

引文格式: 于潇, 刘金银, 于应文. 封育对兰州北部荒漠化草原植被构成及物种多样性的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2022, 37(4): 672–678. DOI: [10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).202108054](https://doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).202108054)

封育对兰州北部荒漠化草原植被构成及物种多样性的影响*

于 潇¹, 刘金银², 于应文^{2**}

(1. 湖南农业大学 动物科学技术学院, 湖南 长沙 410128; 2. 兰州大学 草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020)

摘要:【目的】探究长期封育下短花针茅荒漠化草原植物群落结构和物种多样性变化规律及演变特征。【方法】以兰州北部2种地形(平地 and 坡地)的长期封育和放牧(对照)短花针茅荒漠化草原为对象, 对其物种构成和重要值、群落和优势种群特征及物种多样性进行调查。【结果】荒漠化草原主要由多年生草本构成, 封育群落优势种和亚优势种分别为短花针茅(*Stipa breviflora*)和红砂(*Reaumuria soongorica*), 对照群落优势种和亚优势种则分别为红砂和短花针茅。封育可提高草层高度、盖度和生物量及植物物种多样性, 促进优势植物(短花针茅和红砂)及多年生草本生长, 降低1~2年生草本和灌木比例, 并使短花针茅植株老龄化。短花针茅对封育的响应较红砂敏感, 坡地对多年生草本生长和植物物种多样性维持的正效应优于平地。【结论】封育通过改变植物物种构成和群落特征来恢复植被, 使短花针茅荒漠化草原向草原发展。

关键词: 封育; 短花针茅; 植被构成; 生物量; 株丛大小; 物种多样性

中图分类号: S812.29

文献标志码: A

文章编号: 1004-390X(2022)04-0672-07

Effect of Enclosure on Vegetation Composition and Species Diversity of Desertification Steppe in Northern Lanzhou

YU Xiao¹, LIU Jinyin², YU Yingwen²

(1. College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2. College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

Abstract: [Purpose] To explore the change pattern and its evolution characteristics of plant community structure and species diversity in *Stipa breviflora* desertification steppe under long-term enclosure. [Method] The plant species composition and importance value, characteristics of community and dominant population, plant species diversity were measured in *S. breviflora* desertification steppe, which under two terrains (flat and slope) in northern Lanzhou. [Results] The desertification steppe was mainly composed of perennial herbs, the dominant and subdominant species were *S. breviflora* and *Reaumuria soongorica* for enclosure plots, while they were respectively *R. soongorica* and *S. breviflora* for the control (grazing plots). Enclosure increased the sward height, coverage, biomass and plant species diversity, encouraging the growth of dominant plants (*S. breviflora* and *R.*

收稿日期: 2021-08-31

修回日期: 2022-05-16

网络首发日期: 2022-07-04

*基金项目: 国家自然科学基金项目(72033009)。

作者简介: 于潇(2000—), 女, 甘肃兰州人, 在读本科生, 主要从事草畜生产管理研究。

E-mail: 791884384@qq.com

**通信作者 Corresponding author: 于应文(1969—), 男, 甘肃永登人, 博士, 教授, 主要从事草地资源与生态研究。E-mail: yuyw@lzu.edu.cn

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1044.S.20220701.1524.002.html>



soongorica) and perennial herbs, reducing the ratio of therophyte and shrubs, and promoting the cluster aging of *S. breviflora*. The response to enclosure of *S. breviflora* was more sensitive than that of *R. soongorosa*, the positive effects of slope on growth of perennial herbs and the maintenance of plant species diversity were better than that of flat land. [**Conclusion**] Enclosure restores the vegetation by changing plant species composition and community characteristics, which will encourage the development of *S. breviflora* desertification steppe into steppe.

Keywords: enclosure; *Stipa breviflora*; vegetation composition; biomass; size of cluster; species diversity

荒漠化草原是草原向荒漠过渡的旱生类型之一, 建群种由旱生丛生小禾草组成, 常混生一定旱生小半灌木。短花针茅 (*Stipa breviflora*) 群落作为一种最广泛分布的荒漠草原类型, 集中分布于黄土高原区, 且其作为荒漠化草原典型旱生植物之一, 根系发达, 具极强水源涵养和水土保持功能^[1]。长期以来, 过度放牧和牲畜啃食使短花针茅草根大量裸露地面而死亡, 严重影响其繁殖, 并使其原生地被大量荒漠灌木侵入, 进而导致短花针茅草原向荒漠化发展^[1]。封育作为草原植被恢复最有效的措施之一, 可通过降低放牧压力和人为干扰改善植被结构, 提高群落高度、盖度、生物量及生殖生长等, 使草原得以休养生息, 促进草原正向演替^[2-4]。因此, 对短花针茅荒漠化草原实施围栏封育, 对其保护和利用具有重要作用。

研究认为: 植物群落结构和物种组成变化反映了草原退化或恢复过程中对环境 and 外界干扰的响应, 是退化草原恢复的重要评价指标^[3-5]。荒漠草原封育后, 草地生产力和物种多样性增加, 群落稳定性增强^[3-4,6]; 但因草原类型和退化程度等差异, 草原封育后的恢复效果不同^[2-3,5]。此外, 在同一气候区, 地形可通过改变光照、温度、水分和土壤养分等, 对草原群落结构、生产力及功能等产生重要影响^[7-8]。因此, 进行草原植被封育研究时, 需考虑草原群落的类型和地形特征。

以往封育下荒漠化草原植被特征研究集中于群落结构和物种多样性、恢复年限、土壤种子库、植物种间关系、优势物种繁殖特性和牧草品质等方面, 主要涉及苦豆子 (*Sophora alopecuroides*) 群落、芨芨草 (*Achnatherum splendens*) 群落^[9]、伊犁绢蒿 (*Seriphidium transiliense*) 群落^[2,6]和长芒草 (*Stipa bungeana*) 群落^[8,10]等。虽有学者对短花

针茅 (*S. breviflora*)+牛枝子 (*Lespedeza potaninii*) 或银灰旋花 (*Convolvulus ammannii*) 群落^[3,5]以及短花针茅群落^[4,11]等进行封育效果分析, 但对不同生境短花针茅荒漠化草原植物群落和种群特征封育效果的研究相对缺乏。兰州地处甘肃黄土丘陵区, 地形以平地 and 坡地为主, 天然草地以长芒草为建群种的温性草原和以短花针茅为建群种的温性荒漠化草原为主^[1]。本研究以兰州北部秦王川盆地 2 种地形 (平地 and 坡地) 和 2 种管理模式 (长期封育 and 放牧) 下的荒漠化草原为对象, 对其植物群落和优势种群特征及物种多样性进行调查, 明晰 2 种管理模式下短花针茅荒漠化草原植被构成和物种多样性分异特征, 为短花针茅荒漠化草原的保护和利用提供一定参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

研究区位于甘肃省兰州市北部秦王川盆地的短花针茅荒漠化草原, 地理坐标为 N36°41'、E103°34', 海拔 2 100 m。属温带大陆性季风气候, 四季分明, 气候干燥, 温差较大, 日照充足, 年均温 6.9 °C, 年日照时间 1 744~2 659 h, 年均降水量 250~350 mm, 年蒸发量 1 888 mm, 无霜期 139 d。天然草地为温性荒漠化草原, 植物种主要有短花针茅、无芒隐子草 (*Cleistogenes songorica*)、红砂 (*Reaumuria soongorica*)、阿尔泰狗娃花 (*Heteropappus altaicus*)、蓖齿蒿 (*Artemisia pectinata*)、茵陈蒿 (*Artemisia capillaris*)、骆驼蓬 (*Peganum harmala*) 和多根葱 (*Allium polyrhizum*) 等。土壤类型以灰钙土为主, 质地为粉砂质壤土; 土壤有机质含量为 0.4%~1.0%, 水解氮含量为 30.0~39.7 mg/kg, 有效磷含量为 1.5~3.2 mg/kg^[12]。

1.2 样地设置

选择自 2010 年开始围栏封育 (封育前为自由放牧) 和持续自由放牧 (对照) 的短花针茅荒漠化草原为研究区。2021 年 7 月末, 在研究区 2 种典型地形 (平地 and 凸凹不平坡地) 上随机设置面积为 500~700 m² 的样地各 3 块, 共 12 块样地, 即为地形 (平地 and 坡地) × 封育 (封育 and 对照) 的双因素试验样地设计, 共 4 个处理, 3 次样地重复。

1.3 植物群落和种群特征测定

2021 年 7 月末—8 月初, 在已设置的各重复样地上, 分别设置 5 个 1 m × 1 m 的样方, 共 60 个样方。先调查各样方内草层的高度和盖度、各植物种的高度和盖度、优势物种 (短花针茅和红砂) 的密度及短花针茅不同植株大小的数量; 然后齐地刈割收获地上生物量, 将其按活物质 (绿色物质) 和死物质 (包括立枯体和凋落物) 分开, 再将活物质按不同种分开, 80 ℃ 下烘干称质量, 测定分种生物量。测定草层高度时, 将样方均分为 4 部分, 测定样方内各部分草层自然高度; 测定分种植物高度时, 每种植物测 5 株自然高度, 不够 5 株按实际株数测定; 草层和分种植物盖度用目测法测定; 短花针茅和红砂密度 (株数计) 直接计数测定。短花针茅株丛大小划分参考杜利霞等^[11]的方法, 按株丛基部从径 ≥ 10 cm、5~10 cm 和 < 5 cm 分别划分为大植株、中植株和小植株, 并统计不同植株大小短花针茅占比。

植物种重要值 (importance value, IV): 基于样方内植物种高度和盖度测定数据, 按公式 $IV = (RH + RC) / 2$ 计算。式中, RH 和 RC 分别为植物种的相对高度 (relative height, 样方内某植物种的高度/样方内所有植物种的高度之和) 和相对盖度 (relative coverage, 样方内某植物种的盖度/样方内所有植物种的盖度之和)。

不同生活型植物地上生物量构成: 将植物生活型分为 1~2 年生草本、多年生草本和半灌木, 并基于样方分种地上生物量测定数据, 统计不同生活型植物生物量比例。

植物物种多样性指数: 基于样方植物种类和植物种重要值数据, 统计样方物种数, 并计算其 Simpson 多样性指数 (DS)、Shannon-Wiener 多样性指数 (SDI) 和 Pielou 均匀度指数 (CEI), 计算公式为:

$$DS = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2;$$

$$SDI = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i;$$

$$CEI = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i / \ln S = SDI / \ln S。$$

式中: S 为样方内的物种数, P_i 为第 i 个物种的重要值^[13]。

1.4 数据统计与分析

用 Excel 进行数据处理及制图, 用 SPSS 23 GLM 的多变量分析地形和封育及其交互对植物群落和种群特征及物种多样性指数的影响, 并进行 0.05 水平的 LSD 多重比较分析。由于种群或生活型地上生物量比例数据不符合正态分布, 先对其进行平方根标准化, 符合正态分布后再进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 植物物种构成及重要值

由表 1 可知: 封育群落优势种为短花针茅, 其重要值在平地 and 坡地分别为 0.405 和 0.420, 亚优势种为红砂, 重要值分别为 0.155 和 0.186; 对照 (放牧) 群落优势种为红砂, 其重要值在平地 and 坡地分别为 0.550 和 0.443, 亚优势种为短花针茅, 重要值分别为 0.081 和 0.104。无论封育还是对照样地, 群落物种均由多年生草本、少量半灌木以及 1~2 年生草本构成, 除红砂外的其他半灌木为菊科的茵陈蒿和蓖齿蒿, 1~2 年生草本仅为早熟禾、灰藜、地肤和戈壁天门冬。

2.2 植物群落特征

由表 2 可知: 地形对多年生草本生物量比例有显著影响 ($P < 0.05$), 且坡地是平地的 1.2 倍; 封育对草层高度、盖度、地上活物质量、死物质量、总生物量及多年生草本生物量比例和半灌木生物量比例均有极显著影响 ($P < 0.001$), 且封育分别是对照 (放牧) 的 5.1 倍、1.9 倍、4.7 倍、7.4 倍、4.9 倍、3.4 倍和 0.3 倍; 地形与封育交互仅对多年生草本和半灌木的生物量比例有极显著影响 ($P < 0.01$), 且多年生草本生物量比例为 2 种地形封育 > 坡地对照 > 平地对照 ($P < 0.05$), 半灌木生物量比例为平地对照 > 坡地对照 > 2 种地形封育 ($P <$

表 1 荒漠化草原植物群落物种构成及重要值
Tab. 1 The species composition and importance value of plant community of desertification steppe

植物种名 name of species	平地 flat		坡地 slope	
	封育 enclosure	对照 control	封育 enclosure	对照 control
短花针茅 <i>Stipa breviflora</i>	0.405	0.081	0.420	0.104
无芒隐子草 <i>Cleistogenes songorica</i>	0.088	0.053	0.050	0.063
赖草 <i>Leymus dasytadys</i>	—	—	0.052	—
醉马草 <i>Achnatherum inebrians</i>	0.024	—	—	—
早熟禾 <i>Poa annua</i>	—	0.063	—	—
红砂 <i>Reaumuria soongorica</i>	0.155	0.550	0.186	0.443
阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	0.084	0.070	0.060	0.099
萵齿蒿 <i>Artemisia pectinata</i>	0.034	0.062	0.047	0.097
茵陈蒿 <i>Artemisia capillaris</i>	0.012	0.016	0.020	0.063
二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>	0.011	—	—	—
黄花补血草 <i>Limonium aureum</i>	0.034	0.063	0.021	0.045
骆驼蓬 <i>Peganum harmala</i>	0.070	—	0.037	0.030
细叶黄芪 <i>Astragalus capillipes</i>	0.007	0.017	0.020	0.013
银灰旋花 <i>Convolvulus ammannii</i>	—	—	0.007	—
地肤 <i>Bassia scoparia</i>	—	—	0.009	—
灰藜 <i>Chenopodium album</i>	—	—	0.015	—
多根葱 <i>Allium polyrhizum</i>	0.051	0.025	0.056	0.043
沙葱 <i>Allium mongolicum</i>	0.014	—	—	—
戈壁天门冬 <i>Asparagus gobicus</i>	0.012	—	—	—

注: —, 该植物种未出现。

Note: —, the species is not present.

0.05)。说明封育可促进多年生草本生长, 降低半灌木比例, 使草层高度、盖度和生物量增加; 坡地对多年生草地生长的正效应优于平地。

2.3 植物种群特征

由表 3 可知: 就短花针茅而言, 地形仅对其生物量比例有极显著影响 ($P<0.01$), 且坡地是平地的 1.3 倍; 封育对其高度、盖度、冠幅、生物量及其比例有极显著影响 ($P<0.001$), 封育分别为

对照 (放牧) 的 8.2 倍、8.2 倍、4.9 倍、22.3 倍和 4.7 倍; 地形和封育交互仅对其生物量比例有极显著影响 ($P<0.01$), 且 2 种地形封育>坡地对照>平地对照 ($P<0.05$)。就红砂而言, 地形仅对其密度有极显著影响 ($P<0.01$), 且平地为坡地的 1.7 倍; 封育对其高度、盖度、冠幅、密度、生物量及其比例有显著或极显著影响 ($P<0.05$ 或 $P<0.001$), 封育分别为对照的 2.6 倍、0.4 倍、2.9 倍、0.2 倍、1.6 倍和 0.3 倍; 地形和封育交互对其密度和生物量比例均有显著或极显著影响 ($P<0.05$ 或 $P<0.01$), 二者均为平地对照>坡地对照>2 种地形封育。说明封育可促进荒漠草原优势种群短花针茅和红砂生长, 短花针茅对封育的响应较红砂敏感, 且封育有利于荒漠草原向草原发展。

由图 1 可知: 封育群落短花针茅以大植株和中植株为主, 分别为 51.1%~56.1% 和 29.4%~32.3%, 而对照群落则以小植株和中植株为主, 分别为 63.1%~70.6% 和 23.9%~32.8%。短花针茅大植株比例为平地 and 坡地封育>对应对照 ($P<0.05$), 分别为对照的 10.1 倍和 12.8 倍; 但其小植株比例为平地 and 坡地对照>对应封育 ($P<0.05$), 分别为封育的 4.9 倍和 3.8 倍。说明封育使短花针茅植株向老龄化发展。

2.4 植物多样性特征

由表 4 可知: 地形、封育及其交互对植物 Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数以及封育对物种数均有显著或极显著影响 ($P<0.05$ 或 $P<0.01$ 或 $P<0.001$)。坡地植物的 Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数分别为平地的 1.4 倍、1.3 倍和 1.3 倍, 且三者均为平地对照显著低于其他 ($P<0.05$); 封育群落的植物物种数、Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数分别为对照 (放牧) 的 1.1 倍、1.3 倍、1.3 倍和 1.2 倍。说明封育有利于荒漠草原植物多样性恢复, 坡地有助于其植物多样性维持。

3 讨论

本研究短花针茅荒漠化草原经 10 年封育后, 草层高度、盖度和地上生物量均大幅增加, 多年生草本生物量占比和短花针茅的生物量及其占比增加, 1 年生草本和半灌木生物量降低, 群

表 2 荒漠化草原植物群落特征

Tab. 2 The characteristics of plant community of desertification steppe

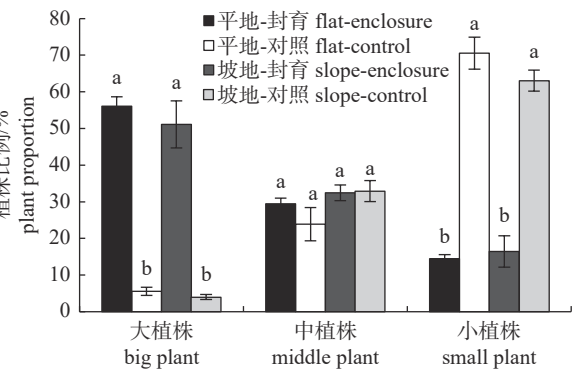
群落特征 community characteristics	平地 flat		坡地 slope		标准误 standard error	显著性 significance		
	封育 enclosure	对照 control	封育 enclosure	对照 control		地形 terrain	封育 enclosure	地形×封育 terrain×enclosure
高度/cm height	31.6 a	5.1 b	32.1 a	7.4 b	3.939	NS	***	NS
盖度/% coverage	78.6 a	36.7 b	72.7 a	41.4 b	5.815	NS	***	NS
地上生物量/(g·m ⁻²) aboveground biomass								
活物质量 live matter biomass	102.7 a	20.6 b	111.3 a	24.9 b	12.827	NS	***	NS
死物质量 dead matter biomass	14.5 a	2.2 b	14.4 a	1.7 b	1.987	NS	***	NS
合计 total	117.2 a	22.8 b	125.7 a	26.6 b	14.663	NS	***	NS
生活型生物量百分比/% percentage of live form biomass								
1~2年生草本 therophyte	0.1	0.1	0.1	0.0	0.025	NS	NS	NS
多年生草本 perennial herbs	76.6 a	9.4 c	69.8 a	33.3 b	8.412	*	***	**
半灌木 shrubs	23.3 c	90.5 a	30.1 c	66.7 b	8.411	NS	***	**

注：“*” “**” “***” 和NS分别表示 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 、 $P<0.001$ 和 $P>0.05$ ；同行不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平下差异显著；下同。
Note: “*” “**” “***” and NS indicate significant differences at 0.05, 0.01, 0.001 levels and not significant, respectively; the different lowercase letters in the line indicate the significant differences at $P<0.05$; the same as below.

表 3 荒漠化草原优势植物种群特征

Tab. 3 The characteristics of dominant plant species of desertification steppe

种群特征 species characteristics	平地 flat		坡地 slope		标准误 standard error	显著性 significance		
	封育 enclosure	对照 control	封育 enclosure	对照 control		地形 terrain	封育 enclosure	地形×封育 terrain×enclosure
短花针茅 <i>Stipa breviflora</i>								
高度/cm height	32.4 b	2.2 b	34.0 a	5.9 b	4.449	NS	***	NS
盖度/% coverage	59.2 a	5.4 b	52.5 a	8.2 b	7.492	NS	***	NS
冠幅/cm crown	26.0 a	5.0 b	27.9 a	6.0 b	3.325	NS	***	NS
密度/(株·m ⁻²) density/(plant·m ⁻²)	16.5	5.2	16.6	16.8	2.122	NS	NS	NS
生物量/(g·m ⁻²) biomass	63.8 a	0.5 b	65.8 a	5.3 b	9.386	NS	***	NS
生物量比例/% biomass ratio	62.3 a	2.5 c	59.4 a	23.3 b	7.804	**	***	**
红砂 <i>Reaumuria soongorica</i>								
高度/cm height	16.7 a	6.4 b	16.0 a	6.3 b	1.530	NS	***	NS
盖度/% coverage	10.1 b	27.3 a	11.0 b	20.6 ab	2.898	NS	*	NS
冠幅/cm crown	22.0 a	7.7 b	19.0 a	6.3 b	2.199	NS	***	NS
密度/(株·m ⁻²) density/(plant·m ⁻²)	3.7 c	20.5 a	3.0 c	11.3 b	2.211	**	***	*
生物量/(g·m ⁻²) biomass	18.3 ab	17.7 ab	30.8 a	13.7 b	2.534	NS	*	NS
生物量比例/% biomass ratio	17.6 d	85.4 a	27.4 c	54.6 b	8.070	NS	***	**



注: 不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平下差异显著。
Note: Different lowercase letters indicate the significant differences at $P<0.05$.

图 1 短花针茅株丛大小构成
Fig. 1 The composition of cluster size of *Stipa breviflora*

落物种构成趋于草原化, 这与以往研究结果^[2,4-5,14]一致。分析其主要原因是: 物种组成变化是反映植物群落演替和发展的关键指示因子, 封育后草

原植物未被家畜啃食和践踏, 给草原植物提供更多休养生息的机会, 进而利于多年生草本如短花针茅等繁殖, 促进草原植被恢复和正向演替^[2-4,11]。本研究中, 放牧样地的半灌木生物量占比高于封育样地, 主要是因家畜过度啃食, 大幅降低放牧样地中适口性高的短花针茅和杂类草等的生物量及比例, 而适口性差的半灌木红砂采食较少, 使群落地上总生物量大幅降低所致。此外, 本研究各样地的草原群落物种组成单一, 物种丰富度为 5.3~6.2 种/ m^2 , 低于已有研究 (约 10 种/ m^2)^[1], 这可能与本研究植被特征监测年份气候极度干旱, 从而使得受降水量调控大的 1 年生植物出现较少 (仅有早熟禾、灰藜、地肤和戈壁天门冬 4 种) 有关。本研究 1~2 年生植物的生物量比例整体很少 ($\leq 0.1\%$) 亦是类似原因。这说明封育可通过改变荒漠化草原的群落结构和物种组成以提高多年生草本的优势地位, 促进荒漠化草原正向演替。

表 4 荒漠化草原群落植物多样性
Tab. 4 The species diversity of plant community of desertification steppe

物种多样性指数 species diversity index	平地 flat		坡地 slope		标准误 standard error	显著性 significance		
	封育 enclosure	对照 control	封育 enclosure	对照 control		地形 terrain	封育 enclosure	地形×封育 terrain×enclosure
物种数 species number	5.8 ab	5.3 b	6.2 a	5.3 b	0.154	NS	*	NS
Simpson多样性指数 Simpson diversity index	0.6 a	0.3 b	0.6 a	0.7 a	0.048	***	**	***
Shannon-Wiener多样性指数 Shannon-Wiener diversity index	1.3 a	0.6 b	1.2 a	1.3 a	0.091	**	**	**
Pielou均匀度指数 Pielou evenness index	0.7 a	0.4 b	0.7 a	0.8 a	0.052	**	*	**

已有研究表明: 封育促进草原禾草株丛大型化, 针茅属老龄植株因存在破碎与枝条自疏过程, 随株丛老化其中心逐渐出现“秃斑”或“空心”, 而放牧家畜的践踏破碎和采食又使禾草株丛小型化和矮化, 利于其更新生长^[11,15], 这与本研究封育可提高短花针茅的高度和冠幅从而使其株丛大型化的结果类似。本研究也表明: 封育对短花针茅植株密度无显著影响, 其原因一方面是封育虽刺激短花针茅分蘖发育成生殖枝, 产生更多种子^[11], 但当短花针茅种子落入地面时, 因无家畜践踏, 其种子和土壤不能充分接触, 不利于其种子萌发; 另一方面, 即使有极少量短花针茅种子萌发, 又因研究区气候极度干旱, 使其种子萌发形成的幼苗很少, 导致封育和对照群落短花针茅的密度差异消失, 从而使其种群以成年和老

龄的大植株为主。这与杜利霞等^[11]的研究结果类似。说明封育通过增加短花针茅植株的密度和个体大小来增加其生产力和竞争力, 进而促进其向草原化方向发展。此外, 本研究封育 10 年后, 短花针茅植株结构趋于老龄化, 抑制其种群更新生长^[15], 从种群龄级结构考虑, 本研究区短花针茅草原封育 10 年时间过长。

本研究中, 封育可提高短花针茅荒漠化草原植物物种数、Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数, 这与以往诸多研究结果^[2-3,6]一致。分析其原因是: 封育一方面通过提高荒漠化草原土壤种子库植物多样性指数, 影响其地上植被物种构成, 提高其地上植被植物多样性^[9,16-18]; 另一方面, 封育后随地面凋落物的增加及其逐渐分解进入土壤, 使土壤有

机质和养分含量增加,进而为其他物种的迁移和定植提供良好的物质基础,由此增加群落物种多样性^[19]。但也有学者认为:一定时期封育会降低荒漠化草原植物物种多样性^[5]或对其无影响^[20]。造成这种分异结果的主要原因是:荒漠化草原群落植物种饱和度相对单一,其物种多样性不仅与研究区降雨和封育前植被状况有关,还与封育年份等有关^[2-3,5]。如杨合龙等^[2]、潘笑笑等^[3]和陶利波等^[5]报道:随封育年限增加,新疆伊犁绢蒿荒漠草原、宁夏东部风沙区牛枝子+短花针茅+猪毛蒿荒漠草原和宁夏盐池短花针茅+牛枝子/银灰旋花荒漠草原的主要植物物种多样性指数分别呈先增后减再增、先减后增和持续增加的趋势,且其适宜封育年份分别为 5 年、9 年以及短期封育 5 年和长期封育 15 年。这进一步说明封育年份过长和过短均不利于荒漠化草原植物物种多样性增加。此外,虽然本研究坡地对草原植物种群和群落特征整体影响小,但其可显著提高植物 Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数,且对多年生草本生长的正效应优于平地,这主要是由于坡地中的凹地有利于凋落物和土壤养分聚集、储存及种子保护,为植物种子萌发和生长提供良好的物质基础^[21],由此使坡地牧草生物量和物种多样性高于平地。

4 结论

封育通过促进群落优势种群短花针茅和红砂及多年生草本生长改变群落物种构成和植被特征,提高草层高度、盖度、生物量及植物物种多样性,使短花针茅荒漠化草原向草原发展,进而达到短花针茅荒漠化草原植被恢复的目的;坡地利于荒漠化草原植被恢复,但封育年限过长,会使荒漠化草原群落中短花针茅植株老龄化。因此,适宜的封育年限是研究区短花针茅荒漠化草原植被恢复的关键。

[参考文献]

- [1] 巨天珍,陈学林,赵传燕.兰州地区草原植被的植物群落类型:干草原和荒漠草原[J].草业学报,1997,6(3): 60.
- [2] 杨合龙,孙宗玖,陈玉萍.封育年限对伊犁绢蒿荒漠群落特征及草场质量的影响[J].草地学报,2015,23(2): 252. DOI: 10.11733/j.issn.1007-0435.2015.02.006.
- [3] 潘笑笑,刘秉儒,牛宋芳,等.围封年限对荒漠草原群落结构及物种多样性的影响[J].贵州农业科学,2018,46(7): 95. DOI: 10.3969/j.issn.1001-3601.2018.07.024.
- [4] 吴婷,宋乃平,陈晓莹,等.围栏封育和放牧对盐池荒漠草原植物群落特征的影响[J].草地学报,2019,27(3): 651. DOI: 10.11733/j.issn.1007-0435.2019.03.018.
- [5] 陶利波,于双,王国会,等.封育对宁夏东部风沙区荒漠草原植物群落特征及其稳定性的影响[J].中国草地学报,2018,40(2): 67. DOI: 10.16742/j.zgdx.2018-02-11.
- [6] 江沙沙,孙宗玖,杨静,等.封育年限对伊犁绢蒿荒漠草原群落种间关系及稳定性的影响[J].中国草地学报,2018,40(3): 68. DOI: 10.16742/j.zgdx.2018-03-11.
- [7] 方楷,宋乃平,魏乐,等.荒漠草原不同地形条件下土壤水分和地上生物量的时空分异[J].干旱区研究,2012,29(4): 641.
- [8] 王兴,宋乃平,杨新国,等.荒漠草原植物多样性分布格局对微地形尺度环境变化的响应[J].水土保持学报,2016,30(4): 274.
- [9] 李国旗,邵文山,赵盼盼,等.封育对荒漠草原两种植物群落土壤种子库的影响[J].草业学报,2018,27(6): 52. DOI: 10.11686/cyxb2017274.
- [10] 方楷,宋乃平,魏乐,等.围栏封育对荒漠草地群落结构和品质的影响[J].草业科学,2012,29(3): 459.
- [11] 杜利霞,李青丰.放牧对荒漠草原短花针茅繁殖特性的影响[J].山西农业大学学报(自然科学版),2008,28(1): 4. DOI: 10.13482/j.cnki.issn1671-8151.2008.01.032.
- [12] 殷陶刚,窦向丽,刘晶婧,等.兰州新区不同土地利用类型对土壤有机质和养分及酶活性的影响[J].中国土壤与肥料,2019(6): 32. DOI: 10.11838/sfsc.1673-6257.19039.
- [13] 覃林.统计生态学[M].北京:中国林业出版社,2009.
- [14] 王蕾,许冬梅,张晶晶.封育对荒漠草原植物群落组成和物种多样性的影响[J].草业科学,2012,29(10): 1512.
- [15] 白永飞,许志信,李德新.内蒙古高原四种针茅种群年龄与株丛结构的研究[J].植物学报,1999,41(10): 1125.
- [16] 孙建华,王彦荣,曾彦军.封育和放牧条件下退化荒漠草地土壤种子库特征[J].西北植物学报,2005,25(10): 2035. DOI: 10.3321/j.issn:1000-4025.2005.10.018.
- [17] KASSAHUN A, SNYMAN H A, SMIT G N. Soil seed bank evaluation along a degradation gradient in arid rangelands of the Somli region, eastern Ethiopia[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2009, 129(4): 428. DOI: 10.1016/j.agee.2008.10.016.
- [18] 沈艳,刘彩凤,马红彬,等.荒漠草原土壤种子库对草地管理方式的响应[J].生态学报,2015,35(14): 4725. DOI: 10.5846/stxb201311222791.
- [19] 韩丛丛.围封年限对荒漠草原植物、土壤及微生物化学计量特征的影响[D].银川:宁夏大学,2016.
- [20] 张晓娜.不同封育措施对希拉穆仁荒漠草原植被与土壤的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2018.
- [21] 汝海丽,张海东,焦峰.黄土丘陵地区微地形对草地植物群落结构组成和功能特征的影响[J].应用生态学报,2016,27(1): 25. DOI: 10.13287/jj.1001-9332.201601.039.

责任编辑:何承刚