

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2026.07.034

引用格式:陈艺豪,郭娜,郝丽芬,等.狼毒扩张对内蒙古典型草原植被群落特征的影响[J].草地学报,2026,34(7):2730—2740

CHEN Yi-hao, GUO Na, HAO Li-fen, et al. The Impact of *Stellera chamaejasme* Expansion on Plant Community of Typical Steppe in Inner Mongolia[J]. Acta Agrestia Sinica, 2026, 34(7):2730—2740

狼毒扩张对内蒙古典型草原植被群落特征的影响

陈艺豪^{1#}, 郭娜^{2#}, 郝丽芬¹, 李宇宇¹, 娜木日嘎³, 郭丽珠^{1*}, 林克剑^{1*}

(1. 农业农村部人工草地生物灾害监测与绿色防控重点实验室/内蒙古自治区草原保护生态学重点实验室/中国农业科学院草原研究所, 内蒙古呼和浩特 010010; 2. 福建生物工程职业技术学院, 福建福州 351000; 3. 锡林郭勒盟草原工作站, 内蒙古锡林浩特 026000)

摘要:狼毒(*Stellera chamaejasme*)扩张是草原退化的重要标志,显著改变草原群落结构与功能。本研究以锡林郭勒盟西乌珠穆沁旗天然典型草原为对象,对比狼毒型退化草原(SS)、非狼毒型退化草原(NS)与未退化草原(CK)的群落特征差异。结果显示:(1)草原退化降低群落高度和盖度,但SS群落高度高于NS,同时SS地上生物量显著高于CK和NS;(2)NS物种数量及多样性指数低于SS,且形成以糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)为优势种的群落;(3)两种退化草原优势科与功能群累积优势度无显著差异,但在功能群组成百分比中NS以多年生禾草(Pg)为主,SS中多年生杂类草(Pf)占比最高。综上,狼毒扩张虽然导致了群落组成发生变化和物种减少,却维持了群落多样性与较高地上生物量,其群落可能处于“替代稳态”。因此,狼毒型退化草原的恢复策略需区别于其他退化类型草原。

关键词:狼毒;草原退化;群落结构;多样性指数;植物功能群

中图分类号:S812.6

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2026)07-2730-11

The Impact of *Stellera chamaejasme* Expansion on Plant Community of Typical Steppe in Inner Mongolia

CHEN Yi-hao^{1#}, GUO Na^{2#}, HAO Li-fen¹, LI Yu-yu¹, NAMU Ri-ga³, GUO Li-zhu^{1*}, LIN Ke-jian^{1*}

(1. Key Laboratory of Biohazard Monitoring, Green Prevention and Control for Artificial Grassland, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P. R. China/Inner Mongolia Key Laboratory of Grassland Protection Ecology/ Grassland Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Science, Hohhot, Inner Mongolia 010010, China; 2. Fujian Provincial Higher Education Engineering Research Center for Biomedicine and Health, Fuzhou, Fujian Province 351000, China; 3. Xilingol League Grassland Workstation, Xilinhot, Inner Mongolia 026000, China)

Abstract: The expansion of *Stellera chamaejasme* is an important indicator of steppe degradation, which markedly alters the structure and function of steppe community. In this study, the natural typical steppe in West Ujimqin Banner, Xilingol League was selected as the research object, and the differences in community characteristics among *S. chamaejasme*-dominated degraded steppe (SS), non-*S. chamaejasme*-dominated degraded steppe (NS) and undegraded steppe (CK) were compared. The results showed that: (1) Steppe degradation reduced community height and coverage, while the community height of SS was higher than that of NS, and the aboveground biomass of SS was significantly higher than that of CK and NS. (2) The species richness and diversity indices of NS were lower than those of SS, and a community dominated by *Cleistogenes squarrosa* was formed in NS. (3) There were no significant differences in the cumulative dominance of dominant families and functional groups between the two types of degraded grasslands. However, in terms of the percentage composition of functional groups, perennial graminoids (Pg) dominated in NS, while perennial forbs (Pf) accounted for

收稿日期:2025-09-28;修回日期:2025-11-21

基金项目:国家自然科学基金(32401495);国家重点研发计划项目(2023YFD1400505)资助

作者简介:陈艺豪(2000-),男,汉族,内蒙古通辽人,硕士研究生,主要从事草地生态研究,E-mail:1763418421@qq.com;郭娜(1986-),女,汉族,福建龙岩人,硕士研究生,主要从事中药资源开发与利用研究,E-mail:gn19860908@163.com;*通信作者 Author for correspondence, E-mail: ellenguo@sina.cn; linkejian@caas.cn

the highest proportion in SS. In summary, the expansion of *Stellera chamaejasme* induced changes in community composition and species reduction, but it maintained community diversity and a relatively high level of aboveground biomass, indicating that the corresponding communities might be in an “alternative steady state”. Therefore, the restoration strategies for *Stellera chamaejasme*-dominated degraded grasslands should be distinguished from other types of degraded grasslands.

Key words: *Stellera chamaejasme*; Grassland degradation; Community structure; Diversity index; Plant functional groups

草原生态系统作为陆地生态系统的重要组成部分,在维系生态平衡、支持畜牧业发展及提供生态服务等方面发挥着不可替代的作用^[1]。然而,在全球气候变化和人为干扰加剧的背景下,草原退化问题日益严重,导致生物多样性丧失、生产力下降及生态功能衰退^[2]。过度放牧是草原退化的主要因素之一,其通过改变植物群落结构,导致优质牧草减少,而有毒、有害植物逐步占据优势地位,形成“退化-毒害植物扩张”的恶性循环^[3-4]。这种植被演替不仅制约草地的畜牧承载力,更深刻影响着生态系统的稳定性与恢复力。

狼毒(*Stellera chamaejasme*),隶属于瑞香科(Thymelaeaceae)狼毒属,作为一种多年生有毒草本植物,其扩张已成为草原退化的显著标志^[5],狼毒根系发达,具有较强的资源竞争能力和化感作用,能抑制周边植物生长^[6]。狼毒扩张不仅导致草原生产力降低、草群质量变差,还可能造成家畜误食中毒^[7],进而影响草原的生态安全和畜牧业的可持续发展^[8],狼毒在退化草原的持续扩张改变了当地植被的群落结构与功能。研究发现,狼毒可通过“中度干扰效应”提升局部多样性,如崔雪等^[9]在海拉尔羊草(*Leymus chinensis*)草原的研究发现,高密度狼毒在小尺度范围内改变了群落物种组成、提高了Shannon指数和Patrick指数,认为狼毒抑制优势禾草后为杂类草提供了生态位。然而,更多研究揭示了狼毒的负面效应。朱文琰等^[10]发现,狼毒能显著降低微尺度草地的群落盖度、群落加权平均高度、植物密度和地上生物量等指标,且影响程度随着狼毒龄级的增加而增大,当狼毒龄级达到V龄时,草地物种多样性逐渐降低。王福山等^[11]研究发现,当狼毒在草甸群落中的分布增加时,优势种地上生物量和重要值会逐渐降低。赵成章等^[12]研究结果表明狼毒可以在小尺度范围内改变草地群落结构,显著降低草地群落生产指标,形成以狼毒为主的斑块状群落。此外,狼毒分泌的化感物质也有可能造成植物群落结构改变^[13],狼毒不同器官、年龄分泌的化感物质对种子的萌发与幼苗生长均产生了不同

程度的抑制作用^[14-16],阻碍群落自然更新^[15]。因此,狼毒在退化草原扩张引起天然草原植被改变与狼毒植株密度、草原类型、草原退化程度等诸多因素息息相关。

截至2022年,我国狼毒累计危害面积达269.22万hm²,约占毒害草危害总面积的54.77%(国家林业和草原局生物灾害防控中心数据)。当前,狼毒在我国退化天然草原扩张的趋势越发严峻,在一些严重退化的草原上形成了一种以狼毒为主的单优群落景观(又称狼毒型退化草原)。狼毒在内蒙古全区草原均有分布,其中典型草原所面临的狼毒重度扩张问题尤为突出。由于狼毒不被家畜采食,狼毒型退化草原的植被群落特征与其他退化草原存在明显差异,然而相关研究甚少。基于此,本研究提出以下核心科学问题:狼毒型退化草原与非狼毒型退化草原(没有狼毒扩张)在植被群落特征上是否存在系统性差异?如果存在,这些差异如何指导差异化的生态恢复策略?据此,我们提出两项研究假设:(1)狼毒型退化草原群落特征优于非狼毒型退化草原;(2)狼毒型退化草原与非狼毒型退化草原的群落演替轨迹不同,狼毒的建群改变了传统的退化进程。综上,本研究聚焦锡林郭勒盟西乌珠穆沁旗天然典型草原的退化问题,通过系统对比不同植被退化类型草原在植被群落数量特征、物种和功能群组成及物种多样性等方面的差异,探究狼毒扩张对植被群落特征的影响。本研究旨在明确狼毒型退化草原的植被群落特异性,以为该退化类型草原的差异化治理与生态恢复提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

本研究在内蒙古锡林郭勒盟西乌珠穆沁旗浩勒图高勒苏木天然草原(117°66′02.42″E, 44°47′66.73″N)进行(图1)。西乌旗位于锡林郭勒盟东部,东邻霍林郭勒市,南连赤峰市,西邻锡林浩特市,北接东乌珠穆沁旗,地势由东南向西北倾斜,

海拔在835~1957 m,地理位置116°21'E~119°23'E, 43°52'N~45°23'N。温带干旱、半干旱大陆性气候,夏季温热,冬季寒冷且漫长。全旗年均温度在0~1℃,日照时长2893.9 h,年均降水为345 mm。土壤类型主要是栗钙土、黑钙土、草甸土、灰化森林土、沼泽土、风沙土和盐土等。草地类型有温性草甸草原、温性荒漠草原和温性典型草原等,主要优势种有羊草(*Leymus chinensis*)、西北针茅(*Stipa sareptana* var. *krylovii*)、短花针茅(*Stipa breviflora*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*),并伴有冰草(*Agropyron cristatum*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)、银灰旋花(*Convulvulus ammannii*)、苔草(*Carex* spp.)等^[17]。

1.2 试验方法

在保证地势相对平坦、植被类型基本一致、人为干扰较少的前提下,在西乌珠穆沁旗天然草原选择3块不同植被退化类型草原样地(图1),分别是狼毒型退化草原(图1a,狼毒扩张状况较为严重,狼毒种群盖度占群落盖度的45%以上且形成单优群落的退化草原样地,SS)、非狼毒型退化草原(图1b,狼毒未扩张但草原发生明显退化的退化草原样地,NS)和未退化草原(图1c,健康草原样地,本研究选取了当地的打草场、每年在9月初打草一次其余时间进行围封,CK)。每个样地面积为3.33 hm²,每个样地内随机设置5个1 m×1 m样方,各样方之间相距50 m左右,共15个样方。在样方内进行群落调查、数据采集及采样。

依据狼毒的物候期特征,于2024年6月2—5日在狼毒盛花期进行群落调查、取样和数据采集,调查并记录样方内所有物种的种类及各物种数量、群落高度(使用卷尺垂直测量从地面到植物群落自然冠层顶端的垂直距离)、群落盖度(采用目测法)、密度(采用直接计数法,在样方内,逐一计数每个物种的个体数)和地上生物量(将样方内所有植物的地上部分齐地面全部刈割,按物种分装于密封袋中,并立即进行鲜重称量,烘干后称其干重)。物种重要值(Important value, IV)是用于衡量不同物种在群落中占优势地位的指标,也是确定群落中优势种的重要依据。因此,分别计算每种物种的相对密度、相对盖度、相对频度,得到该物种的重要值。

$$\text{相对盖度} = \frac{\text{样方内某种植物的盖度}}{\text{所有物种的盖度之和}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{相对频度} = \frac{\text{某物种出现在小区的样方数}}{\text{小区所有的样方数}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{相对密度} = \frac{\text{某个物种的个体数}}{\text{所有物种的个体数}} \times 100\% \quad (3)$$

$$IV = \frac{\text{相对盖度} + \text{相对密度} + \text{相对频度}}{3} \quad (4)$$

1.3 群落物种多样性指数及优势度计算

1.3.1 多样性分析 选取群落 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Simpson 多样性指数(D)、Pielou 均匀度指数(E)和 Margalef 丰富度指数(F)分析植物群落内物种多样性,计算公式如下:

Shannon-Wiener 多样性指数(H'):

$$H' = -\sum P_i \ln P_i \quad (5)$$

Simpson 多样性指数(D):

$$D = 1 - \sum P_i^2 \quad (6)$$

Pielou 均匀度指数(E):

$$E = H/\ln S \quad (7)$$

Margalef 丰富度指数(F):

$$F = \frac{(S-1)}{\ln N} \quad (8)$$

式中: S 为样方内所有物种种类的数量, P_i 为样区内第*i*类群体的个体数与群落总个体数的比值, n_i 表示样方内物种*i*的株数, N 表示样方内所有物种的株数。

1.3.2 优势度分析 采用累积优势度(Sum of dominance ratio, SDR₄)计算样方中各种物种的优势度:

$$SDR_4 = \frac{(F' + C' + H' + D')}{4} \quad (9)$$

式中: F' , C' , H' , D' 分别为相对频度、相对盖度、相对高度和相对密度, i 物种在整个样地内的平均优势度为*i*物种在该样地所有样方内的优势度之算术平均值。

1.4 数据分析

使用 Excel 2016 计算相对密度、相对盖度、相对频度、相对高度、重要值及累积优势度,并计算每个样地的物种多样性指数,应用 SPSS 19.0 软件对同样地的群落高度、密度和盖度以及地上生物量等指标进行单因素方差分析,基于 LSD(最小显著差数法)分析方法检验不同植被退化类型对群落数量特征的影响,显著性水平设置为 $P < 0.05$ 。使用 GraphPad Prism 10.1.2 软件作图。

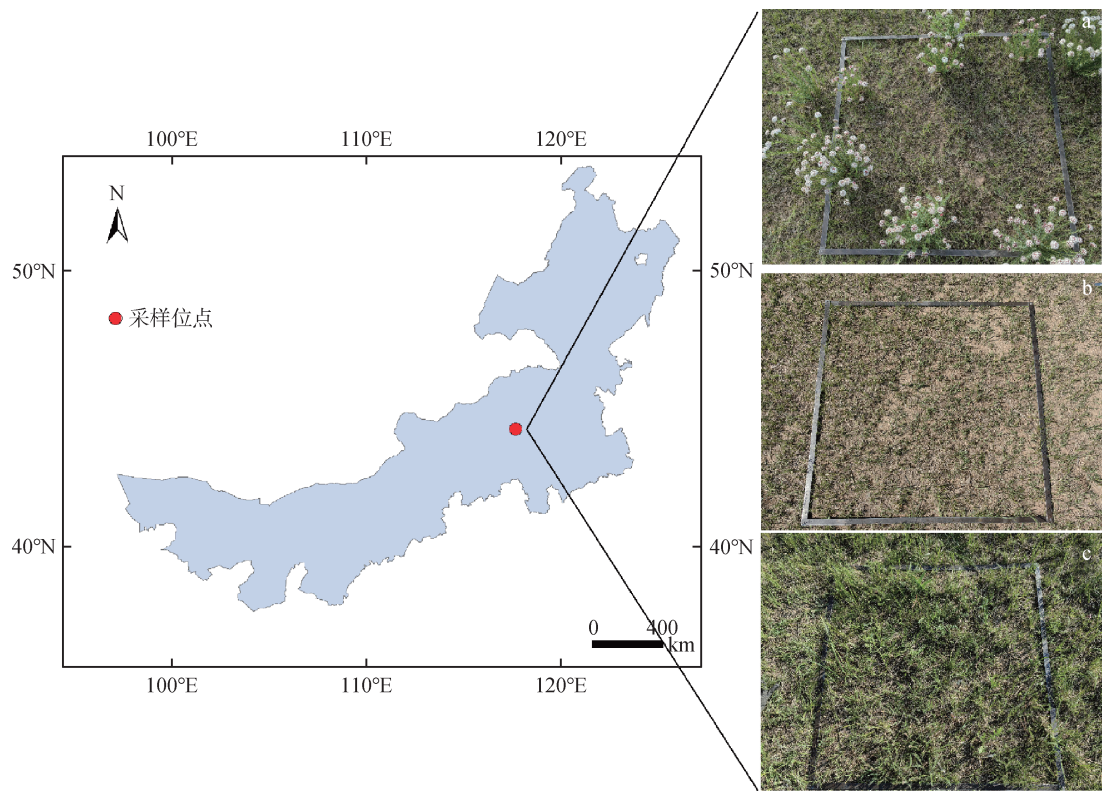


图 1 研究区位置示意图及调查样方照片

Fig. 1 Location map of the study area and photographs of sampling plots

注:审图号为 GS(2023)2767 号;从上往下依次为 a,狼毒型退化草原 SS;b,非狼毒型退化草原 NS;c,未退化草原 CK
Note:Map No. GS (2023) 2767; From top to bottom are a, *Stellera*-dominated degraded grassland; b, non-*Stellera* degraded grassland; c, non-degraded grassland

2 结果与分析

2.1 群落数量特征

由表 1 可知,不同植被退化类型下草原群落的数量特征及地上生物量的表现不同。其中,未退化草原(CK)的群落高度和群落盖度显著高于其他两种

退化类型草原($P<0.05$),其中狼毒型退化草原(SS)的群落高度显著高于非狼毒型退化草原(NS)($P<0.05$),而群落盖度在两种退化草原类型之间没有差异。三种不同植被退化类型之间的植株密度没有显著差异。此外,狼毒型退化草原的地上生物量显著大于未退化草原和非狼毒型退化草原($P<0.05$)。

表 1 不同植被退化类型下群落的数量特征

Table 1 Quantitative characteristics of community under different vegetation degeneration types

植被退化类型 Vegetation degeneration type	群落高度 Community height/cm	群落盖度 Community coverage/%	植株密度 Plant density/(plant·m ⁻²)	地上生物量 Aboveground biomass/(g·m ⁻²)
狼毒型退化草原 SS	9.66±0.95 ^b	26.60±4.70 ^b	291±66 ^a	116.12±32.55 ^a
非狼毒型退化草原 NS	7.60±1.27 ^c	24.50±4.44 ^b	371±146 ^a	34.14±16.45 ^c
未退化草原 CK	13.54±0.81 ^a	38.60±4.34 ^a	307±143 ^a	73.25±14.75 ^b

注:不同字母表示不同植被退化类型间差异显著($P<0.05$)
Note: Different letters indicated that there was a significant difference between different vegetation degradation types ($P<0.05$)

2.2 群落物种组成

群落物种组成状况为每个样地中所有出现物种数的总和。从表 2 物种组成来看,未退化草原(CK)的物种种数、属数、科数均为最多,分别为 35、30 和 15,狼毒型退化草原的科数与非狼毒型退化草

原相当,但属数和种数更多,即非狼毒型退化草原的科数、属数和种数都最少。值得注意的是,由表 3 可知,三块样地中物种数量较多的科包括禾本科、菊科、豆科、石蒜科,此 4 科植物种分别占未退化草原出现物种数的 62.9%,狼毒型退化草原的 63.6%

和非狼毒型退化草原的 70.6%。禾本科、豆科、石蒜科是西乌珠穆沁旗天然草原群落组成的优势科。然而,在草原发生非狼毒型退化后,这三科植物的物种数量明显下降;而在狼毒型退化草原中,禾本科的物种数相对稳定,但豆科与石蒜科的物种数仍明显减少。与此同时,菊科植物在草原退化后显著增多,这一趋势在非狼毒型退化草原中尤为突出。

表 2 不同植被退化类型下群落结构组成

Table 2 Community structure composition under different vegetation degeneration types

植被退化类型	科	属	种
Vegetation degeneration type	Family	Genus	Species
狼毒型退化草原 SS	10	19	22
非狼毒型退化草原 NS	9	16	17
未退化草原 CK	15	30	35

从累积优势度角度来看(图 2),禾本科累积优势度最大,且大于其他科,其次是豆科和石蒜科。不同科的累积优势度在不同植被退化类型样地中存在不同表现,其中未退化草原中禾本科、豆科和石蒜科的累积优势度显著大于两种退化型草原($P<0.05$);狼毒型退化草原中瑞香科的累积优势度显著大于未退化草原和非狼毒型退化草原($P<0.05$),而菊科的累积优势度在不同植被退化类型间没有显著性差异。

三块样地中不同物种的优势度排名也发生了不同的变化(表 4)。本区建群种知母(*Anemarrhena asphodeloides*)的优势度排名在草原退化后

发生下降,分别在狼毒型退化草原排名第三、非狼毒型退化草原排名第四;狼毒(*S. chamaejasme*)在狼毒型退化草原的优势度排名第一,而糙隐子草(*C. serotina*)为非狼毒型退化草原中优势度第一的物种。

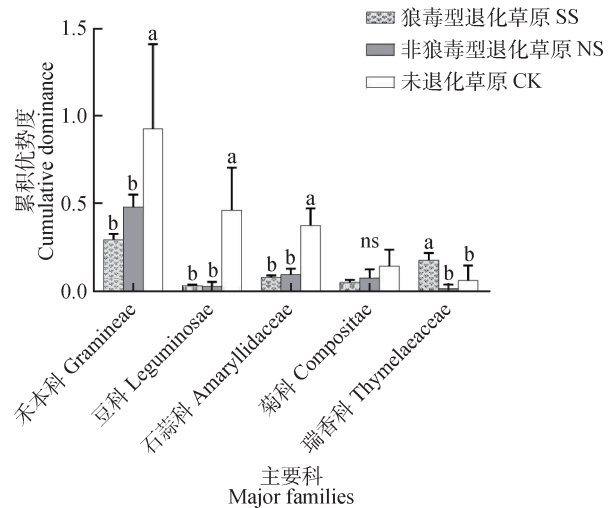


图 2 不同植被退化类型下群落主要科的累积优势度

Fig. 2 Cumulative dominance of main families under different vegetation degradation types

注:不同字母表示不同植被退化类型间差异显著($P<0.05$),ns表示不同植被退化类型间差异不显著,误差线表示每个横坐标点上 5 个重复的标准误差,下同

Note: Different letters indicated that there was a significant difference between different vegetation degradation types ($P<0.05$), and ns indicated that there was no significant difference between different vegetation degradation types, the same as below

表 3 不同植被退化类型下群落科组成

Table 3 Family composition under different vegetation degeneration types

科名 Family	植被退化类型 Vegetation degeneration type		
	狼毒型退化草原 SS	非狼毒型退化草原 NS	未退化草原 CK
禾本科 Poaceae	7	4	8
豆科 Fabaceae	2	2	7
石蒜科 Amaryllidaceae	2	2	5
菊科 Asteraceae	3	4	2
瑞香科 Thymelaeaceae	1	1	1
百合科 Liliaceae	1	1	1
藜科 Chenopodiaceae	1	1	1
莎草科 Cyperaceae	1	1	1
蔷薇科 Rosaceae	3	0	2
列当科 Orobanchaceae	1	0	1
鸢尾科 Iridaceae	0	1	2
桔梗科 Campanulaceae	0	0	1
毛茛科 Ranunculaceae	0	0	1
唇形科 Lamiaceae	0	0	1
伞形科 Apiaceae	0	0	1

表 4 不同植被退化类型下物种重要值排名变化

Table 4 Changes in species importance ranking under different vegetation degradation types

排名 Rating	植被退化类型 Vegetation degeneration type					
	狼毒型退化草原 SS		非狼毒型退化草原 NS		未退化草原 CK	
	物种 Species	物种重要值 Important value	物种 Species	物种重要值 Important value	物种 Species	物种重要值 Important value
1	狼毒 <i>S. chamaejasme</i>	52.04%	糙隐子草 <i>C. serotina</i>	53.80%	知母 <i>A. asphodeloides</i>	52.22%
2	苔草 <i>Carex</i> spp.	50.36%	羊草 <i>L. chinensis</i>	46.56%	多叶棘豆 <i>Oxytropis myriophylla</i>	38.32%
3	知母 <i>A. asphodeloides</i>	43.67%	苔草 <i>Carex</i> spp.	44.23%	糙隐子草 <i>C. serotina</i>	38.28%
4	糙隐子草 <i>C. serotina</i>	39.12%	知母 <i>A. asphodeloides</i>	42.17%	瓣蕊唐松草 <i>Thalictrum petaloideum</i>	37.16%
5	羊草 <i>L. chinensis</i>	36.93%	冰草 <i>A. cristatum</i>	38.41%	双齿葱 <i>A. bidentatum</i>	36.52%
6	双齿葱 <i>Allium bidentatum</i>	36.12%	双齿葱 <i>A. bidentatum</i>	36.09%	苔草 <i>Carex</i> spp.	35.64%
7	冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	34.99%	针茅 <i>Stipa</i> spp.	28.21%	治草 <i>K. macrantha</i>	35.24%
8	细叶苦菜 <i>Ixeris polycephala</i>	27.58%	细叶鸢尾 <i>Iris tenuifolia</i>	20.83%	针茅 <i>Stipa</i> spp.	34.71%
9	乳白黄芪 <i>Astragalus galactites</i>	27.38%	乳白黄芪 <i>A. galactites</i>	20.47%	羊草 <i>L. chinensis</i>	32.26%
10	治草 <i>Koeleria macrantha</i>	20.56%	冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	20.35%	早熟禾 <i>Poa pratensis</i>	28.50%

2.3 不同植被退化类型对群落植物功能群组成的影响

不同植被退化类型间的植物群落功能群组成存在差异(表 5),三块样地中 Pf 的物种数量明显高于其

他功能群,Pg、Ab 次之,Ss 最少。此外,未退化草原的所有功能群物种数都多于其他两种样地,而非狼毒型退化草原和狼毒型退化草原的 Ab、Ss 物种数最少。

表 5 不同植被退化类型下群落植物功能群物种组成

Table 5 Species composition of community plant functional groups under different vegetation degradation types

植被退化类型 Vegetation degeneration type	多年生禾草 Pg	多年生杂类草 Pf	一、二年生草本 Ab	灌木、半灌木 Ss	总和 Total
狼毒型退化草原 SS	7	13	2	0	22
非狼毒型退化草原 NS	4	10	2	1	17
未退化草原 CK	8	22	4	1	35

注:表中 Pg, Pf, Ab, Ss 分别代表多年生禾草,多年生杂类草,一、二年生草本,灌木、半灌木

Note: Pg, Pf, Ab and Ss represent perennial grass, perennial forb, annual or biennial herb and shrub, subshrub

由图 3 可知,在未退化草原和狼毒型退化草原中,Pf 的累积优势度都显著高于其他功能群($P<0.05$),Pg、Ab 次之,Ss 的累积优势度最低。在非狼

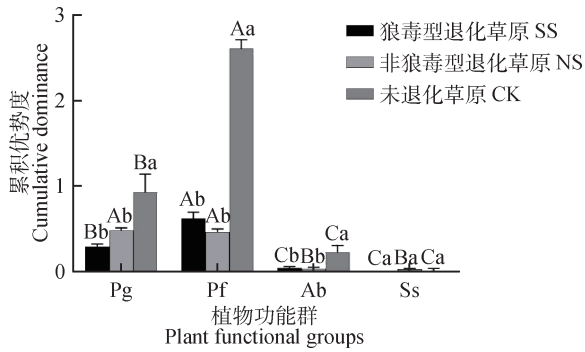


图 3 不同植被退化类型下群落植物功能群的累积优势度

Fig. 3 Cumulative dominance of plant functional groups under different vegetation degradation types

注:不同小写字母表示不同植被退化类型间的差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示不同功能群间差异显著($P<0.05$),误差线表示每个横坐标点上 5 个重复的标准误差。Pg,多年生禾草;Pf,多年生杂类草;Ab,一、二年生草本;Ss,灌木、半灌木。下同

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between different vegetation degradation types ($P<0.05$), different uppercase letters indicate significant differences between different functional groups ($P<0.05$). Pg, perennial grass; Pf, perennial forb; Ab, annual or biennial herb; Ss, shrub, subshrub. The same as below

毒型退化草原中 Pg、Pf 累积优势度并没有显著性差异,但均高于 Ab 和 Ss。另外,未退化草原的 Pg、Pf 和 Ab 累积优势度均显著大于两种退化草原(狼毒型退化草原和非狼毒型退化草原)($P<0.05$),但 Ss 的累积优势度在三块样地中差异并不显著。

由图 4 可知,三个样地群落生活型组成百分比结果与群落植物功能群物种数以及累积优势度结果可以相互印证,在未退化草原和狼毒型退化草原中表现为 Pf 占比最大,其次是 Pg、Ab 和 Ss,而在非狼毒型退化草原中则表现为 Pg 占比最大,其次是

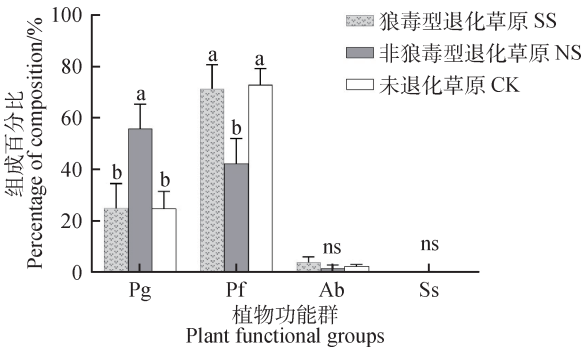


图 4 不同植被退化类型下群落生活型功能群组成

Fig. 4 The composition of community life-form functional groups under different vegetation degradation types

Pf, Ab 和 Ss。非狼毒型退化草原的 Pg 显著高于未退化草原和狼毒型退化草原,而非狼毒型退化草原的 Pf 显著低于未退化草原和狼毒型退化草原 ($P < 0.05$)。

2.4 群落物种多样性

群落的物种丰富度及多样性是群落的重要特征,不同植被退化类型下群落物种多样性见表 6。

表 6 不同植被退化类型下群落物种多样性指数

Table 6 Species diversity of communities under different vegetation degeneration types

植被退化类型 Vegetation degeneration type	香农维纳指数 Shannon-Wiener index	辛普森指数 Simpson's index	Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index	Margalef 丰富度指数 Margalef richness index
狼毒型退化草原 SS	0.7223	0.7680	0.2337	2.8841
非狼毒型退化草原 NS	0.6392	0.7905	0.2256	2.1258
未退化草原 CK	0.5763	0.8237	0.1621	4.6353

注:多样性指数是基于样地的数据,没有标准差或标准误差,故无法进行显著性检验

Note: As the diversity indices were calculated from plot-based data without standard deviation or standard error, significance testing was not applicable

3 讨论

群落特征是一个高度复杂且包含多个维度的综合性概念,不仅全面反映了群落在特定时期内的组成状况和稳定状态,同时也蕴含着其随时间演替的内在规律,能够揭示群落未来的发展方向与潜在演变趋势^[18]。过度放牧导致草原发生退化,显著改变了西乌旗草原原本的群落特征,然而两种不同植被退化类型草原群落还存在明显差异。通常情况下,植株高度对放牧干扰的响应最敏感^[19]。在本研究中,两种类型退化草原(SS 和 NS)的群落高度和群落盖度均发生显著下降,此结果与其他退化草原植被群落研究结果一致,主要归因于放牧家畜的采食行为^[20-21]。然而,狼毒并不被家畜主动采食,且狼毒返青生长时间较多数草原物种早,因此导致了狼毒型退化草原的群落高度显著高于非狼毒型退化草原。此外,本研究还发现狼毒型退化草原(SS)的植被地上生物量显著高于未退化草原(CK)和非狼毒型退化草原(NS),这与鲍根生等^[22]在青藏高原高寒草甸的研究中发现狼毒斑块内植物生物量显著增加的结果一致。经分析,存在两种可能的原因:其一,本研究的调查时间为 6 月上旬正值狼毒盛花期,而多数草原植物在 7、8 月才进入生长旺盛期,因此不同植物种在物候上的差异导致了群落生物量的差异^[23-24];其次,过度放牧增加了家畜对适口性牧

未退化草原群落物种多样性指数中辛普森指数(0.8237)和 Margalef 丰富度指数(4.6353)最高、香农维纳指数(0.5763)和均匀度指数最低(0.1621),狼毒型退化草原中香农维纳指数(0.7223)和 Pielou 均匀度指数(0.2337)最高、辛普森指数(0.7680)最低,而非狼毒型退化草原除了 Margalef 丰富度指数(2.1258)最低之外,其余多样性指数的排名均处于中间位置。

草的采食,降低原有物种的优势度^[25],使狼毒在狼毒型退化草原中成为优势种,直接导致了地上生物量的升高。

从群落物种组成来看,两种退化类型草原的植物种类在科、属、种水平上的数量都发生锐减,其中狼毒型退化草原和非狼毒型退化草原的植物种类分别减少了 13 种和 18 种,表明狼毒型退化草原植物种类数量高于非狼毒型退化草原。该结果符合有毒植物“避难所”假说^[26],即有毒植物因其毒性被放牧牲畜避食,从而为周围植物生长提供“避难所”,如在高加索山的亚高寒草甸上,蓟属(*Cirsium obvalatum*)植物的存在显著提升了伴生物种高加索三叶草(*Trifolium ambiguum*)和剪股颖(*Agrosti splanifolia*)的个体大小及单株开花量^[27]。本研究发现,狼毒在草原退化过程中对禾本科物种多样性的维持起着重要作用。狼毒的存在缓冲了放牧对禾本科植物的负面影响,通过为其提供免于啃食和践踏的局部庇护,从而使禾本科物种数量在退化状态下仍得以保持。同时,该结果也与程巍等^[28]在青藏高原地区的研究结果相似,即狼毒可以提高其周围植物盖度和物种数。本研究进一步揭示,禾本科、豆科、石蒜科、菊科等科构成了西乌旗天然草地的优势科,在研究样地所出现的物种数量中占比达到 60% 以上,因此优势科的变化能够直接用来表征群落组成的变化。

其中禾本科在未退化草原累积优势度显著大于两种退化类型草原,尽管非狼毒型退化草原的禾本科物种数量远低于狼毒型退化草原,但其累积优势度与狼毒型退化草原并没有显著差异,这可能与非狼毒型退化草原中糙隐子草的优势度最高有关。糙隐子草是多年生丛生小禾草,是草地重度退化过程中的过渡种,由于羊草和大针茅等植物因植株高大、适口性好,在重度干扰下成为了家畜主要采食对象,导致糙隐子草能够快速增殖^[29-31]。本研究结果显示,非狼毒型退化草原中的糙隐子草相对盖度达33.99%、相对密度为27.43%,明显高于狼毒型退化草原中糙隐子草的相对盖度(6.3%)和相对密度(11.05%),因此整体提高了非狼毒型退化草原中禾本科的累积优势度。此外,在狼毒型退化草原中,瑞香科植物(狼毒)已成为绝对优势物种,其累积优势度显著高于非狼毒型退化草原和未退化草原。这表明,狼毒型退化草原的植物群落组成已发生了根本变化,与其他退化类型草原存在明显差异。综上,从群落演替理论的角度出发,草原退化本质上是优势种更替与生态位重组的逆向演替过程^[32-33]。有毒植物狼毒的出现,使群落演替路径偏离了传统的、以糙隐子草等耐牧植物为优势的退化轨迹,转而形成以狼毒为优势种的“替代稳态”。这一转变体现了植物从耐牧(如糙隐子草)到避牧(如狼毒)的不同生存策略,以应对家畜采食压力。因此,草原植被的退化类型决定了恢复策略必须具有针对性:对于非狼毒型退化草原,可通过围封禁牧与补播优质禾草促进其自然恢复;而对于狼毒型退化草原,则必须在植被恢复的基础上,重点通过化学或机械方法清除狼毒,有效降低其优势度,方能取得根本性的恢复成效。

植物功能群是一类对环境有相同响应和对主要生态系统过程有相似作用的物种组合,以功能群为基础的研究方法更有效地揭示了物种对特定环境干扰的响应机制^[34]。放牧导致的草原退化显著降低了多年生禾草(Pg)和多年生杂类草(Pf)的累积优势度。从植物功能群组成百分比的结果来看,未退化草原CK与狼毒型退化草原SS中多年生杂类草(Pf)功能群的物种数量和累积优势度最高,反映出原生草原群落和狼毒退化群落主要以杂类草为主,而非狼毒型退化草原NS的功能群却

以多年生禾草(Pg)为主。不同植被退化类型对不同功能群影响不同,为有目的地恢复不同退化类型草原提供了依据。此外,未退化草原群落物种多样性指数中辛普森指数和Margalef丰富度指数最高,表明健康草原群落中的物种多样性最高;但是其香农维纳指数却是最低。这主要是因为物种多样性可以通过丰富度和均匀度来体现,而不同多样性指数对丰富度(类别、类型、物种或等级的数量)和分布(每个类别、类型、物种或等级的观测数量)的权重都不同^[35-36]。同样,我们发现狼毒退化型草原的Shannon指数最高,但Margalef丰富度指数相对较低,表明狼毒型退化草原群落物种数量较少,但各个物种的个体数分布非常均匀。与此同时,狼毒型退化草原群落均匀度指数最高的事实也进一步验证了这一分布特征,这表明在狼毒为优势种的群落中,剩余的物种个体数量分布较为均衡,没有出现单一物种的绝对垄断(狼毒除外),即暗示着该群落可能处于一种“替代稳态”。

综上,两种退化类型草原的群落特征变化揭示了其内在的差异化演替轨迹。与非狼毒型退化草原相比,狼毒型退化草原在群落高度、生物量及多样性等多个维度上表现出更好的状态。一方面,这印证了狼毒在退化草原的扩张对群落结构与物种多样性具有一定的维持作用;另一方面,也凸显了非狼毒型退化草原的群落简化与功能衰退,其形成可能主要源于过度放牧的持续影响。因此,对这两种退化类型草原进行精准诊断与区分,是实施有效生态干预和恢复策略的根本前提。以往针对狼毒型退化草原的恢复策略多侧重于狼毒的防除或进行简单的围栏封育。然而,已有研究表明,将“禁牧+防除+施肥”措施进行耦合才是狼毒型退化草地牧草品质提升及营养功能优化的最佳集成模式^[37]。基于本研究结果,狼毒型退化草原的恢复须将狼毒防控作为优先且必要的步骤,同时辅以补播或施肥等措施,以提高退化草原群落生产力和多样性。这主要是因为狼毒型退化草原虽然具有较高的地上生物量但缺乏生产价值;其所形成的“替代稳态”虽在一定程度上维持了群落结构,但若任由其发展,可能会导致其他物种逐渐丧失,最终引发生态系统崩溃,难以恢复。

4 结论

本研究系统揭示了狼毒型退化草原与非狼毒型退化草原在植被群落数量特征、物种和功能群组成及物种多样性的本质差异,主要得出以下关键结论:

(1)狼毒型退化草原在群落高度、地上生物量和物种均匀度方面显著优于非狼毒型退化草原,表明狼毒扩张虽然改变了物种组成,但在一定程度上维持了植物群落多样性,符合有毒植物“避难所”假说。

(2)非狼毒型退化草原表现出更为严重的物种丧失与功能群简化,形成以糙隐子草为优势种的单一化结构。

(3)狼毒型退化草原的植物功能群以多年生杂类草为主,而非狼毒型退化草原则以多年生禾草为主。

(4)两种类型的退化草原生态恢复措施应有所区别,狼毒型退化草原的恢复须将狼毒防控作为优先且必要步骤,同时辅以补播或施肥等措施,以提高退化草原群落生产力和多样性。

参考文献

- [1] BARDGETT R D, BULLOCK J M, LAVOREL S, et al. Combatting global grassland degradation[J]. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2021, 2(10): 720-735
- [2] NEWBOLD T, HUDSON L N, HILL S L L, et al. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity[J]. *Nature*, 2015, 520(7545): 45-50
- [3] ZHOU H K, ZHAO X Q, TANG Y H, et al. Alpine grassland degradation and its control in the source region of the Yangtze and Yellow Rivers, China[J]. *Grassland Science*, 2005, 51(3): 191-203
- [4] LI W, ZHAO R. Mechanisms driving the impact of wolf poison (*Stellera chamaejasme*) in grasslands of China[J]. *Weed Science*, 2025, 73(1): e45
- [5] 郭丽珠, 王堃. 瑞香狼毒生物学生态学研究进展[J]. *草地学报*, 2018, 26(3): 525-532
- GUO L Z, WANG K. Research progress on biology and ecology of *Stellera chamaejasme* L. [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2018, 26(3): 525-532
- [6] 程济南. 瑞香狼毒(*Stellera chamaejasme* L.)根际微环境对其种群扩张的影响研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2023: 1-2
- CHENG J N. Effects of the rhizosphere microenvironment of *Stellera chamaejasme* L. on its population expansion[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2023: 1-2
- [7] 郭蓉, 郭亚洲, 王帅, 等. 中国天然草地有毒植物及其放牧家畜中毒病研究进展[J]. *畜牧兽医学报*, 2021, 52(5): 1171-1185
- GUO R, GUO Y Z, WANG S, et al. Advances in research on poisonous plants and grazing livestock poisoning diseases of natural grassland in China[J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2021, 52(5): 1171-1185
- [8] 王文婷, 王淑瑶, 张炜. 基于最大熵方法的未来气候变化下狼毒在中国潜在分布的预测[J]. *植物保护学报*, 2019, 46(1): 136-141
- WANG W T, WANG S P, ZHANG W. Prediction of the potential geographical distribution of *Stellera chamaejasme* under climate change in China based on maximum entropy method[J]. *Journal of Plant Protection*, 2019, 46(1): 136-141
- [9] 崔雪, 潘瑶, 王亚楠, 等. 退化草地瑞香狼毒对小尺度群落组成及土壤理化性质的影响[J]. *生态学杂志*, 2020, 39(8): 2581-2592
- CUI X, PAN Y, WANG Y N, et al. Effects of *Stellera chamaejasme* on small-scale community composition and soil physical and chemical properties in degraded grassland[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2020, 39(8): 2581-2592
- [10] 朱文琰, 杨畅, 许明圆, 等. 不同龄级瑞香狼毒影响微尺度高寒草甸群落结构[J]. *中国草地学报*, 2024, 46(2): 83-91
- ZHU W Y, YANG C, XU M Y, et al. Effects of *Stellera chamaejasme* development on community structure of micro-scale topography in alpine meadow[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2024, 46(2): 83-91
- [11] 王福山, 何永涛, 石培礼, 等. 狼毒对西藏高原高寒草甸退化的指示作用[J]. *应用与环境生物学报*, 2016, 22(4): 567-572
- WANG F S, HE Y T, SHI P L, et al. *Stellera chamaejasme* as an indicator for alpine meadow degradation on the Tibetan Plateau[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2016, 22(4): 567-572
- [12] 赵成章, 任珩. 退化草地阿尔泰针茅与狼毒种群的小尺度种间空间关联[J]. *生态学报*, 2011, 31(20): 6080-6087
- ZHAO C Z, REN H. Fine-scale spatial associations of *Stipa krylovii* and *Stellera chamaejasme* population in alpine degraded grassland[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(20): 6080-6087
- [13] 陈晨. 狼毒对羊草的化感作用及其在退化草甸草原中的生态功能[D]. 长春: 东北师范大学, 2024: 96-97
- CHEN C. Allelopathy of *Stellera chamaejasme* on *Leymus chi-*

- nensis and Its Ecological Effects in the Degraded Meadow Steppe[D]. Changchun: Northeast Normal University, 2024: 96-97
- [14] 周淑清,侯天爵,黄祖杰. 狼毒水浸液对几种主要牧草种子发芽的影响[J]. 中国草地,1993(4):77-79
- ZHAO S Q, HOU T J, HUANG Z J. The effects of *Stellera chamaejasme* water extract on the germination of several major forage seeds [J]. Grassland of China, 1993(4): 77-79
- [15] 高玉莲,常静,王贻卉,等. 瑞香狼毒根提取物对3种作物种子萌发和幼苗生长的化感作用[J]. 草业学报,2021,30(10): 83-91
- GAO Y L, CHANG J, WANG Y H, et al. Allelopathic effects of *Stellera chamaejasme* on seed germination and growth of three crops[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2021, 30(10): 83-91
- [16] 孙庚,罗鹏,吴宁. 瑞香狼毒对青藏高原东部高寒草甸主要物种花粉萌发和种子结实的花粉化感效应[J]. 生态学报,2010, 30(16):4369-4375
- SUN G, LUO P, WU N. Pollen allelopathy of *Stellera chamaejasme* on pollen germination and seed set of main species in a High-frigid Meadow on the Eastern Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(16): 4369-4375
- [17] 刘欢,李兰花,任晓萌,等. 围封对西乌珠穆沁草原植物群落特征的影响[J]. 内蒙古林业科技,2022,48(1):19-23
- LIU H, LI L H, REN X M, et al. Effects of Enclosure on plant community characteristics in west ujimqin grassland[J]. Journal of Inner Mongolia Forestry Science and Technology, 2022, 48(1):19-23
- [18] 白红亮. 退化草甸草原植物群落特征及狼毒种群格局分析[D]. 呼和浩特:内蒙古师范大学,2025:19-20
- BAI H L. Analysis of plant community characteristics and *Stellera chamaejasme* spatial pattern in Degraded Meadow Steppe [D]. Huhhot: Inner Mongolia Normal University, 2025:19-20
- [19] 杨晨晨. 不同放牧强度对锡林郭勒草甸草原群落及植物功能性状的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古大学,2021:19-20
- YANG C C. Effects of different grazing intensities on community and plant functional traits in Xilingol mensdow steppe[D]. Huhhot: Inner Mongolia University,2021:19-20
- [20] 郭丽珠,吕进英,王堃,等. 不同草地利用方式对河北坝上天然草地植物群落特征的影响[J]. 草地学报,2022,30(1): 245-252
- GUO L Z, LV J Y, WANG K, et al. Effects of Different Grassland Using Modes on Plant Community Characteristics on Bashang Natural Grassland, Hebei Province[J]. Acta Agrestia Sinica,2022,30(1):245-252
- [21] 闫卫民,张世彬,杨元武. 放牧强度对高寒草甸物种多样性和生产力关系的影响[J]. 草业科学,2024,41(3):539-547
- YAN W M, ZHANG S B, YANG Y W. Effects of grazing intensity on the relationship between plant species diversity and primary productivity in an alpine meadow[J]. Pratacultural Science,2024,41(3):539-547
- [22] 鲍根生,王玉琴,宋梅玲,等. 狼毒斑块对狼毒型退化草地植被和土壤理化性质影响的研究[J]. 草业学报,2019,28(3): 51-61
- BAO G S, WANG Y Q, SONG M L, et al. Effects of *Stellera chamaejasme* patches on the surrounding grassland community and on soil physical-chemical properties in degraded grasslands susceptible to *S. chamaejasme* invasion [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2019, 28(3): 51-61
- [23] GUO L Z, ZHAO H, ZHAI X J, et al. Study on life history traits of *Stellera chamaejasme* provide insights into its control on degraded typical steppe [J]. Journal of environmental management,2021,291:112716
- [24] GUO L, LI J H, HE W, et al. High nutrient uptake efficiency and high water use efficiency facilitate the spread of *Stellera chamaejasme* L. in degraded grasslands [J]. BMC Ecology, 2019,19(1):50
- [25] 高福元,赵成章,石福习,等. 祁连山北坡高寒草地狼毒种群格局[J]. 生态学杂志,2011,30(6):1312-1316
- GAO F Y, ZHAO C Z, SHI F X, et al. Spatial pattern of *Stellera chamaejasme* population in degraded alpine grassland in northern slope of Qilian Mountains, China[J]. Chinese Journal of Ecology,2011,30(6):1312-1316
- [26] CALLAWAY R M, KIKODZE D, CHIBOSHVILI M, et al. Unpalatable plants protect neighbors from grazing and increase plant community diversity [J]. Ecology, 2005, 86(7): 1856-1862
- [27] CALLAWAY R M, KIKVIDZE Z, KIKODZE D. Facilitation by unpalatable weeds may conserve plant diversity in overgrazed meadows in the Caucasus Mountains[J]. Oikos,2000, 89(2):275-282
- [28] CHENG W, SUN G, DU L F, et al. Unpalatable weed *Stellera chamaejasme* L. provides biotic refuge for neighboring species and conserves plant diversity in overgrazing Alpine meadows on the Tibetan Plateau in China[J]. Journal of Mountain Science,2014,11(3):746-754
- [29] 邢小青,张璐,宝音陶格涛,等. 放牧对糙隐子草地上个体功

- 能性状的影响[J]. 中国草地学报, 2019, 41(6): 116-122
- XING X Q, ZHANG L, BAOYINTAOGETAO, et al. Effect of grazing on the aboveground functional Traits of *Cleistogenes squarrosa* [J]. Chinese Journal of Grassland, 2019, 41(6): 116-122
- [30] 秦洁, 韩国栋, 王忠武, 等. 内蒙古不同草地类型隐子草种群对放牧强度的响应[J]. 生态环境学报, 2016, 25(1): 36-42
- QIN J, HAN G D, WANG Z W, et al. Response of *cleistogenes* to grazing intensity in different grasslands of Inner Mongolia [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2016, 25(1): 36-24
- [31] 宝音陶格涛, 刘美玲, 包青海, 等. 氮素添加对典型草原区割草场植物群落结构及草场质量指数的影响[J]. 草业学报, 2011, 20(1): 7-14
- BAOYINTAOGETAO, LIU M L, BAO Q H, et al. Effect of N addition on plant community structure and index of grassland quality of typical steppe mown grassland [J]. Acta Prata-culturae Sinica, 2011, 20(1): 7-14
- [32] DYKSTERHUIS E J. Condition and management of range land based on quantitative ecology [J]. Journal of Range Man-agement, 1949, 2(3): 104-115
- [33] 李博. 中国北方草地退化及其防治对策[J]. 中国农业科学, 1997(6): 2-10
- LI B. Grassland degradation in northern China and its preven-tion and control countermeasures [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1997(6): 2-10
- [34] BAI Y F, HAN X G, WU J G, et al. Ecosystem stability and compensatory effects in the Inner Mongolia grassland [J]. Nature, 2004, 431(7005): 181-4
- [35] 乔润鑫, 吕亚楠, 吕宝磊, 等. 冀北山地不同发育阶段次生林林下植被物种多样性影响因素及指数比较[J]. 生态学报, 2025(22): 1-16
- QIAO R X, LV Y N, LV B L, et al. Factors influencing spe-cies diversity and comparison of indices of understory vegetation in secondary forests at various development stages in the moun-tains of northern Hebei, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2025(22): 1-16
- [36] MORRIS E K, CARUSO T, BUSCOT F, et al. Choosing and using diversity indices: insights for ecological applications from the German Biodiversity Exploratories [J]. Ecology and Evolution, 2014, 4(18): 3514-3524
- [37] 宋梅玲, 王玉琴, 王宏生, 等. 狼毒型退化草地质量提升综合改良技术研究[J]. 草原与草坪, 2022, 42(5): 142-151
- SONG M L, WANG Y Q, WANG H S, et al. The integrated technology for grassland quality promotion and nutrient func-tional optimization in *Stellera*-dominate degraded grassland [J]. Grassland and Turf, 2022, 42(5): 142-151

(责任编辑 刘婷婷)