



春季放牧对祁连山草原化草甸植物群落特征的影响

杜世丽 马玉寿 李世雄 尹亚丽 赵文 苏世锋 董怡玲 王彦龙

Effects of spring grazing on vegetation community characteristics of alpine steppe-meadow in the Qilian mountains

DU Shili, MA Yushou, LI Shixiong, YIN Yali, ZHAO Wen, SU Shifeng, DONG Yiling, WANG Yanlong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0751>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

祁连山东段不同植物群落的特征及生物量分配

Study on the community characteristics and biomass allocation of different vegetation in the Eastern Qilian Mountains

草业科学. 2020, 37(5): 853 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2019-0415>

返青期休牧对祁连山区中度退化草原化草甸草地的影响

Effects of rest-grazing in the regreen-up period on moderately degraded steppification meadow of Qilian Mountain

草业科学. 2017, 11(10): 2016 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0200>

祁连山高寒草甸和荒漠草原土壤细菌群落的结构特征

Characterization of soil bacterial communities in alpine and desert grasslands in the Qilian Mountain range

草业科学. 2020, 37(1): 10 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2019-0407>

放牧家畜对东祁连山高寒灌丛草地枯落物层及水文功能的影响

Effects of grazing domestic animals on litter layer and hydrological function of alpine shrubland in Eastern Qilian Mountains

草业科学. 2021, 38(9): 1683 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0543>

休牧对西藏高寒草原和高寒草甸植被与土壤特征的影响

Effects of rest grazing on vegetation and soil characteristics of alpine steppe and alpine meadow in Tibet

草业科学. 2020, 37(3): 486 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2019-0423>

放牧强度对高寒草甸群落特征及植被生存状态的影响

Effects of grazing intensity on community characteristics and vegetation living states in alpine meadows

草业科学. 2021, 38(11): 2097 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0179>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0751

杜世丽, 马玉寿, 李世雄, 尹亚丽, 赵文, 苏世锋, 董怡玲, 王彦龙. 春季放牧对祁连山草原化草甸植物群落特征的影响. 草业科学, 2022, 39(10): 2062-2073.

DU S L, MA Y S, LI S X, YIN Y L, ZHAO W, SU S F, DONG Y L, WANG Y L. Effects of spring grazing on vegetation community characteristics of alpine steppe-meadow in the Qilian mountains. Pratacultural Science, 2022, 39(10): 2062-2073.

春季放牧对祁连山草原化草甸植物群落特征的影响

杜世丽, 马玉寿, 李世雄, 尹亚丽, 赵文, 苏世锋, 董怡玲, 王彦龙

(青海大学畜牧兽医科学院, 青海 西宁 810016)

摘要: 植物群落特征是草地生态学核心内容之一, 反映草地群落发展方向。本研究以祁连山草原化草甸为对象, 通过对放牧当年不同春季采食率 [0 (CK)、30%、50%、70% 和 90%] 下植物群落特征 (植株高度、盖度、生物量及多样性) 及变化规律进行分析, 确定研究区草原化草甸适宜的春季采食率, 为祁连山草原化草甸的合理利用提供科学依据。结果表明: 随采食率增大, 群落和禾本科的盖度和地上生物量、禾本科的重要值及各功能群优势植物 [甘肃羊茅 (*Festuca kansuensis*)、矮嵩草 (*Kobresia humilis*)、矮火绒草 (*Leontopodium nanum*) 和黄花棘豆 (*Oxytropis ochrocephala*)] 的植株高度均呈降低趋势, 其中 30% 采食率下禾本科的重要值和盖度与 CK 差异不显著 ($P > 0.05$), 此外, 莎草科的重要值和盖度增加, 其地上生物量呈先增加后减少趋势, 且在 30% 采食率下最大, 为 $45.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。随采食率增大, 阔叶类植物和毒害草重要值无明显变化, 阔叶类植物盖度和地上生物量均呈先升高后降低趋势, 且在 50% 采食率下最大; 毒害草的盖度和地上生物量增加, 且这两项指标在 30% 采食率下与 CK 相近。随采食率增大, 草地植物群落 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数均在 30% 采食率下最小, 90% 采食率下最大, Simpson 指数和物种丰富度无明显变化。初步研究表明, 放牧当年研究区草原化草甸适宜的春季采食率为 30%。

关键词: 春季放牧; 祁连山; 采食率; 草原化草甸; 功能群; 植物群落特征; 变化规律

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2022)10-2062-12

Effects of spring grazing on vegetation community characteristics of alpine steppe-meadow in the Qilian mountains

DU Shili, MA Yushou, LI Shixiong, YIN Yali, ZHAO Wen, SU Shifeng, DONG Yiling, WANG Yanlong

(Academy of Animal Science and Veterinary Medicine, Xining 810016, Qinghai, China)

Abstract: The characteristics of plant communities are one of the core aspects of grassland ecology and reflect the developmental direction of grassland communities. This study examined the alpine steppe-meadow of the Qilian mountains and analyzed the changes in characteristics (plant height, coverage, biomass, and diversity) of plant communities under different spring feeding rates [0 (CK), 30%, 50%, 70%, and 90%] in the grazing year to determine the appropriate spring feeding rate of grassland meadow in the study area, which may provide a scientific basis for the rational utilization of grassland meadows of the Qilian mountains. The results showed that with an increase in feeding rate, there was a decreasing trend in the coverage and aboveground biomass of the community and Gramineae, importance value of Gramineae, and plant height of dominant plants in each functional group (*Festuca kansuensis*, *Kobresia humilis*, *leontopodium nanum* and *Oxytropis*

收稿日期: 2021-12-15 接受日期: 2022-04-19

基金项目: 高寒草地生态系统自然恢复技术集成与示范 (2018-SF-137)

第一作者: 杜世丽 (1996-), 女, 甘肃靖远人, 在读硕士生, 研究方向为草地生态与环境保护。E-mail: 2442852333@qq.com

通信作者: 马玉寿 (1964-), 男, 青海平安人, 研究员, 博士, 研究方向为草地生态与环境保护。E-mail: mayushou@sina.com

ochrocephala). Additionally, there was no significant difference between the importance value and coverage of Gramineae at 30% feeding rate and the control ($P > 0.05$). Furthermore, the importance value and coverage of Cyperaceae increased, its aboveground biomass first increased and then decreased, and the maximum biomass was $45.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ at 30% feeding rate. With the increase in feeding rate, no significant change was observed in the importance values of broad-leaved plants and poisonous weeds. The coverage and aboveground biomass of broad-leaved plants first increased and then decreased, and the maximum values of these two indicators were at 50% feeding rate. The coverage and aboveground biomass of poisonous weeds increased, and the values of these two indicators were similar to that of the control at 30% feeding rate. With the increase in feeding rate, the Shannon-Wiener index and Pielou evenness index of grassland plant communities were the smallest under 30% feeding rate and the largest under 90% feeding rate. There was no significant change in the Simpson index and species richness. The preliminary study showed that the suitable spring feeding rate of alpine steppe-meadow in the study area was 30% in the grazing year.

Keywords: spring grazing; Qilian mountains; feeding rate; alpine steppe-meadow; functional group; plant community characteristics; change rules

Corresponding author: MA Yushou E-mail: mayushou@sina.com

家畜放牧是草地管理、利用的基本手段^[1]。放牧家畜一方面通过践踏和采食抑制草地植物的正常发育,另一方面通过去除植物老化部位减少不必要的养分消耗,促进植物生长^[2],合理的放牧利于草地生态健康和生产力的维持。祁连山是我国六大天然牧场之一,其中草原化草甸是该地区主要植被类型,其不仅是当地重要放牧草场,还具有重要的水源涵养、生物多样性维持和碳储存等生态服务功能^[3-5]。季节性放牧是草原化草甸传统利用方式,一般划分为两季草场(夏季和冬春草场)或三季草场(夏季、冬春和秋季草场)利用模式^[6]。学者们普遍认为,过度放牧是草地退化最主要的因素之一^[7-11]。据统计,祁连地区退化草地面积约为 $3.3 \times 10^6 \text{ hm}^2$,占比高达 76.7%^[12]。因此,进行放牧条件下祁连山草原化草甸植被变化特征研究,对该区域草地管理具有重要实践意义。

一般认为,春季(3月—6月)是祁连山草原化草甸放牧的“禁忌期”之一^[13]。一方面经过整个冬季,地上枯草已被牛羊舔食干净而青草正待萌发,处于返青期的幼苗在兼顾自身生长发育的同时还不可避免地受到家畜放牧的影响;另一方面,春季植物根部所贮藏的碳水化合物含量最低,对家畜放牧敏感^[14],且不断被采食的牧草无法形成足够叶面积进行光合作用,严重影响牧草后期的生长状况及产量^[15]。虽然春季休牧是草地恢复常用方式之一,但受祁连山传统放牧文化及牧民受教育程度的影

响,休牧措施难以在当地开展实施,此外该区牧户多是以家庭为单元开展家畜生产,舍饲圈养所需的设备、精饲料等方面的经济成本较高,不适于这种小规模养殖。因此,研究草地春季利用策略,对祁连山草地生态系统的健康发展具有重要意义。

目前,国内放牧研究多是从放牧强度^[16-22]角度指导牧民科学合理放牧,而从采食率角度研究草地合理利用方面的报道较少。鉴于此,本研究以祁连山草原化草甸为对象,通过对不同采食率梯度[0(CK)、30%、50%、70%和90%]下,草地植株高度、盖度和地上生物量及物种多样性变化规律对比分析,初步确定研究区草原化草甸春季适宜的家畜采食率,为祁连山草原化草甸合理利用和草地生态系统可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验在青海省祁连县默勒镇祁连山高寒草地生态试验站($37^{\circ}56'24'' \sim 37^{\circ}56'37'' \text{ N}$, $100^{\circ}13'14'' \sim 100^{\circ}13'18'' \text{ E}$,海拔约 3500 m)开展。该区属高原大陆性气候,冷季长,暖季短。光能资源丰富,全年日照时数 2 828 h,太阳辐射强, $> 0^{\circ} \text{ C}$ 年积温 $1\,657.0^{\circ} \text{ C} \cdot \text{d}$ 。年均温 1.5° C ,1月平均气温 -12.3° C ,7月平均气温为 12.5° C ,气温日差大,无绝对无霜期。干湿分明,雨热同期,年平均降水量为 415.0 mm,年平均蒸发量为 1 162.0 mm。研究区草地类型为草原

化草甸, 是 2015 年通过免耕补播草地早熟禾 (*Poa pratensis*) 休牧恢复后的草地。草地优势种为甘肃羊茅 (*Festuca kansuensis*), 伴生种为草地早熟禾、垂穗披碱草 (*Elymus nutans*)、矮嵩草 (*Kobresia humilis*)、落草 (*Koeleria cristata*) 等。土壤以高寒草甸土为主。

1.2 试验研究方法

1.2.1 试验设计

试验于 2020 年 3 月初—8 月底进行, 采取随机区组设计, 依据轻度、中度、重度、极度家畜采食程度, 设置 0 (CK)、30%、50%、70% 和 90% 5 个采食率梯度^[23-25], 小区面积约 20 m × 33.3 m, 重复 4 次, 共 20 个小区。放牧前, 在各小区放置 1 个扣笼 (1 m × 1 m × 1 m), 采用目测和实测相结合方法, 根据扣笼内外植物现存量确定实际采食率^[26-27]。放牧时间为 3 月中旬—6 月底 (全年其他时间禁牧), 为保证家畜采食的均匀性, 选择高强度集中放牧, 以藏系绵羊和牦牛为放牧家畜, 每 15 d 放牧一次, 共放牧 8 次。

1.2.2 植物群落特征调查

2020 年 8 月, 在各小区沿对角线设置 5 个 50 cm × 50 cm 的样方, 先调查草地植物群落的总盖度及植物种的分盖度 (目测法) 和自然高度 (每样方每种植物随机选取 5 株, 不够 5 株以实际植株数测); 然后齐地面刈割收获各样方内的分种植物量, 分装入信封袋中, 带回实验室在 65 ℃ 的恒温下烘干至恒定, 称取其干物质量。

参考前人研究^[28-31], 将研究样地的植物物种划分为禾本科、莎草科、阔叶类植物和毒害草 4 个功能群。并按以下公式分别计算植物种重要值 (P_i) 及植物多样性。功能群重要值通过植物种重要值累加计算。

$$P_i = (RC + RH + RB) / 3 \times 100.$$

式中: RC 为相对盖度, RH 为相对高度, RB 为相对生物量。

植物物种的 Shannon-Wiener 多样性指数 (H')、Simpson 生态优势度指数 (D')、Pielou 均匀度指数 (J') 和 Patrick 丰富度指数 (R) 按 Zou 等^[32] 的公式计算, 具体如下:

$$H' = - \sum P_i \ln P_i;$$

$$D' = 1 / \sum P_i^2;$$

$$J' = H' / \ln S;$$

$$R = S.$$

式中: P_i 为第 i 种植物的重要值 (IV), S 为样地样方的平均物种数。

1.3 数据统计与分析

采用 Excel 2013 整理数据, SPSS 24.0 统计软件进行单因素方差分析, 数据以平均值 ± 标准差来表示, 分别对不同采食率梯度下草地各功能群的重要值、植株高度、盖度、地上生物量以及多样性指数进行单因素方差分析, 并用 Duncan 法对各测定数据进行多重比较; 采用 Origin 2019b 制图。

2 结果与分析

2.1 植物群落功能群重要值

春季放牧对草地植物各功能群的重要值产生了明显影响 (图 1)。随采食率增加, 禾本科植物的重要值降低, 其中仅 30% 采食率下与 CK 间差异不显著 ($P > 0.05$), 50%、70% 和 90% 采食率下较 CK 分别显著降低了 19.6%、18.2% 和 22.5% ($P < 0.05$), 50%、70% 和 90% 采食率处理间无显著性差异 ($P > 0.05$)。莎草科植物的重要值随采食率增大而增大, 且仅在 90% 采食率下相对于 CK 显著增加了 72.3% ($P < 0.05$), 其余各处理间差异不显著 ($P > 0.05$)。随采食率增大, 阔叶类植物和毒害草植物的重要值整体呈升高趋势, 但均未达到差异显著水平 ($P > 0.05$) (图 1)。

2.2 植物群落的植株高度、盖度和地上生物量

随采食率增大, 草地植物群落和禾本科植物的盖度和地上生物量、禾本科优势种甘肃羊茅和毒害草优势种黄花棘豆 (*Oxytropis ochrocephala*) 植株高度均逐渐降低 (图 2)。30% 采食率下草地群落总盖度和地上总生物量较 CK 仅分别显著降低了 8% 和 26.1% ($P < 0.05$), 禾本科植物盖度在 30% 采食率下与 CK 间无显著差异 ($P > 0.05$), 甘肃羊茅植株高度在 30%、50%、70% 和 90% 采食率下分别较 CK 分别显著降低了 20.0%、40.0%、40.0% 和 63.5% ($P < 0.05$), 70% 和 90% 采食率下黄花棘豆植株高度相对于 CK 分别显著降低了 57.5% 和 58.6% ($P < 0.05$)。随采食率增大, 莎草科植物盖度增大, 而其地上生物量整

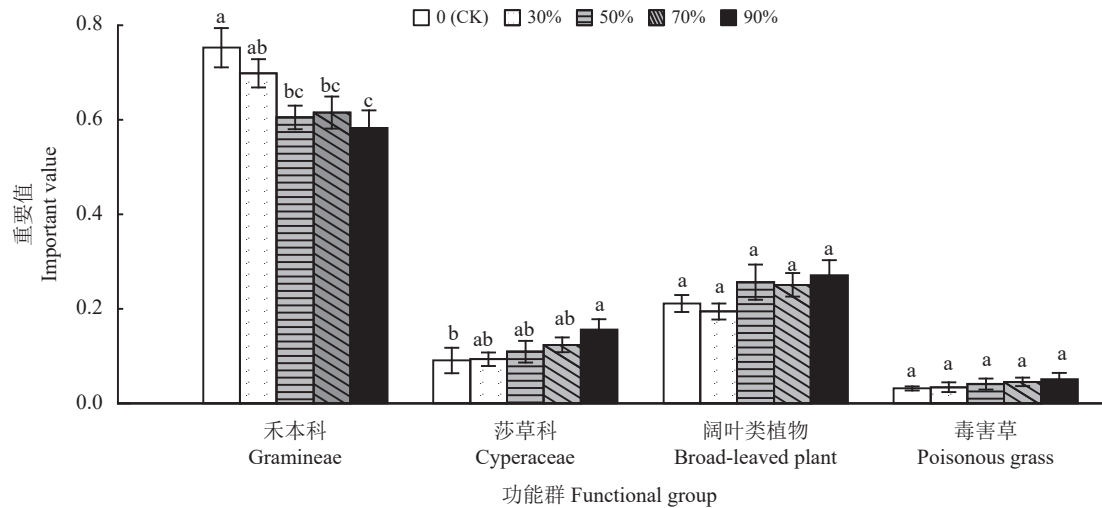


图 1 不同采食率下草原化草甸各功能群重要值

Figure 1 Importance value of each functional group in alpine steppe-meadow under different feeding rates

不同字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$); 下同。
Different lowercase letters indicate significant differences among different treatments at the 0.05 level; this is applicable for the following figures and tables as well.

体呈先升高后降低的趋势,且在 30% 采食率下达到最大,为 $45.6\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$,其优势种矮嵩草植株高度无明显变化。阔叶类植物盖度和地上生物量随采食率增大均呈先升高后降低趋势,且在 50% 采食率下最大,分别为 38.9% 和 $93.4\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$,与其余处理呈显著性差异 ($P < 0.05$),其优势种植物矮火绒草 (*Leontopodium nanum*) 植株高度 90% 采食率下最低,为 1.12 cm。随采食率增大,毒害草植物盖度和地上生物量均增大,30% 采食率下毒害草的盖度与 CK 间差异不显著 ($P > 0.05$),毒害草植物的地上生物量在 90% 采食率下最大,为 $18.0\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$,与其余处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3 植物群落物种多样性

随采食率增大,草地植物群落 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数均在 30% 采食率下最小,90% 采食率下最大,而 Simpson 指数和 Patrick 丰富度指数无显著变化 ($P > 0.05$)。Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数在各采食处理与不采食 (CK) 间差异不显著 ($P > 0.05$),Shannon-Wiener 指数仅在 30% 与 90% 采食率间差异显著 ($P < 0.05$),90% 采食率下 Pielou 均匀度指数较 30%、50% 和 70% 采食率分别显著增加了 10.8%、6.5% 和 7.9% ($P > 0.05$)。Simpson 指数和 Patrick 丰富度指数在各处理间均未表现出显著性差异 ($P > 0.05$) (表 1)。

3 讨论

放牧会导致草地植物群落发生变化,影响草地植物群落特征^[33]。重要值是植物群落结构的重要参数,它能客观地反映群落内物种组成的变化^[34]。不同放牧强度干扰下,各功能群重要值不同^[35]。罗方林等^[36]在海北站开展以矮生嵩草为建群种的高寒草甸放牧试验表明,禾本科的重要值在轻度放牧下最大,莎草科重要值在禁牧样地最大,这与本研究结果存在差异。本研究中禾本科植物的重要值在 30% 采食率下与对照相近,而莎草科重要值随采食率增大而增大,这可能是由于所选草地建群种的不同所造成的差别。牛钰杰等^[37]在天祝县高寒草甸的放牧研究认为随着放牧强度的增大莎草科植物重要值降低,这可能与海拔梯度有关,随海拔梯度增加,气温下降,牧草呼吸强度减弱^[38],呼吸消耗的能量降低,贮藏用于生长的能量随之增多,因而本研究中莎草科重要值增加。张宇等^[39]在内蒙古羊草 (*Leymus chinensis*) 草甸草原、段敏杰等^[40]在藏北短花针茅 (*Stipa breviflora*) 高寒草原、朱志红等^[41]在海北站高寒草甸冬春草场的放牧试验均认为,莎草科植物重要值随放牧强度增大而增大。此外,随放牧干扰增强,家畜对处于群落上层的牧草采食比较完全,上层的牧草对群落下层的毒害草和阔叶类植物的抑制作用减弱^[42-43],下层的植物获得更多的生

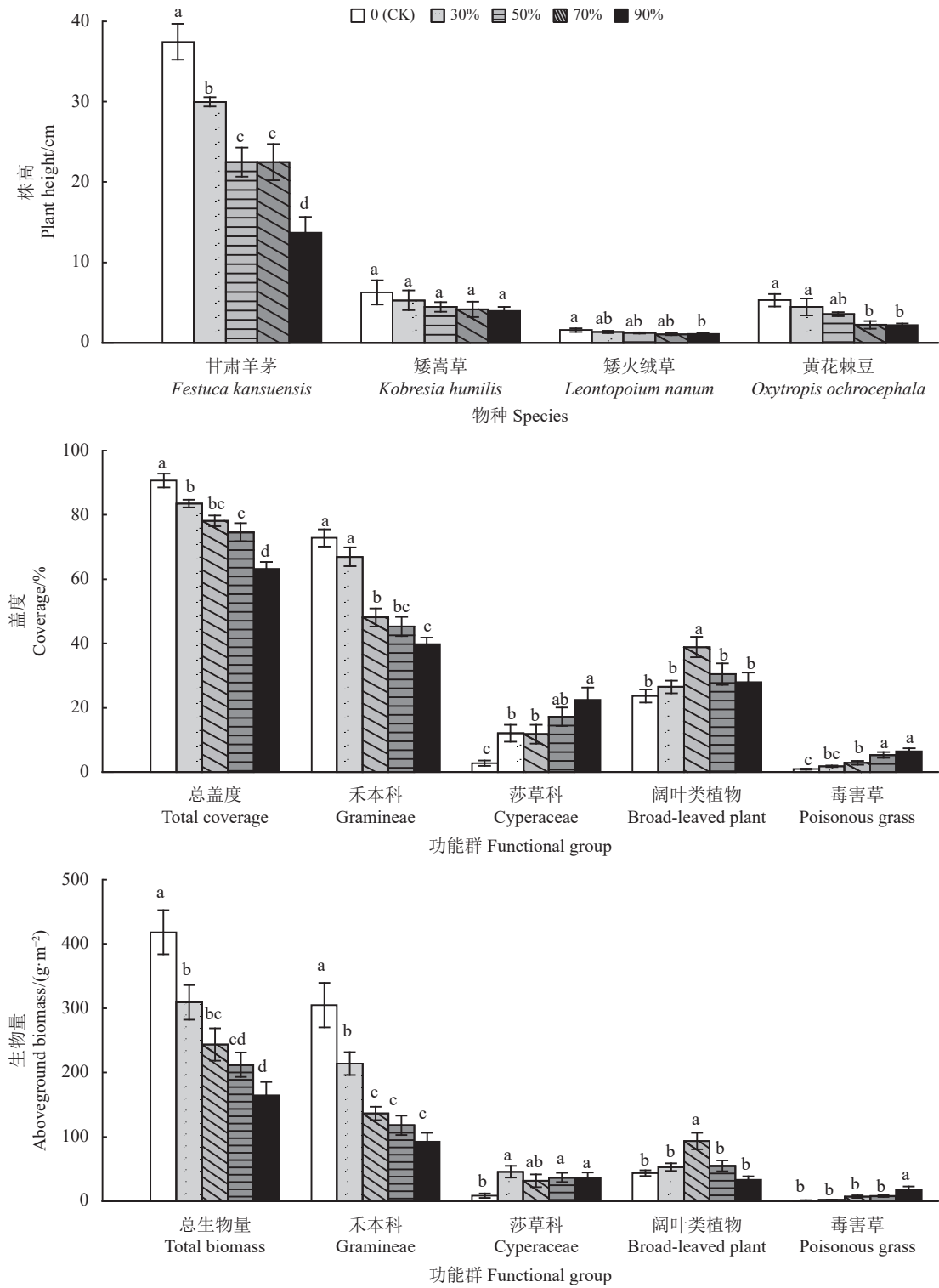


图 2 不同采食率下草原化草甸植株高度、盖度和地上生物量

Figure 2 Plant height, coverage, and aboveground biomass of alpine steppe-meadow under different feeding rates

长资源。因而，毒害草和阔叶类植物的重要值随采食率增大整体均有增加趋势，但由于放牧时间较短变化不明显。

放牧作为草地上最主要、最直接、最经济的利

用方式之一^[44]，同时也是影响草地植被特征的主要干扰方式。草地植株高度、盖度和生物量随着放牧强度的增大而降低^[45-49]。植株高度是家畜作用于草地后变化最明显的指标。放牧家畜对草地植物的啃

表 1 不同采食率下草原化草甸植物群落物种多样性指数
Table 1 Vegetation community diversity indices of alpine steppe-meadow under different feeding rates

采食率 Feeding rate/%	Shannon-Wiener指数	Simpson指数	Pielou均匀度指数	Patrick丰富度指数
0 (CK)	1.97 ± 0.20ab	0.74 ± 0.18a	0.78 ± 0.05ab	12.67 ± 2.81a
30	1.82 ± 0.20b	0.76 ± 0.06a	0.74 ± 0.07b	11.83 ± 1.53a
50	1.97 ± 0.17ab	0.81 ± 0.04a	0.77 ± 0.05b	13.08 ± 1.98a
70	1.93 ± 0.18ab	0.78 ± 0.05a	0.76 ± 0.05b	13.00 ± 2.49a
90	1.99 ± 0.17a	0.82 ± 0.04a	0.82 ± 0.06a	12.40 ± 2.22a

食使得草地植株高度明显降低。在青藏高原东北缘的高寒草甸上的放牧研究^[50]也认为,随着放牧强度增大草地植物群落总盖度、总生物量、禾本科植物盖度和地上生物量均降低。而在西藏高山嵩草草甸上的牦牛放牧试验^[51]却表明,零放牧和适度放牧群落盖度没有显著变化,重度放牧下群落盖度降低。这可能是由于草地类型的不同所造成的差异,适度放牧刺激高山嵩草营养繁殖的同时也影响着有性繁殖,从而表现出适度放牧下群落盖度无较明显变化的现象。在青藏高原东部的高寒草甸^[52-53]、在内蒙古温带典型草原^[54]、在内蒙古短花针茅荒漠草原^[55]、在松嫩平原的羊草草甸^[56]、在呼伦贝尔羊草草甸草原上的放牧试验^[57]均显示,随着放牧强度增大草地上总生物量逐渐降低。但在西藏自治区那曲市利用 GPS 构建放牧轨迹数据集模拟放牧强度的结果^[58]却表明,随放牧强度增大高寒草原生物量呈先升高后降低趋势,与本研究结果不一致,这可能是由于本研究对采食率监测方面的精度不够高所造成的差异。在新疆典型的针茅 (*Stipa capillata*) + 杂类草的草甸草原人工模拟放牧 (刈割) 试验^[59]得出针茅草地春季优良牧草盖度逐渐降低的结论。本研究结果表明,随采食率增大,禾本科植物盖度和地上生物量降低,莎草科植物盖度增加,而其地上生物量先升高后降低,在 30% 采食率下最大。随放牧强度增大,禾本科植物逐渐被莎草科植物取代^[60]。此外,莎草科为一定放牧强度促进型功能群,因而当放牧强度增加到一定程度时,莎草科植物的生物量会下降^[61-62]。在青藏高原高寒草甸夏季草场的牦牛放牧研究^[63]也表明,轻度放牧和中度放牧下莎草科生物量占比较对照分别提高了 20.3% 和 10.4%,而重度放牧下其生物量占比降低了 7.7%。在三江源区高寒草甸^[30]和藏嵩草草甸^[64]的研究均显示,休

牧使得阔叶型可食草地上生物量增加,毒害草地上生物量降低。本研究表明,随采食率增大阔叶类植物的盖度和地上生物量先增加后减少,毒害草植物盖度和地上生物量增加。随采食率增大,处于群落下层的阔叶类植物和毒害草受上层高大禾本科的竞争作用减弱,此二者的盖度和生物量有增加趋势,但是当采食率继续增加,上层牧草对下层阔叶类植物的遮挡作用减弱,为牛羊采食阔叶类植物提供了有利条件,因而随着采食率的增大阔叶类植物的盖度和生物量呈先升高后降低趋势。

植物多样性是对群落物种多样性、均匀度和丰富度的测量指标,可以反映物种间通过竞争而产生的对群落的干扰程度^[65]。目前,关于放牧强度对草地植物群落多样性变化影响的研究结果大多支持“中度干扰理论”,即草地多样性随着放牧强度的增加呈单峰趋势变化,在中度放牧时达到最大^[19, 52, 66-69]。本研究中,随采食率增大,草地植物群落 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数整体均呈先降低后升高的趋势,且在 30% 采食率下最小,在 90% 采食率下达到最大。这可能与草地类型、放牧家畜品种、放牧历史以及放牧季节的不同有关。杨晶晶等^[70]在天山北坡山地草甸的放牧研究也得出与之相似的结论。青海湖北岸高寒草原多样性指数在暖、冷季放牧草地均以重度放牧区最高^[71],出现这一结果的原因可能是家畜的择食使得草地植物群落中适口性较好的优势种群 (禾本科) 的竞争势受到抑制,为处于弱势的物种以及新物种的入侵提供了生长和定居的条件,使得耐践踏、家畜不喜食的阔叶类植物和毒害草增多,从而提高了草地植物群落多样性,而 30% 采食率下,放牧对草地群落优势种的干扰较小,限制了草地植物群落多样性。此外,由于本研究为放牧当年草地植物多样性变化, Simpson 指数

和 Patrick 丰富度指数无明显变化。

4 结论

本研究表明,放牧当年不同采食率对祁连山草原化草甸春季草场的植物群落特征产生了影响。随采食率增大,草地植株高度、群落和禾本科的盖度

和地上生物量均呈降低趋势。植物群落 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数在 30% 采食率下最小,90% 采食率下最大, Simpson 指数和 Patrick 丰富度指数无明显变化。综合分析认为,30% 采食率对草地植物群落特征的影响相对较小。因此,放牧当年祁连山草原化草甸春季建议采食率为 30%。

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] 方楷, 宋乃平, 魏乐, 安慧. 不同放牧制度对荒漠草原地上生物量及种间关系的影响. *草业学报*, 2012, 21(5): 12-22.
FANG K, SONG N P, WEI L, AN H. The effect of different grazing systems on aboveground biomass and interspecific relationships in desert steppe. *Acta Prataculturae Sinica*, 2012, 21(5): 12-22.
- [3] 李明森. 藏北高原草地资源合理利用. *自然资源学报*, 2000, 15(4): 335-339.
LI M S. Rational exploitation of grassland resources in the northern Xizang plateau. *Journal of Tibet Resources*, 2000, 15(4): 335-339.
- [4] 张世珍. 祁连山生态系统保护与治理. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 2012.
ZHANG S Z. Qilian Mountains Ecosystem Protection and Management. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 2012.
- [5] 王金亭. 青藏高原高山植被的初步研究. *植物生态学报*, 1998, 12(2): 81-90.
WANG J T. A preliminary study on alpine vegetation of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 1998, 12(2): 81-90.
- [6] LONG R J, DING L M, SHANG Z H, GUO X S. The yak grazing system on the Qinghai-Tibetan Plateau and its status. *The Rangeland and Journal*, 2008, 30(2): 241-246.
- [7] 周华坤, 周立, 赵新全, 刘伟, 严作良, 师燕. 江河源区“黑土滩”型退化草场的形成过程与综合治理. *生态学杂志*, 2003, 22(5): 51-55.
ZHOU H K, ZHOU L, ZHAO X Q, LIU W, YAN Z L, SHI Y. Degradation process and integrated treatment of “black soil beach” grassland in the source regions of Yangtze and Yellow Rivers. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(5): 51-55.
- [8] 王云霞, 修长柏, 曹建民. 气候因子与过度放牧在内蒙古牧区草地退化演变中的作用. *农业技术经济*, 2015, 12(8): 112-117.
WANG Y X, XIU C B, CAO J M. Effects of climate factors and overgrazing on grassland degradation in Inner Mongolia. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2015, 12(8): 112-117.
- [9] 贺有龙, 周华坤, 赵新全, 来德珍, 赵建中. 青藏高原高寒草地的退化及其恢复. *草业与畜牧*, 2008, 156(11): 1-9.
HE Y L, ZHOU H K, ZHAO X Q, LAI D Z, ZHAO J Z. Alpine grassland degradation and its restoration on Qinghai-Tibet Plateau. *Prataculture and Animal Husbandry*, 2008, 156(11): 1-9.
- [10] 龙瑞军, 董世魁, 胡自治. 西部草地退化的原因分析与生态恢复措施探讨. *草原与草坪*, 2005, 113(6): 3-7.
LONG R J, DONG S K, HU Z Z. Grassland degradation and ecological restoration in western China. *Grassland and Turf*, 2005, 113(6): 3-7.
- [11] 赵新全, 周兴民. 青藏高原高寒草甸生态系统管理的生态学基础: 海北高寒草甸生态系统研究站. *AMBIO-人类环境杂志*, 1999, 28(8): 642-647.
ZHAO X Q, ZHOU X M. Ecological basis of alpine meadow ecosystem management in Tibet: Haibei alpine meadow ecosystem research station. *AMBIO-A Journal of the Hunman Environment*, 1999, 28(8): 642-647.
- [12] 张骞, 马丽, 张中华, 徐文华, 周秉荣, 宋明华, 乔安海, 王芳, 余延娣, 杨晓渊, 郭婧, 周华坤. 青藏高寒区退化草地生态恢复: 退化现状、恢复措施、效应与展望. *生态学报*, 2019, 39(20): 7441-7451.

- ZHANG Q, MA L, ZHANG Z H, XU W H, ZHOU B R, SONG M H, QIAO A H, WANG F, SHE Y D, YANG X Y, GUO J, ZHOU H K. Ecological restoration of degraded grassland in Qinghai-Tibet alpine region: Degradation status, restoration measures, effects and prospects. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(20): 7441-7451.
- [13] 马玉寿, 李世雄, 王彦龙, 孙小弟, 景美玲, 李松阳, 李林栖, 王晓丽. 返青期休牧对退化高寒草甸植被的影响. *草地学报*, 2017, 25(2): 290-295.
- MA Y S, LI S X, WANG Y L, SUN X D, JING M L, LI S Y, LI L X, WANG X L. Effect of rest-grazing in the greenup period on degraded vegetation in alpine meadow. *Acta Agrestia Sinica*, 2017, 25(2): 290-295.
- [14] 张浩. 短期休牧对无芒雀麦改良草地植被和家畜生产的影响机制. 兰州: 甘肃农业大学博士学位论文, 2019.
- ZHANG H. The effect and mechanism of short-term rest grazing on vegetation and livestock production of *Bromus inermis* improved grassland. PhD Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2019.
- [15] SU R N, CHENG J H, CHEN D M, BAI Y F, JIN H, Chao Lumengqiqige, WANG Z J, LI J Q. Effects of grazing on spatiotemporal variations in community structure and ecosystem function on the grasslands of Inner Mongolia, China. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 40.
- [16] 向明学, 郭应杰, 古桑群宗, 张晓庆, 潘影, 武俊喜, 拉多. 不同放牧强度对拉萨河谷温性草原植物群落和物种多样性的影响. *草地学报*, 2019, 27(3): 668-674.
- XIANG M X, GUO Y J, Gusangqunzong, ZHANG X Q, PAN Y, WU J X, Laduo. Effects of grazing intensity on plant community and species diversity of temperate steppe in Lhasa River Valley. *Acta Agrestia Sinica*, 2019, 27(3): 668-674.
- [17] 王天乐, 卫智军, 刘文昌, 白玉婷, 张爽, 丁莉君, 肖嘉圃, 吕世杰. 不同放牧强度下荒漠草原土壤养分和植被特征变化研究. *草地学报*, 2017, 25(4): 711-716.
- WANG T L, WEI Z J, LIU W T, BAI Y T, ZHANG S, DING L J, XIAO J P, LYU S J. Study on changes of soil nutrients and plant community of *Stipa breviflora* steppe under different grazing intensities. *Acta Agrestia Sinica*, 2017, 25(4): 711-716.
- [18] 王明君, 韩国栋, 崔国文, 赵萌莉. 放牧强度对草甸草原生产力和多样性的影响. *生态学杂志*, 2010, 29(5): 862-868.
- WANG M J, HAN G D, CUI G W, ZHAO M L. Effects of grazing intensity on the biodiversity and productivity of meadow steppe. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(5): 862-868.
- [19] 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. *Journal of Inner Mongolia Forestry Science and Technology*, 2016, 42(4): 15-20.
- [20] 吕朋, 左小安, 张婧, 周欣, 连杰, 刘良旭. 放牧强度对科尔沁沙地沙质草地植被的影响. *中国沙漠*, 2016, 36(1): 34-39.
- LYU P, ZUO X A, ZHANG J, ZHOU X, LIAN J, LIU L X. Effects of grazing intensity on vegetation in sandy grassland of Horqin, *Journal of Desert Research*, 2016, 36(1): 34-39.
- [21] 张瑜, 王普昶, 莫本田, 龙忠富, 罗天琼. 不同放牧强度下贵州喀斯特草地植被空间特征与生产力相关性分析. *草业与畜牧*, 2015(4): 31-36.
- ZHANG Y, WANG P C, MO B T, LONG Z F, LUO T Q. Interrelation between spatial variability of vegetation and grassland productivity under different intensity in Guizhou Karst grassland. *Prataculture and Animal Husbandry*, 2015(4): 31-36.
- [22] 李凤霞, 李晓东, 周秉荣, 祁栋林, 王力, 傅华. 放牧强度对三江源典型高寒草甸生物量和土壤理化特征的影响. *草业科学*, 2015, 32(1): 11-18.
- LI F X, LI X D, ZHOU B R, QI D L, WANG L, FU H. Effects of grazing intensity on biomass and soil physical and chemical characteristics in alpine meadow in the source of Three Rivers. *Pratacultural Science*, 2015, 32(1): 11-18.
- [23] 王宁. 草原怎样做到合理放牧: I 采食率、利用率和放牧强度. *宁夏农学院学报*, 1992(2): 87-88.
- WANG N. How to achieve rational grazing of grassland: I Feeding rate, utilization rate and grazing intensity. *Ningxia Agricultural College*, 1992(2): 87-88.
- [24] 王秀红, 郑度. 青藏高原高寒草甸资源的可持续利用. *资源科学*, 1999, 21(6): 38-42.
- WANG X H, ZHENG D. Sustainable use of alpine meadow grassland resources on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Resources Science*, 1999, 21(6): 38-42.

- [25] 周立, 王启基, 赵京, 赵新全, 周琪. 高寒草甸牧场最优放牧强度的研究 (I ~ III): 中国科学院海北高寒草甸生态系统定位研究站. 北京: 科学出版社, 1995(4): 383-436.
ZHOU L, WANG Q J, ZHAO J, ZHAO X Q, ZHOU Q. Study on the optimal grazing intensity of alpine meadow pasture (I ~ III): Haibei Alpine Meadow Ecosystem Research Station, Chinese Academy of Sciences. Beijing: Science Press, 1995(4): 383-436.
- [26] 王旭, 王德利, 刘颖, 巴雷, 孙伟, 张宝田. 羊草草地生长季放牧山羊采食量和食性选择. *生态学报*, 2002, 22(5): 661-667.
WANG X, WANG D L, LIU Y, BA L, SUN W, ZHANG B T. Intake mass and diet selection for grazing goats on *Leymus chinensis* grassland. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(5): 661-667.
- [27] 张艳芬, 杨晓霞, 董全民, 张春平, 俞旻, 杨增增, 冯斌, 褚晖, 魏琳娜, 张小芳. 牦牛和藏羊混合放牧对放牧家畜采食量和植物补偿性生长的影响. *草地学报*, 2019, 27(6): 1607-1614.
ZHANG Y F, YANG X X, DONG Q M, ZHANG C P, YU Y, YANG Z Z, FENG B, CHU H, WEI L N, ZHANG X F. Effects of mixed grazing of yak and Tibetan sheep on feed intake of grazing livestock and plant compensation growth. *Acta Agrestia Sinica*, 2019, 27(6): 1607-1614.
- [28] 徐田伟, 赵炯昌, 毛绍娟, 耿远月, 刘宏金, 赵新全, 徐世晓. 青海省海北地区高寒草甸群落特征和生物量对短期休牧的响应. *草业学报*, 2020, 29(4): 1-8.
XU T W, ZHAO J C, MAO S J, GENG Y Y, LIU H J, ZHAO X Q, XU S X. Response of plant community structure and biomass to short-term rest grazing in an alpine meadow in Haibei Autonomous Prefecture of Qinghai. *Acta Prataculturae Sinica*, 2020, 29(4): 1-8.
- [29] 吴海艳, 马玉寿, 孙小弟, 王彦龙, 杨时海. 大武滩藏嵩草沼泽化草甸群落结构及植物量调查研究. *青海畜牧兽医杂志*, 2007, 37(2): 20-22.
WU H Y, MA Y S, SUN X D, WANG Y L, YANG S H. Investigation on community structure and biomass of *Kobresia Tibetica* swamp meadow in Dawutan. *Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2007, 37(2): 20-22.
- [30] 周选博, 王晓丽, 马玉寿, 王彦龙, 罗少辉, 秦金萍, 谢乐乐. 返青期休牧初期对三江源区高寒草甸植被特征的影响. *青海大学学报*, 2020, 38(6): 1-8.
ZHOU X B, WANG X L, MA Y S, WANG Y L, LUO S H, QIN J P, XIE L L. Effects of early period of rest grazing on the vegetation characteristics of alpine meadow in the Sangjiangyuan area. *Journal of Qinghai University*, 2020, 38(6): 1-8.
- [31] 李林栖, 马玉寿, 李世雄, 王晓丽, 王彦龙, 景美玲, 李松阳, 年勇, 韩海龙. 返青期休牧对祁连山区中度退化草原化草甸草地的影响. *草业科学*, 2017, 34(10): 2016-2023.
LI L Q, MA Y S, LI S X, WANG X L, WANG Y L, JING M L, LI S Y, NIAN Y, HAN H L. Effects of rest-grazing in the regreen-up period on moderately degraded steppification meadow of Qilian Mountains. *Pratacultural Science*, 2017, 34(10): 2016-2023.
- [32] ZOU J R, LUO C Y, XU X L, ZHAO N, ZHAO L, ZHAO X Q. Relationship of plant diversity with litter and soil available nitrogen in an alpine meadow under a 9-year grazing exclusion. *Ecological Research*, 2016, 31(6): 841-851.
- [33] 杨利民, 韩梅, 李建东. 松嫩平原主要草地群落放牧退化演替阶段的划分. *草地学报*, 1996, 4(4): 281-287.
YANG L M, HAN M, LI J D. Division on degenerate successional stages of main grassland communities for grazing in the Songnen Plain of China. *Acta Agrestia Sinica*, 1996, 4(4): 281-287.
- [34] 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 different grazing intensities on vegetation characteristics of desert steppe. *Pratacultural Science*, 2013, 30(11): 1814-1818.
- [35] 牛钰杰, 杨思维, 花立民. 放牧强度与季节因子变化对高寒草甸植物群落组成的影响. *草原与草坪*, 2020, 40(6): 16-23.
NIU Y J, YANG S W, HUA L M. Effects of grazing intensity on plant community composition in alpine meadow with seasonal changes. *Grassland and Turf*, 2020, 40(6): 16-23.
- [36] 罗方林, 张法伟, 张光茹, 王春雨, 祝景彬, 杨永胜, 李英年. 放牧强度对高寒草甸群落特征及植被生存状态的影响. *草业科学*, 2021, 38(11): 2097-2105.
LUO F L, ZHANG F W, ZHANG G R, WANG C Y, ZHU J B, YANG Y S, LI Y N. Effects of grazing intensity on community characteristics and vegetation living states in alpine meadows. *Pratacultural Science*, 2021, 38(11): 2097-2105.

- [37] 牛钰杰, 杨思维, 王贵珍, 刘丽, 杜国祯, 花立民. 放牧强度对高寒草甸土壤理化性状和植物功能群的影响. *生态学报*, 2018, 38(14): 5006-5016.
- NIU Y J, YANG S W, WANG G Z, LIU L, DU G Z, HUA L M. Effects of grazing disturbance on soil properties and plant functional groups and their relationships in an alpine meadow on the Tibetan Plateau, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(14): 5006-5016.
- [38] 徐世晓, 赵新全, 孙平, 赵伟, 赵同标. 青藏高原不同海拔梯度 2 种莎草科牧草模拟体外消化率研究. *西北植物学报*, 2002, 22(5): 1191-1196.
- XU S X, ZHAO X Q, SUN P, ZHAO W, ZHAO T B. Study on simulated vitro digestibility of 2 species sedge family herbage grown at different altitudes in Tibetan Plateau. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2002, 22(5): 1191-1196.
- [39] 张宇, 侯路路, 闫瑞瑞, 辛晓平. 放牧强度对草甸草原植物群落特征及营养品质的影响. *中国农业科学*, 2020, 53(13): 2550-2561.
- ZHANG Y, HOU L L, YAN R R, XIN X P. Effects of grazing intensity on plant community characteristics and nutrient quality of herbage in a meadow steppe. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2550-2561.
- [40] 段敏杰, 高清竹, 万运帆, 李玉娥, 郭亚奇, 旦久罗布, 洛桑加措. 放牧对藏北紫花针茅高寒草原植物群落特征的影响. *生态学报*, 2010, 30(14): 3892-3900.
- DUAN M J, GAO Q Z, WAN Y F, LI Y E, GUO Y Q, Danjiuluobu, Luosangjiacuo. Effect of grazing on community characteristics and species diversity of *Stipa purpurea* alpine grassland in northern Tibet. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(14): 3892-3900.
- [41] 朱志红, 李希来, 孙海群, 裴海崑, 徐志伟, 王刚. 不同放牧强度对矮嵩草草甸群落返青的影响. *草业科学*, 2002, 19(8): 52-57.
- ZHU Z H, LI X L, SUN H Q, PEI H K, XU Z W, WANG G. Effects of different grazing intensity on green-up of *Kobresia humilis* meadow. *Pratacultural Science*, 2002, 19(8): 52-57.
- [42] 董全民, 赵新全, 马玉寿, 施建军, 王彦龙, 李世雄, 杨时海, 盛丽. 牦牛放牧强度对小嵩草草甸两季轮牧草场植物群落数量特征的影响. *生态学杂志*, 2011, 30(10): 2233-2239.
- DONG Q M, ZHAO X Q, MA Y S, SHI J J, WANG Y L, LI S X, YANG S H, SHENG L. Effects of yak grazing intensity on quantitative characteristics of plant community in a two-seasonal rotation pasture in *Kobresia parva* meadow. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(10): 2233-2239.
- [43] 董全民, 赵新全, 马玉寿, 施建军, 王彦龙. 放牧对高寒小嵩草草甸冷季草场主要植物种群生态位的影响. *中国草地学报*, 2006, 28(6): 10-17.
- DONG Q M, ZHAO X Q, MA Y S, SHI J J, WANG Y L. Effects of grazing on the major plant populations niche in alpine *Kobresia parva* meadow cold-seasonal pastureland. *Chinese Journal of Grassland*, 2006, 28(6): 10-17.
- [44] 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 form of grassland ecosystem and its transformation. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(8): 1259-1275.
- [45] 殷桂涛, 董婉珍. 不同放牧强度对草地植被群落特征的影响. *草食家畜*, 2016(1): 45-50.
- YIN G T, DONG W Z. Effect of different grazing intensity against the features of grassland vegetation community. *Grass-Feeding Livestock*, 2016(1): 45-50.
- [46] 闫瑞瑞, 辛晓平, 张保辉, 闫玉春, 杨桂霞. 肉牛放牧梯度对呼伦贝尔草甸草原植物群落特征的影响. *中国草地学报*, 2021, 32(3): 62-67.
- YAN R R, XIN X P, ZHANG B H, YAN Y C, YANG G X. Influence of cattle grazing gradient on plant community characteristics in Hulunber meadow steppe. *Chinese Journal of Grassland*, 2021, 32(3): 62-67.
- [47] 年勇, 马玉寿, 李世雄, 王彦龙, 王晓丽, 李林栖, 秦金萍, 周选博, 谢乐乐. 夏季放牧对大通河上游高寒沼泽草甸植被和土壤化学计量特征的影响. *青海畜牧兽医杂志*, 2019, 49(1): 14-18, 6.
- NIAN Y, MA Y S, LI S X, WANG Y L, WANG X L, LI L Q, QIN J P, ZHOU X B, XIE L L. Effects of summer grazing on vegetation and soil stoichiometric characteristics of alpine marsh meadow in the upper reaches of Datong River. *Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2019, 49(1): 14-18, 6.

- [48] 张娜. 不同放牧强度对典型草原植被群落特征及土壤理化性状的影响. 北京: 中国农业科学院硕士学位论文, 2020.
ZHANG N. Effects of grazing intensity on vegetation community characteristics and soil physical and chemical properties of typical steppe. Master Thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2020.
- [49] WU J P, GONG X Y, YAO X X, CASPER D P. Plant communities responding to grazing pressure by sheep in an Alpine meadow. *Translational Animal Science*, 2020, 4(2): 1174-1181.
- [50] 杨思维. 高寒草甸植物群落与土壤对短期放牧的响应研究. 兰州: 甘肃农业大学博士学位论文, 2017.
YANG S W. Studies on the effects of short-term grazing on plant community and soil of alpine meadow. PhD Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2017.
- [51] 陈浩. 放牧对青藏高原草地植被群落特征及土壤理化特性的影响. 杨凌: 西北农林科技大学硕士学位论文, 2012.
CHEN H. Response of vegetation community characteristic and soil physico-chemical properties grazing intensity on *Kobresia pygmaea* meadow of Qinghai-Tibet Plateau. Master Thesis. Yangling: Northwest University of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2012.
- [52] 高成芬, 张德罡, 王国栋. 不同强度短期放牧对高寒草甸植被特征的影响. *草原与草坪*, 2021, 41(5): 9-15.
GAO C F, ZHANG D G, WANG G D. Effects of different intensity of short-term grazing on vegetation characteristics of alpine meadow. *Grassland and Turf*, 2021, 41(5): 9-15.
- [53] 任强, 艾鹭, 胡健, 田黎明, 陈仕勇, 泽让东科. 不同强度牦牛放牧对青藏高原高寒草地土壤和植物生物量的影响. *生态学报*, 2021, 41(17): 6862-6870.
REN Q, AI Y, HU J, TIAN L M, CHEN S Y, TSERANG D M. Effects of different yak grazing intensities on soil and plant biomass in alpine meadow on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(17): 6862-6870.
- [54] 刘丝雨, 李晓兵, 李梦圆, 李响, 吕鑫, 党东良, 窦华顺. 内蒙古典型草原植被和土壤特性对放牧强度的响应. *中国草地学报*, 2021, 43(9): 23-31.
LIU S Y, LI X B, LI M Y, LI X, LYU X, DANG D L, DOU H S. The response of vegetation and soil properties to grazing intensity in typical steppe of Inner Mongolia. *Chinese Journal of Grassland*, 2021, 43(9): 23-31.
- [55] 宋晓辉, 王悦骅, 王占文, 闫宝龙, 韩国栋, 王忠武. 不同放牧强度对短花针茅荒漠草原地上生物量和枯落物量的影响. *草原与草业*, 2019, 31(2): 52-58.
SONG X H, WANG Y H, WANG Z W, YAN B L, HAN G D, WANG Z W. Effects of different grazing intensity on aboveground biomass and litterfall amount in Inner Mongolia *stipa breviflora* desert steppe. *Grassland and Prataculture*, 2019, 31(2): 52-58.
- [56] 刘颖, 王德利, 王旭, 巴雷, 孙伟. 放牧强度对羊草草地植被特征的影响. *草业学报*, 2002, 11(2): 22-28.
LIU Y, WANG D L, WANG X, BA L, SUN W. The effect of grazing intensity on vegetation characteristics in *Leymus chinensis* grassland. *Acta Prataculturae Sinica*, 2002, 11(2): 22-28.
- [57] 许宏斌, 辛晓平, 宝音陶格涛, 闫瑞瑞, 王旭, 陈宝瑞, 金东艳, 姚静, 刘志英. 放牧对呼伦贝尔羊草草甸草原生物量分布的影响. *草地学报*, 2020, 28(3): 768-774.
XU H B, XIN X P, Baoyintaogetao, YAN R R, WANG X, CHEN B R, JIN D Y, YAO J, LIU Z Y. Effects of grazing on biomass distribution on the *Leymus chinensis* meadow steppe of Hulunbeier. *Acta Agrestia Sinica*, 2020, 28(3): 768-774.
- [58] 靳茗茗, 徐增让, 成升魁. 藏北高寒草地植被和土壤对不同放牧强度的响应. *生态学报*, 2020, 40(23): 8753-8762.
JIN M M, XU Z R, CHENG S K. Response of vegetation and soil to different grazing intensities of alpine grassland in northern Tibet. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(23): 8753-8762.
- [59] 张荣华, 安沙舟, 杨海宽, 李海, 李军保. 不同放牧强度对针茅草地春季群落的影响. *新疆农业科学*, 2008, 45(3): 570-574.
ZHANG R H, AN S Z, YANG H K, LI H, LI J B. Effect of different grazing intensities on spring community of *Stipa capillata* grassland in Xinjiang. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2008, 45(3): 570-574.
- [60] 林丽, 张德罡, 曹广民, 欧阳经政, 刘淑丽, 张法伟, 李以康, 郭小伟. 高寒嵩草草甸植物群落数量特征对不同利用强度的短期响应. *生态学报*, 2016, 36(24): 8034-8043.
LIN L, ZHANG D G, CAO G M, OUYANG J Z, LIU S L, ZHANG F W, LI Y K, GUO X W. Plant functional groups numerical characteristics responses to different grazing intensities under different community succession stages of Alpine *Kobresia* meadow in

- spring. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(24): 8034-8043.
- [61] 林丽, 曹广民, 李以康, 张法伟, 郭小伟, 韩道瑞. 人类活动对青藏高原高寒矮嵩草草甸碳过程的影响. *生态学报*, 2010, 30(15): 4012-4018.
- LIN L, CAO G M, LI Y K, ZHANG F W, GUO X W, HAN D R. Effects of human activities on organic carbon storage in the *Kobresia humilis* meadow ecosystem on the Tibetan Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(15): 4012-4018.
- [62] 李以康, 林丽, 张法伟, 梁东营, 王溪, 曹广民. 嵩草草甸退化和恢复过程中主要牧草演替和地表特征变化. *草业学报*, 2010, 19(5): 179-185.
- LI Y K, LIN L, ZHANG F W, LIANG D Y, WANG X, CAO G M. The main forage succession and ground surface characteristic changes during degradation and restoration of alpine *Kobresia* meadow. *Acta Prataculturae Sinica*, 2010, 19(5): 179-185.
- [63] 董全民, 李青云, 马玉寿, 李发吉, 李有福. 放牧强度对夏季高寒草甸生物量和植被结构的影响. *青海草业*, 2002, 11(2): 8-10, 49.
- DONG Q M, LI Q Y, MA Y S, LI F J, LI Y F. Effect of grazing intensity on biomass above ground and vegetation structure in summer alpine meadow. *Qinghai Prataculture*, 2002, 11(2): 8-10, 49.
- [64] 谢乐乐, 王晓丽, 马玉寿, 王彦龙, 罗少辉, 秦金萍, 周选博. 春季休牧对三江源区藏嵩草草甸植被群落特征与物种多样性的影响. *青海畜牧兽医杂志*, 2021, 5(1): 11-16, 22.
- XIE L L, WANG X L, MA Y S, WANG Y L, LUO S H, QIN J P, ZHOU X B. Effects of non-spring grazing on vegetation characteristics and species diversity of *Kobresia pygmaea* meadow in source region of Three Rivers. *Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2021, 5(1): 11-16, 22.
- [65] BOUCHARD V, TESSIER M, DIGAIRE F, VIVIER J P, VALERY L, GLOAGUEN J C, LEFEUVRE J C. Sheep grazing as management tool in western European saltmarshes. *Comptes rendus-Biologies*, 2003, 326(8): 148-157.
- [66] 董全民, 马玉寿, 李青云, 施建军. 牦牛采食率对小嵩草高寒草甸植物群落的影响. *中国草地*, 2004, 26(3): 24-32.
- DONG Q M, MA Y S, LI Q Y, SHI J J. Effects of stocking rates on plant community diversity, aboveground present biomass and its composition in *Kobresia parva* alpine meadow. *Grassland of China*, 2004, 26(3): 24-32.
- [67] 丁莉君. 放牧强度对荒漠草原群落特征及土壤化学计量学特征的影响. 呼和浩特: 内蒙古农业大学硕士学位论文, 2019.
- DING L J. Effects of grazing intensity on community characteristics and soil chemometrics in desert steppe. Master Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2019.
- [68] 蒯晓妍, 邢鹏飞, 张晓琳, 梁艳, 王常慧, 董宽虎. 短期放牧强度对半干旱草地植物群落多样性和生产力的影响. *草地学报*, 2018, 26(6): 1283-1289.
- KUAI X Y, XING P F, ZHANG X L, LIANG Y, WANG C H, DONG K H. Effects of short-term grazing intensity on plant community diversity and productivity in semi-arid grassland. *Acta Agrestia Sinica*, 2018, 26(6): 1283-1289.
- [69] 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 Environmental Sciences*, 2017, 26(12): 2016-2023.
- [70] 杨晶晶, 吐尔逊娜依·热依木, 张青青, 阿马努拉·依明尼亚孜, 雪热提江·麦提努日. 放牧强度对天山北坡中段山地草甸植被群落特征的影响. *草业科学*, 2019, 36(8): 1953-1961.
- YANG J J, Tuerxunnayi·Reyimu, ZHANG Q Q, Amanula·Yimingniyazi, Xueretjiang·Maitinuri. Effects of grazing intensity on plant community characteristics in mountain meadows in the middle section of the northern slope of the Tianshan Mountains. *Pratacultural Science*, 2019, 36(8): 1953-1961.
- [71] 宋磊, 董全民, 李世雄, 王彦龙, 郑伟, 侯宪宽. 放牧对青海湖北岸高寒草原植物群落特征的影响. *草业科学*, 2016, 33(8): 1625-1632.
- SONG L, DONG Q M, LI S X, WANG Y L, ZHENG W, HOU X K. Effects of grazing on community characteristics of alpine meadow on the northern shore of Qinghai Lake, China. *Pratacultural Science*, 2016, 33(8): 1625-1632.

(责任编辑 魏晓燕)