

# 贺兰山岩羊的数量与分布

刘振生<sup>①②</sup> 王小明<sup>②③\*</sup> 李志刚<sup>④</sup> 翟昊<sup>④</sup> 胡天华<sup>④</sup>

(①东北林业大学野生动物资源学院 哈尔滨 150040;②华东师范大学生命科学学院 上海 200062;

③华东师范大学上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室 上海 200062;

④宁夏贺兰山国家级自然保护区管理局 银川 750021)

**摘要:** 2003年11~12月,采用样线调查法对贺兰山东坡(宁夏贺兰山国家级自然保护区)和西坡(内蒙古贺兰山国家级自然保护区)境内岩羊(*Pseudois nayaur*)种群的数量与分布进行了调查。共记录岩羊实体141群746只。在宁夏贺兰山国家级自然保护区和内蒙古贺兰山国家级自然保护区范围内均有岩羊分布,但东坡岩羊的平均群大小为6.03只,西坡为3.24只;东坡的遇见率为0.32只/km,西坡的遇见率为0.19只/km。卡方检验表明,贺兰山东、西坡的平均群大小和遇见率均存在极显著差异,东坡是岩羊的主要分布区。利用DISTANCE 5.0软件估计贺兰山东坡岩羊的密度为5.144只/km<sup>2</sup>,种群数量为10 611只;西坡的密度为2.532只/km<sup>2</sup>,种群数量为1 714只;整个贺兰山地区岩羊的估计密度是4.445只/km<sup>2</sup>,种群数量为12 178只。

**关键词:** 岩羊;分布;数量;密度;贺兰山

中图分类号:Q958.12 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2007)03-01-08

## Distribution and Abundance of Blue Sheep in Helan Mountains, China

LIU Zhen-Sheng<sup>①②</sup> WANG Xiao-Ming<sup>②③\*</sup> LI Zhi-Gang<sup>④</sup> ZHAI Hao<sup>④</sup> HU Tian-Hua<sup>④</sup>

(① College of Wildlife Resources, Northeast Forestry University, Harbin 150040;

② School of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200062;

③ Shanghai Key Laboratory of Urbanization & Ecological Restoration, East China Normal University, Shanghai 200062;

④ Helan Mountain National Nature Reserve of Ningxia, Yinchuan 750021, China)

**Abstract:** The distribution and abundance of Blue Sheep, *Pseudois nayaur* were conducted across the whole region of Ningxia and Inner-Mongolia Helan Mountain Nature Reserves from December to November 2003. Totally 32 transects were surveyed and recordation on angle and distance from the point of animals to the transect line were recorded, as well as group size whenever they were observed. We employed Distance software to estimate the population abundance. Totally 746 Blue Sheep in 141 groups were observed in the whole study area, including Ningxia Helan Mountain National Nature Reserve (east slope) and Inner-Mongolia Helan Mountain National Nature Reserve (west slope). However Blue Sheep was not distributed evenly in the two reserves. There were significant differences in mean group size (6.03 vs. 3.24 ind.) and encounter rate (0.32 vs. 0.19 sheep/km) between east slope and west slope. Population density at the east slope was 5.144 ind./km<sup>2</sup> and 2.532 ind./km<sup>2</sup> in west slope. The abundance of Blue Sheep in the study area was estimated 12 178 with a density of 4.445 sheep/km<sup>2</sup>, among them 10 611 in the east slope.

基金项目 国家自然科学基金(No. 30470231、30670309), 中国博士后科学基金(No. 2005037496), 教育部跨世纪优秀人才培养计划, “十五”211工程“重点学科建设子项目”, 东北林业大学优秀青年教师创新项目资助计划和宁夏回族自治区林业局自选课题(2004-01);

\* 通讯作者, E-mail: xmwang@ecnu.edu.cn;

第一作者介绍 刘振生,男,副教授,博士,主要从事动物生态学研究; E-mail: zhenshengliu@163.net.

收稿日期: 2007-03-08, 修回日期: 2007-04-02

and 1 714 in the west slope expectedly.

**Key words** :Blue Sheep (*Pseudois nayaur*); Distribution; Abundance; Density; Helan Mountains

贺兰山是岩羊(*Pseudois nayaur*)集中分布的一个重要区域,也是岩羊分布区的最北缘<sup>[1]</sup>。自20世纪80年代以来由于保护力度不断加大,贺兰山岩羊一直呈现稳定增长的趋势<sup>[2]</sup>,一些学者利用盛和林等<sup>[3]</sup>的公式对贺兰山岩羊不同时期的数量进行了估计,得出1983年贺兰山岩羊的数量为1 470~1 770只<sup>①</sup>,1997年为5 324.82~9 509.82只<sup>[2]</sup>。吕海军等<sup>[4]</sup>1997~2000年对宁夏贺兰山国家级自然保护区中300 km<sup>2</sup>德国援助项目区内的岩羊数量进行了连续监测,得出这4年项目区内岩羊的数量分别为2 400~5 364只、1 269~2 703只、2 634~4 722只和2 619~4 905只,据此,他们认为贺兰山岩羊并没有呈逐年递增趋势,说明岩羊种群总数维持在一个稳定的水平,岩羊数量已经达到了环境容纳量。上述种群调查的数据分析均采用平均垂直距离作为有效样带宽度的方法,因此很可能高估种群的数量。

贺兰山周围被沙漠、城市和河流(黄河)所阻断<sup>[5]</sup>,该地区岩羊种群数量的变动不受迁入和迁出的影响,只与出生率和死亡率有关。准确掌握贺兰山岩羊的分布和种群数量,对保护区有效地管理岩羊种群非常重要。为此,我们于2003年11~12月采用样线法对贺兰山岩羊的分布和种群数量进行了调查,并使用DISTANCE软件<sup>②</sup>处理和分析数据。DISTANCE软件估计动物种群密度和95%的置信区间是通过探测函数 $g(x)$ ,垂直距离为 $x$ 处动物或动物群被发现的概率<sup>[6]</sup>得到的,而 $g(x)$ 是估计 $f(0)$ 的基础。 $g(x)$ 通过2个步骤获得,首先是建立一个关键函数(key function),包括4种统计分布,即均匀分布(uniform)、半正态分布(half-normal)、风险率(hazard-rate)和负指数分布(negative exponential)。而后利用级数展开(series expansion)调整上述关键函数,这些级数展开包括余弦(cosine)、简易多项式(simple polynomial)和赫米顿多项式(Hermite

polynomial)。根据爱氏信息准则(Akaike's Information Criterion, AIC)进行判断,以AIC值最小的模型作为探测函数<sup>[6~11]</sup>。由于该软件比以平均垂直距离作为样带宽度的方法更为合理,因此近年来在我国的野生动物数量调查中得到越来越广泛的应用<sup>[12~15]</sup>。

## 1 研究地区自然概况

贺兰山位于银川平原和阿拉善高原之间(北纬38°21'~39°22',东经105°44'~106°42'),呈南北走向,南北长约250 km,东西宽约20~40 km,海拔一般为2 000~3 000 m,主峰鄂博疙瘩海拔3 556.1 m。由宁夏贺兰山国家级自然保护区(面积为2 062.7 km<sup>2</sup>)和内蒙古贺兰山国家级自然保护区(面积为667.1 km<sup>2</sup>)组成。有关贺兰山的气候条件、植被分布、地理特征等见王小明等<sup>[16]</sup>。

## 2 研究方法

**2.1 野外调查** 调查工作在2003年11~12月进行。该期间不仅可以避开岩羊的交配期(12月初到翌年1月初)<sup>[17]</sup>,而且比较容易观察到岩羊的实体。根据贺兰山基本上为南北走向的实际情况,分别在贺兰山东坡(宁夏贺兰山国家级自然保护区)设置23条长度不等的样线,总长度366.9 km;在贺兰山西坡(内蒙古贺兰山国家级自然保护区)设置9条样线,总长度129.3 km。本次调查设置的样线总长度为496.2 km(图1)。由于贺兰山地形复杂、山势陡峭<sup>[18]</sup>,无法保证样线的随机性。但是,本研究最大限度地保证调查样线从北向南均匀分布(图1),以减少人为设置样线带来的误差。调查中调查人

① 宁夏回族自治区林业局森林资源保护处,宁夏贺兰山国家级自然保护区管理局。宁夏贺兰山国家级自然保护区综合考察,2002。

② Thomas L. Jaake, J. L. Strindberg, S. et al., Distance 5.0 release "x" 5 research unit for wildlife population assessment, University of St. Andrews, UK. <http://www.ruwpa.st-and.ac.uk/distance/>, 2005.

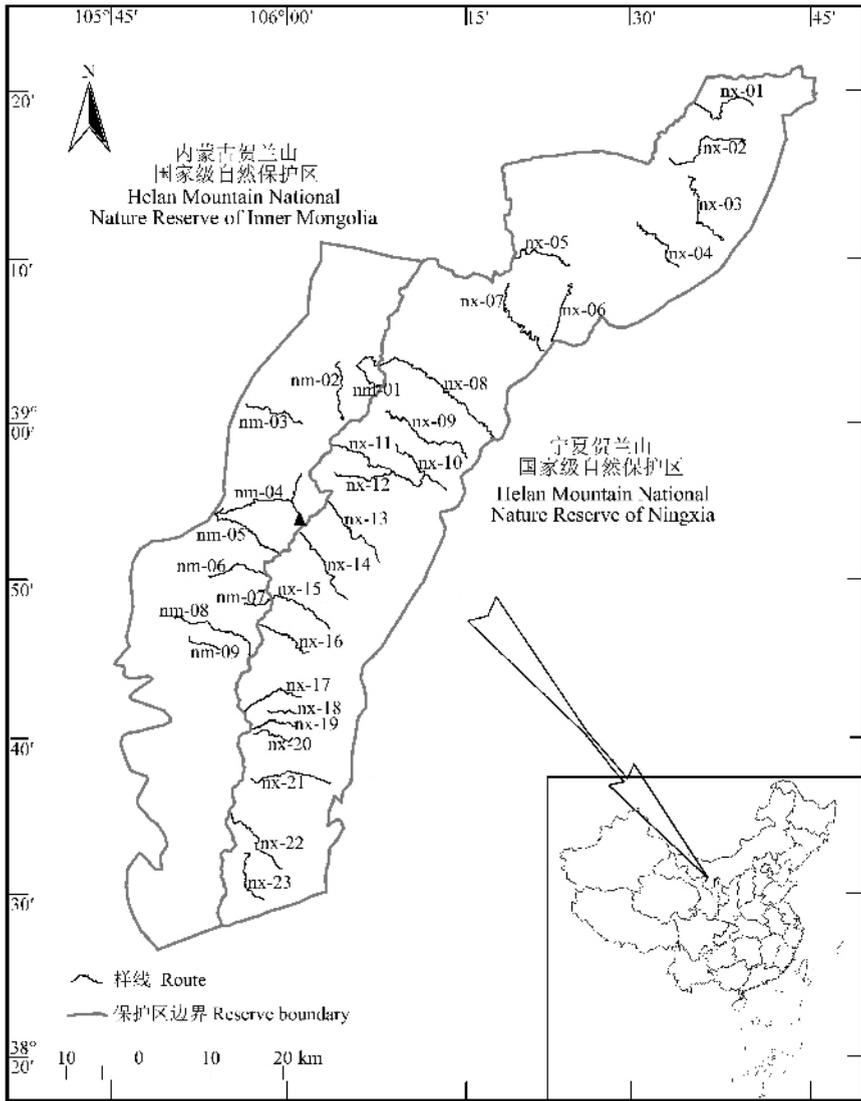


图 1 贺兰山野外调查区域及样线分布

Fig. 1 Study area and location of survey routes

nx: 宁夏贺兰山国家级自然保护区; nm: 内蒙古贺兰山国家级自然保护区; nx-01 柳条沟; nx-02 道路沟; nx-03 红果子沟; nx-04 大王泉沟; nx-05 麻蒿沟; nx-06 韭菜沟; nx-07 鬼头沟; nx-08 乳箕沟; nx-09 小水沟; nx-10 大水沟北沟; nx-11 大水沟中沟; nx-12 大水沟南沟; nx-13 插旗沟; nx-14 贺兰沟; nx-15 苏峪口沟; nx-16 白寺沟; nx-17 黄旗沟; nx-18 小口子沟; nx-19 大口子沟; nx-20 独石沟; nx-21 甘沟; nx-22 榆树沟; nx-23 大窑沟; nm-01 三道门沟; nm-02 小乱柴沟; nm-03 北寺沟; nm-04 哈拉乌北沟; nm-05 哈拉乌南沟; nm-06 后沟; nm-07 强岗岭沟; nm-08 镇木关沟; nm-09 雪岭子沟。

nx: Helan Mountain National Nature of Ningxia; nm: Helan Mountain National Nature of Inner Mongolia; nx-01 :Liutiaogou; nx-02 :Daolugou; nx-03 :Hongguozigou; nx-04 :Dawangquangou; nx-05 :Mahaogou; nx-06 :Jiucaigou; nx-07 :Guitougou; nx-08 :Rujigou; nx-09 :Xiaoshuigou; nx-10 :Dashuigoubegou; nx-11 :Dashuigouzhongguo; nx-12 :Dashuigouanangou; nx-13 :Chaqigou; nx-14 :Helangou; nx-15 :Suyukougou; nx-16 :Baisigou; nx-17 :Huangqigou; nx-18 :Xiaokouzigou; nx-19 :Dakouzigou; nx-20 :Dushigou; nx-21 :Gangou; nx-22 :Yushugou; nx-23 :Dayaogou; nm-01 :Sandaomengou; nm-02 :Xiaoluanchaigou; nm-03 :Beisigou; nm-04 :Halawubeigou; nm-05 :Halawunangou; nm-06 :Hougou; nm-07 :Qiangganglinggou; nm-08 :Zhenmuguangou; nm-09 :Xuelingzigou。

员按约 1.5 ~ 2.5 km/h 的速度行走,用 8 × 32 倍 Kowa 双筒望远镜观察样线两侧的岩羊。由于岩羊是集群活动的食草有蹄类<sup>[19-27]</sup>,因此以群为单位统计发现岩羊的次数,同时记录每个群内的个体数量。使用 BUSHNELL YARDAGE PRO 1000 型激光测距仪测量岩羊与观察者之间的距离,使用 65 式军用罗盘仪测定样线前进方向与岩羊之间的夹角,将观测距离和夹角转换为垂直距离。

为了解贺兰山岩羊的分布情况,利用全球卫星定位仪(GPS)定位在样线上发现的岩羊实体、粪迹、足迹和卧迹,标注在比例尺为 1:50 000 的地图上。并乘坐汽车沿宁夏贺兰山国家级自然保护区和内蒙古贺兰山国家级自然保护区的边界进行同样的调查,以确定岩羊的分布范围。

**2.2 数据分析** 研究野生动物的分布和种群数量,对野生动物的保护、管理和合理开发利用具有极其重要的指导意义<sup>[3,28]</sup>,因此如何准确掌握野生动物的分布和数量就显得尤为重要。盛和林等<sup>[3]</sup>认为样线法是在大范围内估计野生动物种群密度的优良方法之一,提出了以平均垂直距离作为有效样带宽度来计算种群密度的公式,这一公式已被我国学者广泛使用<sup>[2,4,29,30]</sup>。然而 Harris 等<sup>[6]</sup>认为该公式往往会高估种群密度,建议使用 DISTANCE 软件<sup>①</sup>调查野生动物种群密度。

利用 DISTANCE 5.0 软件<sup>①</sup>估计贺兰山岩羊种群的密度,实验设计和数据分析依据 Buckland 等<sup>[7-9]</sup>的方法。种群密度的计算公式如下:

$$D = \frac{n f(0) E(s)}{2L}$$

其中,  $D$  是种群密度,即每平方公里岩羊的个体数量,  $n$  为观察到岩羊群体的数量,  $f(0)$  为垂直距离等于零的概率密度函数,  $E(s)$  为群的大小,  $L$  为样线的总长度。

利用卡方检验分析贺兰山东、西坡观测岩羊实体的平均群大小和遇见率是否存在显著差异。

### 3 结果

**3.1 贺兰山岩羊的分布** 在 32 条样线中(图 1),有 25 条发现了岩羊(封面图片)的实体,而在大窑沟、麻蒿沟、红果子沟、道路沟、柳条沟、后沟和北寺沟没有发现岩羊的实体,但都发现了岩羊的粪便、足迹、卧迹等活动痕迹,表明在调查的 32 条样线中均有岩羊分布。乘车沿宁夏贺兰山国家级自然保护区和内蒙古贺兰山国家级自然保护区的边界进行调查,沿途也均发现了岩羊的活动痕迹。由于宁夏贺兰山国家级自然保护区于 2001 年 3 月已经将全部家畜迁出保护区,而内蒙古贺兰山国家级自然保护区的边界更是被铁丝网包围,因此本次调查不存在将家羊的活动痕迹与岩羊活动痕迹混淆的情况。上述结果表明岩羊在 2 个保护区范围内均有分布。

岩羊在贺兰山并不是均匀分布的,在贺兰山东坡岩羊主要分布于榆树沟至乳箕沟之间的大小沟谷内,每条样线共记录实体 2 ~ 23 群, 4 ~ 175 只,其中苏峪口最多,为 23 群 175 只;贺兰山西坡主要分布于镇木关沟、强岗岭沟、哈拉乌南沟、哈拉乌北沟、小乱柴沟和三道门沟,每条样线记录实体 2 ~ 8 群, 3 ~ 45 只,其中哈拉乌北沟最多,为 8 群 45 只。

**3.2 贺兰山岩羊的数量** 本次调查共记录岩羊实体 141 群 746 只,其中贺兰山东坡 115 群 663 只,西坡 26 群 83 只;贺兰山东坡的平均群大小为 6.03 只,西坡为 3.24 只;贺兰山东坡的遇见率为 0.32 只/km,西坡的遇见率为 0.19 只/km(表 1)。卡方检验表明贺兰山东、西坡的平均群大小( $\chi^2 = 68.37$ ,  $df = 8$ ,  $P < 0.001$ )和遇见率( $\chi^2 = 184.52$ ,  $df = 8$ ,  $P < 0.001$ )均存在极显著差异。

将探测函数右侧末端 5% 的数据进行右截断(right-truncation),从而消除了距离样线最远的一部分观测值。从探测函数中垂直距离的直

<sup>①</sup> Thomas L. Laake, J. L. Strindberg, S. et al., Distance 5.0 release "x" 5 research unit for wildlife population assessment, University of St. Andrews, UK. <http://www.ruwpa.st-and.ac.uk/distance/>, 2005.

方图(图 2)可以看出在 200 m 内岩羊被记录的概率较大,这表明在距离样线较近的地方能够观测到大部分岩羊实体。随着观测距离的增加,探测函数也迅速降低,观测到岩羊实体的机

会减少。半正态分布和风险率两个模型是拟合观测距离和发现岩羊概率效果最佳的模型(表 2)。

根据最小的 AIC 值,我们估计 2003 年冬季贺兰山东坡岩羊的密度为 5.144 只/km<sup>2</sup>,种群数量为 10 611 只;而西坡的密度为 2.532 只/km<sup>2</sup>,种群数量为 1 714 只。整个贺兰山地区岩羊的估计密度是 4.445 只/km<sup>2</sup>,种群数量是 12 178 只(表 2)。

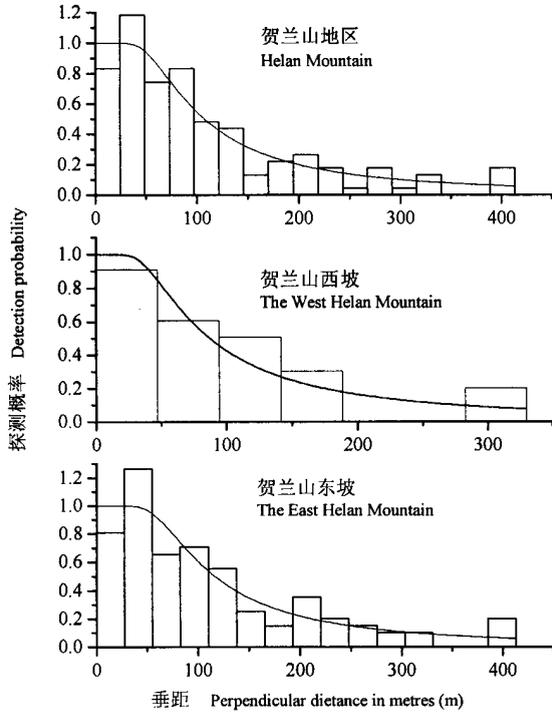


图 2 垂直距离的直方图及探测函数

Fig. 2 Histogram of perpendicular distance data and detection probability function

表 1 样线数量、长度及观测岩羊的基本参数

Table 1 Sampling number length and parameters of Blue Sheep observed

研究地区 Study area	贺兰山东坡 The north Helan Mountain	贺兰山西坡 The west Helan Mountain	贺兰山地区 Helan Mountain
样线数 No. of routes	23	9	32
样线总长度 Total length ( km )	336.85	132.31	469.16
观测群数 No. of groups observed	115	26	141
观测个体数 Total No. observed	663	83	746
群大小 Group size	6.03	3.24	5.29
95% 置信区间 95% confidence interval	4.25 ~ 8.54	1.78 ~ 5.89	3.86 ~ 7.26
遇见率 Encounter rates	0.32	0.19	0.30

表 2 DISTANCE 软件估计的贺兰山岩羊密度和数量

Table 2 Estimated density and abundance of Blue Sheep using DISTANCE in Helan Mountains

研究地区 Study area	贺兰山东坡 The north Helan Mountain		贺兰山西坡 The west Helan Mountain	贺兰山地区 Helan Mountain	
模型 Model ( key + adjustment )	Half-normal + Cosine	Hazard-rate + Cosine	Hazard-rate + Cosine	Half-normal + Cosine	Hazard-rate + Cosine
爱氏信息准则 AIC	1 238.61	1 236.22	277.44	1 514.71	1 512.11
参数 No. of parameters	2	2	2	2	2
密度 Density ( sheep/km <sup>2</sup> )	5.284	5.144	2.532	4.482	4.445
95% 密度置信区间 95% confidence interval for density	2.592 ~ 10.770	2.480 ~ 10.671	1.074 ~ 5.969	2.482 ~ 8.092	2.406 ~ 8.212
数量 Number of individuals	10 898	10 611	1 714	12 279	12 178
95% 数量置信区间 95% confidence interval for abundance	5 347 ~ 22 215	5 115 ~ 22 010	727 ~ 4 042	6 800 ~ 22 171	6 592 ~ 22 499
协方差 CV ( % )	36.0	37.1	44.6	30.0	31.3

### 4 讨论

**4.1 研究方法的可靠性分析** 在野外,利用样线法获得可靠的密度估计必须满足 3 个最重要的假设:①样线是随机的,或者至少是客观选定的;②在观察者测出距离之前,观测目标(动物或动物群)不会有远离样线或靠近样线的移动;③观测目标到样线的距离可以准确测定<sup>[6-9,28]</sup>。然而在野外条件下,要想满足这些重要假设是非常困难的。研究中尽量增加调查方法的可靠性和准确性,在研究地区,样线沿山脊设置,覆盖了更多的面积,并且可以最大限度地观测到岩羊的个体(或群),因而获得了较大的样本量(表 1)。此外,贺兰山地区典型的干旱-半干旱山地植被群落,可视性较好,而且岩羊很少栖息在森林中<sup>[20,22,23,31,32]</sup>,减少了估计的偏差。在实际野外调查中,尽量做到不发出声音,注意脚下的碎石,在前进路线上遇到遮蔽物或样线转弯的地方,先躲在隐蔽处对前方及周围进行观察,以减少岩羊被惊动的可能。但是,调查中还是听到岩羊逃走时踩落的岩石滚动的声音,显然有一些岩羊个体(或群)没有被记录到。因此,本文对贺兰山岩羊数量和密度的估计结果是偏低的。

**4.2 贺兰山岩羊的种群动态** 从 1983~2000 年,对贺兰山岩羊种群的长期监测表明,最近 20 年岩羊的数量迅速增加<sup>[2,4]</sup>,我们的研究结果表明贺兰山岩羊的数量还在增加(表 2)。与 1983 年<sup>①</sup>相比,岩羊的种群数量累积增长了 651.73%,与 1997 年<sup>[2]</sup>相比,岩羊的种群数量累积增长了 64.18%(图 3)。吕海军等<sup>[4]</sup>1997~2000 年对贺兰山德援项目区 300 km<sup>2</sup> 区域内岩羊的密度监测结果表明,该区域内岩羊的密度为 6.62~12.94 只/km<sup>2</sup>,高于本次调查的结果(4.445 只/km<sup>2</sup>)。这是由于德援项目区位于宁夏贺兰山国家级自然保护区的核心区,是岩羊集中分布的区域。1997 年至 2001 年 3 月底,数十万只家畜全部从贺兰山迁出<sup>[33]</sup>,消除了种间竞争,是导致贺兰山岩羊种群数量增加的重要原因。王小明等<sup>[33]</sup>通过比较 1995 年和 2004 年

贺兰山雄性岩羊的生命表,发现家畜对岩羊的生命表有很大影响。Mishra 等<sup>[34]</sup>的研究也表明,在印度喜马拉雅地区,家畜和岩羊食性的高度重叠导致了岩羊种群数量的减少。此外,岩羊捕食者的消失<sup>[16]</sup>、偷猎盗猎的减少<sup>[33]</sup>也会影响种群数量。在贺兰山地区,岩羊种群以小群体为主,冬季平均群大小为 4.2 只<sup>[26,27]</sup>。2005 年冬季我们对佩戴无线电项圈岩羊的监测表明,雄性岩羊的家域为 3~7 km<sup>2</sup>,雌性为 2.5~5 km<sup>2</sup>,较小的家域以及以小群为主的特点可能也显示出贺兰山岩羊种群未来还会增加,这需要通过长期的监测才能得出结论。

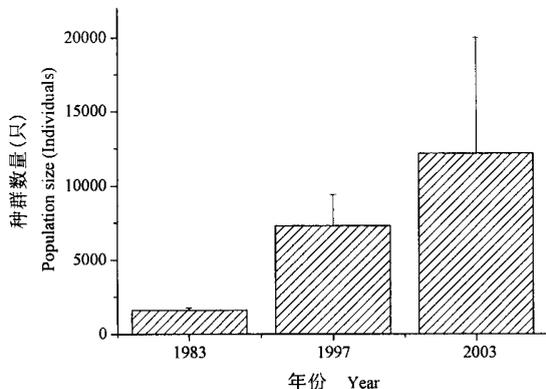


图 3 不同时期贺兰山岩羊的种群变化

Fig. 3 Population changes in different times of Blue Sheep in Helan Mountain

**4.3 贺兰山东、西坡岩羊种群密度差异分析** 贺兰山东、西坡岩羊的种群数量存在很大的差异,东坡岩羊的种群数量是西坡岩羊种群数量的 519.08%,当然东坡的调查面积是西坡的 3 倍,然而东坡岩羊的密度和遇见率显著高于西坡(表 1),表明贺兰山东坡是岩羊的主要分布区。岩羊是典型的高山动物,栖息于高原、丘原和高山裸岩与山谷间的草地,几乎不到森林中活动<sup>[19,20]</sup>,偏爱靠近裸岩或悬崖的生境<sup>[35-38]</sup>。在贺兰山,岩羊选择海拔为 1 600~2 000 m 的、以灰榆为优势乔木的、并接近裸岩或悬崖的地

① 宁夏回族自治区林业局森林资源保护处,宁夏贺兰山国家级自然保护区管理局.宁夏贺兰山国家级自然保护区综合考察.2002.

势陡峭的山地疏林草原带,而避免选择山地针叶林带<sup>[31,32]</sup>。受到地质运动及流水侵蚀等的影响,贺兰山东坡山麓到山顶的相对高差达到 2 100 m,山坡陡峻短狭,沟谷深切,地面比较破碎,夏季受东南季风的影响,温度较高,植被发育较差,有大面积的山地疏林草原带<sup>[18,39]</sup>,成为岩羊适宜的栖息生境,而西坡山麓到山顶的相对高差为 1 500~2 000 m,坡面缓长,气候湿冷,植被发育较好,有大面积的山地针叶林带<sup>[18]</sup>,缺乏适合岩羊栖息的生境。需要说明的是,由于受到内蒙古贺兰山国家级自然保护区面积的限制,我们在西坡调查的范围较小,设置的样线较少。同时西坡相对较好的植被条件对观察者的可视性也产生一些影响,西坡相对短的观测距离也说明了这一点(图 2),因此可能低估西坡岩羊的种群密度和数量。(封面照片:李新庆、刘振生 2004 年 11 月摄于宁夏贺兰山国家级自然保护区苏峪口沟)

致谢 实验过程中得到宁夏贺兰山国家级自然保护区和内蒙古贺兰山国家级自然保护区全体员工的大力支持,徐文婷博士、王力军博士协助制图,在 DISTANCE 软件使用过程中得到滕丽微博士、Len Thomas 博士和 Richard B. Harris 博士的帮助,谨致深切谢意。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Wang X M, Schaller G B. Status of large mammals in Inner Mongolia, China. *Journal of East China Normal University* (Special Issue of Mammals), 1996 **6**: 94~104.
- [ 2 ] 任青峰, 郭宏玲, 李志刚等. 宁夏岩羊的数量与资源利用. *宁夏农林科技*, 1999 (增刊): 38~42.
- [ 3 ] 盛和林, 徐宏发. 哺乳动物野外研究方法. 北京: 中国林业出版社, 1992.
- [ 4 ] 吕海军, 李志刚, 翟昊等. 中德合作宁夏贺兰山封山育林育草项目区岩羊监测调查. *宁夏农林科技*, 2000 (增刊): 15~18.
- [ 5 ] 刘志霄, 盛和林, 李元广等. 贺兰山林区马麝隔离种群的生存现状及保护. *生态学报*, 2000 **20**(3): 463~467.
- [ 6 ] Harris R B, Burnham K P. On estimating wildlife densities from line transect data. *Acta Zoologica Sinica*, 2002 **48**(6): 812~818.
- [ 7 ] Buckland S T, Anderson D R, Burnham K P, et al. *Distance Sampling: Estimation Abundance of Biological Populations*. London: Chapman and Hall, 1993.
- [ 8 ] Buckland S T, Anderson D R, Burnham K P, et al. *Introduction to Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations*. Oxford, United Kingdom and New York: Oxford University Press, 2001.
- [ 9 ] Buckland S T, Anderson D R, Burnham K P, et al. *Advanced Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations*. Oxford, United Kingdom and New York: Oxford University Press, 2004.
- [ 10 ] Burnham K P, Anderson D R. *Model Selection and Inference: A Practical Information-theoretical Approach*. New York: Springer-Verlag, 1998.
- [ 11 ] Yost A C, Wright R G. Moose, caribou, and grizzly bear distribution in relation to road traffic in Denali National Park, Alaska. *Arctic*, 2001 **54**: 41~48.
- [ 12 ] 肖文, 张先锋. 截线抽样法用于鄱阳湖江豚种群数量研究初报. *生物多样性*, 2000 **8**(1): 106~111.
- [ 13 ] 肖文, 张先锋. 鄱阳湖及其支流长江江豚种群数量及分布. *兽类学报*, 2002 **22**(1): 1~7.
- [ 14 ] Li Y C, Koganezawa M. A density estimate of sika deer using distance sampling techniques in forested habitat. *Acta Zoologica Sinica*, 2004 **50**(1): 27~31.
- [ 15 ] Fox J L, Bärdsen B J. Density of Tibetan antelope, Tibetan wild ass and Tibetan gazelle in relation to human presence the Chang Tang Nature Reserve of Tibet, China. *Acta Zoologica Sinica*, 2005 **51**(4): 586~597.
- [ 16 ] 王小明, 李明, 唐绍祥等. 贺兰山偶蹄类动物资源及保护现状研究. *动物学杂志*, 1999 **34**(5): 26~29.
- [ 17 ] Lovari S, Ale S B. Are there multiple mating strategies in blue sheep? *Behavioral Processes*, 2001 **53**: 131~135.
- [ 18 ] 狄维忠. 贺兰山维管植物. 西安: 西北大学出版社, 1987.
- [ 19 ] Schaller G B. *Mountain Monarchs: Wild Sheep and Goats of the Himalaya*. Chicago: University of Chicago Press, 1977.
- [ 20 ] Schaller G B. *Wildlife of the Tibetan Steppe*. Chicago: University of Chicago Press, 1998.
- [ 21 ] 任军让, 余玉群. 青海省玉树、果洛州岩羊的种群结构及生命表初探. *兽类学报*, 1990 **10**(3): 189~193.
- [ 22 ] 王小明, 李明, 唐绍祥等. 春季岩羊种群生态学特征的初步研究. *兽类学报*, 1998 **18**(1): 27~33.
- [ 23 ] 王小明, 刘志霄, 徐宏发等. 贺兰山岩羊种群生态及保护. *生物多样性*, 1998 **8**(1): 1~5.
- [ 24 ] 梁云媚, 王小明. 贺兰山岩羊的生命表和春夏季节社群结构的研究. *兽类学报*, 2000 **20**(4): 258~262.
- [ 25 ] 余玉群, 郭松涛, 白庆生等. 贺兰山岩羊种群结构的季节性变化. *兽类学报*, 2004 **24**(3): 200~204.

- [ 26 ] 曹丽荣,刘振生,王小明等. 春冬两季贺兰山岩羊集群特征的比较. *动物学杂志* 2005 **40**( 2 ) 28 ~ 33.
- [ 27 ] 曹丽荣,刘振生,王小明等. 贺兰山保护区冬季岩羊集群特征的初步分析. *兽类学报* 2005 **25**( 2 ) 200 ~ 204.
- [ 28 ] 理查德·哈里斯. 如何满足草原野生有蹄类调查方法的假设前提条件. *动物学杂志* ,1996 **31**( 2 ) :16 ~ 21.
- [ 29 ] 刘务林,伊秉高. 西藏珍稀野生动物与保护. 北京:中国林业出版社,1993.
- [ 30 ] 高行宜,姚军. 新疆天山东部的盘羊. *野生动物* ,1997 **18**( 4 ) 38 ~ 40.
- [ 31 ] 刘振生,曹丽荣,王小明等. 贺兰山岩羊冬季对卧息地的选择. *兽类学报* 2005 **25**( 1 ) :1 ~ 8.
- [ 32 ] 刘振生,王小明,李志刚等. 贺兰山岩羊东春季取食生境的比较. *动物学研究* 2005 **26**( 6 ) 580 ~ 589.
- [ 33 ] 王小明,刘振生,李新庆等. 贺兰山雄性岩羊两个时期生命表的比较. *动物学研究* 2005 **26**( 5 ) 467 ~ 472.
- [ 34 ] Mishra C ,Van Wieren S E ,Ketner P , *et al.* Competition between domestic livestock and wild bharal *Pseudois nayaur* in the Indian Trans-Himalaya. *Journal of Applied Ecology* 2004 , **41** 344 ~ 354.
- [ 35 ] Wilson P. Ecology and habitat utilization of blue sheep *Pseudois nayaur* in Nepal. *Biology Conservation* ,1981 **21** :55 ~ 74.
- [ 36 ] Harris R B ,Miller D J. Overlap in summer habitats and diets of Tibetan Plateau ungulates. *Mammalia* ,1995 **59** :197 ~ 212.
- [ 37 ] Oli M K. Seasonal patterns in habitat use of blue sheep *Pseudois nayaur* ( Artiodactyla , Bovidae ) in Nepal. *Mammalia* ,1996 **60** :187 ~ 193.
- [ 38 ] Namgail T ,Fox J L ,Bhatnagar Y V. Habitat segregation between sympatric Tibetan argali *Ovis ammon hodgsoni* and blue sheep *Pseudois nayaur* in the Indian Trans-Himalaya. *Journal of Zoology* 2004 **262** :57 ~ 63.
- [ 39 ] 田连恕. 贺兰山东坡植被. 呼和浩特:内蒙古大学出版社,1996.