

甘肃兴隆山保护区野生马麝的 冬季卧息地生境特征

王功^{①②} 申立泉^② 高浩翔^② 吴佳忆^② 耿硕^② 刘瑞^① 王春玲^①
张爱萍^① 陈蕾^① 张毅祯^① 祁军^① 张学炎^① 孟秀祥^{②③*}

① 甘肃兴隆山国家级自然保护区管护中心 兰州 730117; ② 中国人民大学环境学院 北京 100872;

③ 西昌学院动物科学学院 西昌 615000

摘要: 生境是野生动物的栖息基底, 卧息地是野生动物重要的功能性生境。为深入了解野生马麝 (*Moschus chrysogaster*) 冬季卧息地生境的特征及选择利用, 于2021年12月至2022年1月对甘肃兴隆山国家级自然保护区的野生马麝的功能性生境开展了基于生境取样的研究。通过样线调查法获取马麝卧息痕迹位点, 采用主成分分析和资源选择函数法进行其卧息生境选择的研究。结果表明, 野生马麝冬季卧息地生境的海拔较低 [2488.5 ± 26.6 m]、灌木较高 [1.3 ± 0.3 m]、灌木盖度 ($31.08\% \pm 3.14\%$) 和地表植被盖度 ($38.36\% \pm 3.27\%$) 较大、倒木较多 [0.5 ± 0.1 个]且积雪较浅 [1.0 ± 0.3 cm]; 马麝冬季卧息地多选择位于南坡的下坡位灌丛生境, 而且距水源较近、隐蔽度较好。主成分分析表明, 乔木因子、食物因子、安全因子和地形因子的累计贡献率达67%; 马麝的卧息生境资源选择函数为: $\text{Logit}(x) = -4.967 + 0.001 \times \text{海拔} - 0.02 \times \text{坡度} + 0.03 \times \text{乔木郁闭度} + 0.104 \times \text{乔木高度} + 0.17 \times \text{灌木盖度} - 0.466 \times \text{雪被深度} - 1.015 \times \text{坡向}$, 模型预测正确率为91.1%。研究结果综合反映了野生马麝冬季卧息地对安全、水源和食物的生态需求。

关键词: 马麝; 冬季; 卧息地生境; 兴隆山国家级自然保护区

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2023) 02-209-09

Winter Bed-Sites Utilization of Wild Alpine Musk Deer in Xinglongshan National Nature Reserve, Gansu Province

WANG Gong^{①②} SHEN Li-Quan^② GAO Hao-Xiang^② WU Jia-Yi^② GENG Shuo^②
LIU Rui^① WANG Chun-Ling^① ZHANG Ai-Ping^① CHEN Lei^① ZHANG Yi-Zhen^①
QI Jun^① ZHANG Xue-Yan^① MENG Xiu-Xiang^{②③*}

① Gansu Xinglongshan National Nature Reserve, Lanzhou 730117; ② School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872; ③ School of Animal Science, Xichang University, Xichang 615000, China

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 32170489, 32211530443), 甘肃兴隆山国家级自然保护区第二次科学考察项目, 中国人与生物圈国家委员会青年人才计划项目;

* 通讯作者, E-mail: meng2014@ruc.edu.cn;

第一作者简介 王功, 男, 高级工程师; 研究方向: 动物行为生态学; E-mail: 2845951382@qq.com.

收稿日期: 2022-07-07, 修回日期: 2023-01-20 DOI: 10.13859/j.cjz.202302005

Abstract: [Objectives] Habitat is the basis of wild animals, and bed-sites is one of the most important functional patches. In order to understand the bed-sites habitat characteristics and selective utilization pattern of wild Alpine Musk Deer, this study was conducted from December 2021 to January 2022, in Xinglongshan National Nature Reserve of Gansu Province in northwestern China. **[Methods]** We obtained the bed-sites records of Alpine Musk Deer by sample line survey method. Vanderploeg selection coefficients and Scavia selection indices were used to calculate the selection of discrete variables, and principal component analysis and resource selection function were used to assess the bed-sites habitat selection. **[Results]** The results showed that wild Alpine Musk Deer preferred to use habitats with lower altitude ($2\,488.5 \pm 26.6$ m), higher shrub height (1.3 ± 0.3 m), higher shrub canopy ($31.08\% \pm 3.14\%$), higher ground-plant cover ($38.36\% \pm 3.27\%$), more fallen wood (0.5 ± 0.1) plot and shallower snow cover (1.0 ± 0.3 cm) in winter (Table 1); and preferred to use habitats in southern lower slope, closer to water resources, shrub habitats with good concealment condition in winter (Table 2); the principal component analysis showed that the cumulative contribution of arbor factor, food factor, safety factor and topographical factor amounted to 67% (Table 5). The resource selection function yielded a log-linear model: $\text{Logit}(x) = -4.967 + 0.001 \times \text{altitude} - 0.02 \times \text{slope gradient} + 0.03 \times \text{arbor canopy} + 0.104 \times \text{arbor height} + 0.17 \times \text{shrubs canopy} - 0.466 \times \text{snow depth} - 1.015 \times \text{slope aspect}$ (Table 7). **[Conclusion]** Our results reflected the comprehensive ecological demands of security, food and water resources adaptability of bed-sites used by Alpine Musk Deer during winter.

Key words: Alpine Musk Deer, *Moschus chrysogaster*; Winter; Bed-site habitat; Xinglongshan National Nature Reserve

野生动物对生境的选择和利用是综合性的环境适应行为, 受生境的食物丰富度、隐蔽条件及动物生理状况等因素影响 (刘振生等 2004)。卧息地为野生动物生境中的功能性生境斑块, 其生境构成和利用格局与野生动物的能量贮存 (Armstrong et al. 1983, Mysterud et al. 1995) 和反捕策略 (Smith et al. 1986) 等有关。近年来, 对有蹄类动物冬季卧息地生境选择已有较多研究, 如岩羊 (*Pseudois nayaur*) 在冬季偏好选择隐蔽度高、距水源近和雪被覆盖较浅的生境作为其卧息地 (刘振生等 2005), 麋鹿 (*Elaphurus davidianus*) 冬季卧息地生境的食物相对丰富、植被盖度较大和隐蔽性较强 (邹师杰等 2013), 豹 (*Capreolus capreolus*) 冬季卧息地多位于阳坡的针阔混交林, 雪被较浅且隐蔽度较强 (朱洪强等 2013)。

马麝 (*Moschus chrysogaster*) 为我国青藏高原及周边区域分布的濒危有蹄类动物, 是我国一级重点保护野生动物以及 CITES 附录 II

物种 (Zhou et al. 2004)。对野生马麝的研究多集中于一般生境选择及利用 (杨萃等 2011, 孙嘉等 2020)、生境适宜性评价 (张洪峰等 2017, 油志远等 2021)、种群调查 (康发功 2003, 王静等 2020) 等, 缺乏对野生马麝卧息地的研究。

温带山地区域的冬季气温极低、食物资源匮乏, 区域内的野生动物的生境及功能性斑块的利用与其冬季存活率等直接相关 (Mautz 1978, Parker et al. 1984)。在甘肃兴隆山, 冬季水热条件较差, 食物资源匮乏, 是野生马麝生存最严酷的时期, 死亡多发生在该季节。因此, 研究野生马麝冬季卧息生境, 是进行冬季生境管理、提升越冬存活率及种群增长的关键。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

甘肃兴隆山国家级自然保护区地处青藏高原、黄土高原和蒙新高原交汇地带, 属祁连山系东延余脉 ($103^{\circ}50' \sim 104^{\circ}10' \text{ E}$, $35^{\circ}38' \sim$

35°58' N), 保护区主要保护温带森林生态系统及马麝和云杉(*Picea asperata*), 总面积 295.84 km², 海拔 2 017~3 683 m, 年均降水量 621.6 mm, 年均蒸发量 918.6 mm, 年均温度 4.1 °C, 其中 1 月平均温度为 -9.2 °C, 7 月平均温度 15.6 °C。保护区内生态系统类型齐全, 主要有针叶林、阔叶林、针阔混交林、灌丛和草甸等。

1.2 研究方法

基于前期研究基础, 于 2021 年 12 月至 2022 年 1 月在甘肃兴隆山国家级自然保护区设置生境调查样线, 样线间距大于 1 km, 长度约 3 km, 样线覆盖保护区的所有植被类型 (Wang et al. 2021)。生境调查时, 沿样线垂直方向左右前行 (最大距离为 100 m), 当发现野生马麝的卧息地 (有明显的卧痕、刨痕及遗落毛发等) 时, 以卧息地为中心布设 20 m × 20 m 利用生境样地; 若前行 100 m 仍未发现卧息痕迹, 则在样线 50 m 处作对照样地。测量、记录样地的地理及生境变量。除野生马麝外, 保护区内无其他有蹄类动物及家畜分布, 卧息地痕迹易于判定。

参考野生马麝的一般生境利用特征 (孟秀祥等 2011, 杨萃等 2011) 及其他野生有蹄类动物的生境变量定义 (Li et al. 2017), 确定海拔、坡度、乔木郁闭度、乔木高度、乔木株数、灌木均高、灌木盖度、地表植被盖度、倒木数、雪被深度、坡向、坡位、植被类型、隐蔽度、距最近水源距离和干扰强度等 16 个生境变量。

1.3 数据处理

1.3.1 Vanderploeg 选择系数、Scavia 选择指数及主成分分析 采用 Vanderploeg 选择系数和 Scavia 选择指数 (Vanderploeg et al. 1979) 计算马麝冬季卧息地生境对离散变量的选择。

$$W_i = \frac{r_i}{p_i}, \quad E_i = \frac{W_i - 1/n}{W_i + 1/n}$$

式中, 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, r_i 为马麝卧息地生境选择样地数, p_i 为调查样地数。 $E_i = -1$ 表示不

选择, $-1 < E_i < 0$ 表示回避, $E_i = 0$ 或接近于 0 表示随机选择, $0 < E_i < 1$ 表示选择, $E_i = 1$ 表示高度选择。

采用 Mann-Whitney *U*-test 检验比较野生马麝卧息地生境和对照样地生境的连续型生境变量的差异。对卧息地生境变量数据进行主成分分析 (principal components analysis, PCA), 确定关键影响变量。

1.3.2 资源选择函数 近年来, 资源选择函数 (resource selection functions, RSFs) 被广泛应用于獐 (*Hydropotes inermis*)、西伯利亚狍 (*C. pygargus*) 等濒危野生动物的生境选择及影响因子的研究中 (Manly et al. 1993, Boyce et al. 1999, 陈龙等 2017, 李宗智等 2021)。资源选择函数是一个包括多个独立生境变量的线性对数模型 (Boyce et al. 2003): $\omega(x) = e^{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k)}$, 式中, x 代表不同的独立生境变量, β 表示选择系数。物种对生境的选择概率 $T(x)$ 为:

$$T(x) = \frac{e^{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k)}}{1 + e^{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k)}}$$

当 $T(x)$ 值为 1 或 0 时, 分别表示选择或不选择, 选择系数 β 由逻辑斯蒂回归系数来估计 (Boyce et al. 1999)。为控制各变量之间的自相关性, 在拟合逻辑斯蒂方程之前对所有的生境变量进行相关性分析, 当相关系数绝对值不超过 0.5 时, 可认为无自相关性。采用 Spearman 相关系数对利用样方和对照样方的生境变量数据进行相关分析, 对于相关系数绝对值超过 0.5 的因子需要结合生态学意义进行变量筛选, 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)。

所有数据处理在 SPSS 25 中进行。

2 结果

2.1 马麝冬季卧息地生境连续型变量差异

相对于对照生境, 野生马麝冬季卧息地生境的海拔较低、积雪较浅, 灌木较高、灌木较多、地表植被盖度较大和倒木较多。上述差异极显著 ($P < 0.01$) (表 1)。

表 1 马麝冬季卧息生境和对照生境连续变量的比较

Table 1 Continuous variables in winter bed-sites of Alpine Musk Deer and control plots

变量 Variables	利用样地 Used-plots (<i>n</i> = 39)	对照样地 Control plots (<i>n</i> = 39)	<i>P</i>
海拔 Altitude (m)	2 488.5 ± 26.6	2 609.7 ± 19.5	< 0.01
坡度 Slope gradient (°)	28.1 ± 0.8	28.5 ± 0.8	0.87
乔木郁闭度 Arbor canopy (%)	27.8 ± 2.5	29.5 ± 0.9	0.07
乔木高度 Arbor height (m)	27.7 ± 2.6	32.0 ± 0.8	0.92
乔木株数 Number of arbor	25.1 ± 2.4	27.1 ± 0.7	0.16
灌木均高 Shrub height (m)	1.3 ± 0.3	0.4 ± 0.1	< 0.01
灌木盖度 Shrub canopy (%)	31.1 ± 3.1	2.9 ± 0.8	< 0.01
地表植被盖度 Ground-plant cover (%)	38.4 ± 3.3	6.5 ± 0.7	< 0.01
倒木数 Number of fallen wood	0.5 ± 0.1	0.1 ± 0.0	< 0.01
雪被深度 Snow depth (cm)	1.0 ± 0.3	3.4 ± 0.3	< 0.01

2.2 马麝冬季卧息地生境离散型变量选择指数

马麝冬季卧息地选择中, 对以下生境变量表现出明显的正向选择: 南坡、灌丛、隐蔽度好、距最近水源距离近、干扰强度较强、中坡位和下坡位; 对以下生境特征表现出随机选择: 针阔混交林、干扰程度较弱; 对其余类型的生境表现出回避或不选择 (表 2)。

2.3 马麝冬季卧息地生境变量的主成分分析

对马麝冬季卧息地生境的变量进行主成分分析, 前 4 个主成分特征值累计贡献率达 67.23% (表 3), 可反映马麝冬季卧息地生境特征。计算各生境因子变量载荷系数的转置矩阵, 据各生境变量载荷系数绝对值大小确定主成分 (表 4)。

表 2 马麝冬季卧息生境的离散变量

Table 2 Discrete variables in bed-site habitats of Alpine Musk Deer during winter

变量 Variables	类目 Item	利用样地数 (<i>r_i</i>) Used-plots number	调查样地数 (<i>p_i</i>) Survey-plots number	选择系数 (<i>W_i</i>) Selection coefficient	选择指数 (<i>E_i</i>) Selection index
坡向 Slope aspect	东 East	11	29	0.07	- 0.55
	南 South	22	5	0.84	0.54
	西 West	3	7	0.08	- 0.51
	北 North	3	55	0.01	- 0.92
坡位 Slope location	上坡 Upper slope	6	52	0.07	- 0.65
	中坡 Middle slope	19	26	0.45	0.15
	下坡 Lower slope	14	18	0.48	0.18
植被类型 Vegetation types	针叶林 Conifer forest	22	50	0.07	- 0.48
	阔叶林 Broad-leaf forest	0	37	0.00	- 1.00
	针阔混交林 Conifer and broad- leaf mixed forest	8	6	0.21	0.03
	灌丛 Shrub	9	2	0.72	0.56
	其他 Other types	0	1	0.00	- 1.00
隐蔽度 Concealment	强 Strong	34	7	0.98	0.49
	中 Middle	4	48	0.02	- 0.90
	弱 Weak	1	41	0.00	- 0.97

续表 2

变量 Variables	类目 Item	利用样地数 (r_i) Used-plots number	调查样地数 (p_i) Survey-plots number	选择系数 (W_i) Selection coefficient	选择指数 (E_i) Selection index
距最近水源距离 Distance to the nearest water	近 Close	20	11	0.85	0.44
	中 Middle	1	17	0.03	- 0.85
	远 Long	18	68	0.12	- 0.46
干扰强度 Interference intensity	强 Strong	4	7	0.46	0.15
	中 Middle	3	11	0.22	- 0.21
	弱 Weak	32	78	0.33	- 0.01

表 3 马麝冬季卧息生境构成变量的特征值表

Table 3 Eigenvalues of habitat variables in bed-sites used by Alpine Musk Deer during winter

主成分 Principal components	特征值 Eigenvalues	贡献率 Contribution (%)	累计贡献率 Cumulative contribution (%)
1	4.81	30.04	30.04
2	2.64	16.47	46.52
3	1.74	10.88	57.40
4	1.57	9.83	67.23
5	1.36	8.52	75.75

表 4 马麝冬季卧息生境因子载荷系数的转置矩阵表

Table 4 Rotated component matrix on loading coefficients of habitat variables in bed-sites used by Alpine Musk Deer during winter

变量 Variables	特征向量 Eigenvector			
	1	2	3	4
海拔 Altitude (m)	- 0.10	0.63	0.42	0.45
坡度 Slope gradient (°)	- 0.29	- 0.18	- 0.11	0.64
乔木郁闭度 Arbor canopy (%)	0.86	- 0.23	0.01	0.28
乔木高度 Arbor height (m)	0.94	- 0.15	0.06	0.12
乔木株数 Number of arbor	0.95	- 0.13	0.03	0.11
灌木均高 Shrub height (m)	0.11	0.12	0.44	- 0.31
灌木盖度 Shrub canopy (%)	- 0.76	- 0.45	0.12	0.21
地表植被盖度 Ground-plant cover (%)	- 0.44	- 0.48	0.41	0.13
倒木个数 Number of fallen wood	0.66	0.15	0.28	- 0.49
雪深 Snow depth	0.32	0.51	- 0.57	0.15
坡向 Slope aspect	0.30	- 0.25	0.08	0.46
坡位 Slope location	0.07	- 0.80	- 0.33	- 0.24
植被类型 Vegetation types	- 0.70	0.39	- 0.08	- 0.32
隐蔽度 Concealment	- 0.09	0.48	- 0.64	0.13
距最近水源距离 Distance to the nearest water	0.43	0.42	0.33	0.05
干扰强度 Interference intensity	- 0.29	0.37	0.36	0.21

第一主成分特征值为 4.81, 贡献率达 30.04%, 其中载荷系数绝对值相对较大的变量为乔木郁闭度、乔木高度和乔木株数, 综合反映了马麝冬季卧息生境中乔木的特征, 将其命

名为“乔木因子”。第二主成分特征值为 2.64, 贡献率达 16.47%, 其中载荷系数绝对值相对较大的变量为海拔、坡位、地表植被盖度、灌木盖度, 综合反映了马麝冬季卧息生境的食物资

“输入 (Enter)” 方法带入二元 logistic 回归。

马麝冬季卧息生境的资源选择函数见表 7。根据拟合出的资源选择函数，马麝对冬季卧息生境的选择概率为： $0.03 \times \text{乔木郁闭度} + 0.104 \times \text{乔木高度} + 0.17 \times \text{灌木盖度} - 0.466 \times \text{雪被深度} - 1.015 \times \text{坡向}$ 。模型的正确预测率为 91.1%。应用 ROC 曲线对模型进行检验，将资源选择函数模型的预测值作为检验变量，卧息样地与对照样地作为状态变量。结果显示，ROC 曲线的面积为 0.960，高于 0.5，表明资源选择函数模型拟合效果较好。

表 7 马麝冬季卧息生境资源选择函数的选择系数

Table 7 Selection coefficients in the resource selection function of Alpine Musk Deer during winter

变量 Variables	B	标准误差 Standard error	Wald 卡方检验值 Wald Chi-square	P
海拔 Altitude	0.001	0.002	0.064	0.800
坡度 Slope gradient	- 0.020	0.052	0.147	0.702
乔木郁闭度 Arbor canopy	0.030	0.056	0.279	0.597
乔木高度 Arbor height	0.104	0.060	2.985	0.084
灌木盖度 Shrub canopy	0.170	0.036	22.425	0.000
雪被深度 Snow depth	- 0.466	0.170	7.483	0.006
坡向 Slope aspect	- 1.015	0.356	8.120	0.004
常量 Constant	- 4.967	6.481	0.587	0.443

3 讨论

生境选择是野生动物的综合性环境适应行为，受海拔、坡度、隐蔽性及植被类型等因素的影响 (Cransac et al. 1997)。野生有蹄类动物顺利越冬的关键在于获得维持生存所需的足够能量，并降低自身被捕食的风险，因此往往对卧息地生境表现出较强的选择性 (McCorquodale 2003)。马麝是典型的山地型有蹄类动物，冬季是其发情交配期，食物资源短缺和捕食风险是马麝越冬及成功繁殖的关键制约因素 (Meng et al. 2003)。本研究表明，乔木因子、食物因

子、安全因子和地形因子是影响野生马麝冬季卧息生境选择的主要因素。

本研究表明，乔木的郁闭度、高度和密度特征构成的“乔木因素”是影响兴隆山野生马麝冬季卧息地生境特征的首要因素，即主成分分析的第一主成分。兴隆山地处西北，冬季严寒，尤其是迎风面生境，而较多、较高及较郁闭的乔木可明显减缓风速，林下环境温度相对较高，利于野生马麝冬季保温。此外，由于冬季积雪覆盖，地表植物的可获得性降低，影响野生有蹄类动物的冬季食物供给，如马鹿 (*Cervus canadensis*) 和西伯利亚狍等 (陈化鹏等 1991)。在本研究中的兴隆山保护区，由于高大郁闭乔木可减少地面积雪，增加了马麝食物 (地表植被) 的可获得性，利于野生马麝冬季觅食，以及快捷运动和反捕。类似的卧息地生境利用也见于贺兰山的野生马麝在冬季对乔木因子的正向选择 (孙嘉等 2020)。同时，野生马麝毛色暗褐，在冬季冰雪背景极易被天敌发现和捕杀，而针阔混交林的上层层片形成的地表投影可降低马麝的被捕食风险，这类利用环境背景提升安全性的行为对策也见于诸多野生动物 (Rearden et al. 2011)。

温带野生动物的食物多度和质量的季节性较强，冬季食物资源丰富度是决定野生动物越冬存活率及种群增长的关键因素 (Berger 1992)。麝是典型的北方精食者有蹄类 (extractor species)，以植物的幼嫩枝叶和地表植物为食 (徐嘉等 2018)。本研究表明，表征兴隆山保护区食物资源的地表植被盖度及灌木盖度等因素是制约马麝冬季卧息生境选择的重要因素。兴隆山马麝卧息地生境的灌木高度在 (1.3 ± 0.3) m 左右，这与麝类动物的最大采食高度吻合 (于孝臣等 2000)。此外，兴隆山马麝对灌丛生境表现出了较高的正向选择，其灌木及地表植被盖度显著高于对照生境，资源选择函数显示灌木高度与出现概率显著正相关，这也反映了野生马麝在冬季对食物资源的生态需求。

本研究中马麝冬季卧息地生境偏好选择较低海拔的下坡位生境,这是因为冬季海拔较低的山谷生境避风条件较好、环境温度相对较高,而且尚有零星地表植物分布,利于马麝冬季觅食及体温维持。孟秀祥等(2011)报道,野生马麝会选择靠近社区等人为干扰较强的生境,以获取村落周围的禾苗等地表食物和水源,这可能也是本研究中马麝在冬季选择强干扰生境的原因。本研究显示,马麝卧息生境中的倒木显著较多,这可能与倒木为地衣和苔藓等地表植被提供附着基底有关,即间接增加了其食物资源。此外,马麝卧息地对距水源距离表现出正向选择,偏好选择距离水源较近的生境作为卧息地,因为水源是西北干旱区野生马麝的必需资源(孟秀祥等 2011)。

安全性是有蹄类动物生境选择的重要因素(Estes et al. 1979)。本结果表明,生境隐蔽性和雪被深度构成的“安全因子”也是决定马麝冬季卧息地生境特征的主要因素(第三主成分)。马麝是典型小型独栖森林型有蹄类动物,胆怯、机警,隐蔽和奔逃是其主要的反捕对策,所以生境的良好隐蔽性是野生马麝成功反捕的基础。正因如此,本研究中的马麝对生境隐蔽性表现出正向选择($E_i = 0.49$),类似有强隐蔽性需求的也见于马鹿(Rearden et al. 2011)等野生动物。此外,本研究表明,兴隆山马麝冬季卧息地生境的雪被深度显著低于对照生境,和选择概率显著负相关,因为较深的积雪影响马麝快速运动和成功逃避天敌捕杀,也显著减少了食物资源的可获得性。类似结果也见于岩羊(*Pseudois nayaur*)(刘振生等 2005)和狗(朱洪强等 2013)等其他有蹄类动物。

本研究表明,坡度和坡向也影响马麝冬季对卧息地的利用,这可能与保温及食物需求有关。马麝冬季卧息地对南坡生境表现出强烈的正向选择性。在冬季,兴隆山南坡阳光照射时间相对较长、环境温度较高、积雪较浅(吴建平 2007),这利于马麝体温保持及快速运动,并有利于地衣苔藓等食物性地表植被的生长

(刘振生等 2005)。马麝偏好选择坡地作为卧息地生境,这与马麝臀高大于肩高、适于在陡坡栖息和跳跃有关,可以快速、有效运动和躲避猎物捕杀,类似选择格局见于岩羊(刘振生等 2005)和原麝(*Moschus moschiferus*)(张海龙等 2008)等山地有蹄类动物。

参 考 文 献

- Armstrong E, Euler D, Racey G. 1983. Winter bed-site selection by White-tailed Deer in central Ontario. *The Journal of Wildlife Management*, 47(3): 880–884.
- Berger J. 1992. Facilitation of reproductive synchrony by gestation adjustment in gregarious mammals: A new hypothesis. *Ecology*, 73(1): 323–329.
- 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.
- Cransac N, Hewison A J M. 1997. Seasonal use and selection of habitat by Mouflon (*Ovis gmelini*): Comparison of the sexes. *Behavioural Processes*, 41(1): 57–67.
- Estes R D, Estes R K. 1979. The birth and survival of Wildebeest calves. *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 50(1): 45–95.
- Li J, Li Y K, Liu W H. 2017. Autumn bed site selection by Sika Deer (*Cervus nippon*) in the Taohongling National Nature Reserve, China. *Russian Journal of Ecology*, 48(4): 384–391.
- 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 Hal.
- Mautz W W. 1978. Sledding on a bushy hillside: The fat cycle in deer. *Wildlife Society Bulletin*, 6(2): 88–90.
- McCorquodale S M. 2003. Sex-specific movements and habitat use by Elk in the cascade range of Washington. *The Journal of Wildlife Management*, 67(4): 729–741.
- Meng X X, Yang Q S, Xia L, et al. 2003. The temporal estrous patterns of female Alpine Musk Deer in captivity. *Applied*

- Animal Behaviour Science, 82(1): 75–85.
- Mysterud A, Østbye E. 1995. Bed-site selection by European Roe Deer (*Capreolus capreolus*) in southern Norway during winter. Canadian Journal of Zoology, 73(5): 924–932.
- Parker K L, Robbins C T. 1984. Thermoregulation in Mule Deer and Elk. Canadian Journal of Zoology, 62(7): 1409–1422.
- Rearden S N, Anthony R G, Johnson B K. 2011. Birth-site selection and predation risk of Rocky Mountain Elk. Journal of Mammalogy, 92(5): 1118–1126.
- Smith H D, Oveson M C, Pritchett C L. 1986. Characteristics of Mule Deer beds. The Great Basin Naturalist, 46(3): 542–546.
- Vanderploeg H A, Scavia D. 1979. Calculation and use of selectivity coefficients of feeding: Zooplankton grazing. Ecological Modelling, 7: 135–149.
- Wang J, Ji S N, Wu J Y, et al. 2021. Away from the city: Habitat selection of badgers in mountainous area around Beijing. Biologia, 76(6): 1737–1746.
- Zhou Y J, Meng X X, Feng J C, et al. 2004. Review of the distribution, status and conservation of musk deer in China. Folia Zoologica, 53(2): 129–140.
- 陈化鹏, 萧前柱. 1991. 带岭林区马鹿和狍冬季营养对策的比较. 生态学报, 11(4): 349–354.
- 陈龙, 李月辉, 胡远满, 等. 2017. 小兴安岭铁力林业局冬季西伯利亚狍 (*Capreolus pygargus*) 的生境选择. 生物多样性, 25(4): 401–408.
- 康发功. 2003. 兴隆山马麝资源种群数量变化研究. 甘肃林业科技, 28(4): 19–22.
- 李宗智, 刘振生, 米书慧, 等. 2021. 白山原麝国家级自然保护区獐春夏生境选择. 生态学报, 41(4): 1625–1633.
- 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, 曹丽荣, 翟昊, 等. 2004. 贺兰山区马鹿对冬季生境的选择性. 动物学研究, 25(5): 403–409.
- 孟秀祥, 潘世秀, 惠岑祚, 等. 2011. 甘肃兴隆山自然保护区濒危马麝 (*Moschus sifanicus*) 秋季利用生境特征. 应用与环境生物学报, 17(3): 412–417.
- 孙嘉, 赵唱, 孟德怀, 等. 2020. 贺兰山马麝冬季生境选择. 野生动物学报, 41(3): 573–579.
- 王静, 孙军平, 徐涛, 等. 2020. 甘肃兴隆山保护区野生马麝分布、数量特征及影响因素. 生态学报, 40(21): 7997–8004.
- 吴建平, 张海龙, 张勇. 2007. 大兴安岭原麝冬季的生境选择. 动物学杂志, 42(4): 45–50.
- 徐嘉, 暴旭, 刘振生, 等. 2018. 贺兰山同域分布高山麝和阿拉善马鹿秋季食性的比较研究. 生态学报, 38(10): 3705–3711.
- 杨萃, 潘世秀, 安谈红, 等. 2011. 甘肃兴隆山自然保护区马麝冬季生境喜好初步研究. 四川动物, 30(3): 481–487.
- 油志远, 鲁碧耕, 骆念龙, 等. 2021. 基于MaxEnt模型的四川察青松多白唇鹿国家级自然保护区马麝栖息地适宜性评价. 西南民族大学学报: 自然科学版, 47(6): 555–561.
- 于孝臣, 秋岩明, 宁波. 2000. 原麝和斑羚冬季种间关系的研究. 林业科技, 25(2): 41–44.
- 张海龙, 吴建平, 刘永志, 等. 2008. 大兴安岭原麝夏季的生境选择. 生态学杂志, 27(8): 1313–1316.
- 张洪峰, 胡罕, 苏丽娜, 等. 2017. 青海三江源自然保护区马麝栖息地适宜性评价. 西北农业学报, 26(8): 1141–1147.
- 朱洪强, 葛志勇, 刘庚, 等. 2013. 黄泥河自然保护区狍冬季卧息地选择. 生态学报, 33(7): 2054–2061.
- 邹师杰, 宋玉成, 杨道德, 等. 2013. 湖北石首麝鹿国家级自然保护区麝鹿冬季卧息地微生境选择. 生态学杂志, 32(4): 899–904.