

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2026.03.002

引用格式:董颖, 张晓嘉, 韩国栋. 放牧强度对荒漠草原植物群落组成及物种生态位的影响[J]. 草地学报, 2026, 34(3):761—769

DONG Hao, ZHANG Xiao-jia, HAN Guo-dong. Effects of different grazing intensities on plant community composition and species ecological niches in Desert Steppe[J]. Acta Agrestia Sinica, 2026, 34(3):761—769

放牧强度对荒漠草原植物群落组成及物种生态位的影响

董颖, 张晓嘉, 韩国栋*

(内蒙古农业大学草业学院, 草地资源教育部重点实验室, 内蒙古呼和浩特 010011)

摘要:为明确不同放牧强度对荒漠草原植物群落结构、物种多样性及种群生态位特征的调控效应,揭示群落物种替代规律与优势种生态位响应机制,提供科学放牧管理理论依据,本研究设置4个不同的放牧处理,分析群落物种组成、多样性、生态位特征的变化。结果显示,随放牧强度的增加,群落物种由多年生杂类草、灌木/半灌木向多年生禾草转变;放牧显著降低群落总地上生物量及各类功能群生物量,同时显著降低 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数及物种丰富度指数;短花针茅(*Stipa breviflora*)、无芒隐子草(*Cleistogenes songorica*)、银灰旋花(*Convolvulus ammannii*)在各放牧处理下均保持较大生态位宽度,且生态位宽度较高的物种间重叠度普遍较高,其中短花针茅与无芒隐子草的生态位重叠度在 HG 下达到最高。放牧通过改变物种间资源竞争关系,显著影响荒漠草原群落结构,因此在荒漠草原管理中应控制放牧强度,以维持生态系统稳定。

关键词:荒漠草原;重要值;功能群;生态位宽度;生态位重叠

中图分类号:S812.3

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2026)03-0761-09

Effects of Different Grazing Intensities on Plant Community Composition and Species Ecological Niches in Desert Steppe

DONG Hao, ZHANG Xiao-jia, HAN Guo-dong*

(College of Grassland Science, Inner Mongolia Agricultural University, Key Laboratory of Grassland Resources, Ministry of Education, Hohhot, Inner Mongolia 010011, China)

Abstract: To clarify the effects of different grazing intensities on the plant community structure, species diversity, and population niche characteristics in desert steppe, reveal the laws of community species replacement and the niche response mechanisms of dominant species, and provide a theoretical basis for scientific grazing management, this study set up four different grazing treatments to analyze changes in community species composition, diversity, and niche characteristics. The results showed that with the increase of grazing intensity, the community species shifted from perennial forbs and shrubs/subshrubs to perennial grasses; grazing significantly reduced the total aboveground biomass of the community and the biomass of various functional groups, and the Shannon-Wiener index, Simpson index, and species richness index. *Stipa breviflora*, *Cleistogenes songorica*, and *Convolvulus ammannii* maintained a wide niche breadth under all grazing treatments, and the niche overlap among species with high niche breadth was generally high, with the niche overlap between *Stipa breviflora* and *Cleistogenes songorica* reaching the highest under the heavy grazing treatment. The study indicated that grazing significantly affected the structure of desert steppe communities by altering the resource competition relationships among species. Therefore, grazing intensity should be controlled in desert steppe management to maintain ecosystem stability.

收稿日期:2025-04-17;修回日期:2025-09-16

基金项目:国家自然科学基金项目(32192463);内蒙古科技厅(2022PT0003)和草学学科(YLXKZX-NND-001)资助

作者简介:董颖(2000-),男,汉族,内蒙古赤峰人,硕士研究生,主要从事草地生态与管理研究, E-mail: 470370653@qq.com; *通信作者
Author for correspondence, E-mail: hanguodong@imau.edu.cn

Key words: Desert grassland; Important value; Functional groups; Niche width; Niche overlap

草原是地球上分布最广的陆地生态系统之一,约占全球陆地面积的40%,在维持生物多样性和提供生态系统服务方面发挥着不可替代的作用^[1]。家畜放牧作为全球最主要的土地利用方式之一,已成为影响生物多样性和生态系统功能的关键驱动因素^[2],其通过家畜的选择性采食、践踏等导致草原群落物种组成、土壤特征、多样性等发生改变^[3-4]。荒漠草原地处典型草原向荒漠过渡带,是最早生的草原类型,其独特的植被组成和生态功能对放牧等干扰表现出高度敏感性^[5]。因此,深入研究放牧活动对荒漠草原植物群落特征的影响,对于制定科学的草原管理策略和维护生态系统可持续发展具有重要的理论和实践意义。

基于此,生态位理论成为解析放牧干扰下物种共存与群落动态的核心工具。“生态位”最早由Grinnell提出,将其定义为物种在群落中所占据的资源空间^[6],反映了生物种群在群落中的资源利用方式和功能定位,即其占据的生存空间、利用的资源及其与其他物种的互作关系(竞争、共生等)^[7]。生态位宽度和生态位重叠值通过衡量物种对资源的利用性、所在群落的稳定性及植物对环境的适应性等^[8],成为量化生态位的重要指标。现有研究已揭示不同干扰下植物生态位的响应差异,有研究表明,围栏封育增加了群落植物种整体生态位重叠值和植物种间竞争^[9-10]。一项温性草原的禁牧试验同样表明植物群落内种间竞争加强,种间关系变紧密^[11],但不同草地类型对围栏封育的响应不同^[12],因此单一的禁牧管理可能难以适用所有生态系统。放牧作为关键调控因子,其梯度变化对植物生态位分化和种间关系的影响可能更为复杂。王琪等^[13]研究表明,轻度放牧增加了荒漠草原优势种植物的生态位宽度,降低群落中物种生态位重叠平均值,中度和重度放牧则相反。也有研究表明物种生态位重叠值随着放牧强度的增加而增加^[14]。王梓晗等^[15]的研究表明重度放牧会使得优势种的种间关系由竞争关系转变为亲和关系。放牧强度的梯度变化对植物生态位分化及种间关系的影响并无统一规律,其结果可能因研究区域的气候条件、土壤特性及优势物种组成等因素存在显著差异,亟需结合具体生境开展更系统的研究。

近年来,针对放牧对内蒙古荒漠草原的研究多集中在物种多样性、生物量与功能群特征、土壤养

分^[16-18]等,对长期放牧下植物群落构成和种群生态位的研究相对较少。因此,为进一步探究不同放牧强度对草地群落结构的影响,本研究以内蒙古四子王旗短花针茅荒漠草原为特定研究对象,设置4个放牧处理,通过野外群落调查与室内分析,重点探究不同放牧强度对群落物种组成、功能群重要值及地上生物量的影响规律,以及阐明短花针茅、无芒隐子草等优势种的生态位宽度及种间重叠度对放牧强度的响应变化,为短花针茅荒漠草原的适应性放牧管理及生态系统的稳定提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本试验区位于内蒙古自治区四子王旗境内内蒙古农牧业科学院试验基地(41°47′17″N, 111°53′46″E,海拔1456 m)。该区地处中温带大陆性季风气候区,春季干燥而多风,夏季炎热,雨水较集中,冬季干冷,降水较少。2004—2022年平均年降雨量为220 mm,主要集中在5—8月,年均气温3.8℃,无霜期90~120 d。年蒸发量2300 mm,年均风速4~5 m·s⁻¹,年日照时数3117.7 h,土壤类型多为淡栗钙土。

1.2 野外样地设置和植物群落调查

放牧试验平台建立于2004年,试验采用完全随机区组设计,设置4个放牧水平,分别为对照(Control, CK):0羊单位·hm⁻²·a⁻¹,轻度放牧(Light grazing, LG):1.82羊单位·hm⁻²·a⁻¹,中度放牧(Moderate grazing, MG):3.64羊单位·hm⁻²·a⁻¹,重度放牧(Heavy grazing, HG):5.42羊单位·hm⁻²·a⁻¹。每个处理3次重复,共12个试验小区,每个放牧小区面积4.4 hm²。实验采用连续放牧模式,放牧期为每年6月初至11月底,共持续6个月。放牧绵羊为2岁成年蒙古羯羊。

试验于2023年8月中旬进行取样,在每个小区内随机设置10个1 m×1 m样方,共120个样方,结合群落调查方法,记录每个样方内的植物物种、密度、高度及盖度等数据,然后按照每种物种单独齐地面刈割的方式收集植物样品,带回实验室后于65℃烘干至恒重后称重。

1.3 植物功能群划分

根据白永飞等^[19]对植物生活型的功能群划分,将植物划分为多年生禾草(Perennial grasses, PG),多年生杂类草(Perennial forbs, PF),灌木/半灌木(Shrubs/semi-shrubs, SS)及一/二年生植物(Annual/biennial plants, AB)。

1.4 物种重要值计算

重要值(Important value, IV)=(相对盖度+相对密度+相对高度+相对地上生物量)/4

功能群重要值=Σ(该功能群内所有物种重要值)

相对密度=(某一植物密度/所有植物密度之和)×100%

相对盖度=(某一植物盖度/所有植物盖度之和)×100%

相对高度=(某一植物高度/所有植物的高度之和)×100%

相对地上部分生物量=(某一植株地上部分生物量/全部植株地上部分生物量)×100%

1.5 物种多样性计算

物种多样性采用物种丰富度指数(Species richness index, R)、Simpson 指数(Simpson index, D)、Shannon-Wiener 指数(Shannon-Wiener index, H)和 Pielou 指数(Pielou index, J)进行评价,计算公式如下^[20]:

物种丰富度指数:

$$R = S \quad (1)$$

Shannon-Wiener 指数:

$$H = -\sum p_i - \ln p_i \quad (2)$$

Simpson 指数:

$$D = 1 - \sum p_i^2 \quad (3)$$

Pielou 指数:

$$J = \frac{H}{\ln S} \quad (4)$$

1.6 生态位宽度与生态位重叠计算

生态位宽度:

$$B_s = -\sum_{j=1}^r p_{ij} \ln p_{ij} \quad (5)$$

B_s 为生态位宽度, p_{ij} 为物种 i 在资源 j 上的重要值占该物种在所有资源上的重要值的比例, r 为资源生态位的总数。

生态位重叠度:

$$Q_{ik} = \sum_{j=1}^r p_{ij} p_{kj} \sqrt{\sum_{j=1}^r p_{ij}^2 \sum_{j=1}^r p_{kj}^2} \quad (6)$$

O_{ik} 为生态位重叠值; p_{ij} 和 p_{kj} 分别为物种 i 与物种 k 在资源位 j 中的重要值占该物种在整个资源中总重要值的比例; r 为资源等级数。

1.7 数据处理与分析

利用 Excel 2019 对数据进行整理,利用 SPSS (IBM SPSS Statistics 26)统计软件分析草地植被的盖度、密度、高度、地上生物量和生物多样性随放牧梯度的变化。采用 Duncan 多重比较分析不同放牧强度间的差异。使用 R 语言的“spaa”包进行生态位宽度与生态位重叠度的计算。使用 Origin (Origin-Lab 2021)作图。

2 结果与分析

2.1 放牧对植物群落物种及功能群重要值的影响

随着放牧强度的增加,群落物种的数量和重要值发生显著变化(表1)。试验区区内共出现 26 种植物,隶属于 14 个科 20 个属。在对照(CK)处理区,一共有 26 种植物,在轻度放牧(LG)下共出现 16 种植物,中度放牧(MG)下出现 13 种植物,重度放牧(HG)下仅出现 8 种植物。与不放牧处理相比,短花针茅(*Stipa breviflora*)在各放牧处理下的重要值均显著高于对照($P < 0.05$),而优势种冷蒿(*Artemisia frigida*)、银灰旋花(*Convolvulus ammannii*)的重要值则随着放牧强度的增加而显著降低($P < 0.05$)。无芒隐子草的重要值在各放牧处理下均没有发生显著变化。

对不同放牧强度下功能群的分析显示(图1),在 CK 条件下,多年生杂类草(PF)的重要值占比最高,达到 42%,表明其在不放牧情况下的优势地位。相比之下,多年生禾草(PG)的重要值占比相对较低,为 28%。灌木和半灌木(SS)的重要值为 18%,而一、二年生草本(AB)在 CK 条件下占 13%。随着放牧强度的增加,PF 的重要值占比下降,而 PG 的重要值占比逐渐增加,表明 PF 优势地位因放牧压力而减弱,PG 则占据优势。SS 的重要值占比随着放牧强度的增加而降低,HG 处理下其重要值为 0%。总体而言,SS 对放牧压力最为敏感,PG 表现出较强的耐受性。

表 1 不同放牧强度下群落物种组成及重要值

Table 1 Community species composition and important value under different grazing intensity

物种 Species	处理 Treatment			
	Control	Light grazing	Moderate grazing	Heavy grazing
短花针茅(<i>Stipa breviflora</i>)	0.189±0.048 ^b	0.503±0.039 ^a	0.548±0.037 ^a	0.454±0.077 ^a
无芒隐子草(<i>Cleistogenes songorica</i>)	0.125±0.033 ^a	0.171±0.014 ^a	0.095±0.024 ^a	0.137±0.015 ^a
银灰旋花(<i>Convolvulus ammannii</i>)	0.078±0.022 ^a	0.029±0.012 ^b	0.018±0.002 ^b	0.013±0.004 ^b
刺藜(<i>Chenopodium aristatum</i>)	0.070±0.009 ^c	0.144±0.021 ^{bc}	0.256±0.039 ^{ab}	0.349±0.082 ^a
冷蒿(<i>Artemisia frigida</i>)	0.064±0.009 ^a	0.013±0.010 ^b	0.004±0.003 ^b	0.000±0.000 ^b
狭叶锦鸡儿(<i>Caragana stenophylla</i>)	0.045±0.008 ^a	0.026±0.010 ^{ab}	0.006±0.006 ^{bc}	0.000±0.000 ^c
野韭(<i>Allium ramosum</i>)	0.039±0.029 ^a	0.000±0.000 ^a	0.000±0.000 ^a	0.000±0.000 ^a
细叶葱(<i>Allium tenuissimum</i>)	0.033±0.009 ^a	0.006±0.006 ^b	0.009±0.005 ^b	0.004±0.004 ^b
栉叶蒿(<i>Neopallasia pectinata</i>)	0.031±0.015 ^a	0.000±0.000 ^b	0.001±0.001 ^b	0.000±0.000 ^b
驼绒藜(<i>Ceratoides latens</i>)	0.030±0.009 ^a	0.003±0.003 ^b	0.001±0.001 ^b	0.000±0.000 ^b
木地肤(<i>Kochia prostrata</i>)	0.030±0.006 ^a	0.004±0.004 ^b	0.000±0.000 ^b	0.000±0.000 ^b
猪毛菜(<i>Salsola collina</i>)	0.030±0.003 ^a	0.017±0.001 ^b	0.002±0.002 ^c	0.000±0.000 ^c
羊草(<i>Leymus chinensis</i>)	0.028±0.014 ^a	0.023±0.018 ^a	0.000±0.000 ^a	0.000±0.000 ^a
糙隐子草(<i>Cleistogenes squarrosa</i>)	0.026±0.004 ^a	0.000±0.000 ^b	0.000±0.000 ^b	0.000±0.000 ^b
小叶锦鸡儿(<i>Caragana microphylla</i>)	0.024±0.016 ^a	0.000±0.000 ^a	0.005±0.005 ^a	0.000±0.000 ^a
寸草苔(<i>Cyperaceae</i>)	0.023±0.010 ^a	0.019±0.013 ^a	0.025±0.015 ^a	0.000±0.000 ^a
克什针茅(<i>Stipa krylovii</i>)	0.022±0.011 ^a	0.008±0.006 ^a	0.011±0.010 ^a	0.000±0.000 ^a
冰草(<i>Agropyron cristatum</i>)	0.021±0.002 ^a	0.008±0.006 ^b	0.004±0.002 ^b	0.009±0.004 ^{ab}
草芸香(<i>Haplophyllum dauricum</i>)	0.020±0.011 ^a	0.000±0.000 ^b	0.000±0.000 ^b	0.000±0.000 ^b
蒙古葱(<i>Allium mongolicum</i>)	0.019±0.017 ^a	0.002±0.001 ^a	0.000±0.000 ^a	0.000±0.000 ^a
达乌里苣荬(<i>Cymbaria dahurica</i>)	0.016±0.006 ^a	0.000±0.000 ^b	0.000±0.000 ^b	0.000±0.000 ^b
冬青叶兔唇花(<i>Lagochilus ilicifolius</i>)	0.014±0.007 ^a	0.000±0.000 ^b	0.005±0.003 ^{ab}	0.000±0.000 ^b
二裂委陵菜(<i>Potentilla bifurca</i>)	0.012±0.004 ^a	0.018±0.009 ^a	0.006±0.004 ^a	0.002±0.002 ^a
地锦(<i>Euphorbia humifusa</i>)	0.006±0.003 ^a	0.005±0.003 ^a	0.005±0.004 ^a	0.027±0.015 ^a
灰绿藜(<i>Chenopodium glaucum</i>)	0.003±0.003 ^a	0.000±0.000 ^a	0.000±0.000 ^a	0.000±0.000 ^a
细叶鸢尾(<i>Iris tenuifolia</i>)	0.000±0.000 ^a	0.002±0.001 ^a	0.000±0.000 ^a	0.006±0.006 ^a

注:不同小写字母表示不同放牧强度间差异显著,显著性水平 $P<0.05$ 。下同

Note: Different lowercase letters indicate significant difference between different grazing intensity, the significance level $P<0.05$. The same as below

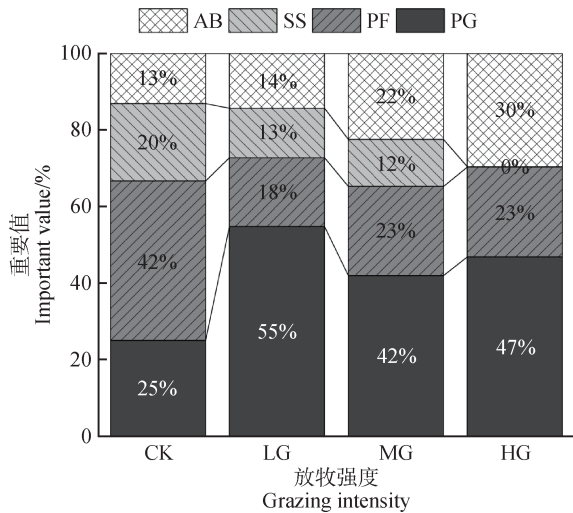


图 1 不同放牧强度下各植物功能群重要值变化分析

Fig. 1 Analysis of the changes in the important values of each plant functional group under different grazing intensities

注:AB、SS、PF、PG 分别表示一/二年生植物、灌木/半灌木、多年生杂类草、多年生禾草。下同

Note: AB, SS, PF and PG respectively represent annual/biennial plants, shrubs/semi-shrubs, perennial forbs and perennial grasses, The same as below

2.2 放牧对植物群落多样性的影响

不同放牧强度下群落的物种多样性指数呈现出差异性变化(图 2)。在 LG、MG 和 HG 处理下, Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数及物种丰富度指数均显著低于 CK 处理 ($P<0.05$), Shannon-Wiener 指数、物种丰富度指数在 LG、MG、HG 之间无显著差异, Simpson 指数在 MG、HG 处理下显著低于 LG 处理 ($P<0.05$)。而 Pielou 指数在各放牧处理之间均无显著差异。

2.3 放牧对荒漠草原不同功能群生物量的影响

不同载畜率对荒漠草原不同功能群的地上生物量产生显著影响 ($P<0.05$) (图 3)。地上总生物量在 LG、MG、HG 分别为 73.372、47.309 和 36.969 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, 相对于对照分别降低 57.15%、72.37% 和 78.41%。PG、PF 及 SS 的地上生物量相对于 CK 处理显著降低 ($P<0.05$), PF 和 SS 的生物量在各放牧处理之间则没有显著差异。AB 的地上生物量随着放牧强度的增加无显著性变化。

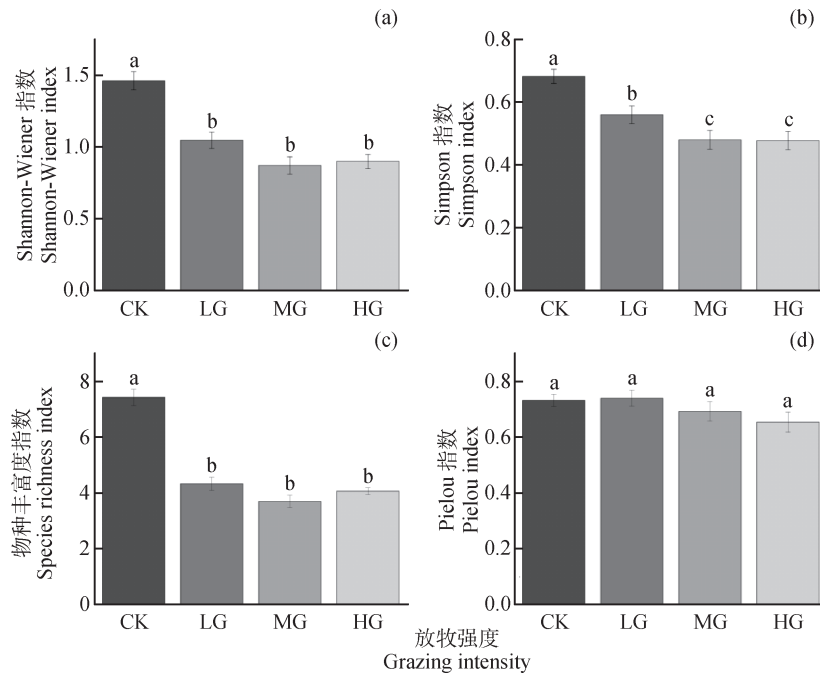


图2 不同放牧强度下植物物种多样性变化

Fig. 2 Changes of plant species diversity under different grazing intensities

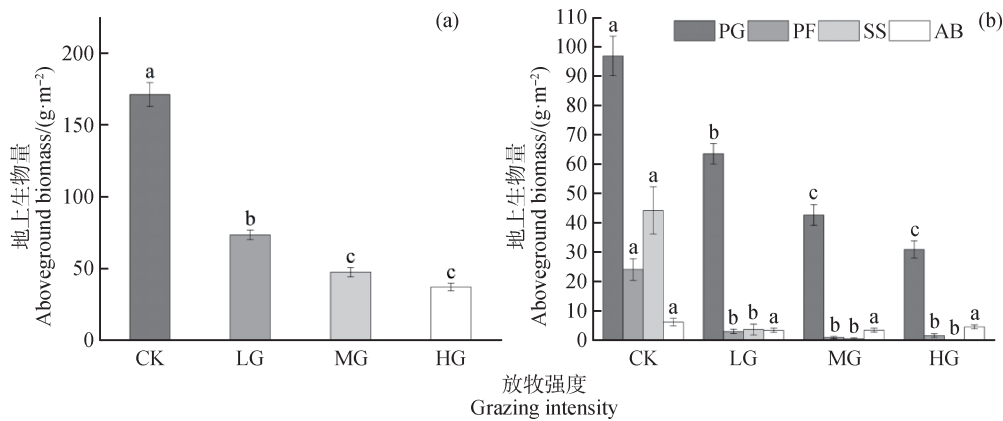


图3 不同放牧强度下不同功能群地上生物量变化

Fig. 3 Changes in aboveground biomass of different functional groups under different grazing intensities

注:(a)表示群落地上总生物量,(b)表示各功能群地上生物量

Note: (a) indicates total aboveground biomass of the community, (b) indicates aboveground biomass of each functional group

2.4 放牧对植物物种生态位宽度和生态位重叠度的影响

由图4可知,不同放牧处理下的主要物种生态位宽度具有一定差异。CK处理以短花针茅(25.111)和无芒隐子草(19.941)占据生态位宽度前两位,冷蒿(11.327)、细叶葱(9.783)与刺藜(9.702)分列其后。LG条件下,短花针茅(27.592)仍保持最大生态位宽度,其后依次为无芒隐子草(18.992)、刺藜(10.672)、银灰旋花(6.936)及狭叶锦鸡儿(5.444)。MG处理中,短花针茅(27.692)维持显著优势,刺藜(14.196)与无芒隐子草(13.411)

紧随其后,银灰旋花(4.836)和地锦(4.100)的生态位宽度相对较低。而HG处理下,无芒隐子草(21.864)与刺藜(17.134)的生态位宽度最大,地锦(12.245)、短花针茅(6.315)及银灰旋花(6.084)的生态位宽度呈梯度降低。

在对各个放牧处理中生态位宽度较大的4种植物进行物种间生态位重叠度分析(表2),结果显示,生态位宽度高的物种之间生态位重叠度普遍较高。短花针茅与银灰旋花的生态位重叠度随着载畜率的增加呈现出先增加后降低的趋势,与刺藜的生态位重叠度则随着放牧处理的增加而降低。无芒隐子草

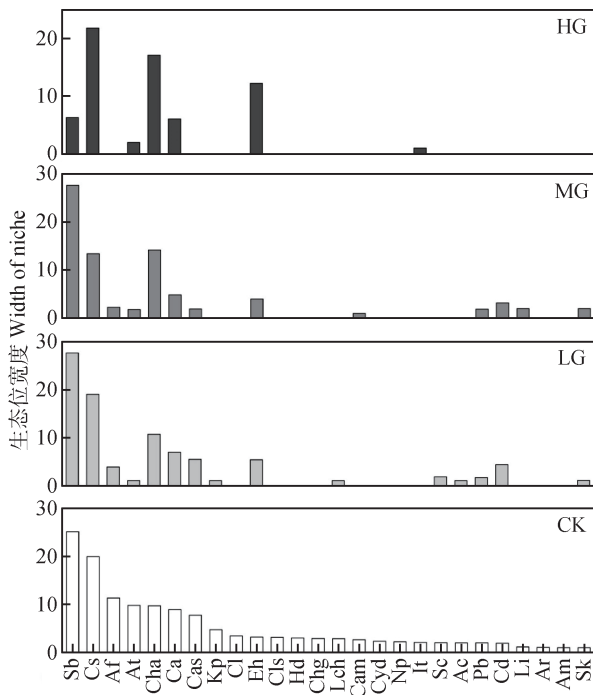


图 4 放牧对物种生态位宽度的影响

Fig. 4 Effects of grazing on niche width of species

注: Sb, 短花针茅; Cs, 无芒隐子草; Af, 冷蒿; At, 细叶葱; Cha, 刺藜; Ca, 银灰旋花; Cas, 狭叶锦鸡儿; Kp, 木地肤; Cl, 驼绒藜; Eh, 地锦; Cls, 糙隐子草; Hd, 草芸香; Chg, 灰绿藜; Lch, 羊草; Cam, 小叶锦鸡儿; Cyd, 达乌里苾苳; Np, 栉叶蒿; It, 细叶鸢尾; Sc, 猪毛菜; Ac, 冰草; Pb, 二裂委陵菜; Cd, 寸草苔; Li, 冬青叶兔唇花; Ar, 野韭; Am, 蒙古葱; Sk, 克氏针茅
Note: Sb: *Stipa breviflora*, Cs: *Cleistogenes songorica*, Af: *Artemisia frigida*, At: *Allium tenuissimum*, Cha: *Chenopodium aristatum*, Ca: *Convolvulus ammannii*, Cas: *Caragana stenophylla*, Kp: *Kochia prostrata*, Cl: *Ceratoides latens*, Eh: *Euphorbia humifusa*, Cls: *Cleistogenes squarrosa*, Hd: *Haplophyllum dauricum*, Chg: *Chenopodium glaucum*, Lch: *Leymus chinensis*, Cam: *Caragana microphylla*, Cyd: *Cymbaria dahurica*, Np: *Neopallasia pectinata*, It: *Iris tenuifolia*, Sc: *Salsola collina*, Ac: *Agropyron cristatum*, Pb: *Potentilla bifurca*, Cd: *Carex duriuscula*, Li: *Lagochilus ilicifolius*, Ar: *Allium ramosum*, Am: *Allium mongolicum*, Sk: *Stipa krylovii*

与短花针茅的生态位重叠度在 HG 处理下最高, 在 LG 处理下最低, 与刺藜间的生态位重叠度的变化趋势一致。无芒隐子草与银灰旋花在放牧处理间的生态位重叠度表现为 $MG > LG > HG > CK$, 而银灰旋

花与刺藜间的生态位重叠度总体均不是很高。

3 讨论

3.1 放牧对荒漠草原物种及功能群的影响

作为地球陆地生态系统的核心组成部分, 草原不仅维系着生物多样性的稳定存在, 同时也支撑着游牧民族的传统生存模式^[21]。相关研究表明, 草地群落结构特征与物种组成既受到年降水波动的显著调控, 受到放牧活动的双重因子影响^[22]。有研究认为, 持续性的过牧行为将引发生态系统逆向演替, 具体表现为优势物种的区域性灭绝、优质饲草资源的锐减, 以及土壤养分的持续流失^[23-24], 这种生态退化过程最终导致草地生产力下降。本研究表明, 与对照相比, 各放牧处理下短花针茅与无芒隐子草的重要值均较高, 显示出较强的耐牧性。而冷蒿、木地肤、狭叶锦鸡儿植物的重要值随放牧强度增大而呈现出逐渐降低的趋势; 相反, 刺穗藜等随着放牧强度的增大而呈现出逐渐增加的趋势。这与之前的较多研究结果一致^[25-26], 这主要是由于在放牧压力作用下, 由牲畜选择性采食偏好和践踏活动引发的植物群落演变, 表现为优势物种从高适口性种群向低适口性种群的物种替代^[27]。有研究表明, 多年生杂类草一般具有较高的适口性, 随着载畜率的增大, 其功能群或物种的丰富度、出现频率、生物量均有可能降低^[28]。本研究结果表明, 随着放牧强度的升高, 适口性优良的灌木、半灌木及多年生杂类草的重要值呈现显著下降趋势。相比之下, 适口性较差的多年生禾草则表现相反, 其重要值随放牧强度的增大而增加。这与张峰^[29]在内蒙古草原的研究结果一致。这一现象可能与家畜优先采食适口性好的牧草有关, 从而使得适口性较差的牧草在群落中的竞争能力得到提升。

有研究表明放牧会降低群落物种多样性指数^[30], 这与本研究结果一致。这可能基于以下两种原因, 首先, 家畜对植物地上部分的大量采食, 特别

表 2 不同放牧强度下主要植物种群的生态位重叠指数

Table 2 Niche overlap index of major plant populations under different grazing intensities

	对照 Control			轻度放牧 Light grazing			中度放牧 Moderate grazing			重度放牧 Heavy grazing		
	Cs	Sb	Ca	Cs	Sb	Ca	Cs	Sb	Ca	Cs	Sb	Ca
Sb	0.716			0.591			0.646			0.780		
Ca	0.578	0.938		0.786	0.999		0.875	0.846		0.703	0.122	
Cha	0.805	1.034	0.110	0.536	0.939	0.222	0.827	0.698	0.028	0.839	0.246	0.142

注: 表中 Sb, Cs, Ca 和 Cha 分别代表短花针茅、无芒隐子草、银灰旋花和刺藜

Note: Sb, Cs, Ca and Cha in the table represent *Stipa breviflora*, *Cleistogenes songorica*, *Convolvulus ammannii*, *Chenopodium aristatum*

是适口性较好的优势物种被选择性采食,直接导致植被覆盖度的减少,同时竞争力较弱的物种逐渐消失,植物群落结构发生改变^[31]。其次,牲畜的践踏会导致植被破碎化,并通过破坏土壤结构加剧土壤侵蚀^[32],渗透性降低,削弱微生物活动,从而影响植物的生长发育^[33],进一步削弱植物群落的恢复能力。

3.2 放牧对不同功能群地上生物量的影响

生物量是草地生产力的评价指标之一,在植物受到放牧干扰时会明显降低草地的生产力^[9]。在面对环境波动或外界干扰时,植物功能群往往会以相对统一的整体形式做出响应。本研究结果显示,不同放牧处理显著影响荒漠草原植物地上生物量,总生物量随放牧强度的增加而降低,这与之前较多研究结果一致^[34-35]。这可能是家畜的采食作用导致植物组织大量损失^[36],进而降低植物生产力。但也有研究指出,在一些特定情况下,放牧可能会使植物生产力提高或对生产力无显著影响^[37]。本研究结果与相关研究存在差异的原因可能源于草地类型、干旱程度以及放牧利用方式等方面的不同^[38]。此外,本研究中PG、PF及SS的地上生物量在放牧处理下均显著低于对照。短花针茅荒漠草原生态系统以短花针茅(*Stipa breviflora*)和无芒隐子草(*Cleistogenes songorica*)等多年生禾草为建群种与优势种,具有显著的耐牧特性。随载畜率的增加,家畜践踏与采食行为导致多年生禾草株丛破碎化加剧,冠幅缩减,使得植物地上生物量显著下降^[39]。在干旱的荒漠草原地区,随着载畜率不断增大,放牧活动对灌木、半灌木和一、二年生草本的生长产生了不利影响。放牧强度的增大使得它们的生物量逐渐减少,在群落中的作用也随之减弱,进而导致群落的组成、结构和功能朝着简单化的方向发展。

3.3 不同载畜率对物种生态位宽度和生态位重叠度的影响

生态位宽度可用于衡量物种对环境资源的利用状况,它体现了种群适应环境以及利用环境资源的能力^[40]。一般而言,生态位宽度越大,意味着物种利用资源的能力越强。物种在资源利用上存在的差异推动了物种间的生态位分化,为物种共存创造了有利条件。当生态位相似的物种对同一资源的利用程度加深,彼此间的竞争关系愈发激烈时,物种间的生态位便会重叠^[41]。而放牧活动会对物

种间的生态位造成干扰,进一步加剧种间竞争。在这种情况下,部分物种数量会逐渐减少,甚至在局部区域走向灭绝,最终对生态系统的稳定性产生不良影响。有研究指出,物种的生态位宽度与其对环境的适应能力紧密相关,通常生态位宽度越大,物种对环境的适应能力就越强,并且这种情况下往往会出现较高度度的生态位重叠。相反,那些生态位宽度较小的物种,由于它们对资源的利用能力相对薄弱,在空间上的分布范围较为狭窄,所以与其他物种之间的生态位重叠程度也较低^[42]。本研究结果显示,无芒隐子草、短花针茅、银灰旋花、刺藜是各放牧强度下生态位宽度最高的物种;选取以上4种植物进行生态位重叠度分析发现,无芒隐子草与短花针茅的生态位重叠度随着放牧强度的增加呈现先降低后升高的趋势,与刺藜的生态位重叠度则随着放牧强度的增加而降低。这与熊梅等^[43]关于荒漠草原植物生态位对放牧响应的研究相互印证。两个物种生态位重叠越高,彼此间竞争就越激烈^[44]。短花针茅和无芒隐子草生活型相同,二者之间的生态位重叠度随放牧强度的增加而增加,即二者对资源的竞争作用随放牧活动的加强而逐渐增加。短花针茅与银灰旋花、刺藜的生态位重叠度均在重度放牧下最低。说明在重度放牧下,二者之间的竞争作用降低,为了巩固自己的地位从而加强了种内竞争。

4 结论

本研究分析了不同放牧强度对内蒙古短花针茅荒漠草原植物群落组成、功能群动态及物种生态位特征的影响。结果显示,放牧显著降低群落地上生物量、物种多样性,以及多年生禾草、杂类草和灌木/半灌木的生物量。随着放牧强度增加,群落物种数减少,重要值占比从多年生杂类草、灌木/半灌木向多年生禾草转变。短花针茅、无芒隐子草等优势物种在各放牧处理中均保持较大生态位宽度,且生态位宽度较高的物种间重叠值较高,其中短花针茅与无芒隐子草在重度放牧下重叠度最高。研究表明,放牧强度通过改变物种资源利用能力与种间关系,驱动草原群落结构与生态位特征呈显著梯度变化,为该区域草原适应性管理提供了理论依据。未来需进一步整合土壤-植物互作及长期干扰影响,完善退化草原恢复的生态模型。

参考文献

- [1] WHITE R P, MURRAY S, ROHWEDER M. Pilot analysis of global ecosystems: grassland ecosystems[J]. World Resources Institute, 2000, 4(6): 275
- [2] 刘玉祯, 赵新全, 董全民, 等. 放牧对草地生态系统结构与功能影响的研究进展[J]. 草地学报, 2023, 31(8): 2253-2262
LIU Y Z, ZHAO X Q, DONG Q M, et al. Research progress on the influence of grazing on the structure and function of grassland ecosystem[J]. Acta Agrestia Sinica, 2023, 31(8): 2253-2262
- [3] REN H Y, XIE J Y, KE Y G, et al. Moderate grazing weakens legacy effects of grazing history on primary productivity and biodiversity in a meadow grassland[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2024, 362: 108825
- [4] 赵力兴, 徐兴健, 其格其, 等. 大兴安岭南段不同退化程度草甸草原植物群落结构与物种多样性[J]. 草原与草坪, 2024, 44(5): 106-114
ZHAO L X, XU X J, QI G Q, et al. Plant community structure and species diversity in degraded meadow steppes at the southern foot of the Greater Xing'an Mountains[J]. Grassland and Turf, 2024, 44(5): 106-114
- [5] 陈林, 曹萌豪, 宋乃平, 等. 中国荒漠草原的研究态势与热点分析——基于文献计量研究[J]. 生态学报, 2021, 41(24): 9990-10000
CHEN L, CAO M H, SONG N P, et al. Research situation and hot spot analysis of desert grassland in China—based on bibliometric research[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(24): 9990-10000
- [6] GRINNELL J. The niche-relationships of the California thrasher[J]. The Auk, 1917, 34(4): 427-433
- [7] 杜忠毓, 邢文黎, 薛亮, 等. 喀斯特石漠化梯矿区植物群落主要物种生态位特征及其种间联结[J]. 生态学报, 2023, 43(7): 2865-2880
DU Z Y, XING W L, XUE L, et al. Niche characteristics and interspecific association of main plant species in antimony mining sites of karst rocky desertification area, Guizhou, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(7): 2865-2880
- [8] 井光花, 程积民, 苏纪帅, 等. 黄土区长期封育草地优势物种生态位宽度与生态位重叠对不同干扰的响应特征[J]. 草业学报, 2015, 24(9): 43-52
JING G H, CHENG J M, SU J S, et al. Response of dominant population niche breadths and niche overlaps to various disturbance factors in typical steppe fenced grassland of China's Loess Plateau region[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2015, 24(9): 43-52
- [9] 魏斌, 陆妮, 李佳琪, 等. 封育对高寒草甸植物群落构成及生态位特征的影响[J]. 西北植物学报, 2017, 37(5): 983-991
WEI B, LU N, LI J Q, et al. Effects of enclosure on plant community composition and niche characteristics in alpine meadow[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2017, 37(5): 983-991
- [10] 聂莹莹, 徐丽君, 辛晓平, 等. 围栏封育对温性草甸草原植物群落构成及生态位特征的影响[J]. 草业学报, 2020, 29(11): 11-22
NIE Y Y, XU L J, XIN X P, et al. Effects of fence enclosure on the plant community composition and niche characteristics in a temperate meadow steppe[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2020, 29(11): 11-22
- [11] 杨金涛, 张晓晗, 尹正辉, 等. 禁牧对西藏贡祖山温性草原主要植物生态位及种间联结的影响[J]. 西北植物学报, 2024, 44(2): 330-337
YANG J T, ZHANG X H, YIN Z H, et al. The influence of enclosure on the ecological niche and interspecific associations of dominant plant species in temperate grasslands of the Kuizu Mountains in Tibet[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2024, 44(2): 330-337
- [12] 阿斯太肯·居力海提, 董乙强, 周时杰, 等. 封育对不同草地类型植物群落多样性及生态位特征的影响——以新疆不同类型草地为例[J]. 草业科学, 2023, 40(5): 1168-1185
Asitaiken J, DONG Y Q, ZHOU S J, et al. Effects of enclosure on vegetation diversity and niche characteristics of different grassland types in Xinjiang[J]. Pratacultural Science, 2023, 40(5): 1168-1185
- [13] 王琪, 郑佳华, 张峰, 等. 放牧强度对短花针茅荒漠草原植物种群生态位的影响[J]. 中国草地学报, 2022, 44(10): 1-9
WANG Q, ZHENG J H, ZHANG F, et al. Effect of grazing intensity on niche of plant population in *Stipa breviflora* desert grassland[J]. Chinese Journal of Grassland, 2022, 44(10): 1-9
- [14] 赵利萌, 张卫青, 徐新影, 等. 克氏针茅草原植物群落特征与物种生态位对放牧强度的响应[J]. 中国草地学报, 2023, 45(4): 11-21
ZHAO L M, ZHANG W Q, XU X Y, et al. Responses of plant community characteristics and population niche to grazing intensity in *Stipa krylovii* grassland[J]. Chinese Journal of Grassland, 2023, 45(4): 11-21
- [15] 王梓哈, 吕世杰, 刘红梅, 等. 重度放牧导致荒漠草原丛生禾草优势种群种间竞争强度下降[J]. 草地学报, 2024, 32(9): 2824-2832
WANG Z H, LYU S J, LIU H M, et al. Heavy grazing led to the decrease of competitive intensity relationships among dominant populations of clustered grasses in desert steppe[J]. Acta Agrestia Sinica, 2024, 32(9): 2824-2832
- [16] 赵敏, 赵坤, 王赞博, 等. 长期放牧干扰降低了短花针茅荒漠草原植物多样性[J]. 草业学报, 2023, 32(9): 39-49
ZHAO M, ZHAO K, WANG Y B, et al. Long-term grazing disturbance reduced plant diversity in *Stipa breviflora* desert steppe[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2023, 32(9): 39-49
- [17] 高成芬, 张德望, 王国栋. 不同强度短期放牧对高寒草甸植被特征的影响[J]. 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[J]. Grassland and Turf, 2021, 41(5): 9-15
- [18] 郭振宁, 谭建国, 孙世贤, 等. 不同放牧强度荒漠草原土壤粒径分形维数和养分特征研究[J]. 草地学报, 2024, 32(12): 3698-3705
GUO Z N, TAN J G, SUN S X, et al. Study on fractal dimension and nutrient characteristics in different grazing intensity[J]. Acta Agrestia Sinica, 2024, 32(12): 3698-3705
- [19] 白永飞, 李凌浩, 王其兵, 等. 锡林河流域草原群落植物多样性和初级生产力沿水热梯度变化的样带研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(6): 667-673
BAI Y F, LI L H, WANG Q B, et al. Changes in plant species diversity and productivity along gradients of precipitation and elevation in the Xilin river basin, Inner Mongolia[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2000, 24(6): 667-673
- [20] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性, 1994(4): 231-239
MA K P, LIU Y M. Methods for measuring biodiversity of biological communities I. Methods for measuring α -diversity (II)[J]. Biodiversity Science, 1994, 2(4): 231-239
- [21] HE M, PAN Y, ZHOU G, et al. Grazing and global change factors differentially affect biodiversity-ecosystem functioning relationships in grassland ecosystems[J]. Global Change Biology, 2022, 28(18): 5492-5504
- [22] 张睿洋. 放牧对短花针茅荒漠草原生物多样性和生态系统功

- 能的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2018:34-35
ZHANG R Y. Effects of grazing on biodiversity and ecosystem function of *Stipa breviflora* desert grassland[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2018:34-35
- [23] MCSHERRY M E, RITCHIE M E. Effects of grazing on grassland soil carbon: a global review[J]. *Global Change Biology*, 2013, 19(5):1347-1357
- [24] SCHÖNBACH P, WAN H W, GIERUS M, et al. Grassland responses to grazing: effects of grazing intensity and management system in an Inner Mongolian steppe ecosystem[J]. *Plant and Soil*, 2011, 340(1):103-115
- [25] 雷蕾, 张峰, 郑佳华, 等. 放牧强度对短花针茅荒漠草原生态系统多功能性的影响[J]. *草地学报*, 2024, 32(1):275-283
LEI L, ZHANG F, ZHENG J H, et al. Effects of grazing intensities on ecosystem multifunctionality in a *Stipa breviflora* desert steppe[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2024, 32(1):275-283
- [26] 张宇, 侯路路, 闫瑞瑞, 等. 放牧强度对草甸草原植物群落特征及营养品质的影响[J]. *中国农业科学*, 2020, 53(13):2550-2561
ZHANG Y, HOU L L, YAN R R, et al. Effects of grazing intensity on plant community characteristics and nutrient quality of herbage in a meadow steppe[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13):2550-2561
- [27] 张晓嘉, 朱毅, 武倩, 等. 载畜率对荒漠草原植物群落系统发育多样性的影响[J]. *草地学报*, 2024, 32(10):3289-3296
ZHANG X J, ZHU Y, WU Q, et al. Effects of stocking rates on phylogenetic diversity of plant communities in desert steppe[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2024, 32(10):3289-3296
- [28] 梁茂伟. 放牧对草原群落构建和生态系统功能影响的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古大学, 2019:53-54
LIANG M W. Effects of grazing on plant community assembly and ecosystem functions in grasslands[D]. Hohhot: Inner Mongolia University, 2019:53-54
- [29] 张峰. 不同放牧强度下短花针茅荒漠草原植物群落构建及生产力形成机制[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2023:89-91
ZHANG F. Mechanisms of plant community assembly and productivity formation under different grazing intensities in the *Stipa breviflora* desert steppe[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2023:89-91
- [30] ZHANG F, BENNETT J A, ZHANG B, et al. Cessation of grazing stabilizes productivity through effects on species asynchrony and stability of shrub/semi-shrub plants in arid grasslands[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2023, 348:108411
- [31] 任强, 艾鹭, 胡健, 等. 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[J]. *生态学报*, 2021, 41(17):6862-6870
REN Q, AI Y, HU J, et al. Effects of different yak grazing intensities on soil and plant biomass in an alpine meadow on the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(17):6862-6870
- [32] 李岚. 滩羊放牧对典型草原生态化学计量特征和多功能性的影响[D]. 兰州:兰州大学, 2021:47-49
LI L. Effects of Tan-sheep grazing on C:N:P stoichiometry and multifunctionality of typical steppe[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2021:47-49
- [33] JIA B R, ZHOU G S, WANG F Y, et al. Effects of grazing on soil respiration of *Leymus Chinensis* steppe[J]. *Climatic Change*, 2007, 82(1):211-223
- [34] 谢乐乐, 王晓丽, 马玉寿, 等. 返青期休牧初期对三江源区藏嵩草草甸植被特征的影响[J]. *青海大学学报*, 2021(1):1-7
XIE L L, WANG X L, MA Y S, et al. Effects of early rest grazing on the vegetation characteristics of *Kobresia tibetana* meadow in the Sangjiangyuan area[J]. *Journal of Qinghai University*, 2021(1):1-7
- [35] 古琛, 杜宇凡, 乌力吉, 等. 载畜率对荒漠草原群落及植物功能群生物量的影响[J]. *生态环境学报*, 2015, 24(12):1962-1968
GU C, DU Y F, WU L J, et al. Effects of stocking rates on the biomass of desert steppe community and plant functional group[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2015, 24(12):1962-1968
- [36] 吕世杰. 不同载畜率对短花针茅荒漠草原植物群落稳定性的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2020:68-70
LÜ S J. The influence of different stocking rates on plant community stability of *Stipa breviflora* desert steppe[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2020:68-70
- [37] LERICHE H, LE ROUX X, DESNOYERS F, et al. Grass response to clipping in an African savanna: testing the grazing optimization hypothesis[J]. *Ecological Applications*, 2003, 13(5):1346-1354
- [38] CHARLES G K, PORENSKY L M, RIGINOS C, et al. Herbivore effects on productivity vary by guild: cattle increase mean productivity while wildlife reduce variability[J]. *Ecological Applications*, 2017, 27(1):143-155
- [39] GAO J J, CARMEL Y. Can the intermediate disturbance hypothesis explain grazing-diversity relations at a global scale? [J]. *Oikos*, 2020, 129(4):493-502
- [40] 陈文业, 戚登臣, 李广宇, 等. 甘南高寒退化草地生态位特征及生产力研究[J]. *自然资源学报*, 2010, 25(1):80-90
CHEN W Y, QI D C, LI G Y, et al. Study on degraded grassland niche characteristics and productivity of alpine meadow at Maqu in south of Gansu Province [J]. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(1):80-90
- [41] 宋红艳, 孙彩丽, 柴宗政. 黔西北铅锌矿废渣场优势草本植物种群生态位及种间关系[J]. *草地学报*, 2022, 30(10):2764-2771
SONG H Y, SUN C L, CHAI Z Z. Niche and interspecific relationships of dominant herbaceous plant populations in the waste slag field of a lead-zinc mine in northwestern Guizhou[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2022, 30(10):2764-2771
- [42] 张伟, 何俊皓, 郝文芳. 黄土丘陵区不同管理方式下草地优势种群的生态位[J]. *草业科学*, 2016, 33(7):1391-1402
ZHANG W, HE J H, HAO W F. Niche characteristics of dominant plant populations in grassland of Loess Hilly Region of China with different management styles[J]. *Pratacultural Science*, 2016, 33(7):1391-1402
- [43] 熊梅, 安海波, 赵萌莉, 等. 放牧对荒漠草原主要植物种群空间格局与生态位的影响[J]. *草地学报*, 2024, 32(4):1177-1183
XIONG M, AN H B, ZHAO M L, et al. Effect of grazing on spatial pattern and niche characteristics of main species in desert steppe[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2024, 32(4):1177-1183
- [44] 李雪梅, 程小琴. 生态位理论的发展及其在生态学各领域中的应用[J]. *北京林业大学学报*, 2007, 29(S2):294-298
LI X M, CHENG X Q. Development of niche theory and its application in each fields of ecology[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2007, 29(S2):294-298

(责任编辑 彭露茜)