

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0354

肖翔, 李多才, 安玉峰, 马周文, 武哲, 彭泽晨, 侯扶江. 甘肃马鹿夏季牧场草地植物群落特征. 草业科学, 2019, 36(7): 1693-1705.

XIAO X, LI D C, AN Y F, MA Z W, WU Z, PENG Z C, HOU F J. Plant community characteristics of grazing grassland in a deer farm in summer. Pratacultural Science, 2019, 36(7): 1693-1705.



## 甘肃马鹿夏季牧场草地植物群落特征

肖翔<sup>1</sup>, 李多才<sup>2</sup>, 安玉峰<sup>3</sup>, 马周文<sup>1</sup>, 武哲<sup>1</sup>, 彭泽晨<sup>1</sup>, 侯扶江<sup>1</sup>

(1. 兰州大学草地农业生态系统国家重点实验室 / 兰州大学农业农村部草畜牧业创新重点实验室 / 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020; 2. 武威市质量技术监督局凉州分局, 甘肃 武威 733000; 3. 肃南裕固族自治县鹿场, 甘肃 肃南 744000)

**摘要:** 在祁连山北坡中段甘肃马鹿 (*Cervus elaphus kansuensis*) 夏季牧场, 分析在不同地形和不同放牧强度共同作用下高寒草甸植物和高寒灌丛植物群落物种多样性、功能群多样性、高度、冠幅及其重要值。结果表明, 1) 谷地、阳坡、阴坡 3 种坡向, 随着放牧强度的增大, 总物种数在中度放牧时最高; 阴坡, 轻度放牧和中度放牧群落功能多样性显著高于重度放牧 ( $P < 0.05$ )。2) 不同地形,  $\alpha$  多样性指数几乎在中度放牧下最高, 重度放牧下最低。在不同放牧强度下, 谷地的物种丰富度最大, 而 Shannon-Wiener 多样性指数最小。3) 阴坡, 轻度放牧豆科株高、冠幅及重要值最大; 谷地和阳坡莎草科重要值随着放牧强度的增加而增多, 阴坡与之相反; 禾本科植物重要值在中度放牧下最大; 可食阔叶草重要值随着放牧强度的增加而增多, 且在谷地最大; 不喜食植物重要值随着放牧强度的增加而上升, 且在阳坡最大。

**关键词:** 高寒灌丛; 高寒草甸; 坡向; 放牧; 生物多样性; 株高; 冠幅

中图分类号: S812.8 文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2019)07-1693-13

### Plant community characteristics of grazing grassland in a deer farm in summer

XIAO Xiang<sup>1</sup>, LI Duocai<sup>2</sup>, AN Yufeng<sup>3</sup>, MA Zhouwen<sup>1</sup>, WU Zhe<sup>1</sup>, PENG Zechen<sup>1</sup>, HOU Fujiang<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems / Key Laboratory of Grassland Livestock Industry Innovation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs / College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, Gansu, China;

2. Bureau of Quality and Technical Supervision Liangzhou Branch in Wuwei City, Wuwei 733000, Gansu, China;

3. Sunan Yugu Autonomous County Deer Farm, Sunan 744000, Gansu, China)

**Abstract:** In the summer pasture in the middle section of the northern slope of Qilian Mountain, the species diversity, functional group diversity, height, crown width and important values of alpine meadow and alpine shrub community under different topographical and different grazing intensities were analyzed. We found that: 1) with the increase in grazing intensity, the total species number was the highest under grazing, which is consistent with the “moderate disturbance hypothesis”. Under ‘shady slope’ conditions, the community functional diversity of light and moderate grazing was significantly higher than that of heavy grazing ( $P < 0.05$ ). 2) The alpha diversity index was almost greatest in moderate grazing and the lowest in heavy grazing conditions of different topography. Under different grazing intensities, the valley had

收稿日期: 2018-06-11 接受日期: 2018-11-01

基金项目: 长江学者和创新团队发展计划 (IRT\_17R50); 973 国家重点基础研究计划课题 (2014CB138706); 2018 年度甘肃省科技重大专项计划项目 (18ZD2FA009)

第一作者: 肖翔 (1995-), 男, 甘肃环县人, 在读硕士生, 研究方向为畜牧学。E-mail: xiaox17@lzu.edu.cn

通信作者: 侯扶江 (1971-), 男, 河南扶沟人, 教授, 博士, 研究方向草地-家畜生产。E-mail: cyhoufj@lzu.edu.cn

the highest species richness but the lowest Shannon-Wiener diversity index. 3) The plant height, crown width and important value of legume in light grazing on shady slope were the largest, the important values of Cyperaceae in valley and sunny slope increased with the increase of grazing intensity, the contrary in shady slope; the important value of Gramineae was the highest in middle grazing. The important value of Edible broadleaf increased with the increase of grazing intensity, and reached the maximum in the valley; the important value of Undesirable plant increased with the increase of grazing intensity, and there was the maximum value on the sunny slope.

**Keywords:** alpine shrub; alpine meadow; slope direction; grazing; biodiversity; plant height; crown width

**Corresponding author:** HOU Fujiang E-mail: cyhoufj@lzu.edu.cn

放牧是草原最普遍、最经济的利用方式之一<sup>[1]</sup>,我国90%的天然草地进行了不同程度的放牧<sup>[2]</sup>。适度放牧能够刺激牧草再生,促进分蘖和超补偿生长<sup>[3]</sup>,同时改善土壤通透性,促进牧草的根系发育,从而增加地下生物量,进而维持草原生态系统的多样性和生产力稳定性<sup>[4]</sup>。而过度放牧,家畜的践踏作用使得土壤的物理性状发生改变<sup>[5-7]</sup>,一方面促使直根系植物快速生长,使得适口性差的植物和毒杂草成为优势种,占据植物群落的主导地位,造成草原植物群落的优质牧草生长环境受到威胁,其物种组成减少,导致草地生态服务功能的降低;另一方面造成输入到根部养分减少和一些植物根系死亡,使得地下生物量降低<sup>[8]</sup>。植物群落的变化除了受植物生理生态特性及资源内部等因素影响外,还受地形和放牧等作用。地形作为外界环境时空异质性的来源之一,它直接影响着植株生长情况,进而影响着群落结构及其动态变化。而在草原生态系统中,特别是高山地区,坡向作为一个重要的地形因素,因影响太阳辐射强度、土壤理化性质及非生物资源,从而改变了植物空间分配和物种多样性。阳坡主要分布耐旱植物,而阴坡和谷地主要生长喜阴或湿生植物<sup>[9]</sup>,因此坡向和放牧共同影响着植物群落的结构及其多样性。近年来,有关研究大多集中在不同地形或者不同放牧强度单因素对植物群落特征的影响。如高寒草原群落, $\alpha$ 多样性指数随着放牧强度的增加几乎呈单峰趋势<sup>[10-11]</sup>;而在祁连山东段金露梅(*Potentilla fruticosa*)灌丛草地,夏季牧场的生物多样性指数随着放牧强度的增加逐渐降低。西秦岭北坡锐齿栎(*Quercus acutidentata*)群落和黄土高原草地,阴坡、半阴坡的 $\alpha$ 多样性指数均大于阳坡<sup>[12]</sup>。但对于坡向和放牧强度两个因素叠加作用对

植物群落特征的影响研究较少。为此,在甘肃马鹿(*Cervus elaphus kansuensis*)夏季牧场,分析坡向和放牧强度共同作用下高寒草甸草原群落结构特征的响应,尤其是高寒草甸植物群落物种多样性的基本特征,以期为草原合理利用和适应性放牧管理提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验区概况

位于祁连山北坡的甘肃省肃南县裕固族自治县鹿场(38.8°N, 99.6°E),年均降水量253.0 mm,且主要分布于6-9月,年均气温3.6℃(图1)。夏季牧场属于高寒和灌丛高寒草甸,海拔2900~3200 m,土壤为高寒灌丛草甸土<sup>[13-14]</sup>。牧草一般4月下旬开始返青,9月中上旬开始枯黄。植物主要为鬼箭锦鸡儿(*Caragana jubata*)和金露梅(*Potentilla fruticosa*);禾本科植物主要为波伐早熟禾(*Poa poophagorum*)、

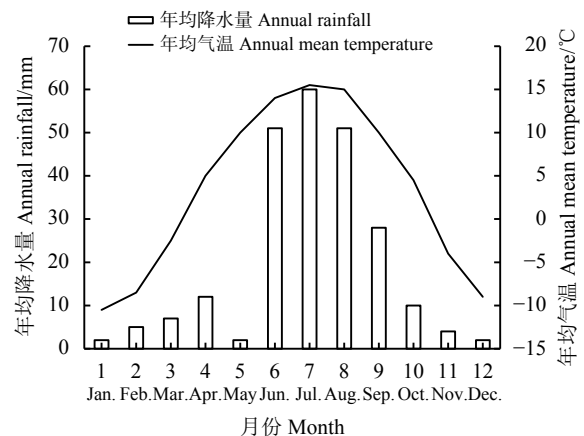


图1 肃南裕固族自治县甘肃马鹿养殖场  
年均温度和年均降水量分布

Figure 1 Temperature and rainfall at different years on the Gansu red deer farm in Sunan Yugur Autonomous County, Gansu Province

紫花针茅 (*Stipa purpurea*)、丛茎早熟禾 (*Poa alpigena*)、赖草 (*Leymus secalinus*)；莎草科植物主要为甘肃苔草 (*Carex kansuensis*)；阔叶草主要是鹅绒委陵菜 (*Potentilla anserina*)、高山唐松草 (*Thalictrum alpinum*)、黄花蒿 (*Artemisia annua*)、山苦荬 (*Ixeridium chinense*)、珠芽蓼 (*Polygonum viviparum*)；不喜食植物主要为甘肃棘豆 (*Oxytropis kansuensis*) 和粘毛香青 (*Anaphalis bulleyana*)。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 样地设置

甘肃马鹿夏季牧场总面积约 585 hm<sup>2</sup>，甘肃马鹿每年 7–9 月上旬放牧。夏季牧场畜圈附近草原退化严重，醉马草 (*Achnatherum inebrians*) 为优势种<sup>[13]</sup>，向牧场的深处放牧强度逐渐下降。根据地形、甘肃马鹿的采食情况及放牧强度，设置阳坡、阴坡和谷地 3 种地形区域，放牧率分别为 1.00(轻度放牧)、2.45(中度放牧)、4.85(重度放牧) AUM·hm<sup>-2</sup> 的样地各 3 个，共 9 个 1 hm<sup>2</sup> 的样地，AUM(animal unit month) 为家畜单位·月<sup>-1</sup>，其中 1 头成年马鹿为 1 个家畜单位 (animal unit, AU)，畜群中各年龄阶段的马鹿据此换算<sup>[14-15]</sup>。然后在每个样地放牧小区里面随机设置 3 个 1 m × 1 m 样方框进行植物群落结构调查。

### 1.2.2 植被测定

测量样方里每种植物的株高、植株直径、植株密度、盖度和冠幅，并计算重要值及  $\alpha$  多样性指数<sup>[16]</sup>。

株高：在样方框内随机挑选每种植物各 5 株，测定生长高度，计算植物的平均高度；冠幅：测量每种植物各 5 株的直径 (D)，计算平均冠幅。盖度：每个植株正投影面积的比例。密度：记录样方框中每种植物的株丛数。相对高度 (RHI) = 某一植物种的高度/各植物种高度之和 × 100%；相对盖度 (RCD) = 某一植物种的盖度/各植物种盖度之和 × 100%；相对密度 (RDE) = 某一种植物的密度/各植物种密度之和 × 100%；重要值 (IV) = (相对高度 + 相对密度 + 相对盖度)/3。

### 1.2.3 生物多样性

计算  $\alpha$  多样性指数。

1) 物种丰富度 (Patrick 指数):

$$R = S;$$

2) Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i;$$

3) Simpson 多样性指数 (D):

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2;$$

4) Pielou 均匀度指数 (JP):

$$JP = \frac{H}{\ln S} = \frac{\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i}{\ln S}。$$

式中:  $S$  为每个样方的物种数目,  $P_i$  为样方中每个物种的重要值占整个样方重要值的百分比。

依据植物生态学特征、科属特征及植物可食性, 划分为五大功能群: 豆科 (Leguminosae)、禾本科 (Gramineae)、莎草科 (Cyperaceae)、不喜食植物 (Undesirable plant)、可食阔叶草 (Forb)<sup>[17]</sup>。

功能群多样性: 样方中功能群数目的平均值<sup>[18]</sup>。

### 1.2.4 数据统计分析

采用 Excel 软件进行数据整理与计算, 采用 SPSS 20.0 软件对株高、冠幅、重要值、物种丰富度、功能组多样性及  $\alpha$  多样性进行双因素方差分析 (LSD), 其次逐一进行单因素方差分析, 显著性水平  $\alpha = 0.05$ , 用 Microsoft Excel 软件进行图表绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 物种丰富度

谷地, 轻、中、重度放牧 3 个试验样地的总物种数分别为 20、22 和 17, 且随着放牧强度的增加, 莎草科和阔叶草的物种数先增后减趋势, 而禾本科和豆科的物种数呈减少趋势, 不喜食植物的物种数却呈稳定状态 (表 1)。阳坡, 轻、中、重度放牧 3 个试验样地的总物种数分别为 22、24 和 19, 且随着放牧强度的增加, 不喜食植物和阔叶草的物种数先增后减, 莎草科的物种数保持不变。阴坡, 轻、中、重度放牧 3 个试验样地的总物种数分别为 18、19 和 15; 且在随着放牧强度的增加, 禾本科植物的物种数呈先增后减的趋势, 而阔叶草的数量逐渐下降, 豆科、莎草科及不喜食植物的物种数却呈稳定状态。

### 2.2 群落物种多样性

不同地形, 随着放牧强度的增加, 物种多样性



续表 1

Table 1 (Continued)

| 功能群<br>Functional group    | 植物种<br>Plant species                 | 轻度放牧 Light grazing |                   |                   | 中度放牧 Moderate grazing |                   |                   | 重度放牧 Heavy grazing |                   |                   |
|----------------------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
|                            |                                      | 谷地<br>Valley       | 阳坡<br>Sunny slope | 阴坡<br>Shady slope | 谷地<br>Valley          | 阳坡<br>Sunny slope | 阴坡<br>Shady slope | 谷地<br>Valley       | 阳坡<br>Sunny slope | 阴坡<br>Shady slope |
|                            | 二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>      | +                  |                   |                   | +                     | +                 |                   | +                  |                   |                   |
|                            | 金露梅 <i>Potentilla fruticosa</i>      |                    |                   | +                 | +                     |                   | +                 |                    |                   | +                 |
|                            | 紫菀 <i>Aster tataricus</i>            |                    | +                 | +                 | +                     | +                 |                   | +                  |                   | +                 |
|                            | 车前 <i>Plantago asiatica</i>          |                    | +                 |                   | +                     |                   |                   |                    |                   |                   |
|                            | 大黄 <i>Ligularia duciformis</i>       | +                  |                   |                   |                       |                   | +                 |                    |                   |                   |
|                            | 蝇果芥 <i>Torularia humilis</i>         |                    | +                 |                   | +                     |                   |                   |                    |                   |                   |
|                            | 平车前 <i>Plantago depressa</i>         |                    | +                 | +                 |                       |                   |                   |                    |                   |                   |
|                            | 圆叶蓼 <i>Polygonum intramontolicum</i> |                    |                   | +                 |                       |                   |                   |                    |                   | +                 |
|                            | 青藏狗娃花 <i>Heteropappusbowerii</i>     |                    | +                 |                   |                       |                   | +                 |                    |                   |                   |
|                            | 冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>          |                    |                   |                   |                       |                   |                   |                    |                   | +                 |
|                            | 细叶珠芽蓼 <i>Polygonum viviparum</i>     |                    |                   |                   |                       |                   |                   |                    |                   | +                 |
|                            | 莓叶委陵菜 <i>Potentilla fragarioides</i> |                    |                   |                   |                       |                   |                   |                    |                   | +                 |
|                            | 甘肃棘豆 <i>Oxytropis kansuensis</i>     | +                  | +                 | +                 | +                     | +                 | +                 | +                  | +                 | +                 |
|                            | 粘毛香青 <i>Anaphalis bulleyana</i>      | +                  | +                 | +                 | +                     | +                 | +                 | +                  | +                 | +                 |
|                            | 醉马草 <i>Achnatherum inebrians</i>     |                    | +                 |                   |                       | +                 |                   | +                  |                   |                   |
| 不喜食植物<br>undesirable plant | 尖叶龙胆 <i>Gentiana aristata</i>        | +                  |                   |                   | +                     |                   |                   |                    |                   | +                 |
|                            | 秦艽 <i>Gentiana macrophylla</i>       | +                  |                   |                   | +                     |                   |                   |                    |                   |                   |
|                            | 黄花棘豆 <i>Oxytropis ochrocephala</i>   | +                  |                   |                   |                       |                   |                   |                    |                   | +                 |
|                            | 达乌里龙胆 <i>Gentiana dahurica</i>       |                    |                   |                   |                       |                   |                   |                    |                   | +                 |
|                            | 狼毒 <i>Euphorbia fischeriana</i>      |                    |                   |                   |                       |                   |                   |                    |                   | +                 |

“+”表示此物种在放牧地出现。轻度、中度和重度放牧强度表示放牧率分别为1.00、2.45和4.85 AUM·hm<sup>2</sup>；下同。

“+” indicates that this species appears on grazing land. Light, moderate, and heavy grazing intensity indicate stocking rate of 1.00, 2.45, and 4.85 AUM·ha<sup>-1</sup>, respectively; similarly for the following tables and figures.

变化各异(表 2)。总体上,物种丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数、优势度和均匀度均在中度放牧最高,重度放牧下最低。谷地,轻、中度放牧 Shannon-Wiener 多样性指数显著高于重度放牧 ( $P < 0.05$ ),中牧均匀度指数显著高于轻、重度放牧 ( $P < 0.05$ );阳坡,中牧 Shannon-Wiener 多样性指数显著高于轻、重度放牧 ( $P < 0.05$ ),中牧优势度指数显著高于重度放牧 ( $P < 0.05$ );阴坡,中牧物种丰富

度和 Shannon-Wiener 多样性指数显著高于轻、重度放牧 ( $P < 0.05$ ),且轻度放牧显著高于重度放牧 ( $P < 0.05$ ),轻、中牧均匀度指数和优势度指数显著高于重度放牧 ( $P < 0.05$ ),其他各组之间均差异不显著 ( $P < 0.05$ )。

轻牧下,丰富度指数为谷地 > 阴坡 > 阳坡,而 Shannon-Wiener 多样性指数、均匀度指数和优势度指数为阴坡 > 阳坡 > 谷地;中度放牧下,阴坡的物

表 2 谷地、阴坡、阳坡在不同放牧强度下丰富度指数、多样性指数、优势度和均匀度变化  
Table 2 Changes in abundance index, diversity index, dominance, and evenness under different grazing intensities in the valleys, shady slopes, and sunny slopes

| $\alpha$ 多样性<br>Alpha diversity                              | 地形<br>Topography | 轻度放牧<br>Light grazing | 中度放牧<br>Moderate grazing | 重度放牧<br>Heavy grazing | SE    | F       | P     |
|--|------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-------|---------|-------|
| 丰富度指数<br>Abundance index                                     | 谷地 Valley        | 13.000 ± 1.732aA      | 13.333 ± 1.155bA         | 10.000 ± 2.000aA      | 0.716 | 3.64    | 0.092 |
|  | 阳坡 Sunny slope   | 11.667 ± 1.155aA      | 12.333 ± 1.528bA         | 10.000 ± 1.000aA      | 0.500 | 2.786   | 0.139 |
|  | 阴坡 Shady slope   | 12.667 ± 0.577aB      | 15.667 ± 0.577aA         | 9.667 ± 0.577aC       | 0.882 | 81.000  | 0.000 |
|  | SE               | 0.412                 | 0.596                    | 0.389                 | —     | —       | —     |
|  | F                | 0.929                 | 6.583                    | 0.063                 | —     | —       | —     |
|  | P                | 0.445                 | 0.031                    | 0.940                 | —     | —       | —     |
| Shannon-Wiener<br>多样性指数<br>Shannon-Wiener<br>diversity index | 谷地 Valley        | 2.142 ± 0.103bA       | 2.288 ± 0.07aA           | 1.872 ± 0.123aB       | 0.068 | 13.065  | 0.007 |
|  | 阳坡 Sunny slope   | 2.147 ± 0.062bB       | 2.338 ± 0.093aA          | 2.042 ± 0.038aB       | 0.048 | 14.521  | 0.005 |
|  | 阴坡 Shady slope   | 2.288 ± 0.008aB       | 2.422 ± 0.029aA          | 1.896 ± 0.070aC       | 0.08  | 117.081 | 0.000 |
|  | SE               | 0.031                 | 0.028                    | 0.036                 | —     | —       | —     |
|  | F                | 4.279                 | 2.886                    | 3.552                 | —     | —       | —     |
|  | P                | 0.070                 | 0.134                    | 0.096                 | —     | —       | —     |
| 优势度<br>Dominance   | 谷地 Valley        | 0.834 ± 0.010aA       | 0.866 ± 0.011bA          | 0.840 ± 0.071aA       | 0.013 | 0.487   | 0.637 |
|  | 阳坡 Sunny slope   | 0.863 ± 0.029aAB      | 0.890 ± 0.008aA          | 0.848 ± 0.008aB       | 0.008 | 4.290   | 0.070 |
|  | 阴坡 Shady slope   | 0.874 ± 0.029aA       | 0.887 ± 0.005aA          | 0.806 ± 0.014aB       | 0.014 | 15.563  | 0.004 |
|  | SE               | 0.009                 | 0.004                    | 0.014                 | —     | —       | —     |
|  | F                | 2.134                 | 7.584                    | 0.821                 | —     | —       | —     |
|  | P                | 0.200                 | 0.023                    | 0.484                 | —     | —       | —     |
| 均匀度<br>Evenness  | 谷地 Valley        | 0.837 ± 0.008bB       | 0.884 ± 0.003bA          | 0.819 ± 0.032aB       | 0.011 | 9.170   | 0.015 |
|  | 阳坡 Sunny slope   | 0.875 ± 0.024aA       | 0.933 ± 0.029aA          | 0.889 ± 0.039aA       | 0.013 | 2.773   | 0.140 |
|  | 阴坡 Shady slope   | 0.902 ± 0.016aA       | 0.881 ± 0.011bA          | 0.837 ± 0.032aB       | 0.011 | 7.129   | 0.026 |
|  | SE               | 0.011                 | 0.010                    | 0.015                 | —     | —       | —     |
|  | F                | 10.657                | 7.584                    | 3.349                 | —     | —       | —     |
|  | P                | 0.011                 | 0.021                    | 0.105                 | —     | —       | —     |

不同小写字母表明同一放牧强度条件下不同坡向间差异显著 ( $P < 0.05$ ); 不同大写字母表明同一坡向条件下不同放牧强度间差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。

Different lowercase letters indicate significant differences between different slope directions under the same grazing intensity at the 0.05 level; different capital letters indicate significant differences between different grazing intensities on the same slope at the 0.05 level; similarly for the following figures.

种丰富度和 Shannon-Wiener 多样性指数最大, 阳坡的优势度和均匀度均最大, 且均匀度指数表现为阳坡 > 谷地 > 阴坡 ( $P < 0.05$ ), 而优势度表现为阳坡 > 阴坡 > 谷地 ( $P < 0.05$ ); 重度放牧下, 物种丰富度指数呈谷地和阳坡 > 阴坡趋势, Shannon-Wiener 多样性指数和均匀度指数呈阳坡 > 阴坡 > 谷地的趋势, 而优势度指数阳坡 > 谷地 > 阴坡, 其他各组之间均差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

### 2.3 群落功能组多样性

总体, 功能群多样性阴坡 > 阳坡 > 谷地, 且在中度放牧条件下, 阳坡和阴坡功能群多样性显著高于谷地 ( $P < 0.05$ )。不同地形下, 功能群多样性随着放牧增强呈先增加后降低的趋势; 阴坡, 轻、中度放牧显著高于重牧 ( $P < 0.05$ ), 其他各组之间均差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (图 2)。

### 2.4 群落功能组的生长特征

#### 2.4.1 株高

随着放牧强度的增加, 3 种地形的莎草科、不喜食植物和阔叶草的株高都呈上升趋势, 而豆科和禾本科植物的株高大致呈下降趋势 (图 3); 禾本科植物株高在谷地和阳坡, 轻、中度放牧显著高于重度放牧 ( $P < 0.05$ ), 中度放牧显著高于重度放牧 ( $P < 0.05$ ); 而阴坡, 轻、中度放牧显著高于重度放牧 ( $P < 0.05$ ), 中度放牧显著高于轻度放牧 ( $P < 0.05$ )。莎草科植物株高在谷地重度放牧显著高于轻、中度放牧 ( $P < 0.05$ ), 中度放牧显著高于轻度

放牧 ( $P < 0.05$ ); 阳坡, 重牧显著高于轻、中度放牧 ( $P < 0.05$ ); 阴坡, 中、重度放牧显著高于轻度放牧 ( $P < 0.05$ ), 重度放牧显著高于中度放牧 ( $P < 0.05$ )。不喜食植物株高表现为谷地和阳坡, 重度放牧显著高于轻、中度放牧, 中度放牧显著高于轻度放牧 ( $P < 0.05$ ); 在阴坡, 重度放牧显著高于轻、中度放牧 ( $P < 0.05$ )。可食阔叶草株高表现为谷地和阳坡, 重牧显著高于轻、中度放牧 ( $P < 0.05$ )。在不同放牧条件下, 豆科、禾本科、莎草科及阔叶草植物株高, 阴坡显著高于谷地和阳坡 ( $P < 0.05$ ); 而不喜食植物植物株高, 阳坡显著高于谷地和阴坡 ( $P < 0.05$ )。

#### 2.4.2 冠幅

不同地形, 随着放牧强度的增加, 豆科冠幅呈下降趋势, 莎草科、不喜食植物冠幅呈上升趋势, 禾本科和可食阔叶草的冠幅变化不明显 (图 4)。禾本科冠幅表现为谷地, 中度放牧显著大于轻、重度放牧 ( $P < 0.05$ ), 且轻度放牧显著重于重度放牧 ( $P < 0.05$ ); 阳坡, 中度放牧显著高于轻、重度放牧 ( $P < 0.05$ ); 阴坡, 轻度放牧显著高于中、重度放牧 ( $P < 0.05$ ) 且中度放牧显著高于重度放牧 ( $P < 0.05$ ); 不喜食植物冠幅表现为重牧显著高于轻、中度放牧 ( $P < 0.05$ ), 且在谷地和阳坡条件下, 中度放牧显著高于轻度放牧 ( $P < 0.05$ ); 莎草科和可食阔叶草冠幅表现为在谷地条件下, 重度放牧显著高于轻、中度放牧 ( $P < 0.05$ )。在不同放牧下, 豆科、禾本科及莎草科冠幅, 阴坡显著高于谷地和阳坡 ( $P < 0.05$ )。而可食阔叶草冠幅表现为在轻、重度放牧条件下, 阴坡显著高于谷地和阳坡 ( $P < 0.05$ ); 中度放牧, 阴坡显著高于谷地和阳坡 ( $P < 0.05$ ) 且谷地显著高于阳坡 ( $P < 0.05$ )。

#### 2.4.3 重要值

豆科植物的重要值, 在阴坡, 轻度放牧显著高于中、重度放牧 ( $P < 0.05$ )。禾本科植物重要值, 在谷地, 中度放牧显著高于轻、重度放牧 ( $P < 0.05$ ); 在阳坡, 中度放牧显著高于轻、重度放牧 ( $P < 0.05$ ), 轻度放牧显著高于重度放牧 ( $P < 0.05$ ); 在阴坡, 表现为各组之间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。莎草科植物的重要值, 在阳坡下, 重度放牧显著高于轻、中度放牧 ( $P < 0.05$ ), 轻度放牧显著低于中度放牧 ( $P < 0.05$ ); 在阴坡, 轻、中度放牧显著高于重度放牧 ( $P < 0.05$ )。在不同放牧强度下, 豆科、禾本科及莎草科植物的重要值表现为阴坡 > 谷地、阳坡

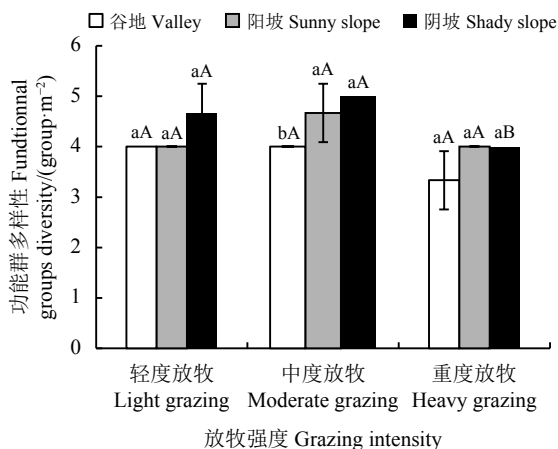


图 2 在不同地形和不同放牧强度下功能群多样性的差异  
Figure 2 Differences of functional groups diversity under different topography and different grazing intensities

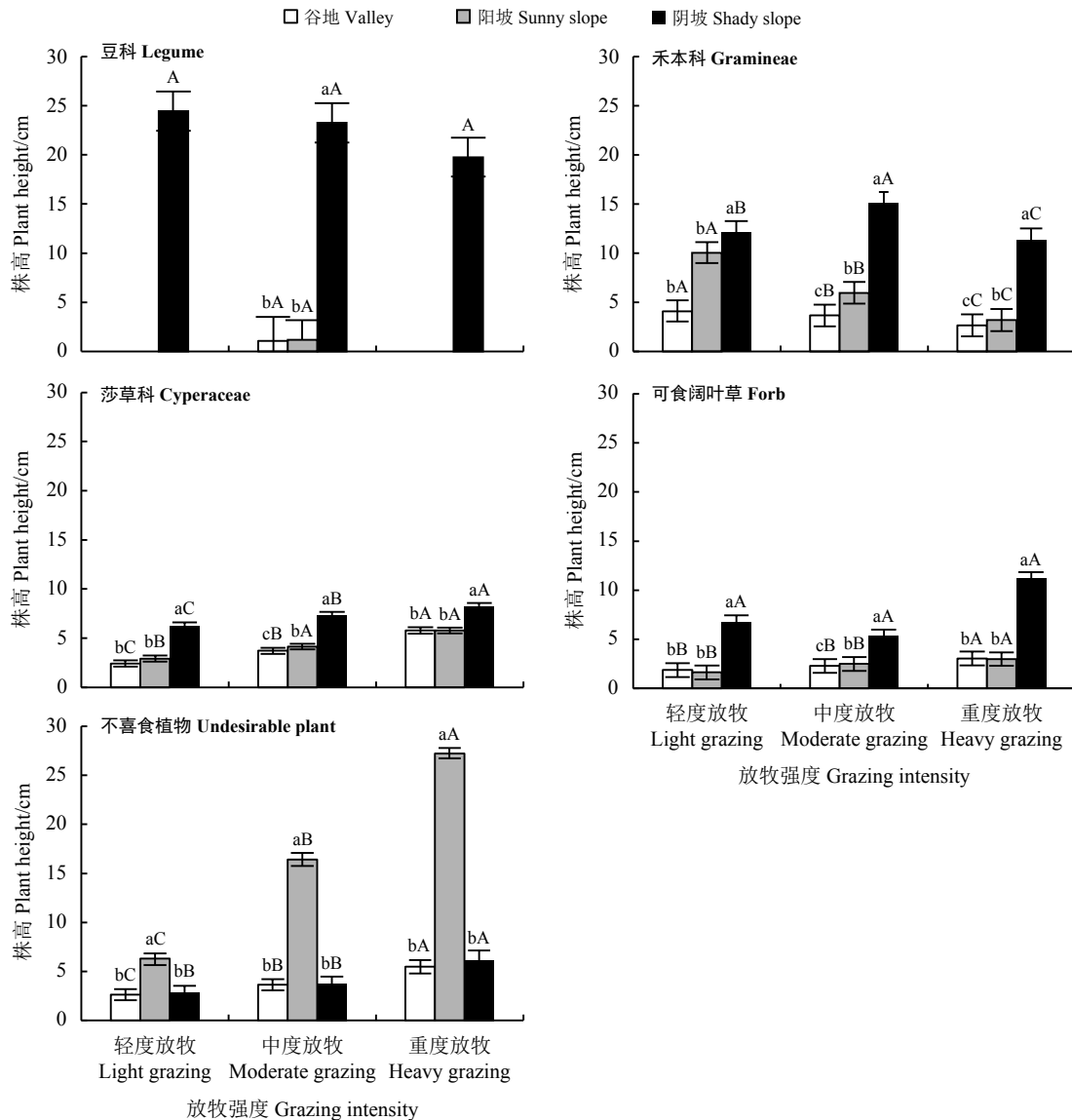


图3 同一功能群在不同地形和不同放牧强度下的株高

Figure 3 The plant heights of different functional groups at different Leguminosae and grazing intensities

( $P < 0.05$ ); 不喜食植物的重要值, 在轻度放牧下, 阳坡显著高于阴坡 ( $P < 0.05$ ); 在中、重度放牧下, 阳坡 > 谷地 > 阴坡 ( $P < 0.05$ ); 可食阔叶草重要值, 在轻度放牧和重度放牧下都为谷地 > 阴坡 > 阳坡 ( $P < 0.05$ ); 在中度放牧下, 谷地 > 阳坡 > 阴坡 ( $P < 0.05$ ); 其他各组均差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (图5)。

### 3 讨论

放牧活动影响着植物群落的生物多样性, 并调节着资源的合理配置和物质能量的转换交流, 最终影响着植物群落功能<sup>[18]</sup>。植物功能群的构成对植物群落内部“稳态”的影响是通过植物功能群相互补

偿来完成的, 尽管在一定程度上生态补偿作用有限, 但对于维持生态系统的结构和功能有着重要作用<sup>[19]</sup>。放牧是一种复杂的管理方式, 可以提高草地生产力, 但也可以抑制着植物生长, 是群落生物多样性和地上生物量的重要影响因素。本研究中, 植物群落的构成和分布是坡向与放牧强度两个因素相互作用的结果, 其中坡向影响太阳辐射强度、土壤水分及养分分配等。

在草原生态系统中, 植物群落多样性支撑了物质和能量的转换; 维持着生态系统的平衡<sup>[20]</sup>。 $\alpha$ 多样性包括群落内物种丰富度、均匀度和优势度<sup>[21]</sup>, 反映物种之间通过竞争对所生长环境适应的能力<sup>[22]</sup>。



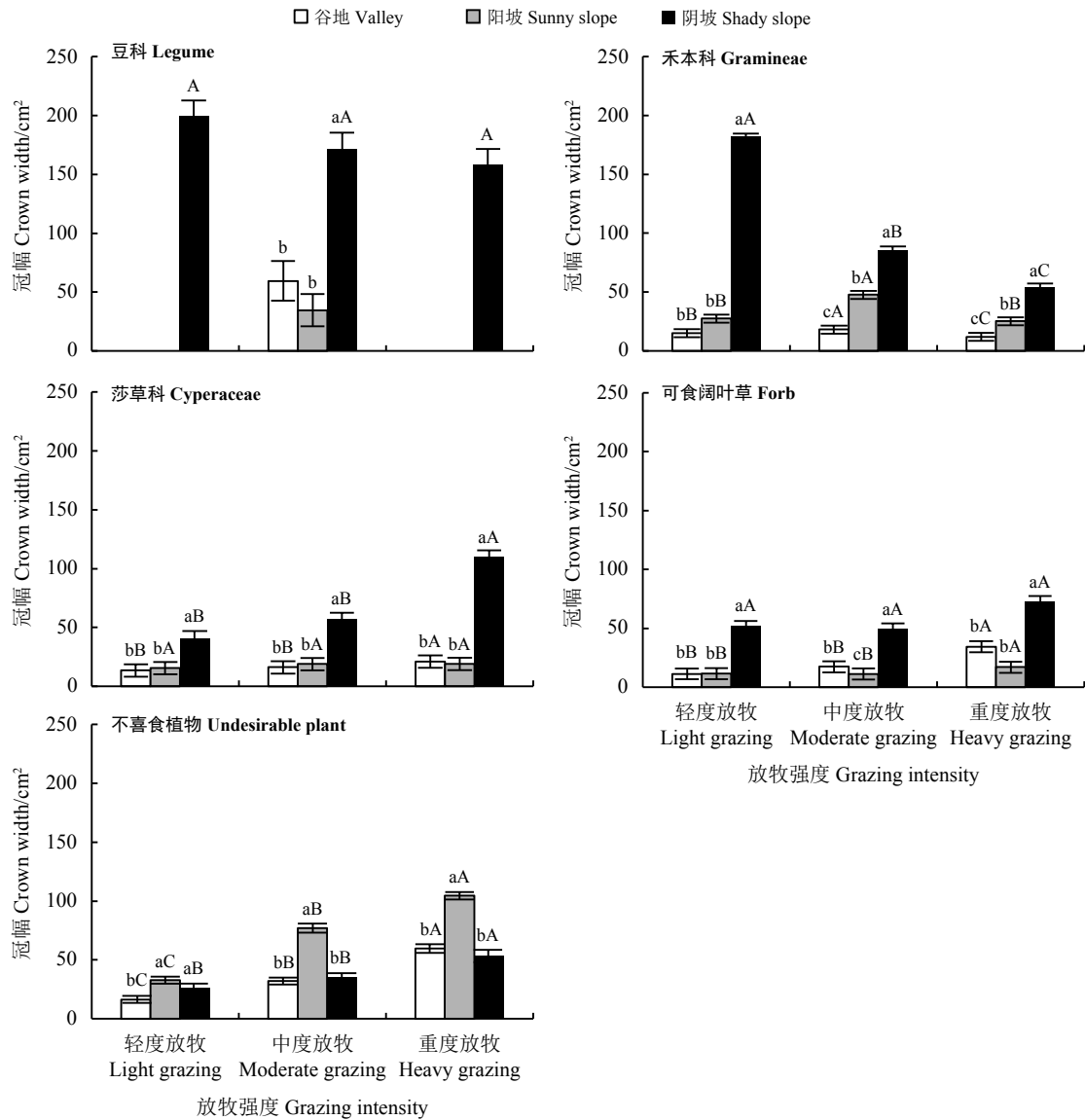


图 4 同一功能群在不同地形和不同放牧强度下的冠幅

Figure 4 The crown widths of the same functional group under different Leguminosae and grazing intensities

放牧活动和坡向这两个因素都可以影响群落物种多样性，但是影响程度截然不同<sup>[23-24]</sup>。在本研究中，不同地形，随着放牧强度的增加，物种丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数和优势度呈“单峰”趋势，在中牧下最高，重牧下最低，这与仁青吉等<sup>[25]</sup>和海龙等<sup>[26]</sup>研究相一致。均匀度指数体现了物种之间的协调性以及在有限空间条件下合理利用资源的水平。在不同地形下，均匀度变化趋势不明显，但在中牧条件下都达到最大，与物种丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数及优势度均符合“中度干扰假说”。这说明中度放牧增加了高寒草甸草地生态系统的稳定性。

适度放牧维护草地生态系统功能，提高生物多

样性和草地生产力，过度放牧造成不耐牧、适口性好的植物逐渐在群落内衰退，耐牧性好和适口性差的植物在群落内成为优势物种<sup>[27]</sup>。本研究中，3种坡向下，放牧强度对不同功能群植物的高度、冠幅及重要值的影响显著。阴坡的豆科植物主要为鬼箭锦鸡儿，是一种主要蛋白含量丰富和营养价值高的灌木<sup>[28-29]</sup>，是甘肃马鹿的优质牧草，同时马鹿适度放牧下可以刺激鬼箭锦鸡儿枝条再生<sup>[30]</sup>，因此轻度放牧下，豆科的株高、冠幅及重要值最大，且其重要值随着放牧强度的增加而降低。阳坡主要分布着甘肃棘豆等不喜食植物，家畜误食后则出现中毒状况<sup>[31]</sup>，马鹿避之，重要值随着放牧增强而增加。谷地和阳坡莎草科重要值随着放牧

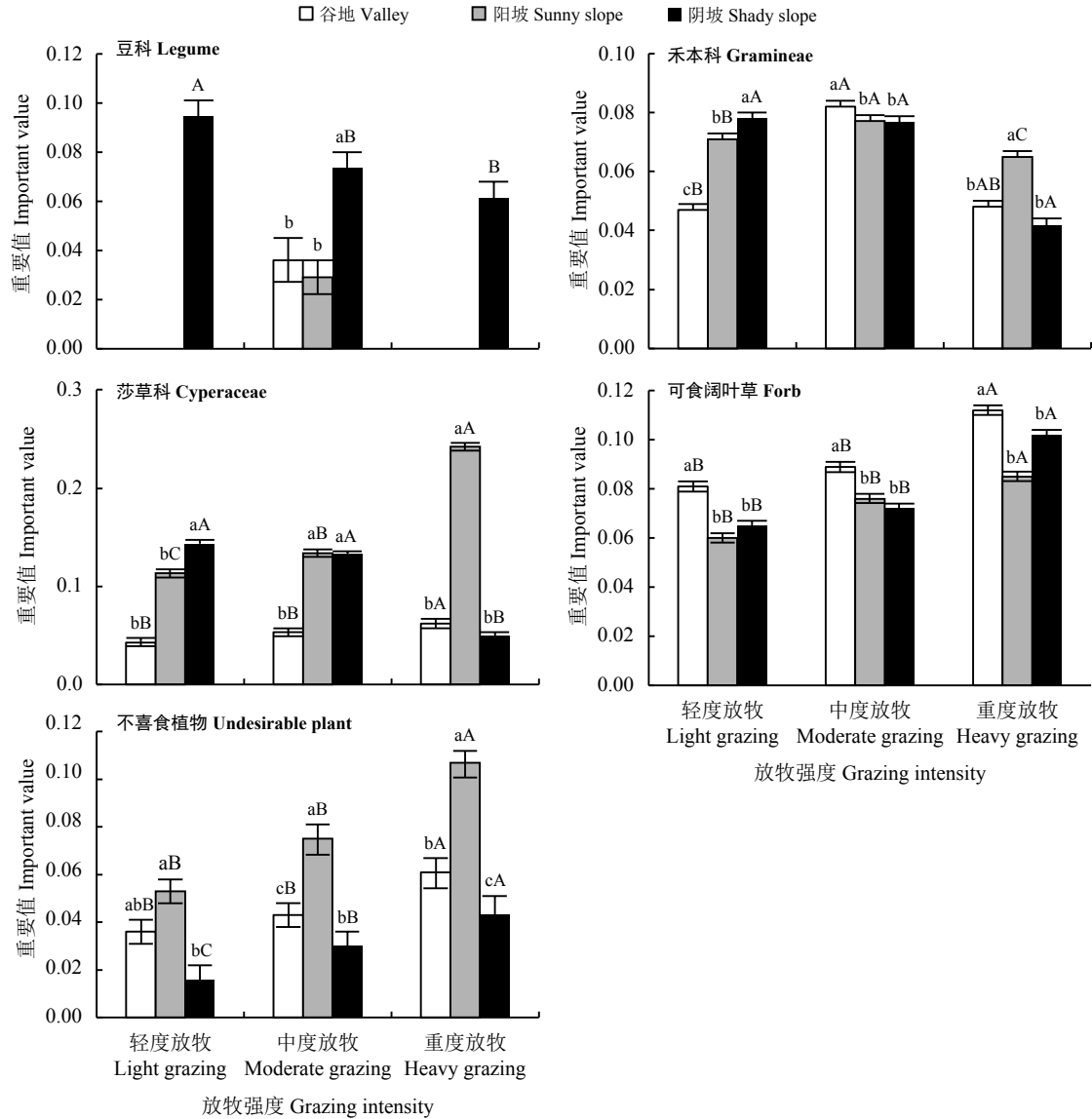


图 5 同一功能群在不同地形和不同放牧强度下的重要值

Figure 5 The importance values of the same functional groups under at Leguminosae and grazing intensities

增强而上升，因为莎草科植物耐旱、耐牧特性<sup>[32]</sup>。阴坡主要生长着鬼箭锦鸡儿和金露梅，重牧下，灌木在群落中的优势地位下降。禾本科植物株高和冠幅在不同地形下随着放牧强度变化不明显，但其重要值在中牧下最大，可能是一些禾本科植物发生超补偿生长导致的可食阔叶草株高和冠幅在不同地形及不同放牧下变化不明显，但其重要值随着放牧强度的增加而增大，且在谷地最高。

#### 4 结论

不同地形下，中度放牧的群落物种数维持较高水平，符合“中度干扰假说”；在阴坡，轻、中度放

牧群落功能多样性显著高于重度放牧。

3种地形下，物种丰富度、Shannon-Wiener多样性指数和优势度在中度放牧下最高，重度放牧下最低。在不同的放牧强度下，谷地的物种丰富度最大，而Shannon-Wiener多样性指数最小。

在阴坡，轻度放牧的豆科植物的株高、冠幅及重要值最大；在谷地和阳坡，莎草科植物的重要值随着放牧强度的增大而增高，而在阴坡下却与之相反；禾本科植物重要值在中度放牧下最大；可食阔叶草重要值随着放牧增强而增加，且在谷地最大；不喜食植物重要值随着放牧强度的增大而增加，且阳坡最大。

## 参考文献 References:

- [1] 侯扶江, 杨中艺. 放牧对草地的作用. *生态学报*, 2006, 26(1): 244-264.  
HOU F J, YANG Z Y. Effects of grazing of livestock on grassland. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(1): 244-264.
- [2] 任继周. 放牧, 草原生态系统存在的基本方式: 兼论放牧的转型. *自然资源学报*, 2012, 27(8): 1259-1275.  
REN J Z. Grazing, the basic mode of existence of grassland ecosystems and the transformation of grazing. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(8): 1259-1275.
- [3] 董全民, 赵新全, 马玉寿, 王彦龙, 李世雄, 杨时海, 王柳英, 盛丽. 放牧对小嵩草草甸生物量及不同植物类群生长率和补偿效应的影响. *生态学报*, 2012, 32(9): 2640-2650.  
DONG Q Y, ZHAO X Q, MA Y S, WANG Y L, LI S X, YANG S H, WANG L Y, SHENG L. Influence of grazing on biomass, growth ratio and compensatory effect of different plant groups in *Kobresia parva* meadow. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(9): 2640-2650.
- [4] 柴曦, 梁存柱, 梁茂伟, 韩伟华, 李智勇, 苗百岭, 王炜, 王立新. 内蒙古草甸草原与典型草原地下生物量与生产力季节动态及其碳库潜力. *生态学报*, 2014, 34(19): 5530-5540.  
CHAI X, LIANG C Z, LIANG M W, HAN W H, LI Z Y, MIAO B L, WANG W, WANG L X. Seasonal dynamics of belowground biomass and productivity and potential of carbon sequestration in meadow steppe and typical steppe in Inner Mongolia, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(19): 5530-5540.
- [5] 侯扶江, 常生华, 于应文, 林慧龙. 放牧家畜的践踏作用研究评述. *生态学报*, 2004, 24(4): 784-789.  
HOU F J, CHANG S H, YU Y W, LIN H L. A review on trampling by grazed livestock. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(4): 784-789.
- [6] 吕世杰, 刘红梅, 吴艳玲, 卫智军, 聂雨芊. 放牧对短花针茅荒漠草原建群种与优势种空间分布关系的影响. *应用生态学报*, 2014, 25(12): 3469-3474.  
LYU S J, LIU H M, WU Y L, WEI Z J, NIE Y Q. Effects of grazing on spatial distribution relationships between constructive and dominant species in *Stipa breviflora* desert steppe. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(12): 3469-3474.
- [7] 张成霞, 南志标. 放牧对草地土壤理化特性影响的研究进展. *草业学报*, 2010, 19(4): 204-211.  
ZHANG C X, NAN Z B. Advances in research on effects of grazing on soil physical and chemical characteristics of grassland. *Pratacultural Science*, 2010, 19(4): 204-211.
- [8] 锡林图雅, 徐柱, 郑阳. 不同放牧率对内蒙古克氏针茅草原地下生物量及地上净初级生产量的影响. *中国草地学报*, 2009, 31(3): 26-29.  
Xilintuya, XU Z, ZHENG Y. Effects of different grazing rates on underground biomass and aboveground net primary production in *Stipa ketcherii* steppe in Inner Mongolia. *Chinese Journal of Grassland*, 2009, 31(3): 26-29.
- [9] 高阳, 赵文吉, 高明亮, 胡冬, 隗有龙. 北京山区植物优势种群分布及与环境因子的关系. *湖北农业科学*, 2014, 53(21): 5099-5104.  
GAO Y, ZHAO W J, GAO M L, HU D, KUI Y L. Relationship between the distribution of dominant plant population in mountain area of Beijing and environment factors. *Hubei Agricultural Sciences*, 2014, 53(21): 5099-5104.
- [10] 郑伟, 董全民, 李世雄, 李红涛, 刘玉, 杨时海. 放牧强度对环青海湖高寒草原群落物种多样性和生产力的影响. *草地学报*, 2012, 20(6): 1033-1038.  
ZHENG W, DONG Q M, LI S X, LI H T, LIU Y, YANG S H. Impact of grazing intensities on community biodiversity and productivity of alpine grassland in Qinghai Lake Region. *Grassland Journal*, 2012, 20(6): 1033-1038.
- [11] 刘佳慧, 张韬. 放牧扰动对锡林郭勒典型草原植被特征及土壤养分的影响. *生态环境学报*, 2017, 26(12): 2016-2023.  
LIU J H, ZHANG T. Response of plant characteristics and soil nutrients on grazing disturbance in typical grassland in Xilinguole. *Ecology and Environment Sciences*, 2017, 26(12): 2016-2023.

- [12] 巨天珍, 李沛祺, 赵继超, 王立峰, 康丽丹, 郝青, 张宋智. “天保工程”下锐齿栎群落物种多样性及其稳定性. *福建林业科技*, 2010, 37(4): 11-15.  
JU T Z, LI P Q, ZHAO J C, WANG L F, KANG L D, HAO Q, ZHANG S Z. Species diversity and stability of the sharp-toothed mites community under the “Tianbao Project”. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 2010, 37(4): 11-15.
- [13] 郭雅蓉, 侯扶江, 于应文. 祁连山北坡 3 个季节性牧场夏季的土壤呼吸. *草业科学*, 2017, 34(8): 1561-1570.  
GUO Y R, HOU F J, YU Y W. Soil respiration in three types of seasonal pastures in summer on the northern slope of Qilian Mountains. *Pratacultural Science*, 2017, 34(8): 1561-1570.
- [14] 马周文, 王宏, 于应文, 常生华, 周青平, 侯扶江. 甘肃马鹿冬季牧场牧草再生性对刈割的短期响应. *草业科学*, 2018, 35(1): 157-164.  
MA Z W, WANG H, YU Y W, CHANG S H, ZHOU Q P, HOU F J. Short-term effect of mowing winter pastures of Gansu wapiti on forage regeneration. *Pratacultural Science*, 2018, 35(1): 157-164.
- [15] 胡俊奇, 陈先江, 侯扶江. 高寒草原群落特征对甘肃马鹿冬季放牧的响应. *草业科学*, 2016, 33(6): 1028-1034.  
HU J Q, CHEN X J, HOU F J. The response of plant community characteristics of alpine steppe to the winter grazing of Gansu wapiti. *Pratacultural Science*, 2016, 33(6): 1028-1034.
- [16] 张鲜花, 朱进忠, 靳瑰丽, 古伟荣. 新疆褐牛放牧饲养条件下放牧强度对草地及家畜的影响. *新疆农业科学*, 2013, 50(5): 931-937.  
ZHANG X H, ZHU J Z, JIN G L, GU W R. Influence of grazing gradients on grassland and on Xinjiang brown cattle. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2013, 50(5): 931-937.
- [17] 赵敏, 徐文兵, 孔杨云, 王先之, 于应文. 祁连山东段干旱草原 2 种群落物种构成及稳定性研究. *西北植物学报*, 2017, 37(9): 1847-1853.  
ZHAO M, XU W B, KONG Y Y, WANG X Z, YU Y W. Research on the vegetation composition and community stability of arid grassland in the east of Qilian Mountains. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2017, 37(9): 1847-1853.
- [18] 张小红, 宋彦涛, 乌云娜, 霍光伟, 张凤杰, 王晓光, 邸择雷. 放牧强度对克氏针茅草原植物功能群的影响. *草业科学*, 2017, 34(10): 2033-2041.  
ZHANG X H, SONG Y T, WU Y N, HUO G W, ZHANG F J, WANG X G, DI Z L. Effects of grazing intensity on plant functional groups of *Stipa krylovii* steppe. *Pratacultural Science*, 2017, 34(10): 2033-2041.
- [19] 胡楠, 范玉龙, 丁圣彦, 廖乘华. 陆地生态系统植物功能群研究进展. *生态学报*, 2008, 28(7): 3302-3311.  
HU N, FAN Y L, DING S Y, LIAO B H. Progress in researches on plant functional groups of terrestrial ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(7): 3302-3311.
- [20] 徐苏铁. 典型草原植物功能群与土壤 C: N: P 计量化学和矿化作用的关系. 北京: 中国科学院大学硕士学位论文, 2011.  
XU S T. The relationship between functional trait groups and soil C: N: P stoichiometry and mineralization in typical grasslands. Master Thesis. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2010.
- [21] 孙志勇, 季孔庶. 植物多样性研究进展. *林业工程学报*, 2012, 26(4): 5-9.  
SUN Z Y, JI K S. Research progress of plant diversity. *China Forestry Science and Technology*, 2012, 26(4): 5-9.
- [22] 黄琛, 张宇, 赵萌莉, 韩国栋. 放牧强度对荒漠草原植被特征的影响. *草业科学*, 2013, 30(11): 1814-1818.  
HUANG C, ZHANG Y, ZHAO M L, HAN G D. Effects of grazing intensity on vegetation characteristics of desert steppe. *Pratacultural Science*, 2013, 30(11): 1814-1818.
- [23] 董全民, 赵新全, 马玉寿, 施建军, 王彦龙, 李世雄, 杨时海, 盛丽. 放牧强度对高寒混播人工草地群落特征及地上现存量的影响. *草地学报*, 2012, 20(1): 10-16.  
DONG Q M, ZHAO X Q, MA Y S, SHI J J, WANG Y L, LI S X, YANG S H, SHENG L. Effect of grazing intensity on community character and aboveground present biomass of alpine mixed-sown pasture. *Grassland Journal*, 2012, 20(1): 10-16.

- [24] 刘旻霞, 王刚. 高寒草甸植物群落多样性及土壤因子对坡向的响应. 生态学杂志, 2013, 32(2): 259-265.  
LIU M X, WANG G. Responses of plant community diversity and soil factors to slope aspect in alpine meadow. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(2): 259-265.
- [25] 仁青吉, 武高林, 任国华. 放牧强度对青藏高原东部高寒草甸植物群落特征的影响. 草业学报, 2009, 18(5): 256-261.  
REN Q J, WU G L, REN G H. Effects of grazing intensity on the characteristics of alpine meadow plant community in the east of Qinghai-Tibet Plateau. Acta Prataculturae Sinica, 2009, 18(5): 256-261.
- [26] 海龙, 王淑芳, 于志刚, 王晓江. 放牧对内蒙古乌拉山典型山地植物群落学特征的影响. 内蒙古林业科技, 2016, 42(4): 15-20.  
HAI L, WANG S F, YU Z G, WANG X J. Influence of grazing on plant community characteristics in typical mountainous area in Wulashan, Inner Mongolia. Inner Mongolia Forestry Science and Technology, 2016, 42(4): 15-20.
- [27] 刘建秀, 朱志红, 郑伟. 高寒草甸放牧扰动与两种植物的反应研究. 西北植物学报, 2005, 25(10): 2043-2047.  
LIU J X, ZHU Z H, ZHENG W. Responses of two plant species to grazing practice in alpine and cold meadow under grazing and grazing-suspension. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2005, 25(10): 2043-2047.
- [28] 魏永生, 郑敏燕. HPLC 测定藏药鬼箭锦鸡儿中黄酮类化合物的含量. 中国药理学杂志, 2005, 40(1): 73-74.  
WEI Y S, ZHENG M Y. Determination of the contents of flavonoids in *Caragana jubata* (Pall.) Poir by HPLC. Chinese Pharmaceutical Journal, 2005, 40(1): 73-74.
- [29] 宋萍, 杨赵立, 包锦渊. 鬼箭锦鸡儿化学成分的研究. 华西药理学杂志, 2009, 24(4): 305-306.  
SONG P, YANG Z L, BAO J Y. Study on the chemical constituents of the *Caragana jubata* (Pall.) Poir. West China Journal of Pharmaceutical Sciences, 2009, 24(4): 305-306.
- [30] 黄黔. 我国的生态建设与生态现代化. 草业学报, 2008, 17(2): 1-8.  
HUANG Q. Chinese ecological construct and modernization. Acta Prataculturae Sinica, 2008, 17(2): 1-8.
- [31] 王迎新, 王召锋, 程云湘, 侯扶江. 浅议毒害草在草地农业生态系统中的作用. 草业科学, 2014, 31(3): 381-387.  
WANG Y X, WANG Z F, CHEN Y X, HOU F J. The roles of toxic and harmful grass in grassland agro-ecosystems. Pratacultural Science, 2014, 31(3): 381-387.
- [32] 曾蒙秀, 朱诚, 杨振京, 杨庆华, 马春梅. 若尔盖高原红原泥炭中莎草科植物花粉含量及其古环境意义初探.//中国古生物学会孢粉学会第九届二次学术年会论文摘要集. 南京: 中国古生物学, 2015: 61-62.  
ZENG M X, ZHU C, YANG Z J, YANG Q H, MA C M. The pollen content and its paleoenvironmental significance of Cyperaceae from Peat of Hongyuan in Ruoergai plateau.// The collection of abstract papers of the 9th annual academic meeting of the Chinese Society of Paleontology. Nanjing: Palaeontological Society of China, 2015: 61-62.

(责任编辑 王芳)