

# 马可波罗盘羊夏季采食地选择

张晓晨<sup>①②③</sup> 徐文轩<sup>①②</sup> 汪沐阳<sup>①②</sup> 杨维康<sup>①②\*</sup>

① 中国科学院新疆生态与地理研究所, 中国科学院干旱区生物地理与生物资源重点实验室 乌鲁木齐 830011;

② 中国科学院新疆生态与地理研究所木垒野生动物生态监测实验站 木垒 831900; ③ 中国科学院大学 北京 100049

**摘要:** 2016 和 2017 年每年的 6 至 8 月, 采用样方法调查位于新疆帕米尔高原东部塔古克自治县境内塔什库尔干野生动物自然保护区马可波罗盘羊 (*Ovis ammon polii*) 的采食地, 共测量了 46 个采食地样方和相同数量的对照样方。分析了坡向、坡位、坡度、海拔、植被盖度、灌木、禾草类以及非禾草类草本物种数量、植株密度、地上生物量、距水源距离以及距人为干扰距离等 12 个生态因子对马可波罗盘羊采食地选择的影响。结果表明, 马可波罗盘羊夏季采食地样方与对照样方间仅坡度、海拔和距水源距离等 3 个因子无显著差异。Vanderploeg 和 Scavia 选择指数分析表明, 马可波罗盘羊夏季采食地对各生态因子均具有明显的选择性。 $Y(X) = e^{(26.145 - 0.0084A + 15.102V + 0.653F + 0.001D)}$  是马可波罗盘羊的资源选择函数, 即植被盖度 ( $V$ )、非禾草类草本植物种数 ( $F$ )、海拔 ( $A$ ) 和人为干扰距离 ( $D$ ) 是影响马可波罗盘羊生境选择的 4 个关键生态因子。ROC 曲线分析表明, 该函数的预测精度为 94.38%, 能够很好地反映马可波罗盘羊夏季采食地选择的基本情况。

**关键词:** 马可波罗盘羊; 采食地; 资源选择函数; 塔什库尔干

**中图分类号:** Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2019) 05-617-10

## Summer Feeding Sites Selection by Marco Polo Sheep in Taxkorgan Nature Reserve, China

ZHANG Xiao-Chen<sup>①②③</sup> XU Wen-Xuan<sup>①②</sup> WANG Mu-Yang<sup>①②</sup> YANG Wei-Kang<sup>①②\*</sup>

① *Chinese Academy of Sciences Key Laboratory of Biogeography and Bioresource in Arid Land, Xinjiang Institute of Ecology and Geography,*

*Urumqi 830011; ② Mori Wildlife Ecological Monitoring and Experimentation Station, Xinjiang Institute of Ecology and Geography,*

*Chinese Academy of Sciences, Mori 831900; ③ University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*

**Abstract:** Feeding site selection of Marco polo sheep in Taxkorgan Nature Reserve was investigated in June to August in 2016 and 2017. Totally, 46 plots of feeding sites and 46 plots of control sites were measured. And the effects of 12 ecological factors on feeding site selection of Marco polo sheep were evaluated, including aspect, slope position, slope, altitude, vegetation coverage, shrub species richness, graminoid species richness,

**基金项目** 国家自然科学基金项目 (No.31661143019, 31872254);

\* 通讯作者, E-mail: yangwk@ms.xjb.ac.cn;

**第一作者介绍** 张晓晨, 男, 硕士研究生; 研究方向: 动物生态学; Email: zhang2580871@163.com。

收稿日期: 2019-04-25, 修回日期: 2019-08-06 DOI: 10.13859/j.cjz.201905001

forb species richness, plant density, aboveground biomass, distance to water and distance to disturbance. The results of comparison between feeding sites and control sites showed that only slope, altitude and distance to water from 12 ecological factors have no significant difference (Table 1), and Marco polo sheep have strong preference on these 12 ecological factors when select their summer feeding sites studied by Vanderploeg and Scavia selection index (Table 2). The summer feeding resource selection function of Marco Polo sheep is  $Y(X) = e^{(26.145 - 0.008A + 15.102V + 0.653F + 0.001D)}$ , indicating that vegetation coverage ( $V$ ), forb species richness ( $F$ ), altitude ( $A$ ) and distance to disturbance ( $D$ ) are the 4 key ecological factors that affect the feeding sites selection of Marco polo sheep (Table 4). Analyzed by receiver operating characteristic (ROC) curve (Fig. 1), accuracy of this function was 94.38%, which can well reflect the summer feeding sites selection of Marco Polo sheep.

**Key words:** Marco polo sheep; Feeding site; Resource selection function; Taxkorgan

盘羊 (*Ovis ammon*) 为中国国家 II 级重点保护野生动物, 中国濒危动物红皮书濒危物种 (汪松 1998), IUCN 将其列为近危种 (NT) (IUCN 2018), CITES 将其列为附录 II 物种 (CITES 2017)。其中, 马可波罗盘羊 (*O. a. polii*) 仅分布于中国、塔吉克斯坦、阿富汗、巴基斯坦、吉尔吉斯斯坦 5 国边境相邻的帕米尔高原及周边区域 (Fedosenko et al. 2005, Gao et al. 2011)。由于全球气候变化和人类活动干扰, 马可波罗盘羊分布范围不断缩小, 种群数量持续下降, 近 20 年来受到国内外相关保护和研究机构的高度关注, 在该物种地理分布、种群数量和生存现状等方面开展了一系列研究工作 (龚明昊等 2007, Schaller et al. 2008, 余玉群等 2009, Khan et al. 2016)。

目前针对盘羊各亚种已开展的生境研究涉及卧息地选择 (蒙古亚种 *O. a. darwini*、准噶尔亚种 *O. a. sairensis*) (初红军等 2009)、采食地选择 (天山亚种 *O. a. karelini*) (李叶等 2013)、生境选择 (西藏亚种 *O. a. hodgsoni*) 等 (Singh et al. 2010)。然而目前关于马可波罗盘羊生境的研究多为描述 (赵疆宁等 1991, 罗宁等 1998, Khan et al. 2016) 或大尺度上的研究报告 (Salas et al. 2015, 王玉涛等 2016, Salas et al. 2017), 在斑块等小尺度上的定量化研究较少。特别是近年来人类活动导致马可波罗盘羊生存空间持续遭受挤压 (龚明昊等 2007),

适宜生境的植被覆盖面积大幅下降、植被退化严重的背景下 (王玉涛等 2016), 在斑块尺度上开展采食地选择研究有助于揭示马可波罗盘羊的生境需求及其为满足需求而采取的环境适应策略。基于此, 作者于 2016 和 2017 年夏季对马可波罗盘羊采食地进行了调查, 运用 Vanderploeg & Scavia 选择指数与资源选择函数揭示马可波罗盘羊采食地选择的关键环境因子, 从而为新疆塔什库尔干野生动物自然保护区的马可波罗盘羊生境保护和管理提供基础资料和科学依据。

## 1 研究区概况

研究区位于新疆塔什库尔干野生动物自然保护区 (以下简称保护区)。该保护区位于新疆维吾尔自治区西南边缘的塔什库尔干塔吉克自治县南部 (北纬  $35^{\circ}38' \sim 37^{\circ}30'$ , 东经  $74^{\circ}30' \sim 77^{\circ}00'$ ), 总面积为  $15\,863\text{ km}^2$ , 是我国唯一以马可波罗盘羊为主要保护对象的自然保护区 (梁果栋 1984)。区内河谷纵横, 地形复杂, 总地势从西南向东北倾斜, 平均海拔在  $4\,000\text{ m}$  以上。空气稀薄、日照充足, 年平均气温  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右, 无霜期  $70\text{ d}$ , 平均降水量不足  $70\text{ mm}$ , 蒸发量高达  $2\,571\text{ mm}$ , 属大陆性高原干旱荒漠气候。土壤类型主要有高山草甸土、高山草甸草原土、高山寒漠土和高山荒漠土。植被以紫花针茅 (*Stipa purpurea*)、沙生针茅 (*S.*

*glareosa*)、青藏苔草 (*Carex moorcroftii*)、垫状驼绒藜 (*Ceratoides compacta*)、小叶忍冬 (*Lonicera microphylla*)、中麻黄 (*Ephedra intermedia*)、南疆点地梅 (*Androsace flavescens*) 等为主 (龚明昊等 2007)。保护区内分布有北山羊 (*Capra sibirica*)、雪豹 (*Panthera uncia*)、胡兀鹫 (*Gypaetus barbatus*)、金雕 (*Aquila chrysaetos*) 等 10 种国家 I 级重点保护野生动物, 马可波罗盘羊、岩羊 (*Pseudois nayaur*)、藏原羚 (*Procapra picticaudata*)、藏雪鸡 (*Tetraogallus tibetanus*)、暗腹雪鸡 (*T. himalayensis*)、秃鹫 (*Aegypius monachus*) 等 25 种国家 II 级重点保护野生动物 (王玉涛等 2016)。

## 2 研究方法

### 2.1 野外样方调查方法

2016 和 2017 年每年的 6 至 8 月在保护区开展马可波罗盘羊采食地调查工作。调查时驾车或徒步沿保护区工作人员巡护便道穿越各种类型生境搜寻马可波罗盘羊。采食地的确定采用痕迹检验法 (刘振生等 2008, 徐文轩等 2010, 杨维康等 2010), 即根据马可波罗盘羊留下的粪迹、取食痕迹、足迹等确定其生境。以马可波罗盘羊痕迹点为中心做  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$  的植被调查样方。由于资源选择研究是通过对比分析物种利用地和可用地来实现的 (Manly et al. 1993), 因此在完成每个马可波罗盘羊采食地样方的测量记录之后, 从每个采食地样方出发, 选择任意方向行走  $500\text{ m}$ , 选择无盘羊活动痕迹的地方作相同大小的对照样方作为可利用地。本次研究共调查了 46 个马可波罗盘羊采食地样方以及相同数量的对照样方, 共计 92 个大样方。在大样方中心及 4 个角各设置一个  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  的小样方, 记录坡向、坡位、坡度、海拔、植被盖度、灌木、禾草类以及非禾草类草本物种数量、植株密度、地上生物量、水源距离以及人为干扰距离等 12 个生态因子。其中在大样方内测量并记录坡位、坡向、海拔、灌

木物种数量和密度、距水源和人为干扰距离等因子, 小样方记录坡度, 禾草类植物以及非禾草类草本植物的物种数量、密度和地上生物量等因子。

根据马可波罗盘羊的生境特点, 参照 Roffler 等 (2017)、李叶等 (2013)、刘振生等 (2005, 2008) 和杨维康等 (2005) 的相关研究方法, 对马可波罗盘羊采食地生境因子的测定方法和等级划分如下 (对部分因子赋值)。

坡位: 山体划分为 3 部分, 由上到下分别是上坡、中坡和下坡;

坡向: 将研究地区内山体分为 4 种坡向, 东坡 ( $45^\circ \leq \text{方位角} < 135^\circ$ )、南坡 ( $135^\circ \leq \text{方位角} < 225^\circ$ )、西坡 ( $225^\circ \leq \text{方位角} < 315^\circ$ ) 和北坡 ( $315^\circ \leq \text{方位角} < 360^\circ$  和  $0^\circ \leq \text{方位角} < 45^\circ$ );

坡度 ( $^\circ$ ): 测算 5 个  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  小样方的坡度, 其平均值作为大样方的坡度值;

海拔 (m): 通过 GPS 记录样方的海拔高度;

植被盖度 (%): 测算 5 个  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  样方内的植被盖度, 平均值作为大样方的植被盖度;

灌木种数 (种): 测量大样方内灌木的物种数;

禾草类植物种数 (种): 禾草类植物包括禾本科、莎草科以及灯心草科植物, 测定 5 个  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  样方内的禾草类植物物种数, 平均值作为大样方的禾草类植物物种数;

非禾草类草本植物种数 (种): 测定 5 个  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  样方内的非禾草类草本植物物种数, 平均值作为大样方的非禾草类草本植物物种数;

植株密度 (株/ $\text{m}^2$ ): 测定 5 个  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  样方内的植物株数, 平均值作为大样方的植株密度;

地上生物量 ( $\text{g}/\text{m}^2$ ): 5 个  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  小样方地上生物量的平均值;

距水源距离 (m): 每个大样方到研究区域内的最近水源的垂直距离;

距人类干扰距离 (m): 每个大样方到最近牧民房屋或毡房的直线距离。

## 2.2 数据处理方法

利用 SPSS 20.0 对数据进行分析。采用单个样本的 Kolmogorov-Smirnov Test 检验马可波罗盘羊采食地各生态因子数据是否呈正态分布, 对符合正态分布的因子利用独立样本 *T* 检验, 对不符合正态分布的数据采用 Mann-Whitey *U* 检验分析采食地样方和对照样方各生态因子的差异性。以  $P < 0.05$  作为检验差异显著的标准。

使用 Vanderploeg 和 Scavia 选择指数 (Lechowicz 1982) 分析马可波罗盘羊对采食地因子是否有选择性,  $W_i = (r_i/p_i) / \sum (r_i / p_i)$ ,  $E_i = (W_i - 1/n)/(W_i + 1/n)$ , 其中,  $W_i$  为选择系数,  $E_i$  为选择指数,  $i$  为特征值,  $n$  为特征值总数,  $P_i$  为环境中具  $i$  种特征值的样方数,  $r_i$  为马可波罗盘羊所选择具有  $i$  特征的样方数。  $E_i$  的值介于 -1 和 1 之间,  $E_i < 0$  表示不喜爱,  $E_i = 0$  为随机选择, 接近于零为几乎随机选择,  $E_i > 0$  表示喜爱。

利用资源选择函数 (resource selection functions) 分析生境中不同因子对动物生境选择的影响和综合作用 (Manly et al. 1993, Boyce et al. 1999, 李欣海等 2001, 韩宗先等 2004)。由于物种对生境的选择往往受多种因素的影响, 所以资源选择函数一般表现为包括多个独立生境变量的线性对数模型 (Boyce et al. 2003):  $Y(X) = e^{(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n)}$ , 式中,  $Y(X)$  为资源选择函数,  $X_i$  为环境因子  $i$ ,  $\beta_i$  为资源选择系数,  $\beta_i$  值说明环境因子  $X_i$  在马可波罗盘羊生境选择中的重要性。物种对生境选择概率为:  $T(X) = e^{(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n)} / [1 + e^{(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n)}]$ , 当  $T(X)$  的取值为 1 或 0 时, 即表示选择或不选择。选择系数  $\beta$  可以由逻辑斯蒂回归系数来估计 (Boyce et al. 1999, 李欣海等 2001)。逻辑斯蒂回归要求自变量间相互独立, 为控制各变量间相关性, 在拟合回归方程之前对所有生境变量进行 Spearman 相关性分析。当

相关系数的绝对值不大于 0.5 时, 视为无自相关现象, 变量予以保留; 当相关性系数大于 0.5 时, 可视为具有明显相关性, 则保留其中更具有明显生物学意义的变量进入随后的回归分析中 (Boyce et al. 1999, Burnham et al. 2003)。

## 3 结果

### 3.1 马可波罗盘羊对生境的选择性

将马可波罗盘羊采食地样方与对照样方的 12 个因子进行比较, 除坡度、海拔和水源距离不存在显著差异之外, 其余 9 个因子均存在显著或极显著差异 (表 1)。马可波罗盘羊采食地样方的植被盖度、禾草类种数、非禾草类草本植物种数、植株密度和地上生物量极显著高于对照样方, 距人为干扰距离显著高于对照样方, 灌木种数显著低于对照样方。

Vanderploeg 和 Scavia 选择指数分析表明 (表 2): 在地形方面, 马可波罗盘羊倾向于选择海拔较低 (4 000 m 以下), 坡度相对较大, 山体的西坡和北坡的上坡位区域; 在植被方面, 马可波罗盘羊倾向于选择植被盖度大于 30%, 灌木种数低、禾草类与非禾草类草本植物种数高, 植株密度高于 200 株/m<sup>2</sup>, 以及地上生物量高于 50 g/m<sup>2</sup> 的区域。此外, 马可波罗盘羊采食地倾向于选择距水源较远 (1 500 m 以上), 距人为干扰距离大于 1 000 m、小于 2 000 m 的区域。

### 3.2 马可波罗盘羊的生境资源选择函数

首先对马可波罗盘羊采食地与对照样方的 12 个生态因子进行 Spearman 相关分析。在变量两两比较的 78 个相关系数中, 非禾草类草本种数与植被盖度、禾草类植物种数, 植株密度与海拔、植被盖度、禾草类种数、非禾草类草本种数, 地上生物量与植被盖度、禾草类种数、非禾草类草本种数、植株密度, 坡向与水源距离以及海拔与人为干扰距离, 共 12 个相关系数的绝对值大于 0.5 (表 3)。考虑到生态因子的独立性和代表性, 以及保留更多有生物意义的

表 1 马可波罗盘羊采食地与对照样方各生态因子对比

Table 1 Pair-wise comparisons for ecological factors between feeding and control plots of Marco polo sheep

因子 Factors	平均值 ± 标准误 Mean ± SE		T 检验 T-test	Mann-Whitney U test
	采食地样方 Feeding plots	对照样方 Control plots		
坡向 Aspect	3.02 ± 0.17	1.83 ± 0.15		- 4.52**
坡位 Slope position	1.83 ± 0.09	2.20 ± 0.09		- 2.78**
坡度 Slope (°)	24.13 ± 0.93	22.04 ± 0.80	1.70 <sup>NS</sup>	
海拔 Altitude (m)	4 263 ± 46.73	4 292.5 ± 37.20		- 0.32 <sup>NS</sup>
植被盖度 Vegetation coverage (%)	41.48 ± 3.32	17.88 ± 1.52	6.47**	
灌木种数 Shrub species	0.70 ± 0.12	0.98 ± 0.10		- 2.18*
禾草类种数 Graminoid species	1.89 ± 0.13	1.33 ± 0.10		- 3.16**
非禾草类草本种数 Forb species	3.61 ± 0.25	2.09 ± 0.22	4.62**	
植株密度 Plant density (株/m <sup>2</sup> )	221.85 ± 25.54	61.04 ± 5.79	6.14**	
地上生物量 Aboveground biomass (g/m <sup>2</sup> )	83.15 ± 7.56	34.66 ± 3.24	5.77**	
距水源距离 Distance to water (m)	12 14 ± 81.73	978.41 ± 96.32	1.86 <sup>NS</sup>	
距人为干扰距离 Distance to disturbance (m)	1 895 ± 111.16	1412 ± 156.11		- 2.16*

\*\* 差异极显著 ( $P < 0.01$ ), \* 差异显著 ( $0.01 \leq P < 0.05$ ), NS 差异不显著 ( $P \geq 0.05$ )。

\*\* difference was extremely significant ( $P < 0.01$ ), \* difference was significant ( $0.01 \leq P < 0.05$ ), NS difference was not significant ( $P \geq 0.05$ ).

表 2 马可波罗盘羊对采食地生态因子的选择性

Table 2 Preference of important ecological factors by Marco polo sheep

因子 Factors	类别 Category	可获得性 $P_i$ Expected proportion used	利用率 $r_i$ Proportion used	选择系数 $W_i$ Resource selection coefficient	选择指数 $E_i$ Resource selection index	选择性 Preference
坡向 Aspect	东 East	0.37	0.22	0.151	- 0.247	NP
	南 South	0.14	0.04	0.079	- 0.520	NP
	西 West	0.22	0.30	0.359	0.179	P
	北 North	0.27	0.43	0.411	0.243	P
坡位 Slope location	上 Upper slope	0.20	0.28	0.483	0.184	P
	中 Middle slope	0.60	0.61	0.341	0.011	AR
	下 Lower slope	0.21	0.11	0.176	- 0.309	NP
坡度 Slope (°)	0 ~ 14.99	0.08	0.04	0.180	- 0.298	NP
	15 ~ 29.99	0.79	0.74	0.294	- 0.063	AR
	$\geq 30$	0.13	0.22	0.526	0.224	P
海拔 Altitude (m)	3 500 ~ 3 999.99	0.18	0.24	0.409	0.102	P
	4 000 ~ 4 499.99	0.63	0.59	0.294	- 0.063	AR
	$\geq 4 500$	0.18	0.17	0.297	- 0.057	AR
盖度 Vegetation coverage (%)	0 ~ 14.99	0.28	0.13	0.102	- 0.421	NP
	15 ~ 29.99	0.28	0.15	0.119	- 0.356	NP
	30 ~ 59.99	0.33	0.50	0.338	0.150	P
	60 ~ 100	0.11	0.22	0.441	0.277	P
灌木种数 (种) Shrub species	0 ~ 0.99	0.34	0.48	0.444	0.142	P
	1 ~ 2.99	0.64	0.50	0.244	- 0.155	NP
	$\geq 3$	0.02	0.02	0.313	- 0.032	AR

续表 2

因子 Factors	类别 Category	可获得性 $P_i$ Expected proportion used	利用率 $r_i$ Proportion used	选择系数 $W_i$ Resource selection coefficient	选择指数 $E_i$ Resource selection index	选择性 Preference
禾草类种数 (种) Graminoid species	0 ~ 0.99	0.05	0.02	0.128	- 0.445	NP
	1 ~ 2.99	0.85	0.80	0.303	- 0.047	AR
	$\geq 3$	0.10	0.17	0.569	0.261	P
非禾草类草本种数 (种) Forb species	0 ~ 0.99	0.25	0.11	0.132	- 0.434	NP
	2 ~ 4.99	0.59	0.59	0.303	- 0.048	AR
	$\geq 5$	0.16	0.30	0.565	0.258	P
植株密度 Plant density (株/m <sup>2</sup> )	0 ~ 49.99	0.33	0.17	0.124	- 0.336	NP
	50 ~ 99.99	0.27	0.15	0.130	- 0.314	NP
	100 ~ 199.99	0.16	0.20	0.280	0.056	AR
	$\geq 200$	0.24	0.48	0.466	0.302	P
地上生物量 Aboveground biomass (g/m <sup>2</sup> )	0 ~ 19.99	0.15	0.04	0.068	- 0.572	NP
	20 ~ 49.99	0.43	0.28	0.155	- 0.235	NP
	50 ~ 99.99	0.21	0.28	0.326	0.132	P
	$\geq 100$	0.21	0.39	0.451	0.287	P
水源距离 Distance to water (m)	0 ~ 999.99	0.46	0.30	0.207	- 0.233	NP
	1 000 ~ 1 499.99	0.25	0.30	0.378	0.063	AR
	$\geq 1 500$	0.29	0.39	0.414	0.108	P
人为干扰距离 Distance to disturbance (m)	0 ~ 999.99	0.30	0.13	0.144	- 0.396	NP
	1 000 ~ 1 999.99	0.32	0.48	0.510	0.210	P
	$\geq 2 000$	0.38	0.39	0.346	0.018	AR

P. 喜爱; NP. 不喜爱; AR. 几乎随机选择。

P. Preferred; NP. Not Preferred; AR. Almost Random selection.

生境因子，我们排除了植株密度和地上生物量 2 个植被因子。使用 Binary Logistic 回归中 Forward/Conditional (以假定参数为基础作似然比概率检验，向前逐步选择自变量) 方法，将剩余的 10 个生态因子进入 Logistic 回归分析。

最终进入函数方程有明显统计学意义的因子有 4 个，根据选择系数的绝对值大小及采用 Enter 法 (所有自变量强制进入回归方程) 拟合的结果，影响马可波罗盘羊生境选择的 4 个关键生态因子依其重要性由高到低为，植被盖度 ( $V$ )、非禾草类草本植物种数 ( $F$ )、海拔 ( $A$ ) 和人为干扰距离 ( $D$ )。塔什库尔干野生动物自然保护区马可波罗盘羊生境的资源选择函数为：

$$Y(X) = e^{(26.145 - 0.008A + 15.102V + 0.653F + 0.001D)}.$$

将马可波罗盘羊出现与否的资源选择函数预测值作为检验变量，实际出现与否为状态变量，绘制 ROC (receiver operation characteristic) 曲线，曲线下面积为回归模型的预测精度。经计算模型的预测精度为 94.38% (图 1)，因此该资源选择函数模型能够很好地反映马可波罗盘羊夏季采食地选择的基本情况。

## 4 讨论

### 4.1 马可波罗盘羊采食地特征和选择性

野生动物的生存离不开生境。生境能够提供动物个体赖以生存的食物、水源和隐蔽地等基本的生存资源，动物个体也需要能够适应当地的气候、竞争者和捕食者等生态因子 (Morrison et al. 2007)。在本研究记录的 12

表 3 马可波罗盘羊采食地生态因子间的相关性

Table 3 Correlation of ecological factors in the feeding site selection of Marco polo sheep

因子 Factors	坡向 Aspect	坡位 Slope location	坡度 Slope	海拔 Altitude	植被盖度 Vegetation coverage	灌木种数 Shrub species	禾草类 种数 Graminoid species	非禾草类 草本种数 Forb species	植株密度 Plant density	地上 生物量 Above- ground biomass	水源 距离 Distance to water	人为干扰 距离 Distance to disturbance
坡向 Aspect	1.000	-0.285	-0.238	-0.265	0.287	-0.292	0.135	0.183	0.201	0.243	0.520	0.080
坡位 Slope location		1.000	-0.104	0.161	-0.100	-0.051	0.055	0.156	0.059	0.022	0.030	0.110
坡度 Slope			1.000	0.265	0.089	-0.121	0.262	0.285	0.213	0.0901	0.070	0.422
海拔 Altitude				1.000	0.399	-0.367	0.402	0.475	0.605	0.475	-0.243	0.567
植被盖度 Vegetation coverage					1.000	-0.342	0.335	0.667	0.719	0.712	0.161	0.187
灌木种数 Shrub species						1.000	-0.279	-0.394	-0.396	-0.254	-0.146	-0.363
禾草类种数 Graminoid species							1.000	0.502	0.697	0.587	0.093	0.449
非禾草类 草本种数 Forb species								1.000	0.792	0.723	0.251	0.339
植株密度 Plant density									1.000	0.887	0.167	0.395
地上生物量 Aboveground biomass										1.000	0.155	0.263
水源距离 Distance to water											1.000	0.149
人为干扰距离 Distance to disturbance												1.000

Spearman 相关分析系数: 相关系数越大, 表示二者相关性越强。

Spearman's rank correlation coefficient: the greater the correlation coefficient, the stronger the correlation between the two.

表 4 马可波罗盘羊采食地资源选择函数的选择系数

Table 4 Selection coefficients in the resource selection function of Marco polo sheep

因子 Factors	回归系数 Regression Coefficient B	标准误 Standard Error of Mean SE	Wald 卡方 Wald Statistic Chi-square	显著性水平 Significance Level P
海拔 Altitude	-0.008	0.002	15.216	<0.001
植被盖度 Vegetation coverage	15.102	3.919	14.852	<0.001
非禾草类草本种数 Forb species	0.653	0.288	5.126	0.024
人为干扰距离 Distance to disturbance	0.001	0.001	6.288	0.012
常量 Constant	26.145	7.304	12.815	<0.001

个生态因子中, 除坡度、海拔和水源距离之外, 有 9 个因子在马可波罗盘羊采食地和对照样方间呈显著差异 (表 1), 说明在塔什库尔干野生动物自然保护区, 马可波罗盘羊对采食地具

有明显的选择性。马可波罗盘羊主要选择植被盖度、草本植物种数、植株密度和地上生物量较高的区域作为其采食地, 回避灌木种数和人类干扰强度较高的区域。

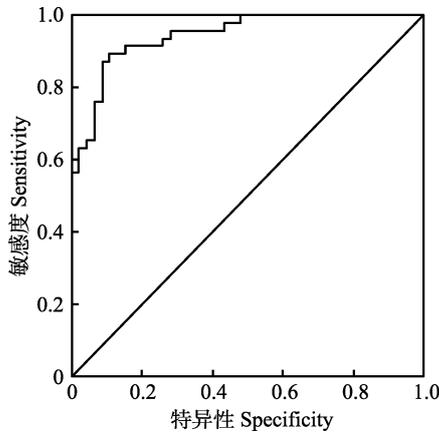


图 1 ROC 曲线评价结果

Fig. 1 ROC curve evaluation

对角线表示没有预测能力 (50%的面积), 曲线位于对角线上方说明该模型有预测能力 (超过 50%的面积), 曲线下的面积表示预测能力的大小。

The diagonal represents the model with no diagnostic ability (50% of all the area), the curve above the diagonal represents the diagnostic ability of the model (more than 50% of all the area).

Vanderploeg 和 Scavia 选择指数分析表明, 马可波罗盘羊对各生态因子均具有一定的选择性。在地形方面, 与龚明昊等 (2007) 的研究结果相似, 马可波罗盘羊倾向于选择坡度较大, 海拔较低的上坡位区域 (表 2)。虽然坡度较大的地形不利于盘羊的运动且易被发现, 但上坡位开阔的视野, 有助于及时发现敌害, 同时也是对人类干扰回避的结果。而坡向的结果则与龚明昊等 (2007) 有所不同, 马可波罗盘羊倾向于选择山体的西坡和北坡。由于地处迎风面且背阴, 独立样本  $T$  检验表明该区域山体西坡和北坡的植株密度 ( $T = -3.605$ ,  $P = 0.002$ ) 和地上生物量 ( $T = -3.233$ ,  $P = 0.004$ ) 要显著优于同海拔的东坡和南坡, 可为盘羊提供充足的食物来源。而且选择阴坡有利于自身隐蔽, 躲避天敌。李叶等 (2013) 认为, 夏季选择阴坡有助于盘羊躲避阳光直射、利于降温。在植被方面, 马可波罗盘羊对植被状况较好的区域有明显的选择倾向 (表 2)。遥感方面的研究也证实马可波罗盘羊生境多位于 NDVI 指数 (normalized difference vegetation index) 较高,

也就是植被覆盖度较好的区域 (Salas et al. 2015, 王玉涛等 2016, Salas et al. 2017)。

水源是影响干旱和半干旱地区野生动物生境选择的重要限制因子 (Cooperrider et al. 1986)。新疆卡拉麦里山 (张钧泳等 2016)、甘肃马鬃山 (边坤等 2012) 以及内蒙古锡林郭勒 (何志超等 2015) 的研究均表明, 水源对盘羊的生境选择具有明显的限制作用。而本研究则发现, 生存于塔什库尔干野生动物自然保护区的马可波罗盘羊虽同样地处干旱区, 水源对其采食地的选择无显著影响。作者认为这与同样分布于高海拔地区的天山盘羊和西藏盘羊相似 (Singh et al. 2010, 李叶等 2013), 山顶以及背阴处存在大量的积雪可以满足盘羊对水的需求。此外, 研究区分布有河流的沟谷虽多是放牧强度大、人为干扰强的夏季牧场, 但盘羊仍可通过在不同采食地间游移穿梭的方式利用水源。这也可视为马可波罗盘羊对人类活动干扰的一种适应。

#### 4.2 影响马可波罗盘羊生境选择的关键因子

生境选择是指个体对生境的非随机利用, 进而影响个体生存力和适合度等一系列行为反应 (Hutto 1985, Block et al. 1993)。动物对生境的选择往往受到生态系统中多种生态因子的综合影响。Vanderploeg 和 Scavia 选择指数虽可分析马可波罗盘羊的生境偏好, 但无法筛选出影响马可波罗盘羊采食地选择的主导因子。而动物一般倾向于选择具有最佳生态因子组合的生境类型, 以保证最大的适合度 (韩宗先等 2004)。因此, 本文利用资源选择函数分析各生态因子间的相互作用, 以揭示影响马可波罗盘羊采食地选择的关键因子及选择顺序 (表 4)。

一般认为大尺度上生境选择主要受地形、捕食风险以及水源分布的影响, 而斑块尺度上的主要影响因素是食物资源 (DeCesare et al. 2014)。资源选择函数模型表明 (表 4), 马可波罗盘羊采食地的选择主要受植被盖度、非禾草类草本植物种数、海拔和人为干扰距离等 4 个生态因子的影响。由于地处高原、气候干

旱, 植被条件对马可波罗盘羊的采食地选择有明显的限制作用。例如生活在印度拉达克高原地区的西藏盘羊, 其生境选择也主要受植被条件的影响 (Singh et al. 2010)。本研究表明, 马可波罗盘羊采食地植被盖度与地上生物量显著正相关 (表 3), 而且夏季高原地区非禾草类草本植物的粗蛋白含量高于禾草类和灌木 (Long et al. 1999)。因此马可波罗盘羊采食地对植被条件的选择是对食物数量和质量的兼顾。

研究区地处帕米尔高原, 平均海拔在 4 000 m 以上, 只有在海拔较低的区域才具备相对较好的植被条件。因此马可波罗盘羊采食地选择与海拔负相关 (表 4)。由于这一区域亦经常为放牧家畜所利用, 因此人为干扰距离也成为影响马可波罗盘羊采食地选择的重要生态因子之一 (表 4)。Vanderploeg 和 Scavia 选择指数分析表明, 马可波罗盘羊倾向于选择距居民点或毡房 1 000~2 000 m 的区域采食 (表 2)。分析认为这与研究区的特殊地形有关。研究区多典型的 U 形谷, 山谷中下部植被长势较好的区域多为牧民占据, 干扰较强; 而 2 000 m 以外较远的区域多为海拔较高、植被稀疏的流石滩。因此, 马可波罗盘羊选择人为干扰距离适中的区域是在食物与人为干扰之间“权衡”的结果。

## 参 考 文 献

- Block W M, Brennan L A. 1993. The habitat concept in ornithology: theory and applications. *Current Ornithology*, 11: 35–91.
- Boyce M S, Mao J S, Merrill E H, et al. 2003. Scale and heterogeneity in habitat selection by elk in Yellowstone National Park. *Ecoscience*, 10(4): 421–431.
- Boyce M S, McDonald L L. 1999. Relating populations to habitats using resource selection functions. *Trends in Ecology and Evolution*, 14(7): 268–272.
- Burnham K P, Anderson D R. 2003. *Model Selection and Multi Model Inference: a Practical Information-theoretic Approach*. New York: Springer Science and Business Media.
- CITES. 2017. CITES appendices I, II and III [EB/OL]. [2019-02-21]. <https://www.cites.org/eng/app/appendices.php>.
- Cooperrider A Y, Boyd R J, Stuart H R. 1986. Inventory and monitoring of wildlife habitat. *Journal of Wildlife Management*, 52(3): 568.
- DeCesare N J, Hebblewhite M, Bradley M, et al. 2014. Linking habitat selection and predation risk to spatial variation in survival. *Journal of Animal Ecology*, 83(2): 343–352.
- Fedosenko A K, Blank D A. 2005. *Ovis ammon*. *Mammalian Species*, 773: 1–15.
- Gao X Y, Xu W X, Yang W K, et al. 2011. Status and distribution of ungulates in Xinjiang, China. *Journal of Arid Land*, 3(1): 49–60.
- Hutto R L. 1985. Habitat selection by nonbreeding, migratory land birds // Cody M. *Habitat Selection in Birds*. New York, NY: Academic Press, 62–72.
- IUCN. 2018. The IUCN red list of threatened species. [EB/OL]. [2019-02-20]. <http://www.iucnredlist.org>.
- Khan B, Ablimit A, Khan G, et al. 2016. Abundance, distribution and conservation status of Siberian ibex: Marco Polo and blue sheep in Karakoram-Pamir Mountain area. *Journal of King Saud University: Science*, 28(3): 216–225.
- Lechowicz M J. 1982. The sampling characteristics of selectivity indices. *Oecologia*, 52(1): 22–30.
- Long R J, Apori S O, Castro F B, et al. 1999. Feed value of native forages of the Tibetan plateau of China. *Animal Feed Science and Technology*, 80(2): 101–113.
- Manly B F J, McDonald L L, Thomas D L. 1993. *Resource Selection by Animals: Statistical Design and Analysis for Field Studies*. London: Chapman and Hall.
- Morrison M L, Marcot B G, Mannan R W. 2007. Wildlife-habitat relationships: concepts and applications. *Journal of Range Management*, 57(4): 980–981.
- Roffler G H, Adams L G, Hebblewhite M. 2017. Summer habitat selection by Dall's sheep in Wrangell-St. Elias National Park and Preserve, Alaska. *Journal of Mammalogy*, 98(1): 94–105.
- Salas E A L, Valdez R, Boykin K G. 2015. Geographic layers as landscape drivers for the Marco Polo argali habitat in the southeastern Pamir Mountains of Tajikistan. *ISPRS*

- International Journal of Geo-information, 4(4): 2094–2108.
- Salas E A L, Valdez R, Michel S. 2017. Summer and winter habitat suitability of Marco Polo argali in southeastern Tajikistan: A modeling approach. *Heliyon*, 3(11): e00445.
- Schaller G B, Kang A. 2008. Status of Marco Polo sheep *Ovis ammon polii* in China and adjacent countries: conservation of a vulnerable subspecies. *Oryx*, 42(1): 100–106.
- Singh N J, Yoccoz N G, Lecomte N, et al. 2010. Scale and selection of habitat and resources: Tibetan argali (*Ovis ammon hodgsoni*) in high-altitude rangelands. *Canadian Journal of Zoology*, 88(5): 436–447.
- 边坤, 刘楚光, 王开峰. 2012. 甘肃马鬃山盘羊春季卧息地的利用. *四川动物*, 31(4): 660–664.
- 初红军, 蒋志刚, 戚英杰, 等. 2009. 阿尔泰山南部科克森山和卡拉麦里山盘羊冬季卧息地的选择. *兽类学报*, 29(2): 125–132.
- 龚明昊, 戴志刚, 曾治高, 等. 2007. 新疆塔什库尔干自然保护区马可波罗盘羊种群数量和栖息地初步调查. *兽类学报*, 27(4): 317–324.
- 韩宗先, 魏辅文, 张泽钧, 等. 2004. 蜂桶寨自然保护区小熊猫对生境的选择. *兽类学报*, 24(3): 185–192.
- 何志超, 毕俊怀, 陈绍勇, 等. 2015. 基于红外相机对额仁淖尔苏木盘羊(*Ovis ammon*)生存现状的研究. *野生动物学报*, 36(1): 5–10.
- 李欣海, 马志军, 李典谟, 等. 2001. 应用资源选择函数研究朱鹮的巢址选择. *生物多样性*, 9(4): 352–358.
- 李叶, 余玉群, 史军, 等. 2013. 天山盘羊夏季采食地和卧息地生境选择. *生态学报*, 33(24): 7644–7650.
- 梁果栋. 1984. 塔什库尔干野生动物保护区成立. *新疆林业*, (5): 26.
- 刘振生, 曹丽荣, 王小明, 等. 2005. 贺兰山岩羊冬季对卧息地的选择. *兽类学报*, 25(1): 1–8.
- 刘振生, 王小明, 李志刚, 等. 2008. 贺兰山岩羊(*Pseudois nayaur*)夏季取食和卧息生境选择. *生态学报*, 28(9): 4277–4285.
- 罗宁, 谷景和, 艾热提, 等. 1998. 新疆盘羊种群结构与资源现状. *自然资源学报*, 13(1): 46–51.
- 汪松. 1998. 中国濒危动物红皮书: 兽类. 北京: 科学出版社.
- 王玉涛, 戴志刚, 杨世杰, 等. 2016. 东帕米尔高原盘羊分布与栖息地植被覆盖时空变化. *生态学报*, 36(1): 209–217.
- 徐文轩, 乔建芳, 夏参军, 等. 2010. 卡拉麦里山保护区鹅喉羚卧息地特征的季节变化. *生态学杂志*, 29(4): 687–692.
- 杨维康, 乔建芳, 姚军, 等. 2005. 新疆准噶尔盆地东部鹅喉羚采食地的特征. *兽类学报*, 25(4): 355–360.
- 杨维康, 徐文轩, 刘伟, 等. 2010. 卡拉麦里山有蹄类保护区鹅喉羚的采食地选择. *干旱区研究*, 27(2): 236–241.
- 余玉群, 郭松涛, 刘楚光, 等. 2009. 我国马可波罗盘羊种群数量和年龄结构. *野生动物*, 30(6): 293–296.
- 张钧泳, 初雯雯, 杜聪聪, 等. 2016. 不同季节卡拉麦里山盘羊生境选择分析. *干旱区研究*, 33(2): 422–430.
- 赵疆宁, 高行宜, 周永恒. 1991. 中国盘羊的分布. *八一农学院学报*, 14(3): 63–67.