

DOI: 10.20103/j.stxb.202211303463

许宏斌, 苏艳龙, 张雷, 刘红梅, 刘丽英, 杨溢文, 李琳. 围封 10 年对荒漠草原群落物种多样性与优势种空间分布格局的影响. 生态学报, 2024, 44(10): 4334-4341.

Xu H B, Su Y L, Zhang L, Liu H M, Liu L Y, Yang Y W, Li L. Effects of ten years enclosure on species diversity and spatial distribution pattern of dominant species in desert steppe communities. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(10): 4334-4341.

围封 10 年对荒漠草原群落物种多样性与优势种空间分布格局的影响

许宏斌¹, 苏艳龙², 张雷^{1,*}, 刘红梅¹, 刘丽英¹, 杨溢文¹, 李琳²

1 内蒙古自治区林业科学研究院, 呼和浩特 010010

2 内蒙古大学, 生态与环境学院, 呼和浩特 010021

摘要: 围封是修复退化草原生态系统的主要措施之一, 科学与优化围封方式是当前草地资源管理中急需解决的科学问题。以内蒙古围封 10 年和未围封的荒漠草原为研究对象, 分析围封和未围封对内蒙古荒漠草原群落物种多样性和优势种空间分布格局的影响, 旨在为荒漠草原的恢复与重建提供科学依据。结果显示: (1) 围封 10 年显著提高了荒漠草原的植被盖度、密度、高度和地上生物量; (2) 围封 10 年对 Margalef 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数无显著影响, 但围封均低于未围封样地; (3) 围封 10 年对优势种短花针茅 (*Stipa breviflora*) 及糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*) 的空间分布格局有较为显著的影响, 与未围封相比围封后糙隐子草的分布格局变得单一, 短花针茅分布格局变得多样。总体看来, 围封 10 年后, 荒漠草原群落物种组成、物种优势度和优势种的空间分布格局均发生一定程度变化, 反映出围封后草地生态系统中植物适应其生存环境的策略, 围封方式应根据立地条件, 科学制定围封年限以达到较好的生态恢复效果。

关键词: 荒漠草原; 围封; 优势种; 空间分布格局

Effects of ten years enclosure on species diversity and spatial distribution pattern of dominant species in desert steppe communities

XU Hongbin¹, SU Yanlong², ZHANG Lei^{1,*}, LIU Hongmei¹, LIU Liying¹, YANG Yiwen¹, LI Lin²

1 Inner Mongolia Academy of Forestry, Hohhot 010010, China

2 School of Ecology and Environment, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China

Abstract: Enclosing is one of the main measures for repairing the degraded grassland ecosystems. The scientific and optimized enclosure methods are issues urgently needed to solve in grassland resource management. Taking the desert steppe enclosed for 10 years and no enclosure in the Inner Mongolia as the research object, the impacts of enclosure and no enclosure on the species diversity and spatial distribution pattern of dominant species of desert steppe community in the Inner Mongolia were analyzed to provide scientific basis for the restoration and reconstruction of desert steppe. The results showed that: (1) the plant coverage, density, height and aboveground biomass of desert steppe were significantly increased after 10 years of enclosure; (2) The 10 years of enclosure had no significant effect on Margalef diversity index, Shannon-Wiener diversity index, Simpson richness index and Pielou evenness index, but the enclosure was lower than the no enclosure sample plot; (3) The enclosure for 10 years had significant impact on the spatial distribution pattern of the dominant species *Stipa breviflora* and *Cleistogenes squarrosa*. Compared with the no enclosure, the distribution pattern of the

基金项目: 国家自然科学基金 (31960284); 内蒙古自治区林业和草原局科研能力提升项目

收稿日期: 2022-11-30; 网络出版日期: 2024-03-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lkyzhanglei@126.com

enclosed *Stipa breviflora* became single and the distribution pattern of *Stipa breviflora* became diverse. In general, after 10 years of enclosure, the species composition, species dominance, and spatial distribution pattern of dominant species in desert grassland communities have undergone certain changes, reflecting the strategies of plants in the grassland ecosystem to adapt to their living environment after enclosure. The enclosure method should be scientifically determined based on the site conditions to achieve better ecological restoration effects.

Key Words: desert steppe; enclosure; dominant species; spatial distribution pattern

草地生态系统是我国面积最大的陆地生态系统,总面积约 $4 \times 10^8 \text{ hm}^2$, 占我国陆地面积的 41.7%^[1]。内蒙古荒漠草原处于草原与荒漠两大陆地生态系统的过渡区,是重要的放牧畜牧业基地,也是我国北方重要的生态安全屏障^[2]。近年来,由于气候变暖、过牧、乱垦、开矿、道路建设等因素使得草地发生不同程度的退化,主要表现为群落覆盖度降低、生物量降低、植被空间格局发生变化,严重阻碍了区域的可持续发展^[3-5]。因此,采取何种草地管理方式既能维持草地生态系统稳定,又能兼顾草原产业的可持续发展受到许多专家学者的关注^[6-7]。

为遏制草地进一步的退化,我国实施了围栏封育、轮牧、草畜平衡等一系列生态修复措施,使退化草原的情况有所好转^[8]。围栏封育作为退化草地修复的重要措施之一,因其成本低、简便易行而广泛应用于退化草原恢复中^[9-10]。通常看来,围封能够改善退化草地的植物群落结构、提升植被生产力、改善土壤条件,是草地生态系统有效的恢复方式,退化草地经围封后,草地群落生产力可在短时间内恢复,并且植物群落盖度、平均高度、枯落物积累量、生物量等大幅提高^[11-13]。高凤等^[14]对藏北高寒草地围封 3 年后发现,植被平均高度、盖度和地上生物量均极显著增加,并且土壤的理化性质有所改善;黄国柱等^[15]对祁连山中部亚高山草地进行不同年限围封后发现,围封 2 年后生物量达到最大值,之后生物量随着围封年限的增加逐年降低,并且围封 6 年后生物多样性显著降低;左万庆等^[16]在锡林郭勒盟退化羊草草原进行围封实验时也发现围封可显著提高群落植被生物量、高度和凋落物量。Miao 等^[17]在长期围封禁牧对科尔沁沙地植物群落影响中发现,在长期围封区围栏内群落物种多样性增加;而刘刚等^[18]在对围封多年荒漠草原研究时发现,随着围封年限的增加,群落内物种多样性逐年降低,Ardavan 等^[19]也发现围封对荒漠草原进行重度放牧和围栏封育试验时得出围栏封育后物种多样性显著提高,并在围封 20 年时达到最大。上述研究表明,围封可在一定程度上对草地恢复过程起到促进作用,但围封对植被群落的影响是多重因素的综合作用,因此围封过程对植物群落的群落演替和优势物种分布格局的影响不同,进而引起草地的恢复效果也不尽一致。

荒漠草原是草原向荒漠过渡的属草原植被中最干旱的一类草原,因其年际温差大、干旱、多风和降雨量少且波动较大等自然特征严重影响大多数修复措施的实施,因而围封成为该地区为数不多可以实施的修复措施。如何进一步合理、高效地实施围封政策也是目前荒漠草原利用和管理中面临的重要问题。本研究以短花针茅(*Stipa breviflora*)荒漠草原为研究对象,通过开展长期定位围封试验对荒漠草原植物群落的盖度、密度、生物量、生物多样性及优势种空间分布格局进行研究,探究围封 10 年后对荒漠草原群落变化特征、优势物种的生态分布格局以及围封后生态恢复效果的变化,以期对荒漠草原的可持续发展及科学管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区锡林郭勒盟苏尼特右旗,地理位置为 $E112^{\circ}43'27''$, $N42^{\circ}48'04''$, 平均海拔为 1098 m,该地区为中温带大陆性季风气候,春季多风干旱,夏季炎热少雨,年平均降水量为 270 mm,多集中在 5—8 月,蒸发量为 1910 mm,年均温为 3℃。区域内土壤表层被大量的第三纪中生代红色砂岩、泥沙和沙砾层覆盖,上层覆有较薄的第四组残积物,土壤类型为淡栗钙土,是荒漠草原向荒漠过渡的地带性土壤,沙化性

地表,腐殖质层厚度约 20—30 cm,腐殖质含量约 1.0%—1.8%。植物群落以短花针茅(*Stipa breviflora*)、无芒隐子草(*Cleistogenes songorica*)和糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)为优势种,主要伴生种有银灰旋花(*Convolvulus ammannii*)、木地肤(*Kochia prostrata*)等。

1.2 调查与取样

调查取样时间为 2021 年 8 月,围封样地设置在锡林郭勒盟苏尼特右旗林草局围封实验区,围栏建立于 2011 年。自由放牧设置在围栏外,利用方式为全年自由放牧。两样地仅围栏相隔,土壤状况、水分等条件均为一致,样地在围封前均为连续放牧草场。在每个样地拉两条延长线相互垂直的 50 m 样线,沿每条样线用 1 m×1 m 的样方框随机取间隔 8 m 的样方 6 个,调查样方内植物的种类、株数、盖度、密度、高度,将样方内植物齐地面刈割后分种装入信封内带回实验室,在 65℃ 烘箱中烘至恒重后称重得到生物量。在每个样地内设置 3 个 2 m×2 m 的点格局样方,以样方的同一方向顶点作为坐标原点,建立二维坐标系,测量并记录样方内短花针茅和糙隐子草相对于原点的空间位置(X、Y 坐标值)用于分析建群种空间分布格局。

1.3 数据处理与分析

植物群落原始数据整理和计算采用 Excle 2019 进行,群落数量特征、多样性指数特征采用 SPSS 22 软件进行单因素方差(One-way ANOVA)分析。点格局数据在 Programita 2008 软件下完成,数据采用 Monte-Carlo 随机模拟的方法将坐标数据进行拟合检验,计算上、下包迹线,用随机模型重复拟合各组点的坐标值,计算 100 次不同空间尺度 r 的 $L(r)$ 值,得到 99% 的置信区间。当 $L(r) = 0$,则位于上下包迹线之间,当 $L(r) > 0$,则位于上包迹线之上,当 $L(r) < 0$,则位于下包迹线之下。用 Origin 2021 软件绘图,横坐标为空间尺度 r ,纵坐标为 $L(r)$ 值。

物种多样性指标计算:计算物种重要值以及 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指数等 4 种多样性指数作为描述四子王旗荒漠草原植物群落综合特征的指标。物种重要值计算方法如下^[20]:

物种重要值(IV) = (相对密度 + 相对高度 + 相对生物量) / 3

相对密度 = 某个种的密度 / 所有种的密度 × 100%;

相对高度 = 某个种的平均高度 / 所有种的平均高度和 × 100%;

相对生物量 = 某个种的生物量 / 所有种的总生物量 × 100%

物种多样性指数计算公式如下^[21]:

Shannon-Wiener 物种多样性指数: $H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$

Simpson 物种优势度指数: $D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$

Pielou 物种均匀度指数: $J = H / \ln S$

Margalef 物种丰富度指数: $R = (S - 1) / \ln N$

式中, H 表示 Shanno-Wiener 多样性指数, S 表示样方内物种总数量, P_i 表示第 i 个物种的个体数 N_i 占总个体数 N 的比例, $P_i = N_i / N$,其中, N 表示样方内全部物种个体总数, D 表示 Simpson 优势度指数;式中, J 表示 Pielou 均匀度指数, R 表示 Margalef 物种丰富度指数。

点格局计算:点格局分析基于群落优势种短花针茅和糙隐子草种群分布的二维坐标,根据 Ripley's 的 $K(r)$ 函数^[22]。

$$K(r) = \frac{A}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{I_r(u_{ij})}{W_{ij}} \quad i \neq j$$

式中, K 是两点间距离分布的测定指标; r 为空间尺度; A 为样方面积; n 为种群的株数; u_{ij} 为第 i 株植物和第 j 株植物之间的距离,当 $u_{ij} \leq r$ 时, $I_r(u_{ij}) = 1$,当 $u_{ij} > r$ 时, $I_r(u_{ij}) = 0$; W_{ij} 是以 i 为圆心、以 u_{ij} 为半径的圆落在面积 A 中的弧长与整个圆周的比值,若全部位于样方 A 中,则 $W_{ij} = 1$;若部分位于样方 A 中, $0 < W_{ij} < 1$,即校正边界

效应。

在应用中,常使用 Besag 修正的 $L(r)$ 函数,可使方差更为稳定,结果更可靠^[23]。

$$L(r) = \sqrt{\frac{K(r)}{\pi}} - r$$

当 $L(r) = 0$, 则种群在空间尺度 r 上呈随机分布; 当 $L(r) > 0$, 则种群在空间尺度 r 上呈聚集分布; 当 $L(r) < 0$, 则种群在空间尺度 r 上呈均匀分布。

2 结果与分析

2.1 荒漠草原群落物种重要值

如表 1 所示, 苏尼特右旗荒漠草原群落组成较为简单, 研究区内共出现植物 23 种, 隶属 12 科 19 属, 禾本科植物最多为 6 属 7 种, 其次为石蒜科为 1 属 3 种。围封样地内有 10 科 15 属 17 种, 未围封样地内有 12 科 18 属 21 种, 围封 10 年后物种所属的科属较未围封样地所属的科属种均有所减少。围封样地各物种重要值在 0.0337—0.2170, 其中禾本科植物优势度占群落总优势度的 57.4%, 糙隐子草重要值最大为 0.2170; 未围封样地各物种重要值在 0.0270—0.3565, 其中禾本科植物占群落总优势度的 84.6%, 短花针茅重要值最大为 0.3565。围封样地优势种为糙隐子草、蒺藜 (*Tribulus terrester*) 与狭叶锦鸡儿 (*Caragana stenophylla*), 主要伴生种有银灰旋花、短花针茅与鸦葱 (*Scorzonera austriaca*); 未围封样地优势种为短花针茅、无芒隐子草, 主要伴生种为狭叶锦鸡儿和草麻黄 (*Ephedra sinica*)。并且除优势种外, 围封下同一物种的优势度较未围封均有提高。未围封样地的植物群落表现为典型的荒漠草原特征, 而围封后群落优势种及主要伴生种发生改变, 可见围封对荒漠草原群落组成有较大影响。

表 1 荒漠草原物种重要值

Table 1 Important value of each species in desert grassland

生活型 Life Form	科 Family	属 Genus	物种 Species	重要值 Important value	
				围封 Enclosure	未围封 No enclosure
多年生 Perennial	禾本科 Poaceae	隐子草属 Cleistogenes	糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	0.2170	0.1248
多年生 Perennial			无芒隐子草 <i>Cleistogenes songorica</i>		0.1815
多年生 Perennial		针茅属 Stipa	短花针茅 <i>Stipa breviflora</i>	0.1341	0.3565
多年生 Perennial			香茅属 <i>Cymbopogon</i>	0.0812	0.0473
多年生 Perennial		狗尾草属 Setaria	芸香草 <i>Cymbopogon distans</i>		0.0313
一年生 Annual			狗尾草 <i>Setaria viridis</i>		0.0416
一年生 Annual		画眉草属 Eragrostis	画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	0.0691	0.0633
多年生 Perennial			稗属 <i>Echinochloa</i>	0.0728	0.0633
多年生 Perennial		石蒜科 Amaryllidaceae	稗 <i>Echinochloa crus-galli</i>	0.0898	0.0450
多年生 Perennial			葱属 <i>Allium</i>	0.0568	0.0567
多年生 Perennial	旋花科 Convolvulaceae	葱属 Allium	碱韭 <i>Allium polyrhizum</i>	0.0600	0.0786
多年生 Perennial			蒙古韭 <i>Allium mongolicum</i>		0.1082
多年生 Perennial		旋花属 Convolvulus	细叶韭 <i>Allium tenuissimum</i>	0.1832	0.0590
多年生 Perennial			刺旋花 <i>Convolvulus tragacanthoides</i>	0.0760	0.0270
小半灌木 Small shrubs		藜科 Chenopodiaceae	银灰旋花 <i>Convolvulus ammannii</i>	0.0337	0.0772
一年生 Annual			木地肤 <i>Kochia prostrata</i>		0.1390
一年生 Annual	苋科 Amaranthaceae	地肤属 Kochia	猪毛菜 <i>Kochia collinum</i>	0.1855	0.0772
一年生 Annual			猪毛菜 <i>Kali collinum</i>	0.0337	0.0270
多年生 Perennial	菊科 Asteraceae	栉叶蒿属 Neopallasia	栉叶蒿 <i>Neopallasia pectinata</i>	0.1390	0.0772
一年生 Annual			鸦葱 <i>Scorzonera austriaca</i>	0.1390	0.0772
一年生 Annual	蒺藜科 Zygophyllaceae	蒺藜属 Tribulus	蒺藜 <i>Tribulus terrester</i>	0.1855	0.0772
一年生 Annual			蒺藜 <i>Tribulus terrester</i>	0.1855	0.0772
草本状灌木 Herbaceous shrubs	紫草科 Boraginaceae	鹤虱属 Lappula	鹤虱 <i>Lappula myosotis</i>	0.0344	0.0344
多年生 Perennial			草麻黄 <i>Ephedra sinica</i>	0.0876	0.1245
多年生 Perennial	莎草科 Cyperaceae	麻黄属 Ephedra	寸草苔 <i>Carex duriuscula</i>	0.1694	0.1002
多年生 Perennial			苔草属 <i>Carex</i>	0.1694	0.1002
多年生 Perennial	天门冬科 Asparagaceae	天门冬属 Asparagus	天门冬 <i>Asparagus cochinchinensis</i>	0.0595	0.0723
多年生 Perennial			冬青叶兔唇花 <i>Lagochilus ilicifolius</i>	0.0392	0.0392
矮灌木 Bush	唇形科 Lamiaceae	兔唇花属 Lagochilus	冬青叶兔唇花 <i>Lagochilus ilicifolius</i>	0.0392	0.0392
			狭叶锦鸡儿 <i>Caragana stenophylla</i>	0.1853	0.1151

2.2 荒漠草原群落数量特征指标

围封与未围封的群落数量指标如表 2 所示,围封样地的生物量、盖度和高度均极显著高于未围封样地 ($P<0.01$),围封样地密度显著高于未围封样地密度 ($P<0.05$)。其中围封后盖度变化最大为增加 95%,其余指标生物量、密度和高度在围封后也增加 35%—66%,可见围封可显著提高群落的生物量、高度、盖度与密度。

表 2 荒漠草原群落数量特征指标

Table 2 Quantitative characteristics index in desert grassland community

数量特征指标 Quantitative characteristics index	围封 Enclosure	未围封 No closure	显著性 <i>P</i>
生物量 Biomass/g	56.5933±15.2391	38.4075±11.8388	0.004
密度 Density	69.3333±23.7959	51.2500±18.0201	0.048
盖度 Coverage/%	20.6667±7.0625	10.5833±2.4293	0.000
高度 Height/cm	12.1078±2.1902	7.2701±1.7235	0.000

2.3 荒漠草原群落物种多样性特征指标

植物群落各多样性指标变化如表 3 所示,围封 10 年后 Margalef 丰富度指数、Shannon-wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指数均低于未围封样地,但无显著差异。

表 3 荒漠草原群落物种多样性指数

Table 3 Species diversity index in desert grassland community

物种多样性指标 Species diversity index	围封 Enclosure	未围封 No enclosure	显著性 <i>P</i>
丰富度指数 Margalef	1.5560±0.3776	1.8897±0.5239	0.087
多样性指数 Shannon-Wiener	1.5082±0.2450	1.6635±0.2528	0.141
优势度指数 Simpson	0.7033±0.1090	0.7461±0.0662	0.258
均匀度指数 Pielou	0.7581±0.1144	0.7999±0.075	0.298

2.4 荒漠草原群落优势种空间格局特征分析

如图 1 所示,围封样地内共有针茅 32 株、糙隐子草 23 株;未围封样地内共有针茅 41 株、糙隐子草 17 株。围封样地内糙隐子草在 0—1 m 尺度内呈随机分布, $L(r)$ 值在大于 0.6 m 尺度上呈现明显的上升状态,并且 $L(r)$ 值趋于上包迹线。短花针茅在 0—0.63 m 呈随机分布,在 0.67—0.84 m 呈均匀分布,在 0.84—1.0 m 呈随机分布, $L(r)$ 值在大于 0.64 m 空间尺度上有趋于下包迹线的趋势。未围封样地内糙隐子草在 0—0.39 m、0.61—0.65 m 和 0.77—0.81 m 和 0.95—1.0 m 呈随机分布,在大于 0.40 m 空间尺度上趋近于随机分布;在其余空间尺度呈均匀分布,未围封糙隐子草 $L(r)$ 值在大于 0.4 m 后与下包迹线发生多处重叠,趋于随机分布与均匀分布的临界点,表现为在实际样地调查中呈现均匀分布。未围封短花针茅种群在 0—0.05 m 呈均匀分布,在其余 0.05—1.0 m 呈随机分布,并且在大于 0.8 m 的空间尺度上 $L(r)$ 值趋近于上包迹线,有表现为聚集分布的趋势。

3 讨论

3.1 围封对荒漠草原群落物种重要值的影响

围封是草地恢复的重要手段之一,围封对退化草地生态系统的改变主要体现在群落结构中。群落的种类组成和优势种是草原植物群落结构的重要特征,优势种在群落结构和群落环境的控制上发挥重要作用,优势种的更替也是群落演替不同阶段的标志^[16, 24]。在本研究中,未围封样地中其优势种为中度退化荒漠草原的指示植物无芒隐子草和短花针茅^[8, 25],在围封 10 年后,禾本科植物在群落中优势度较未围封下降明显,该结果与廖晗茹等^[26]在蒙古国的荒漠草原中进行围封后得出禾本科的重要值降低的结果一致^[26];张攀等^[27]在

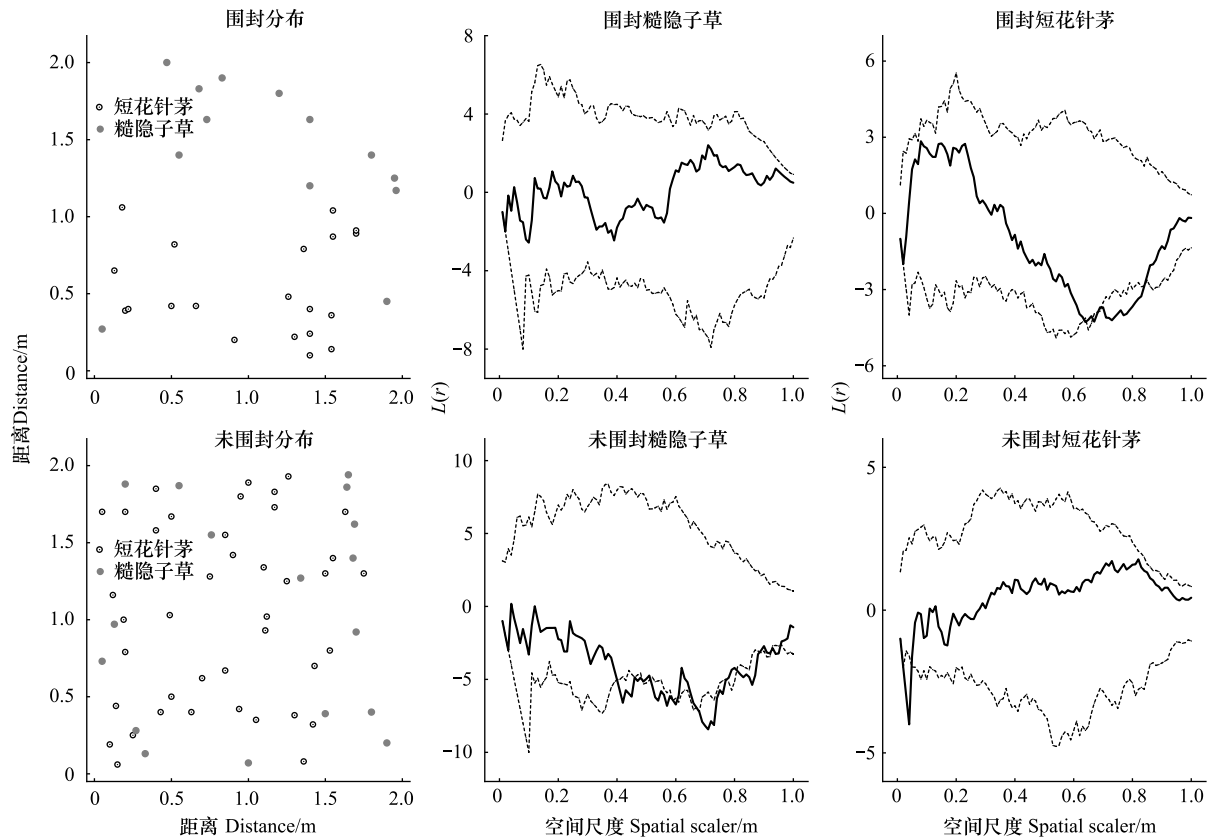


图 1 荒漠草原优势种空间分布格局

Fig.1 Spatial distribution pattern of dominant species in desert steppe

天山北段温性草原围封中同样得出禾本科植物在群落中所占比例减低的结论。围封后群落优势种发生明显替代变为更为低矮的糙隐子草和蒺藜,主要伴生种为银灰旋花,表明围封 10 年样地与未围封样地在群落结构上产生显著差异。由于长期的围封,缺乏家畜对土壤的扰动,枯落物大量堆积和生物结皮大量形成,枯落物在土壤表面形成阻隔层延长降水入渗的时间,同时枯落物也会吸收部分降水,使接触到土壤的有效降水量减少;生物结皮与植物对水肥资源进行竞争,抢夺生活空间,生物结皮的存在使水分向下渗透困难,导致水分入渗困难,一年生浅根系植物大量生长^[28]。乔芳蓉等^[29]在荒漠草原上研究发现,放牧会促进短花针茅等禾本科植物的分蘖,与本研究未围封样地中禾本科植物在群落中的优势度较围封后有显著的提高的结论相同。在围封 10 年后,狭叶锦鸡儿在群落中成为优势种,围封后草地灌丛化明显,该结论与周华坤等人^[30]与董轲等人^[31]的研究结果相同,并且灌木根系也能将深层水和养分提升至表层,供给草本利用^[32],进一步促进浅根系草本植物生长。证明围封并不一定会促进退化草地的恢复,也可能灌丛化草地是该地区的一种稳态。

3.2 围封对荒漠草原群落指标的影响

放牧主要通过家畜的采食、践踏和排泄物直接或间接地影响草原生态系统,围封后消除了家畜对草地群落的影响,大量研究表明,在围封后生物量及盖度、密度、高度等会显著提高^[33]。在本研究未围封样地相比,围封后生物量、盖度、密度及高度较未围封有显著提高,与前人的研究结果相同。但是,在本研究中围封样地中有大量低矮但盖度及地上生物量较大的蒺藜和银灰旋花等草地退化指示生物,致使围封后盖度、密度、生物量与未围封有显著差异的一大原因;同时围封会限制植物补偿性生长机制的发挥,枯落物大量积累,影响资源的利用效率^[34]。此外,未围封会使植物叶片受到家畜采食与践踏,植物生长较为低矮,使植物的高度、地上生物量表现出显著的差异。而围封对物种多样性的影响未得出一致性的结论^[30, 35-38],在本研究中围封 10 年后生物多样性指数略低于未围封草地但无显著差异,这与左万庆等^[16]在锡林郭勒盟退化羊草草原围封后发

现围封后草原多样性指标与未围封样地相比无显著差异的结论相同。

3.3 优势种空间分布格局

种群的空间格局是种群的基本特征,也是研究种群间相互作用以及种群与环境间关系的重要手段^[2, 22, 39—41]。分布格局的确定除了受种群本身的生物学特性、种间关系和环境条件决定外,还与空间格局研究范围的大小密切相关^[22, 42—43]。在本研究中,与未围封相比,围封降低了短花针茅的密度,该结论与张峰等以短花针茅为建群种的荒漠草原所得出的结论一致,均为围封后的短花针茅种群数量显著降低^[44]。其原因可能为短花针茅为丛生型禾草,在围封后消除了家畜的踩踏与采食,短花针茅多以较大的株丛存在,而在围栏外由于家畜的采食与践踏,使大株丛比例减少而分散为较多的小株丛脱离母株而使种群数量增大有关。而围栏外的自由放牧对糙隐子草的影响已有较多研究,如吴思雨等^[45]在不同放牧强度对荒漠草原的糙隐子草功能性状研究中发现糙隐子草会对放牧表现出矮小-密植化的适应策略,并且王鑫厅等^[46]对不同恢复阶段糙隐子草空间分布格局研究时发现糙隐子草会在放牧压力作用下进行超补偿性生长从而影响糙隐子草个体的数量、生长、发育、形态等特征。在本文中,围栏内糙隐子草数量较多其原因可能为围封消除了家畜的采食与践踏,而围栏外由于家畜的采食与践踏作用再加上降水的稀少,糙隐子草无法进行超补偿生长,致使围栏外糙隐子草数量减少。围封后糙隐子草在全尺度上呈现随机分布,而围栏外的糙隐子草在小尺度呈现出随机分布,在大尺度呈现出趋近于均匀分布的分布特征,糙隐子草在围栏内外分布格局差异显著,其原因可能为围栏外的糙隐子草作为丛生型禾草,在被家畜采食及践踏后,由较大株丛分散为较多小植株聚集生长,然而由于自然资源的匮乏,小植株之间由于拥挤及对资源竞争发生自疏现象^[47],致使围栏外糙隐子草在围栏外表现在小尺度为随机分布而在大尺度为均匀分布的分布格局,而围栏内糙隐子草由于免受家畜的采食与践踏,多为较大株丛,对资源的竞争能力较强而表现出随机分布的分布格局。围封的短花针茅在小尺度表现为随机分布且趋于聚集分布,在 0.2—0.6 m 范围内 $L(r)$ 值发生降低直至低于下包迹线,其原因可能为,围封后短花针茅株丛较大,且株丛大小处于 0.2—0.6 m 的株丛占大多数,就会表现出在小尺度为随机分布趋于聚集分布,随着研究尺度的增大,逐渐表现为均匀分布,在变为随机分布的趋势,而未围封的短花针茅均表现为随机分布,其原因为短花针茅为丛生型禾草,被家畜采食和践踏后大株丛分散成小株丛,而后又因为种内竞争发生自疏现象,导致呈现随机分布的分布格局。

4 结论

通过对苏尼特右旗荒漠草原围封 10 年后与未围封的荒漠草原研究后发现:围封 10 年与未围封样地相比,围封 10 年显著提高了荒漠草原的植被盖度、植被密度、植被高度和地上生物量,但对植物群落多样性均无显著影响。围封 10 年对优势种短花针茅和糙隐子草的分布格局造成较大影响,围封后糙隐子草的分布格局出现单一化趋势,呈现出由主要随机分布变为均匀分布占主要分布格局的现象,而短花针茅分布格局呈多样化,主要表现为由单一的随机分布变为随机分布和均匀分布共存的分布格局。围封是目前最为方便有效的退化草原治理措施之一,在退化草原植被恢复中得到了广泛的应用,在选择恢复措施时应根据区域内的退化情况和植物的生长环境综合考虑围封的方式和年限,促进退化草地的快速恢复和合理利用,实现草地资源的可持续发展。

参考文献 (References):

- [1] 张璞进, 黄建辉, 木兰, 单玉梅, 晔蕾罕, 温超, 常虹, 任婷婷, 陈世苹, 白永飞. 氨水添加对放牧背景下荒漠草原生产力的影响. 生态学报, 2022, 42(13): 5458-5470.
- [2] 黄琛, 张宇, 王静, 李元恒, 五十六, 塔娜, 赵萌莉, 韩国栋, 朗巴达拉呼, 赵艳芳. 不同放牧强度下短花针茅荒漠草原植被的空间异质性. 植物生态学报, 2014, 38(11): 1184-1193.
- [3] 高英志, 韩兴国, 汪诗平. 放牧对草原土壤的影响. 生态学报, 2004, 24(4): 790-797.
- [4] 吴艳玲, 陈立波, 卫智军, 刘红梅, 运向军, 王颖杰, 展春芳. 不同放牧压短花针茅荒漠草原群落植物种的空间异质特征. 干旱区资源与环境, 2012, 26(7): 110-115.
- [5] 沈海花, 朱言坤, 赵霞, 耿晓庆, 高树琴, 方精云. 中国草地资源的现状分析. 科学通报, 2016, 61(2): 139-154.

- [6] 李强. 不同恢复措施对松嫩平原退化草地的作用[D]. 长春: 东北师范大学, 2010.
- [7] 尚占环, 董世魁, 周华坤, 董全民, 龙瑞军. 退化草地生态恢复研究案例综合分析: 年限、效果和方法. 生态学报, 2017, 37(24): 8148-8160.
- [8] 李博. 中国北方草地退化及其防治对策. 中国农业科学, 1997, 30(6): 2-10.
- [9] 肖金玉, 蒲小鹏, 徐长林. 禁牧对退化草地恢复的作用. 草业科学, 2015, 32(1): 138-145.
- [10] 侯东杰, 陆帅志, 王静, 郭柯. 典型草原围封后羊草地上功能性状对枯落物累积的响应. 生态学报, 2020, 40(18): 6522-6531.
- [11] Su Y Z, Li Y L, Cui J Y, Zhao W Z. Influences of continuous grazing and livestock exclusion on soil properties in a degraded sandy grassland, Inner Mongolia, Northern China. Catena, 2005, 59(3): 267-278.
- [12] Descheemaeker K, Muys B, Nyssen J, Poesen J, Raes D, Haile M, Deckers J. Litter production and organic matter accumulation in exclosures of the Tigray Highlands, Ethiopia. Forest Ecology and Management, 2006, 233(1): 21-35.
- [13] Zhu G Y, Deng L, Zhang X B, Shanguan Z P. Effects of grazing exclusion on plant community and soil physicochemical properties in a desert steppe on the Loess Plateau, China. Ecological Engineering, 2016, 90: 372-381.
- [14] 高凤, 王斌, 石玉祥, 张更新, 王建, 斯贵才, 韩丛海, 袁艳丽, 胡焱. 藏北古露高寒草地生态系统对短期围封的响应. 生态学报, 2017, 37(13): 4366-4374.
- [15] 黄国柱, 席亚丽, 赵传燕, 刘瑞雪, 杨建红, 李娜, 李伟斌. 围封对祁连山亚高山草地群落结构与生物量的影响. 兰州大学学报: 自然科学版, 2020, 56(6): 718-723.
- [16] 左万庆, 王玉辉, 王凤玉, 师广旭. 围栏封育措施对退化羊草草原植物群落特征影响研究. 草业学报, 2009, 18(3): 12-19.
- [17] Miao R H, Liu Y Z, Wu L Q, Wang D, Liu Y C, Miao Y, Yang Z L, Guo M X, Ma J. Effects of long-term grazing exclusion on plant and soil properties vary with position in dune systems in the Horqin Sandy Land. Catena, 2022, 209: 105860.
- [18] 刘刚, 张克斌, 李瑞, 乔锋, 杨俊杰. 人工封育草场管理研究——以宁夏盐池县为例. 水土保持研究, 2007, 14(2): 252-254.
- [19] Ghorbani A, Dadjou F, Moameri M, Fekri A, Andalibi L, Biswas A, Mohammadi Moghadam S, Sharifi J. Effect of grazing exclusion on soil and vegetation characteristics in desert steppe rangelands: a case study from north-western Iran. Arid Land Research and Management, 2021, 35(2): 213-229.
- [20] 宝音陶格涛. 不同改良措施下退化羊草 (*Leymus chinensis*) 草原群落恢复演替规律研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2009.
- [21] 郭忠玲, 马元丹, 郑金萍, 刘万德, 金哲峰. 长白山落叶阔叶混交林的物种多样性、种群空间分布格局及种间关联性研究. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2013-2018.
- [22] 张金屯. 植物种群空间分布的点格局分析. 植物生态学报, 1998, 22(4): 344-349.
- [23] Bagep J. Contribution to the discussion of Dr. Ripley's paper. Journal of the Royal Statistical Society, 1977, 39: 193-195.
- [24] 闫玉春, 唐海萍. 围栏禁牧对内蒙古典型草原群落特征的影响. 西北植物学报, 2007, 27(6): 1225-1232.
- [25] 刘钟龄, 王伟, 梁存柱, 郝敦元. 内蒙古草原植被在持续牧压下退化演替的模式与诊断. 草地学报, 1998, 6(4): 244-251.
- [26] 廖哈茹, Indree Tuvshintogtokh, 郭通, 赵景学. 围封对蒙古荒漠草原和高原草原植物群落组成及稳定性的影响. 北京大学学报: 自然科学版, 2020, 56(3): 471-478.
- [27] 张攀, 马婧婧, 程明回, 李锐, 邵明轩, 盛建东, 刘耘华. 围封对天山北坡中段温性草原植被特征和土壤理化性质的影响. 中国草地学报, 2021, 43(5): 41-50.
- [28] 卢晓杰, 李瑞, 张克斌. 农牧交错带地表覆盖物对土壤入渗的影响. 水土保持通报, 2008, 28(1): 1-5.
- [29] 乔芳璐, 杨阳, 张峰, 贾丽欣, 陈大岭, 赵萌莉. 不同载畜率下短花针茅分蘖特征和贮藏养分的变化. 中国草地学报, 2019, 41(5): 80-85.
- [30] 周华坤, 周立, 赵新全, 周彦艳, 刘伟, 严作良. 围栏封育对轻牧与重牧金露梅灌丛的影响. 草地学报, 2004, 12(2): 140-144.
- [31] 董轲, 丁新峰, 郝广, 王金龙, 赵念席, 高玉葆. 围封年限对内蒙古灌丛化草原小叶锦鸡儿灌丛结构及群落种间关联的影响. 生态学报, 2021, 41(14): 5775-5781.
- [32] 王凌菲, 徐霞, 江红蕾, 关梦茜, 田晓宇. 内蒙古温带典型草原围封十年草灌景观格局动态. 生态学报, 2020, 40(7): 2234-2241.
- [33] 赵京东, 乌云娜, 宋彦涛. 短期围封对辽西北退化草地群落牧草品质的影响. 草业学报, 2021, 30(9): 51-61.
- [34] Huenneke L F, Mooney H A. Grassland structure and function: California annual grassland. Dordrecht: Kluwer Academic, 1989.
- [35] 王顺霞. 放牧方式对围栏草地植被和土壤环境质量影响的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [36] 张玉萍, 宋乃平, 王兴, 随金明. 不同放牧制度对荒漠草原植物多样性及土壤理化性状的影响. 北方园艺, 2018(19): 109-115.
- [37] 朱新萍, 贾宏涛, 蒋平安, 赵成义, 胡玉昆, 曹叶飞, 苏建红. 长期围栏封育对中天山草地植物群落特征及多样性的影响. 草业科学, 2012, 29(6): 989-992.
- [38] Meissner R A, Facelli J M. Effects of sheep exclusion on the soil seed bank and annual vegetation in chenopod shrublands of South Australia. Journal of Arid Environments, 1999, 42(2): 117-128.
- [39] 陈宝瑞, 杨桂霞, 张宏斌, 段庆伟, 辛晓平. 不同干扰类型下羊草种群的空间格局. 生态学报, 2010, 30(21): 5868-5874.
- [40] 张峰, 郑佳华, 赵天启, 乔芳, 赵萌莉, 张心玥, 吴建新. 放牧强度对荒漠草原一年生植物刺藜种群特征及空间分布的影响. 草地学报, 2021, 29(7): 1507-1512.
- [41] 白小军, 贾琳, 谷会岩. 大兴安岭次生林区优势种落叶松分布格局及竞争作用. 生态学报, 2021, 41(10): 4194-4202.
- [42] 赵峰侠, 尹林克. 荒漠内陆河岸胡杨和多枝桉幼苗种群空间分布格局及种间关联性. 生态学杂志, 2007, 26(7): 972-977.
- [43] 李博. 生态学. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [44] 张峰, 孙嘉伟, 孙宇, 郑佳华, 乔芳璐, 赵天启, 陈大岭, 赵萌莉. 不同尺度下荒漠草原建群种短花针茅的空间分布对载畜率的响应. 应用生态学报, 2021, 32(5): 1735-1743.
- [45] 吴思雨, 宝音陶格涛, 许宏斌, 张璐. 放牧强度对内蒙古典型草原隐子草功能性状的影响. 应用生态学报, 2021, 32(2): 392-398.
- [46] 王鑫厅, 王伟, 梁存柱, 包俊江. 不同恢复演替阶段隐子草种群的点格局分析. 应用生态学报, 2013, 24(7): 1793-1800.
- [47] 张景慧, 王铮, 黄永梅, 陈慧颖, 李智勇, 梁存柱. 草地利用方式对温性典型草原优势种植物功能性状的影响. 植物生态学报, 2021, 45(8): 818-833.