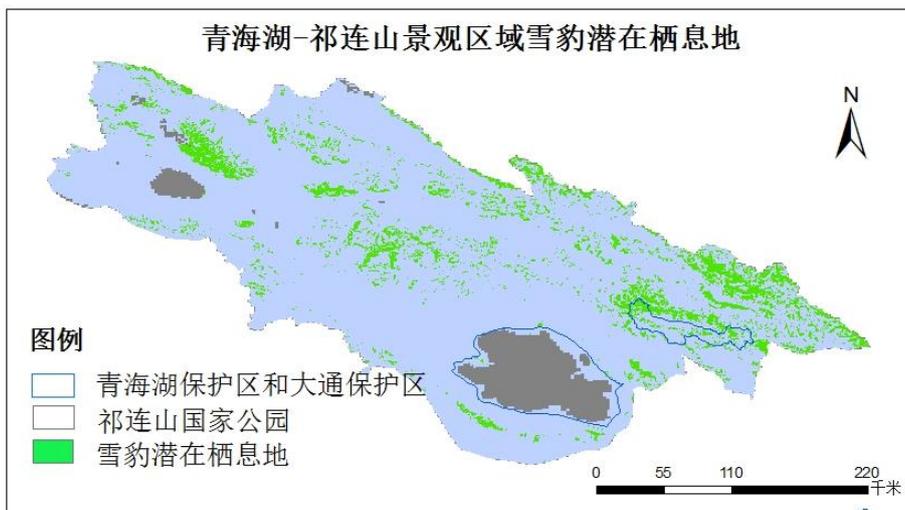


图 8. 青海湖-祁连山景观区域雪豹栖息地分布格局型、植被类型得出

环境变量特征相同的像元)，据此来预测物种在研究区的生境分布(Phillips et al., 2006)。运行模型时输入雪豹 593 个样本点分布数据和环境变量数据，分布点数据被随机分为两部分，70%作为训练数据集(training data)用于建模，30%作为检验数据集(test data)用于模型评价。输入的环境数据包括 bio1-bio19 生物气候变量(www.worldclim.com)，坡度、坡向、人类干扰指数、距水源地距离、植被分布等数据。

5.3 青海湖-祁连山雪豹分布格局

雪豹的生活习性人们还知之甚少，但它倾向于生活在气温较低、陡峭崎岖的高山上，模型模拟表明，雪豹的这些适宜栖息地在该区域呈现出碎片化分布状态，破碎化十分严重（图 7）。

本研究以通用的 0.5 作为物种分布概率阈值确定了雪豹栖息地空间分布格局（图 8）。本研究区选定面积为 6.5 万平方公里，模拟表明，其中适合雪豹栖息的区域约有 0.66 万平方公里，约占研究区的 10.3%。其中位于祁连山国家公园的雪豹栖息地约为 0.29 万平方公里，占该区域景观雪豹总栖息地 43.9%。当前青海湖保护区基本没有雪豹适宜栖息地存在。

5.4 青海湖-祁连山景观区雪豹保护策略

雪豹作为高山生态系统中的顶级捕食者，是中亚地区及青藏高原的旗舰物种。虽然当前该区域保护地内已经保护了近一半的栖息地，但这还不足以保护其重要的生存环境，因为该物种活动面积和范围非常大。青海是我国乃至全球雪豹分布最集中，种群密度最高的地区之一，也是雪豹保护优先地区，掌握青海省分布的

雪豹的种群数量、适宜生境和分布特征对雪豹保护及其重要。因此，未来的保护有必要针对目前雪豹种群其栖息地所面临的问题，以国家相关野生动物保护政策和法律法规为依据，开展切实可行的科学保护活动，恢复雪豹栖息地的原真性和完整性，使其种群逐步恢复和发展。

5.4.1 开展雪豹专项调查，

目前已有的调查大多是在局部区域开展，调查时间较短，一些历史分布点在近期调查中未发现雪豹存在，这些因素限制了对种群数量的可靠估计，种群数量无法准确掌握。因此，需要开展全方位的雪豹专项调查，以识别和填补青海雪豹调查、监测和保护的空缺，同时掌握不同季节雪豹的分布状况、种群密度及动态变化规律，准确的种群数量和规模。

5.4.2 系统评估雪豹栖息地空间分布

在雪豹专项调查及监测过程中，基于雪豹种群分布和密度调查结果，开展对雪豹的栖息地质量进行评价，掌握雪豹适宜栖息地的分布比例及范围。在此基础上根据不同分布地雪豹栖息地的质量，建立雪豹重要栖息地档案，实施有针对性的栖息地保护恢复工程。在雪豹分布的重点区域，对优质栖息地进行重点保护，加强雪豹种群的保护，减少对雪豹及其栖息地的干扰。

5.4.3 以国家公园建设为基础，规划设计保护廊道

未来该区域应以国家公园建设为基础，整合国家划定的自然保护区与民间保护地之间的功能，用国际标准的“雪豹景观”来界定雪豹栖息地的优先保护，并尽量调整或扩大当前自然保护区的核心区范围，扩大自然保护区核心区对雪豹栖息地的覆盖。同时，祁连山国家公园与青海湖区域之间存在很多雪豹潜在栖息地，未来应开展设计和建设保护廊道，优先考虑这些区域的雪豹栖息地，分析其生态

系统连通性、景观破碎程度，制定栖息地修复方案，因地制宜，采用以自然恢复为主、人工促进为辅的方法，开展受损栖息地修复，将这些破碎化的栖息地联接起来。同时，制定景观区域栖息地廊道联通方案，根据野生动物生存繁衍与扩散的生物学特征与生态需求，撤除保护区天然林保护工程的网围栏，引导牧民撤除或改造草场围栏。对被铁路、公路等隔离的雪豹、白唇鹿等野生动物迁移通道，利用不同地形地貌在关键节点留出专用通道，在隧道上方修复植被等，确保廊道有效可用。

5.4.4 以社区为基础，设立雪豹保护小区

雪豹栖息地的气候较为寒冷，初级生产力不发达，导致了食草类动物的密度并不高，这对雪豹的生存是一大威胁。可能未来再建立大的保护区有困难，所以大量的保护责任就落在了社区、当地政府身上。应当依靠当地政府和社区的力量，开展社区保护，适当设立雪豹保护小区，按照自然规律改善栖息地条件，扩大栖息地范围，维持生物多样性，扩大野外种群数量。

第六章 主要研究结果

本项目通过首先依据已有研究成果，结合专家咨询，初步确定了青海湖-祁连山景观区域 40 种重点珍稀濒危物种作为保护对象，其中包括 6 种国家一级保护物种。我们对普氏原羚和雪豹的保护空缺进行了单独分析。对于其它物种，我们依据已有研究成果发现，这些重点保护物种中，9 个物种的栖息地被当前保护区保护了 30%以上，24 个物种的栖息地被保护 20%以上，31 个物种栖息地被保护了 15%；34 个物种的栖息地被保护了 10%以上，4 个物种的栖息地被保护的比列小于 10%。据各个物种的保护目标，有 26 个物种已经达到物种的保护目标，有 11 个物种栖息地被保护的比列并没有达到应有的保护目标，需要在未来的保护规划中进行适当调整。

普氏原羚当前适栖息地面积为 11 万公顷，其中 3.1 万公顷的普氏原羚栖息地被保护区所保护，占当前栖息地总面积的 28.6%。未来需要扩大现有的自然保护区，建立新的保护地，或建立生态廊道以改善普氏原羚栖息地景观连通性。我们的模型模拟显示，未来可作为其栖息地约为 8 公顷，其中 2 万公顷已在保护区内，因此未来可划为保护区的潜在栖息地有 6 万公顷。这些潜在栖息地位于天峻县的快尔玛区域和生格乡，该区域草场较好，可以成为扩展栖息地区域；其次，共和县的哇玉区域可以适当考虑扩展栖息地；刚察县的哈尔盖铁路南、哈尔盖铁路北面和海晏县的甘子河铁路南、甘子河铁路北这四个分布区相邻，但由于铁路和围栏的阻隔，这些区域将来应该考虑廊道建设来加强栖息地的连通性。在未来保护普氏原羚的过程中，应当实施如下的保护策略：（1）进一步去除网围栏带刺、降低网围栏高度；（2）扩展自然保护区，增加保护潜在栖息地面积；（3）

增加栖息地连通性，促进种群之间基因更多交流；(4) 加强社区工作，完善补偿机制；(5) 开展普氏原羚濒危机制的相关研究；(6) 加强宣传力度，增强保护意识。

我们对雪豹的潜在栖息地模拟结果显示，青海湖-祁连山景观区域总面积约为 6.5 万平方公里，适合雪豹栖息的区域约有 0.66 万平方公里，占区域面积 10.3%，其中位于祁连山国家公园的雪豹栖息地约为 0.29 万平方公里，占 43.9%。虽然当前该区域国家公园内已经保护了近一半的雪豹栖息地，但这还不足以保护其重要的生存环境。未来保护雪豹的过程中，应当注重如下的保护策略：(1) 开展雪豹专项调查；(2) 系统评估雪豹栖息地空间分布；(3) 以国家公园建设为基础，规划设计保护廊道；(4) 以社区为基础，设立雪豹保护小区。

主要参考文献

- Alexander JS , Zhang C , Shi K , et al. A spotlight on snow leopard conservation in China[J]. *Integrative Zoology*, 2016, 11(4):308-321.
- Austin M. (2007) Species distribution models and ecological theory: a critical assessment and some possible new approaches. *Ecological Modelling*, **200**, 1–19.
- Bruner AG, Gullison RE, Rice RE, da Fonseca GAB (2001) Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. *Science*, **291**, 125–128.
- Butchart SHM, Stattersfield AJ, Bennun LA, Shutes S, Akçakaya HR, Baillie J, Stuart SN, Hilton-Taylor C, Mace GM. 2004. Measuring global trends in the status of biodiversity: Red List Indices for birds. *PLoS Biology* 2(12): e383.
- Chunlin L , Zhigang J , Hongxia F , et al. A Spatially Explicit Model of Functional Connectivity for the Endangered Przewalski's Gazelle (*Procapra przewalskii*) in a Patchy Landscape[J]. *Plos One*, 2013, 8(11):e80065-.
- De Almeida MC, Cortes LG, De Marco P (2010) New records and a niche model for the distribution of two Neotropical damselflies: *Schistolobos boliviensis* and *Tuberculobasis inversa* (Odonata: Coenagrionidae). *Insect Conservation and Diversity*, **3**, 252–256.
- Elith J, Graham CH, Anderson RP (2006) Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, **29**, 129–151.
- Elith J, Leathwick JR (2009) Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, **40**, 677–697.
- Fajardo J, Lessmann J, Bonaccorso E, Devenish C, Munoz J (2014) Combined Use of Systematic Conservation Planning, Species Distribution Modelling, and Connectivity Analysis Reveals Severe Conservation Gaps in a Megadiverse Country (Peru). *PLoS ONE* 9(12): e114367. doi:10.1371/journal.pone.0114367

- Farber O, Kadmon R (2003) Assessment of alternative approaches for bioclimatic modeling with special emphasis on the Mahalanobis distance. *Ecological Modelling*, **160**, 115–130.
- Fjeldsa J, Burgess ND, Blyth S, De Klerk HM (2004) Where are the major gaps in the reserve network for Africa's mammals? *Oryx*, **38**, 17–25.
- Guo Q, Liu Y (2010) ModEco: An integrated software package for ecological niche modeling. *Ecography*. **33**, 637-642.
- IUCN The World Conservation Union. 1994. Guidelines for Protected Area Management Categories. Gland (Switzerland): IUCN Commission on National Parks and Protected Areas.
- Lapola DM, Schaldach R, Alcamo J, Bondeau A, Koch J, Koelking C, Priess JA (2010) Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, **107**, 3388–3393.
- Loiselle BA, Howell CA, Graham CH, Goerck JM, Brooks T, Smith KG, Williams PH (2003) Avoiding pitfalls of using species distribution models in conservation planning. *Conservation Biology*, **17**, 1591–1600.
- Li RQ, Tian HD, Li XH (2010) Climate change induced range shifts of Galliformes in China. *Integrative Zoology*, **1**, 153-162.
- Li RQ, Ryan P (2018). Proposed biodiversity conservation areas: gap analysis and spatial prioritization on the Qinghai Plateau, China. *Nature Conservation*, **24**, 1–20.
- Zhang L, Liu J, Wang D, et al. Distribution and population status of Przewalski's gazelle, *Procapra przewalskii* (Cetartiodactyla, Bovidae)[J]. *Mammalia*, 2013, 77(1).
- Margules CR, Pressey RL (2000) Systematic conservation planning. *Nature*, **405**, 243–253.
- Marini MA, Barbet-Massin M, Martinez J, Prestes NP, Jiguet F (2010) Applying ecological niche modelling to plan conservation actions for the Red-spectacled Amazon (*Amazona pretrei*). *Biological Conservation*, **143**, 102–112.
- O'Dea N, Araújo MB, Whittaker RJ (2006) How well do Important Bird Areas represent species and minimize conservation conflict in the tropical Andes?

- Diversity and Distributions*, **12**, 205–214.
- Orme CDL, Davies RG, Burgess M, Eigenbrod F, Pickup N, Olson VA, Webster AJ, Ding TS, Rasmussen PC, Ridgely RS, Stattersfield AJ, Bennett PM, Blackburn TM, Gaston KJ, Owens IPF (2005) Global hotspots of species richness are not congruent with endemism or threat. *Nature*, **436**, 1016–1019.
- Pearson RG, Raxworthy CJ, Nakamura M, Peterson AT (2007) Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, **34**, 102–117.
- Peterson AT, Papes M, Eaton M (2007) Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and Maxent. *Ecography*, **30**, 550–560.
- Phillips SJ, Dudik M (2008) Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, **31**, 161–175.
- Rodrigues ASL, Akçakaya HR, Andelman SJ, Bakarr MI, Boitani L, Brooks TM (2004) Global gap analysis: Priority regions for expanding the global protected-area network. *BioScience*, **54**: 1092–1100.
- Rodrigues ASL, Tratt R, Wheeler BD, Gaston KJ (1999) The performance of existing networks of conservation areas in representing biodiversity. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, **266**, 1453–1460.
- Sanchez-Azofeifa GA, Daily GC, Pfaff ASP, Busch C (2003) Integrity and isolation of Costa Rica's national parks and biological reserves: examining the dynamics of land-cover change. *Biological Conservation*, **109**, 123–135.
- Soberon J (2007) Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters*, **10**, 1115–1123.
- Soberon J, Peterson AT (2005) Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*, **2**, 1–10.
- Zhang ZJ, He JS, Li JS, Tang ZY (2015) Distribution and conservation of threatened plants in China. *Biological Conservation*, **192**, 454–460.
- 艾科拜尔·木哈塔尔, 热木图拉·阿卜杜克热木, 马合木提·哈力克. 基于生态位模

- 型的艾比湖国家级自然保护区马鹿生境评价[J]. 生态学报, 2017(11): 3919-3925.
- 董逵才. 普氏原羚保护面临的问题与对策[J]. 青海环境, 2016(2 期):79-82.
- 曹铭昌, 刘高焕, 单凯,等. 基于多尺度的丹顶鹤生境适宜性评价——以黄河三角洲自然保护区为例[J]. 生物多样性, 2010(03):283-291.
- 迟翔文, 江峰, 高红梅,等. 三江源国家公园雪豹和岩羊生境适宜性分析[J]. 兽类学报, 2019, 039(004):397-409.
- 高俊琴, 郑姚闽, 张明祥,等. 长江中游生态区湿地保护现状及保护空缺分析[J]. 湿地科学, 2011, 09(001):42-46.
- 顾垒, 闻丞, 罗玫,等. 中国最受关注濒危物种保护现状快速评价的新方法探讨[J]. 生物多样性, 2015(05):583-590.陈雅涵, 唐志尧, 方精云. 中国自然保护区分布现状及合理布局的探讨[J]. 生物多样性, 2009(06):138-148.
- 蒋志刚, 蔡平. 普氏原羚的历史分布与现状[J]. 兽类学报, 1995, 015(004):241-245.
- 蒋志刚, 李迪强, 王祖望, 等. 青海湖地区普氏原羚的种群结构[J]. 动物学报, 2001.
- 蒋明康, 王智, 秦卫华,等. 我国自然保护区内国家重点保护物种保护成效评价[J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(004):35-38.
- 李迪强, 蒋志刚, 王祖望. 青海湖地区生物多样性的空间特征与 GAP 分析[J]. 自然资源学报, 1999(01):48-55.
- 李迪强, 林英华, 陆军. 尤溪县生物多样性保护优先地区分析[J]. 生态学报, 2002(08):1315-1322.
- 李迪强, 蒋志刚, 王祖望. 人类活动对普氏原羚分布的影响[J]. 生态学报, 1997, 19(6):890-895.
- 李迪强, 蒋志刚,王祖旺. 普氏原羚的活动规律与生境选择[J]. 兽类学报, 19(1).
- 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.
- 李小雨, 肖凌云, 梁旭昶,等. 中国雪豹的威胁与保护现状[J]. 生物多样性, 2019, 27(9).
- 廖炎发. 青海雪豹地理分布的初步调查[J]. 兽类学报, 1985, 5(3):183-188.

- 刘沿江, 李雪阳, 梁旭昶,等. "在哪里"和"有多少"? 中国雪豹调查与空缺[J]. 生物多样性, 2019, 27(9).
- 栾晓峰, 黄维妮, 王秀磊, et al. 基于系统保护规划方法东北生物多样性热点地区和保护空缺分析[J]. 生态学报, 2009(01):148-154.
- 马克平. 中国生物多样性热点地区评估与优先保护重点的确定应该重视[J]. 植物生态学报, 2001, 25(1):125-125.
- 马鸣, 徐峰, 程芸(2013) 新疆雪豹. 科学出版社, 北京
- 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.
- 曲艺, 王秀磊, 栾晓峰,等. 基于不可替代性的三江源地区自然保护区评估及空缺分析[J]. 林业科学, 2012, 48(006):24-32.
- 唐小平. 中国自然保护区网络现状分析与优化设想[J]. 生物多样性, 2005, 13(1).
- 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 unica*)的研究. 生物多样性, 25, 62–70.
- 王秀磊, 李迪强, 吴波,等. 青海湖东-克图地区普氏原羚生境适宜性评价[J]. 生物多样性, 2005(03):37-44.
- 王光明. 青海天峻普氏原羚生存环境调查[J]. 中国兽医杂志, 2012, 048(001):93-94.
- 闻丞, 顾垒, 王昊,等. 基于最受关注濒危物种分布的国家级自然保护区空缺分析[J]. 生物多样性, 2015(05):591-600.
- 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.
- 肖凌云, 程琛, 万华伟,等. 三江源地区雪豹保护优先区规划[J]. 生物多样性, 2019, 27(9).
- 徐卫华, 欧阳志云, 蒋泽银,等. 大相岭山系大熊猫生境评价与保护对策研究[J]. 生物多样性, 2006, 14(003):223-231.
- 徐峰, 马鸣, 殷守敬, MunkhtsogB (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
- 游章强, 蒋志刚, 李春旺,等. 草原围栏对普氏原羚行为和栖息地面积的影响[J].

科学通报, 2013(16):99-106.

佚名. 普氏原羚保护区建立与社区不同收入牧民群体的关系分析[J]. 山西农业大学学报(社会科学版)(6):569-572.

赵广华, 田瑜, 唐志尧,等. 中国国家级陆地自然保护区分布及其与人类活动和自然环境的关系[J]. 生物多样性, 2013(06):658-665.

张于光, 李迪强, Charlotte Hacker,等. 三江源和祁连山国家公园雪豹种群的遗传结构分析[J]. 兽类学报, 2019, 039(004):442-449.

张耀南, 罗立辉, 汪洋,等. 基于空间建模语言的普氏原羚生存能力模型的构建[J]. 地理与地理信息科学, 2008, 024(006):25-29.