

DOI:10.11686/cyxb2021186

http://cyxb.magtech.com.cn

赵朋波, 邱开阳, 谢应忠, 等. 海拔梯度对贺兰山岩羊主要活动区植物群落特征的影响. 草业学报, 2022, 31(6): 79—90.

ZHAO Peng-bo, QIU Kai-yang, XIE Ying-zhong, et al. Change in plant community characteristics along altitudinal gradients in the main browsing areas of *Pseudois nayaur* in the Helan Mountains. Acta Prataculturae Sinica, 2022, 31(6): 79—90.

海拔梯度对贺兰山岩羊主要活动区植物群落特征的影响

赵朋波^{1,3}, 邱开阳^{1,3*}, 谢应忠^{1,3}, 刘王锁^{1,3}, 李小伟^{1,3}, 陈林^{2,3}, 王继飞⁴, 孟文芬^{1,3}, 黄业芸^{1,3}, 李小聪¹, 杨浩楠¹

(1. 宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏大学生态环境学院, 宁夏 银川 750021; 3. 宁夏大学西北土地退化与生态恢复省部共建国家重点实验室培育基地, 宁夏 银川 750021; 4. 宁夏贺兰山国家级自然保护区管理局, 宁夏 银川 750021)

摘要: 研究贺兰山岩羊主要活动区植物群落组成和物种多样性在不同海拔梯度的变化规律对贺兰山岩羊的合理管护具有重要意义。本研究通过贺兰山岩羊主要活动区植被调查, 对不同海拔的数据进行单因素方差分析和回归分析, 阐明 1100~1500 m、1500~2000 m、2000~2500 m 和大于 2500 m 的 4 个海拔段岩羊主要活动区植物物种组成和物种多样性的变化, 探讨植被与岩羊等草食动物的关系及海拔对植物物种多样性的影响。结果表明: 贺兰山岩羊主要活动区植被共记录到 30 科 62 属 87 种, 主要为禾本科、蔷薇科和菊科等植物; 同时, 不同海拔梯度上的科、属、种的数量和组成存在差异。随着海拔上升, 岩羊主要活动区的草本植物的物种丰富度升高, Pielou 均匀度指数、Shannon—Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数表现为先降低后升高的特征; 灌木植物物种丰富度、Pielou 均匀度指数呈现出沿海拔上升而降低的特征, Shannon—Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数呈现出先增加后降低的特征。因此, 针对不同海拔植物物种多样性的不同, 建议对岩羊的合理管护在不同海拔地区采取不同措施, 以达到防止植被退化和促进岩羊种群健康发展的目的。

关键词: 贺兰山; 岩羊; 植物群落特征; 海拔

Change in plant community characteristics along altitudinal gradients in the main browsing areas of *Pseudois nayaur* in the Helan Mountains

ZHAO Peng-bo^{1,3}, QIU Kai-yang^{1,3*}, XIE Ying-zhong^{1,3}, LIU Wang-suo^{1,3}, LI Xiao-wei^{1,3}, CHEN Lin^{2,3}, WANG Ji-fei⁴, MENG Wen-fen^{1,3}, HUANG Ye-yun^{1,3}, LI Xiao-cong¹, YANG Hao-nan¹

1. School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. School of Ecology and Environment, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 3. Breeding Base for State Key Laboratory of Land Degradation and Ecological Restoration in Northwest China, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 4. Helan Mountains National Nature Reserve of Ningxia, Yinchuan 750021, China

Abstract: In this research a vegetation survey was conducted to evaluate the changes in plant community composition and species diversity along altitudinal gradients in the main browsing areas of *Pseudois nayaur* (blue sheep) in the Helan Mountains. Such data is important for the successful management and protection of *P. nayaur*. One way

收稿日期: 2021-05-07; 改回日期: 2021-06-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(42001095), 宁夏重点研发计划重点项目(2020BEG02001)和宁夏大学生创新创业训练计划项目(S202110749030)资助。

作者简介: 赵朋波(1996-), 男, 陕西富平人, 在读硕士。E-mail: zhaopbo@163.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: kaiyangqiu@nxu.edu.cn

ANOVA and regression analyses were performed for data from different altitudes. Changes in plant species composition and species diversity were elucidated for four altitudes (1100–1500 m, 1500–2000 m, 2000–2500 m, and above 2500 m) in the main browsing areas of *P. nayaur*. The influence of altitude on plant species diversity and the relationships between vegetation and herbivores such as *P. nayaur* are discussed. There were found to be 87 plant species, 62 genera, and 30 families in total, mainly Poaceae, Rosaceae, and Asteraceae in the *P. nayaur* browsing areas. Meanwhile, there were differences between altitudes in the number and composition of families, genera, and species. With increasing altitude, the species richness of herbaceous plants also increased, while other indices including the Pielou evenness index, Shannon–Wiener diversity index, and Simpson dominance index all initially decreased and then increased. For shrubs, the species richness and Pielou evenness index decreased with increasing altitude; While the Shannon–Wiener diversity index and the Simpson dominance index both peaked at intermediate altitudes. Therefore, in view of the different plant species diversity patterns at different altitudes, it is suggested that different measures should be taken at different altitudes to prevent vegetation degradation and promote the sustainable conservation of the *P. nayaur* population.

Key words: Helan Mountains; blue sheep (*Pseudois nayaur*); plant community characteristic; altitudinal gradient

贺兰山地处阿拉善高原和银川平原之间,是我国重要地理分界线,区隔着我国季风区与非季风区、温带草原与荒漠草原^[1–2],也是青藏高原、蒙古高原及华北平原植物区系的重要枢纽^[3],是干旱内陆地区为数不多的富有植物多样性的地区之一^[4]。贺兰山作为我国西北地区一道重要的生态屏障,既阻碍了腾格里沙漠的东进,又拦截了来自乌兰布和沙漠的风沙,有效地保护了银川平原^[3]。因此,贺兰山对于维护中国西北乃至整个西部地区的生态安全具有重要的战略意义。

在贺兰山,由于雪豹等天敌消失^[5]、禁牧措施等原因导致种间竞争减弱^[6],使得岩羊(*Pseudois nayaur*)数量快速增长^[6],这种单一物种种群快速增长诱发了诸多问题,造成了与同等生态位上其他物种的关系失衡^[7],影响到植被的恢复和其他动物的发展^[8]。岩羊作为植物—岩羊—雪豹这一食物链中重要的一环,一旦超过自然界的承载能力,势必引起贺兰山生态环境的破坏,如草场面积锐减、土地沙漠化加剧等问题^[9]。

贺兰山自然保护区的植被垂直分异特征明显,其植被类型沿着海拔上升依次为荒漠草原、山地疏林草原、山地针叶林和高山—亚高山灌丛草甸^[4,10–11]。贺兰山东坡是岩羊的主要分布区^[6]。贺兰山岩羊主要分布在海拔为1100~2800 m的地区,这些地区多是以灰榆(*Ulmus glaucescens*)等乔木为主的山地疏林草原,或无高大乔木,或接近水源,并远离人类活动干扰,距离裸岩2~5 m,位于半阴半阳坡的下坡位^[12–13]。另外还有高山—亚高山灌丛草甸^[14–15]也是岩羊偏爱的取食地和栖息地。

在山地生态系统中,海拔对其生态—水文过程有着强烈的影响,这也导致了植物群落特征随海拔变化而有所不同^[16]。同时,与海拔密切相关的气候的变化也对植物群落有制约作用,也是植物多样性变化的主要驱动因子^[17]。现有研究表明,山地植物物种丰富度的模型主要有两种:一是物种丰富度随海拔升高而升高^[18],二是随海拔的升高,物种丰富度先升高后降低^[19]。这是与海拔相关的水分、温度等环境因子的变化所导致。在不同海拔地区,水分主导了植物的生长,水分对植物的限制性随着海拔的降低而增强。总的来说,海拔变化囊括了水分、温度、光照、湿度和土壤等环境因子的变化,对植物群落的多样性存在显著影响^[20]。

为了探明贺兰山岩羊主要活动区的植物群落特征,进而为理清岩羊与植被的平衡关系奠定基础,以期加强对贺兰山地区岩羊种群的合理管护,从而维护贺兰山生态平衡,本研究以位于贺兰山东坡的岩羊主要活动区植被群落为对象,通过对不同海拔的岩羊主要活动区进行植被调查,研究其物种组成、物种多样性变化,试图说明:1)贺兰山岩羊主要活动区不同植被类型的物种组成;2)植物物种多样性沿海拔梯度的变化规律。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于宁夏贺兰山国家级自然保护区苏峪口。贺兰山横亘于阿拉善高原和银川平原之间,东临黄河,西靠腾格里沙漠,属于干旱半干旱地区。地理坐标为 $38^{\circ}13' - 39^{\circ}30' \text{ N}$, $105^{\circ}41' - 106^{\circ}41' \text{ E}$,是我国季风区与非季风区、内流区与外流区的地理分界线。贺兰山大体为西南—东北走向,东西宽 20~40 km,南北约 180 km,东坡山势陡峭,西坡相对平缓,从山麓到山顶垂直分化明显,高度相差 2000 m 以上,主体海拔大多在 2000~3000 m 之间,主峰敖包疙瘩高 3556.1 m。目前建立了宁夏贺兰山国家级自然保护区(东坡)和内蒙古贺兰山国家级自然保护区(西坡)。

贺兰山属于典型的大陆性季风气候,冬季漫长且寒冷,夏季短暂而炎热,气候较为干燥,全年盛行西北风,年平均风速 $7.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,大风天数达 157.7 d,最大风速 $38.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。贺兰山的水热条件随着海拔上升有着明显的差异,东坡年平均气温 8.2°C ,年平均降水量 183.3 mm,西坡年均气温 7.6°C ,年均降水量 430 mm,降水主要集中在 6—9 月,按水热条件,贺兰山地区可被划分为 4 个垂直气候带:温暖干旱草原荒漠气候带($<1500 \text{ m}$)、较温凉半干旱草原气候带(1600~2000 m)、温寒半干旱偏湿润森林气候带(2000~3000 m)、寒冷半湿润高山—亚高山气候带($>3000 \text{ m}$)。主要植被类型随着海拔升高逐渐由山地草原带(1000~1600 m)、山地疏林草原带(1600~2000 m)过渡到山地针叶林带(2000~2500 m)和高山—亚高山灌丛、草甸带($>2500 \text{ m}$)^[21]。

1.2 样地设置

于 2020 年 8 月在贺兰山国家级自然保护区苏峪口开展试验。结合以往在贺兰山开展的与岩羊相关的研究^[6,12]及实地勘察,并根据植被类型情况,确定贺兰山岩羊主要活动区 4 个,从山麓到山顶分别为荒漠草原、山地疏林草原、山地针叶林、高山—亚高山灌丛草甸(表 1)。在每个活动区设置 3 个样地,每个样地布设具有代表性的套样方,即 3 个乔木样方($20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$)内布设灌木样方($10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$)5 个,每个灌木样方内各设置 1 个草本样方($1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$),样方均设置在阳坡。运用植物群落学调查技术,调查植物种类、高度、盖度、频度、多度以及地上生物量,灌木和乔木植物补充测定其冠幅、胸径等^[22]。

1.3 数据分析

物种多样性指数采用物种丰富度指数(R)、Simpson 优势度指数(D)、Shannon—Wiener 多样性指数(H')和 Pielou 均匀度指数(E),根据以下公式计算不同植物群落数量特征:

重要值: $P_i = \frac{\text{相对高度} + \text{相对盖度} + \text{相对多度} + \text{相对频度}}{4}$ (1)

物种丰富度指数(R): $R = S$ (2)

Simpson 优势度指数(D): $D = 1 - \sum P_i$ (3)

Shannon—Wiener 多样性指数(H'): $H' = -\sum P_i \cdot \ln P_i$ (4)

Pielou 均匀度指数(E): $E = \frac{-\sum P_i \cdot \ln P_i}{\ln S}$ (5)

式中: S 为群落中物种总数; P_i 为种 i 的相对重要值, $i=1, 2, \dots, S$ 。

本研究首先使用 Excel 2019 对数据进行初步整理、计算各研究区内植物的重要值和多样性指数,然后利用 SPSS 19.0 进行单因素分析(One-way ANOVA)和回归分析,对不同海拔的数据进行差异显著性检验、多重比较和回归分析等,所有图表均在 Excel 2019 中完成。

表 1 研究区植物群落类型及海拔高度
Table 1 Plant community types and the altitude of research areas

研究区编号 Research area number	植被类型 Vegetation types	海拔 Altitude
A	荒漠草原 Desert steppe	1100~1500 m
B	山地疏林草原 Mountain sparse forest grassland	1500~2000 m
C	山地针叶林 Mountain coniferous forest	2000~2500 m
D	高山—亚高山灌丛草甸 Alpine—subalpine shrub meadow	$>2500 \text{ m}$

2 结果与分析

2.1 贺兰山岩羊主要活动区植被组成及区系特征

贺兰山岩羊主要活动区共记录到30科62属87种植物。其中被子植物84种,裸子植物3种。贺兰山岩羊主要活动区所有植物中有3个科所含种的数量在10种以上(表2),其中含种数量最多的是禾本科(Poaceae),有20种,占总种数比例为22.98%,其次是蔷薇科(Rosaceae)(11种)和菊科(Asteraceae)(10种),两科合计占总种数比24.14%,然后依次是豆科(Fabaceae)(7种)、石竹科(Caryophyllaceae)(4种)、伞形科(Apiaceae)(3种)、玄参科(Scrophulariaceae)(3种)、苋科(Amaranthaceae)(3种)、石蒜科(Amaryllidaceae)(2种)、旋花科(Convolvulaceae)(2种)、毛茛科(Ranunculaceae)(2种)、唇形科(Lamiaceae)(2种)。另外还有18个单种科,包括远志科(Polygalaceae)、鸢尾科(Iridaceae)、忍冬科(Caprifoliaceae)、茜草科(Rubiaceae)、榆科(Ulmaceae)、小檗科(Berberidaceae)和松科(Pinaceae)等,所有单种科数占总科数的60.00%。

表2 贺兰山岩羊主要活动区植物群落物种数量

Table 2 Species number of plant community in main active areas of *P. nayaur* in Helan Mountains

单科所含种数范围 Range of number of species in each families	科数 Number of families	占总科数比例 Percentage of total families (%)	属数 Number of genera	占总属数比例 Percentage of total genera (%)	种数 Number of species	占总种数比例 Percentage of total species (%)
≥20	1	3.33	10	16.13	20	22.98
10~19	2	6.67	12	19.35	21	24.14
6~9	1	3.33	4	6.45	7	8.05
2~5	8	26.67	18	29.03	21	24.14
1	18	60.00	18	29.03	18	20.69
总计 Total	30	100.00	62	100.00	87	100.00

在贺兰山岩羊主要活动区植物群落的物种中,包括一年生草本、多年生草本、半灌木、灌木、乔木和木质藤本6种生活型的植物。其中,草本63种,一年生草本4种,多年生草本59种;木本23种,灌木12种,半灌木7种,乔木4种,藤本1种,为木质藤本(图1)。

2.2 贺兰山岩羊主要活动区不同海拔的植物群落组成与特征

不同海拔植物群落组成各有差异。海拔在1100~1500 m的研究区科数最少,与其他海拔研究区的科数具有显著差异($P<0.05$),而其他海拔研究区之间不存在显著差异($P>0.05$);在属水平上,2500 m以上海拔的研究区属数最多,和其他海拔研究区之间

存在显著差异($P<0.05$),最少的是1100~1500 m海拔处的研究区,与其他海拔研究区的属数具有显著差异($P<0.05$);在种水平上,海拔在2500 m以上的研究区植物种数最多,和其他海拔研究区之间存在显著差异($P<0.05$),最少的是1100~1500 m海拔处的研究区,与其他海拔的种数具有显著差异($P<0.05$)(表3)。

在1100~1500 m的研究区,主要植被类型为荒漠草原,共有9科16属20种植物,其中以禾本科为主,有7种,其次为苋科、旋花科、豆科、菊科等,主要属有针茅属(*Stipa*)、旋花属(*Convolvulus*)、隐子草属(*Cleistogenes*)和碱猪毛菜属(*Salsola*)等;海拔在1500~2000 m的山地疏林草原,共有16科29属35种,其中禾本科最多,有8种,其次为蔷薇科(7种)、菊科和豆科(各4种),主要属有针茅属、早熟禾属(*Poa*)、绣线菊属(*Spiraea*)、桃属

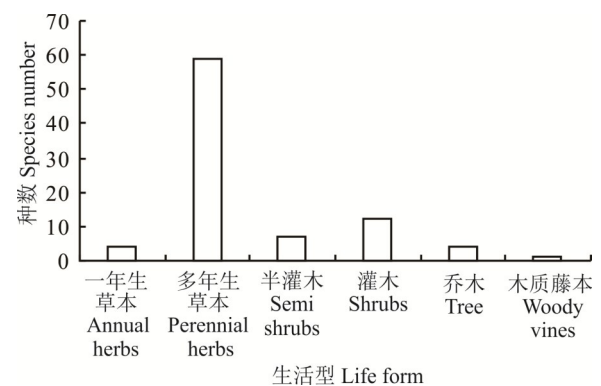


图1 贺兰山岩羊主要活动区植物生活型

Fig. 1 Plant life forms of the main active areas of *P. nayaur* in Helan Mountains

(*Amygdalus*)等;海拔在 2000~2500 m 的山地针叶林,共有 15 科 21 属 24 种植物,主要植物为禾本科(5 种)、蔷薇科(3 种)和菊科(3 种),主要属为蒲公英属(*Taraxacum*)、披碱草属(*Elymus*)和鹅观草属(*Roegneria*);海拔在 2500 m 以上的高山—亚高山灌丛草甸中共有 16 科 32 属 40 种植物,主要科为禾本科(7 种)、菊科和蔷薇科(各 6 种)、石竹科(4 种)、豆科(3 种)等,主要属有委陵菜属(*Potentilla*)、披碱草属、早熟禾属等(图 2)。

2.3 不同海拔梯度植被优势种及其重要值

贺兰山岩羊主要活动区植被类型沿海拔由低到高依次为荒漠草原、山地疏林草原、山地针叶林和高山—亚高山灌丛草甸,岩羊主要活动区植物物种重要值排序结果显示,贺兰山岩羊主要活动区植物优势种以禾本科草本植物和蔷薇科灌木植物为主(表 4)。

表 3 贺兰山岩羊主要活动区不同海拔植物所含科、属、种的数量

Table 3 Number of families, genera, and species of plants at different altitudes in main active areas of *P. nayaur* in Helan Mountains

研究区	科数	属数	种数
Research area	Number of families	Number of genera	Number of species
A	9b	16c	20c
B	16a	29a	35b
C	15a	21b	24c
D	16a	32a	40a

注:同列数据不同小写字母表示不同海拔之间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: The different lowercase letters in the same column mean significant differences among different altitudes ($P<0.05$). The same below.

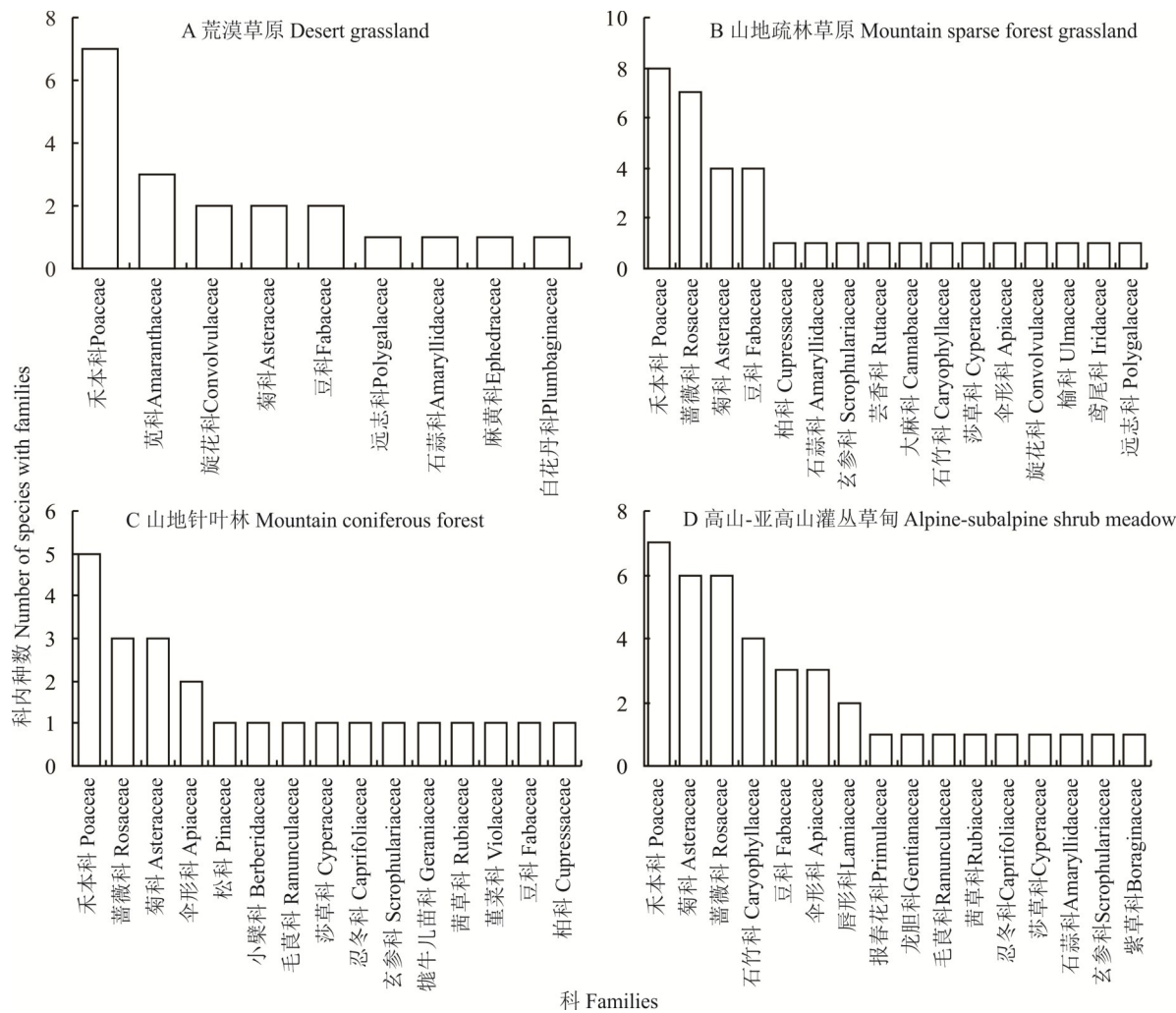


图 2 贺兰山岩羊主要活动区不同海拔植物群落各科所含种数

Fig. 2 Species number of each family in plant communities at different altitudes in main active areas of *P. nayaur* in Helan Mountains

在草本层,低海拔荒漠草原的优势种为短花针茅(*Stipa breviflora*)(重要值为0.332,下文括号中数值同为重要值)、无芒隐子草(*Cleistogenes songorica*)(0.200)等,中低海拔处的山地疏林草原优势种为针茅(*Stipa capillata*)(0.327),中高海拔处的山地针叶林的优势种为苔草(*Carex* spp.)(0.428)、真穗披碱草(*Elymus gmelinii*)(0.183)、小红菊(*Chrysanthemum chernetii*)(0.126)等,高海拔的高山—亚高山灌丛草甸的优势种为苔草(0.226)等(表4)。

表4 贺兰山岩羊主要活动区不同植物群落类型优势种及其重要值

Table 4 Dominant species and their importance values of different plant community types in main active areas of *P. nayaur* in Helan Mountains

研究区 Research area	草本 Herb		灌木 Shrub	
	物种名 Species	重要值 Importance value	物种名 Species	重要值 Importance value
A	短花针茅 <i>S. breviflora</i>	0.332	刺旋花 <i>C. tragacanthoides</i>	0.462
	无芒隐子草 <i>C. songorica</i>	0.200	松叶猪毛菜 <i>S. laricifolia</i>	0.434
	猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	0.110	狭叶锦鸡儿 <i>Caragana stenophylla</i>	0.066
B	针茅 <i>S. capillata</i>	0.327	蒙古扁桃 <i>A. mongolica</i>	0.407
	苔草 <i>Carex</i> spp.	0.093	小叶金露梅 <i>P. parvifolia</i>	0.175
	冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	0.075	猫头刺 <i>O. aciphylla</i>	0.109
C	苔草 <i>Carex</i> spp.	0.428	—	—
	真穗披碱草 <i>E. gmelinii</i>	0.183	—	—
	小红菊 <i>C. chernetii</i>	0.126	—	—
D	苔草 <i>Carex</i> spp.	0.226	小叶金露梅 <i>P. parvifolia</i>	0.508
	硬质早熟禾 <i>Poa sphondylodes</i>	0.088	银露梅 <i>P. glabra</i>	0.402
	冰草 <i>A. cristatum</i>	0.077	小叶忍冬 <i>Lonicera microphylla</i>	0.052

在灌木层,低海拔荒漠草原的优势种为刺旋花(*Convolvulus tragacanthoides*)(0.462)、松叶猪毛菜(*Salsola laricifolia*)(0.434)等,中低海拔山地疏林草原优势种为蒙古扁桃(*Amygdalus mongolica*)(0.407)、小叶金露梅(*Potentilla parvifolia*)(0.175)和猫头刺(*Oxytropis aciphylla*)(0.109)等,高海拔的高山—亚高山灌丛草甸的优势种为小叶金露梅(0.508)、银露梅(*Potentilla glabra*)(0.402)等,而中高海拔山地针叶林没有灌木植物生长。

2.4 贺兰山岩羊主要活动区不同海拔的植物物种多样性变化

贺兰山岩羊主要活动区植物群落多样性方差分析和多重比较结果显示,在群落水平上,草本层的物种丰富度、Shannon—Wiener多样性指数和Simpson优势度指数均大于灌木层,而均匀度指数小于灌木层。不同研究区之间的草本层植物的物种丰富度指数、Pielou均匀度指数和Shannon—Wiener多样性指数都存在显著差异($P < 0.05$),而Simpson优势度指数之间没有显著差异($P > 0.05$);不同研究区之间灌木层的丰富度指数、Shannon—Wiener多样性指数和Simpson优势度指数都存在显著差异($P < 0.05$),而Pielou均匀度指数没有显著差异($P > 0.05$)(表5)。

回归分析结果显示,草本层植物的物种丰富度随着海拔升高而升高;Pielou均匀度指数、Shannon—Wiener多样性指数、Simpson优势度指数均与海拔高度相关不显著,呈现出先降低再升高的特征。灌木植物的物种丰富度随海拔升高而降低;Pielou均匀度指数与海拔高度之间呈显著相关,随海拔升高而降低;Shannon—Wiener多样性指数和Simpson优势度指数均与海拔呈显著相关,随海拔的增加先升高后降低(图3)。

草本层植物的物种丰富度、Pielou均匀度指数、Shannon—Wiener多样性指数和Simpson优势度指数最高的均为海拔在2500 m以上的高山—亚高山灌丛草甸,指数最低的均为海拔在2000~2500 m的山地针叶林,不同海拔处的研究区草本植物物种多样性指数由高到低依次是高海拔区、中低海拔区、低海拔区和中高海拔区。

表 5 贺兰山岩羊主要活动区植物群落多样性对海拔梯度的响应规律

Table 5 Response of vegetation community diversity to altitudinal gradient in main active areas of *P. nayaur* in Helan Mountains

研究区 Research areas	物种丰富度指数 Richness index		Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index		Shannon—Wiener 多样性指数 Shannon—Wiener diversity index		Simpson 优势度指数 Simpson dominance index	
	草本 Herb	灌木 Shrub	草本 Herb	灌木 Shrub	草本 Herb	灌木 Shrub	草本 Herb	灌木 Shrub
A	9±1.47c	3±0.84b	0.80±0.04ab	0.93±0.06a	1.78±0.15bc	0.91±0.24ab	0.78±0.03a	0.57±0.08ab
B	14±2.80b	4±1.14a	0.68±0.10ab	0.87±0.10a	1.79±0.28b	1.28±0.31a	0.79±0.68a	0.67±0.11a
C	8±1.79c	—	0.65±0.13b	—	1.33±0.28c	—	0.69±0.18a	—
D	20±3.07a	2±0.55b	0.82±0.04a	0.78±0.14a	2.45±0.05a	0.72±0.28b	0.88±0.01a	0.41±0.23b

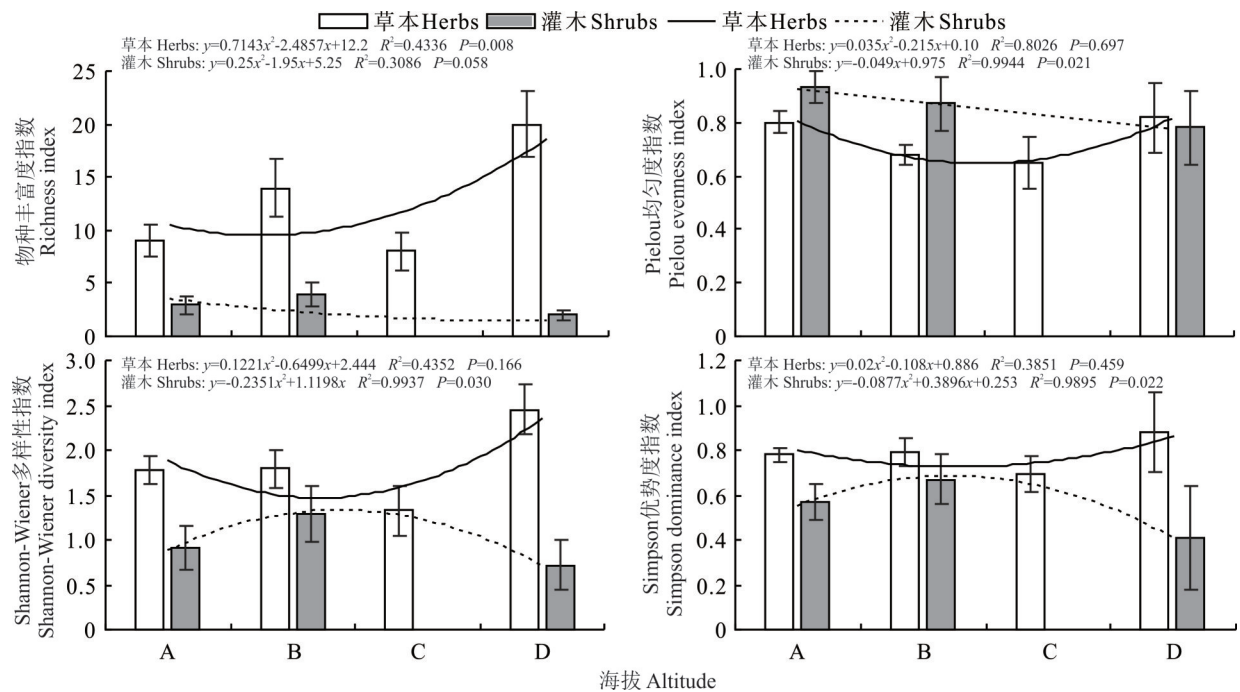


图 3 植物物种多样性与海拔高度的关系

Fig. 3 Relationship between plant species diversity and altitude

灌木层植物的物种丰富度、Shannon—Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数最高的均为海拔位于 1500~2000 m 的山地疏林草原,而 Pielou 均匀度指数最高的为位于低海拔处的荒漠草原;各个指数最低的均为 2500 m 海拔以上的高山—亚高山灌丛草甸。不同海拔处的研究区灌木植物物种多样性指数由高到低依次是中低海拔区、低海拔区和高海拔区。

3 讨论

3.1 贺兰山岩羊主要活动区植物区系特征及其与岩羊等食草动物的关系

贺兰山位于蒙古高原南缘、黄土高原西北处,又与青藏高原东北部邻近,因此这里汇聚了蒙古高原、华北平原、青藏高原的植物成分,使得贺兰山的植物地理成分复杂,而具有明显的过渡性特征^[23-24],又因其高度差较大、水热分布差异,从而形成了明显的垂直地带性植被^[25]。根据相关研究,贺兰山西麓的植物物种以禾本科居多,菊科、豆科、蔷薇科等次之^[26]。而本研究在贺兰山岩羊主要活动区植被调查共记录到 87 种植物,隶属于 30 科 62 属,禾本科包含的植物种类最多,其次是蔷薇科、菊科和豆科等。岩羊主要活动区植物生活型组成有灌木、半灌木、多年生草本、一年生草本、木质藤本,这与胡天华^[23]和段河等^[26]在宁夏贺兰山国家级自然保护区的研究结果相符。

在贺兰山,荒漠草原以短花针茅为优势种,群落内植物多在 10 种左右^[25];山地疏林草原主要是灰榆、蒙古扁

桃、短花针茅等小乔木和灌木稀疏分布^[27];山地针叶林主要生长着油松(*Pinus tabulaeformis*)和青海云杉(*Picea crassifolia*);海拔在2500 m以上的高山—亚高山灌丛草甸植物种类繁多,草本植物主要有苔草、早熟禾及其他杂类草^[26]。本研究关于岩羊主要活动区的植物区系特征印证了这些结果。

贺兰山岩羊所采食的植物以禾本科植物为主^[28],还包括蔷薇科、豆科、菊科等植物,其中针茅是岩羊的大宗食物,早熟禾、灰榆、冰草等植物也是岩羊的主要采食植物^[29]。本研究植物区系特征结果与岩羊主要采食的植物相符合,说明贺兰山岩羊在贺兰山能够获得生长发育所需的食物,同时,植物组成也可能是岩羊选择其活动区的关键因素。

有研究表明,即使食草动物的数量很少,也会是保护和恢复目标的障碍,因为它们对一些植物物种有着持续压力^[30]。在贺兰山,岩羊数量持续增长,且分布并不均匀^[31],其生境已经呈破碎化状态,部分生境内的植被因为过度啃食已经出现严重退化的现象,已经阻碍了植被的生长和恢复,对贺兰山植被的保护、生物多样性和群落结构的恢复及协调发展造成了巨大的威胁。

因此,植物群落组成及多样性与贺兰山岩羊等食草动物之间有着深刻的联系。食草动物对生态系统功能具有至关重要的作用,一些关键的生态系统过程受到它们的影响,如养分的周转和种子的传播^[32-33]。而且它们还调控着植物的多样性和生产力^[34],食草动物的捕食压力下,植被幼苗死亡率高,且其高度的生长率甚至可以忽略不计,从而导致植物成活率极低,而食草动物数量的减少会促使大多数植被的幼苗增长^[35]。食草动物对植物群落的多样性和组成有着强烈的影响^[36]。植物物种多样性会随着食草动物采食强度的增强而降低,而且在食草动物的采食行为中具有较强的选择性,这种行为则可能会加剧植物物种多样性的降低^[37]。

同时,植物多样性对食草动物具有积极的调节作用^[38]。植物多样性的增加通常会导致植物生物量和栖息地多样性的增加,这两者都有利于食草动物。植物多样性的增加可以通过提供更广的范围和更丰富的食物来促进食草动物数量的增加。食草动物对植物多样性的响应则反映了栖息地和营养效应之间的平衡状态^[39]。

3.2 贺兰山不同海拔的岩羊主要活动区植物物种多样性的影响因素

能够对物种多样性产生影响的因素多种多样,如降水、温度、湿度、阳光、土壤条件、海拔和人为干扰等。本研究结果显示,海拔在2500 m以上的高山—亚高山灌丛草甸中的草本层植物的物种丰富度和Pielou均匀度指数都高于其他研究区,而2000~2500 m海拔处的山地针叶林研究区的草本植物物种丰富度和Pielou均匀度指数最低。这也与岩羊在高山草原活动较频繁^[40]相印证。造成这种结果最主要的因素是水分、温度等气候因素^[41-42],而海拔高度能够对水、热、湿度等条件产生直接决定作用^[43]。宁夏贺兰山处于中温带干旱地区,这一气候区域使得热量和水分条件成了植物生长的限制因子,气候格局从而呈现出气温随海拔升高而降低,降水随海拔升高而增多^[44]。在中低海拔区,相对来说温度高而降水量少,因此其蒸散量和干旱程度高于高海拔地区,从而这一区域的植物生长受到水分的限制作用,而在高海拔地区降水量相对增多,蒸散量相对减少,水分不再是限制植物生长的主导因素,加之人为干扰减少,因此物种丰富度逐渐增加^[45]。高山—亚高山灌丛草甸研究区海拔位于2500 m以上,降水量多,受到太阳直射时间较长,光照使得温度对植物的限制相对降低,因此这一研究区的草本植物物种多样性最高。山地针叶林研究区海拔处于2000~2500 m,降水量多,但这一研究区因高大乔木郁闭度较高,导致阳光不能直射至林下,空气湿度大,气温低,这可能是导致这一研究区草本层植物物种丰富度最低的原因,而该研究区没有灌木植物生长也与这一气候条件限制有关,灌木的生长喜光且不耐涝,这一地区林下既没有阳光直射,湿度又大,不利于灌木的生长。相反在中低海拔区,由于灰榆等小乔木生长稀疏,冠层较小,使太阳光能够照射至灌木层,又因这一区域温度较高导致蒸散量和干旱程度高,降水量相对较少,符合灌木的生长习性,因此在中低海拔区的灌木层植物的物种丰富度和Pielou均匀度指数相对较高,这也与Jiang等^[4]的研究结果一致。但灌木也存在死亡率较高的现象^[46],这是由于当种间和种内对于光照、水分、养分和空间等因素的竞争激化时,灌木的生长受到抑制所致。

已有研究表明,草本植物的Shannon—Wiener多样性指数随海拔升高而增加^[47]。本研究的结果与上述规律基本一致,除了山地针叶林研究区,其他研究区的Shannon—Wiener多样性指数沿海拔梯度的变化印证了这一结

果。其中海拔 2500 m 以上的高山—亚高山灌丛草甸研究区与其他研究区之间的多样性指数存在显著差异,产生这种差异的原因主要是不同生境之间的差异使得各研究区生长的物种产生差别,进而使植物群落在结构和功能方面都产生了差异^[48-49]。本研究通过对各研究区之间的 Shannon—Wiener 多样性指数进行比较,发现山地针叶林研究区的 Shannon—Wiener 多样性指数最低,Jiang 等^[4]研究发现贺兰山以青海云杉(*Picea crassifolia*)为主的山地针叶林 Shannon—Wiener 多样性指数最低,Liu 等^[50]发现岩羊对山地针叶林植物的食用量低,而在本研究中的 Shannon—Wiener 多样性指数最低的同样是以青海云杉为主的山地针叶林,这也说明了本研究与前人的结果一致。

Simpson 优势度指数和植物群落中的物种数量有关,优势度越大,植物群落不同种类的植物数量分布越不均匀。在本研究中,草本层植物的 Simpson 优势度指数在 0.69~0.88 之间,灌木层的优势度指数在 0.34~0.67 之间,灌木层和草本层之间优势度的差异,可能是由于在岩羊主要活动区内灌木植物之间的种内和种间竞争激烈,从而导致灌木植物物种数量较低,进而使得灌木层优势度指数低于草本层。灌木在海拔 2500 m 以上的高山—亚高山灌丛草甸研究区的优势度指数最小,可能是由于该研究区海拔高,人类活动少,但风力大,风蚀严重,不利于灌木的生长发育^[16]。

物种多样性受到多因素的调节,而植物也能根据环境等因素有形态适应、物候适应、生理生态适应的多样性^[10]。贺兰山的植物种类丰富、区系地理复杂、沿海拔垂直带变化多样共同造成了其物种多样性。

4 结论

根据植被调查结果,构成岩羊主要活动区的草本植物主要为禾本科植物,灌木以蔷薇科植物为主。海拔梯度对贺兰山岩羊主要活动区的植物物种多样性变化有一定影响,草本层植物物种多样性在高海拔地区达到峰值,而灌木植物由于其自身喜光但不耐涝的特性,在中海拔地区物种多样性最大。整体来看,草本层植物物种多样性随着海拔的升高在岩羊主要活动区呈现出先降低后升高的趋势,而灌木层植物物种丰富度、Pielou 均匀度指数呈现出沿海拔上升而降低的特征,Shannon—Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数呈现出先增加后降低的特征。因此,建议在不同海拔对贺兰山岩羊采取不同的管护措施,以达到防止植被退化和促进岩羊种群健康发展的效果。

参考文献 References:

- [1] Jia L, Zhang J Y, Ren G D. Spatial distribution pattern of Tenebrionidae and its relationships with meteorological factors in Alxa Plateau, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(10): 3316—3326.
贾龙, 张建英, 任国栋. 阿拉善高原拟步甲空间分布格局及其与气象因子的关系. *应用生态学报*, 2019, 30(10): 3316—3326.
- [2] Liang C Z, Zhu Z Y, Wang W, *et al.* The diversity and spatial distribution of plant communities in the Helan Mountains. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(3): 361—368.
梁存柱, 朱宗元, 王伟, 等. 贺兰山植物群落类型多样性及其空间分异. *植物生态学报*, 2004, 28(3): 361—368.
- [3] Zheng J G, Chen Y W, Wu G X. Association of vegetation patterns and environmental factors on the arid western slopes of the Helan Mountains, China. *Mountain Research and Development*, 2013, 33(3): 323—331.
- [4] Jiang Y, Kang M Y, Zhu Y, *et al.* Plant biodiversity patterns on Helan Mountain, China. *Acta Oecologica*, 2007, 32(2): 125—133.
- [5] Hu T H, Li Y G, Wang Z D. Status of the national key protected wildlife in Helan Mountain. *Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 33(2): 40—45.
胡天华, 李元刚, 王兆铤. 贺兰山国家重点保护野生动物的现状及分析. *农业科学研究*, 2012, 33(2): 40—45.
- [6] Liu Z S, Wang X M, Li Z G, *et al.* Distribution and abundance of blue sheep in Helan Mountains, China. *Chinese Journal of Zoology*, 2007(3): 1—8.
刘振生, 王小明, 李志刚, 等. 贺兰山岩羊的数量与分布. *动物学杂志*, 2007(3): 1—8.
- [7] Zhu L H, Cui C Y, Zhang J G. Helan Mountain, the paradise of blue sheep. *Forest & Humankind*, 2011(11): 58—69.
朱莉华, 崔承佑, 张金国. 岩羊天堂贺兰山. *森林与人类*, 2011(11): 58—69.

- [8] Liu C G, Wang Y. Survey on quantity changes of blue sheep population in Helanshan nature preserve of Ningxia. Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition), 2006(S1): 159—162.
刘楚光, 王艳. 宁夏贺兰山自然保护区岩羊种群数量变化调查. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2006(S1): 159—162.
- [9] Jiang Y Y, Ma Z Q, Teng L W, *et al.* Advance of the population and ecology of *Pseudois nayaur*. Journal of Economic Animal, 2017, 21(3): 181—183.
姜莹莹, 马忠其, 滕丽微, 等. 中国岩羊(*Pseudois nayaur*)种群和生态学研究进展. 经济动物学报, 2017, 21(3): 181—183.
- [10] Zheng J G, Zhang J G. Characteristics of vegetation diversity in Helan Mountain. Arid Land Geography, 2005, 28(4): 526—530.
郑敬刚, 张景光. 试论贺兰山植物多样性的若干特点. 干旱区地理, 2005, 28(4): 526—530.
- [11] Liu B R, Zhang X Z, Hu T H, *et al.* Soil microbial diversity under typical vegetation zones along an elevation gradient in Helan Mountains. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(22): 7211—7220.
刘秉儒, 张秀珍, 胡天华, 等. 贺兰山不同海拔典型植被带土壤微生物多样性. 生态学报, 2013, 33(22): 7211—7220.
- [12] Liu Z S, Wang X M, Li Z G, *et al.* Summer feeding and bedding habitat selection by blue sheep (*Pseudois nayaur*) in Helan Mountains. Acta Ecologica Sinica, 2008(9): 4277—4285.
刘振生, 王小明, 李志刚, 等. 贺兰山岩羊(*Pseudois nayaur*)夏季取食和卧息生境选择. 生态学报, 2008(9): 4277—4285.
- [13] Shen D J, Zheng H X, Wang Y, *et al.* Winter habitats of dwarf blue sheep (*Pseudois schaeferi*) and goral (*Naemorhedus goral*) in Batang County, Sichuan, China. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2320—2330.
申定健, 郑合勋, 王清, 等. 四川省巴塘县矮岩羊与斑羚冬季生境比较. 生态学报, 2009, 29(5): 2320—2330.
- [14] Cao L R, Liu Z S, Wang X M, *et al.* Winter group size and composition of blue sheep (*Pseudois nayaur*) in the Helan Mountains, China. Acta Theriologica Sinica, 2005, 25(2): 200—204.
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.
- [15] Cao L R, Liu Z S, Wang X M, *et al.* Preliminary study on group characteristics of blue sheep (*Pseudois nayaur*) in spring and early winter in Helan Mountain, China. Chinese Journal of Zoology, 2005, 40(2): 28—33.
曹丽荣, 刘振生, 王小明, 等. 春冬两季贺兰山岩羊集群特征比较. 动物学杂志, 2005, 40(2): 28—33.
- [16] Deng Q Y, Zhang X L, Niu J J, *et al.* Species diversity of plant communities along an altitude gradient in Yinmachi Mountain, northwestern Shanxi, China. Ecology and Environmental Sciences, 2019, 28(5): 865—872.
邓清月, 张晓龙, 牛俊杰, 等. 晋西北饮马池山植物群落物种多样性沿海拔梯度的变化. 生态环境学报, 2019, 28(5): 865—872.
- [17] He Y Z, Huang W D, Zhao X, *et al.* Review on the impact of climate change on plant diversity. Journal of Desert Research, 2021, 41(1): 59—66.
何远政, 黄文达, 赵昕, 等. 气候变化对植物多样性的影响研究综述. 中国沙漠, 2021, 41(1): 59—66.
- [18] Guo Y R, Lei P, Yan Y H, *et al.* Plant species diversity changes along altitudinal gradient on the northwest slope of Huang—gang Mountain of Jiangxi Wuyi Mountain. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(11): 3002—3008.
郭英荣, 雷平, 晏雨鸿, 等. 江西武夷山黄岗山西北坡植物物种多样性沿海拔梯度的变化. 生态学报, 2015, 34(11): 3002—3008.
- [19] Zhu Y, Kang M Y, Jiang Y, *et al.* Altitudinal pattern of species diversity in woody plant communities of mountain Helan, Northwestern China. Journal of Plant Ecology, 2008, 32(3): 574—581.
朱源, 康慕谊, 江源, 等. 贺兰山木本植物群落物种多样性的海拔格局. 植物生态学报, 2008, 32(3): 574—581.
- [20] Duan M J, Gao Q Z, Guo Y Q, *et al.* Species diversity distribution pattern of alpine grassland communities along an altitudinal gradient in the Northern Tibet. Pratacultural Science, 2011, 28(10): 1845—1850.
段敏杰, 高清竹, 郭亚奇, 等. 藏北高寒草地植物群落物种多样性沿海拔梯度的分布格局. 草业科学, 2011, 28(10): 1845—1850.
- [21] Liang C Z, Zhu Z Y, Li Z G. The vegetation of Helan Mountain. Yinchuan: Sunshine Press, 2012.
梁存柱, 朱宗元, 李志刚. 贺兰山植被. 银川: 阳光出版社, 2012.
- [22] Zheng G Q, Zhang L, Yang J. Field practice instruction in botany. Yinchuan: Sunshine Press, 2013.
郑国琦, 张磊, 杨涓. 植物学野外实习指导. 银川: 阳光出版社, 2013.
- [23] Hu T H. Vegetation regionalization and floristic composition of Helan Mountain nature reserve in Ningxia. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2003(6): 10—11.
胡天华. 宁夏贺兰山自然保护区植被区划及植物区系组成. 宁夏农林科技, 2003(6): 10—11.

- [24] Du Q, Yan X F. Diversity of vegetation types and the characteristics of spatial distribution in Helan Mountain. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(7): 3666—3667.
杜茜, 闫兴富. 贺兰山植被类型多样性及空间分布特征. *安徽农业科学*, 2010, 38(7): 3666—3667.
- [25] Yang Y, Niu D C, Wen H Y, *et al.* Responses of soil particulate organic carbon and nitrogen along an altitudinal gradient on the Helan Mountain, Inner Mongolia. *Acta Prataculturae Sinica*, 2012, 21(3): 54—60.
杨益, 牛得草, 文海燕, 等. 贺兰山不同海拔土壤颗粒有机碳、氮特征. *草业学报*, 2012, 21(3): 54—60.
- [26] Duan H, Zhang Y X, Zhang J B. Study on vegetation and plant diversity in west Helan Mountains. *Forest Resources Management*, 2019(1): 146—152.
段河, 张煜星, 张建波. 贺兰山西麓植被与植物多样性研究. *林业资源管理*, 2019(1): 146—152.
- [27] Gu Y S, Ding J J, Ge J W. Survey on the vegetation types and their coverage changes in the middle Helan Mountain. *Journal of Huazhong Normal University (Natural Sciences)*, 2016, 50(4): 579—587.
顾延生, 丁俊傑, 葛继稳. 贺兰山中段植被类型及其覆盖变化研究. *华中师范大学学报(自然科学版)*, 2016, 50(4): 579—587.
- [28] Luo Y. Comparing the diet and habitat selection of sympatric blue sheep (*Pseudois nayaur*) and red deer (*Cervus elaphus alxaicus*) in Helan Mountains, China. Harbin: Northeast Forestry University, 2011.
骆颖. 贺兰山岩羊(*Pseudois nayaur*)和马鹿(*Cervus elaphus alxaicus*)的食性及生境选择比较研究. 哈尔滨: 东北林业大学, 2011.
- [29] Chang Y, Zhang M M, Liu Z S, *et al.* Summer diets of sympatric blue sheep (*Pseudois nayaur*) and red deer (*Cervus elaphus alxaicus*) in the Helan Mountains, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(6): 1486—1493.
昝野, 张明明, 刘振生, 等. 贺兰山同域分布岩羊和马鹿的夏季食性. *生态学报*, 2010, 30(6): 1486—1493.
- [30] Lesser M R, Dovciak M, Wheat R, *et al.* Modelling white-tailed deer impacts on forest regeneration to inform deer management options at landscape scales. *Forest Ecology and Management*, 2019, 448: 395—408.
- [31] Whyte H D, Lusk C H. Woody debris in tree fall gaps shelters palatable plant species from deer browsing, in an old-growth temperate forest. *Forest Ecology and Management*, 2019, 448: 198—207.
- [32] Zhang X L, Zhai H, Zhang T S, *et al.* Studies on the spring population ecology of blue sheep of Helan Mountain in Ningxia. *Journal of Ningxia University (Natural Science Edition)*, 2007(3): 268—270.
张显理, 翟浩, 张铁师, 等. 宁夏贺兰山岩羊春季种群生态研究. *宁夏大学学报(自然科学版)*, 2007(3): 268—270.
- [33] Lu W H, Wan J J, Yang J J, *et al.* Review of endozoochory of plant seeds by herbivores. *Acta Prataculturae Sinica*, 2013, 22(3): 306—313.
鲁为华, 万娟娟, 杨洁晶, 等. 草食动物对植物种子的消化道传播研究进展. *草业学报*, 2013, 22(3): 306—313.
- [34] Sekar N, Sukumar R. The Asian elephant is amongst the top three frugivores of two tree species with easily edible fruit. *Journal of Tropical Ecology*, 2015, 31(5): 385—394.
- [35] Guernsey N C, Lohse K A, Bowyer R T. Rates of decomposition and nutrient release of herbivore inputs are driven by habitat microsite characteristics. *Ecological Research*, 2015, 30(5): 951—961.
- [36] Walters M B, Farinosi E J, Willis J L. Deer browsing and shrub competition set sapling recruitment height and interact with light to shape recruitment niches for temperate forest tree species. *Forest Ecology and Management*, 2020, 467: e118134.
- [37] Liu W T, Wei Z J, Lv S J, *et al.* Response mechanism of plant diversity to herbivore foraging in desert grassland. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2016, 40(6): 564—573.
刘文亭, 卫智军, 吕世杰, 等. 荒漠草地植物多样性对草食动物采食响应机制. *植物生态学报*, 2016, 40(6): 564—573.
- [38] Pollier A, Guillomo L, Tricault Y, *et al.* Effects of spontaneous field margin vegetation on the regulation of herbivores in two winter crops. *Basic and Applied Ecology*, 2018, 27: 71—82.
- [39] Dassou A G, Tixier P. Response of pest control by generalist predators to local—scale plant diversity: A meta-analysis. *Ecology and Evolution*, 2016, 6(4): 1143—1153.
- [40] Bhattacharya A, Chatterjee N, Rawat G S, *et al.* Blue sheep resource selection in alpine grasslands of a western Himalayan landscape—a point process approach. *Zoological Studies*, 2020, 59: e11.
- [41] Zhu Y, Jiang Y, Liu Q R, *et al.* Elevational trends of biodiversity and plant traits do not converge—a test in the Helan Range, NW China. *Plant Ecology*, 2009, 205(2): 273—283.
- [42] Li W H, Ganjurjav H, Cao X J, *et al.* Effects of altitude on plant productivity and species diversity in alpine meadows of northern Tibet. *Acta Prataculturae Sinica*, 2017, 26(9): 200—207.

- 栗文瀚, 干珠扎布, 曹旭娟, 等. 海拔梯度对藏北高寒草地生产力和物种多样性的影响. 草业学报, 2017, 26(9): 200—207.
- [43] Wang D J, Han G J, Gao Z H, *et al.* Response of community species diversity to elevation gradient in the Lianhuashan Nature Reserve. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(6): 96—102.
王德君, 韩国君, 高智辉, 等. 甘肃莲花山植物群落物种多样性对海拔梯度的响应. 西北林学院学报, 2020, 35(6): 96—102.
- [44] Zhang D J, Xu X, Zeng X Q, *et al.* Altitudinal patterns of seed plants floristic composition and their climatic explanation in Helan Mountain Nature Reserve, Ningxia Province. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2016, 44(32): 53—56.
张东杰, 徐翔, 曾小强, 等. 宁夏贺兰山种子植物区系垂直分布格局及其气候解释. 安徽农业科学, 2016, 44(32): 53—56.
- [45] Su C, Zhang X Y, Ma W H, *et al.* Altitudinal pattern and environmental interpretation of species diversity of scrub community in the Helan Mountains, China. Mountain Research, 2018, 36(5): 699—708.
苏闯, 张芯毓, 马文红, 等. 贺兰山灌丛群落物种多样性海拔格局及环境解释. 山地学报, 2018, 36(5): 699—708.
- [46] Qiao Y L, Liu Z H, Hao W F, *et al.* Species diversity of the medicinal plant community in the Qin—Ba Mountainous area of southern Shaanxi. Plant Science Journal, 2016, 34(2): 200—210.
乔亚玲, 刘政鸿, 郝文芳, 等. 陕南秦巴山区药用植物群落物种多样性研究. 植物科学学报, 2016, 34(2): 200—210.
- [47] Ren X M, Cui Z P, Zhu Y, *et al.* Effect of environmental factors on understory herbaceous composition and diversity in oak forests in Taibai Mountain. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2020, 48(3): 64—74.
任学敏, 崔志鹏, 朱雅, 等. 环境因子对太白山锐齿槲栎林林下草本植物组成和多样性的影响. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2020, 48(3): 64—74.
- [48] Yuan W J, Lu X L, Zhang W R, *et al.* Plant's diversity of different vegetation types. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(14): 4651—4657.
袁王俊, 卢训令, 张维瑞, 等. 不同植被类型植物物种多样性. 生态学报, 2015, 35(14): 4651—4657.
- [49] Qin J R, Ma H B, Shen Y, *et al.* Plant community species diversity of desert steppe in sandy area of eastern Ningxia. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2015, 35(9): 1891—1898.
秦建蓉, 马红彬, 沈艳, 等. 宁夏东部风沙区荒漠草原植物群落物种多样性研究. 西北植物学报, 2015, 35(9): 1891—1898.
- [50] Liu Z S, Wang X M, Teng L W, *et al.* Food habits of blue sheep, *Pseudois nayaur* in the Helan Mountains, China. Folia Zoologica, 2007, 56(1): 13—22.