

DOI: 10.11686/cyxb2020239

http://cyxb.magtech.com.cn

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. 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. Acta Prataculturae Sinica, 2020, 29(11): 11—22.

## 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

聂莹莹, 徐丽君\*, 辛晓平, 陈宝瑞, 张保辉

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 呼伦贝尔草原生态系统国家野外科学观测研究站, 北京 100081)

**摘要:**为明确温性草甸草原群落构成和生态位对围栏封育的响应, 运用了 Levins 生态位指数和 Pianka 生态位重叠指数以及物种多样性指数分析围栏内外植物种对资源的利用情况和种间竞争情况。结果表明: 围栏封育显著促进退化草地植被恢复, 植被地上生物量和地下生物量分别较对照提高 255.06%, 51.06%; 物种多样性与丰富度分别增加了 10.36%, 10.34%。围封样地内生态位宽度排名前 2 位的植物为囊花鸢尾和羊草, 生态位宽度值分别为 0.921 和 0.873; 自由放牧样地生态位宽度排在前 2 的植物为蒲公英和寸草苔, 生态位宽度值依次为 0.912 和 0.791。围栏封育可以显著提高草地生产力, 并且对物种多样性也有一定的促进作用, 是应对退化温性草甸草原恢复的有效措施; 与自由放牧相比, 围栏封育增加了群落植物种整体生态位重叠值和种间竞争。

**关键词:**草甸草原; 生态位宽度; 生态位重叠值; 生物量; 物种多样性; 围栏封育

## Effects of fence enclosure on the plant community composition and niche characteristics in a temperate meadow steppe

NIE Ying-ying, XU Li-jun\*, XIN Xiao-ping, CHEN Bao-rui, ZHANG Bao-hui

Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hulunbeir Grassland Ecosystem Research Station, Beijing 100081, China

**Abstract:** This study explored the effects of fence enclosure on community composition and niche characteristics in temperate meadow steppe. The indexes Levins niche breadth, Pianka niche overlap and species diversity were used to evaluate the degree of resource utilization by species and the intensity of interspecific competition inside and outside the enclosure. It was found that: the fencing enclosure significantly promoted vegetation restoration of degraded grassland. The aboveground biomass and belowground biomass in the enclosure treatments were enhanced by 255.06% and 51.06%, respectively. The species diversity and richness were enhanced in fenced enclosures by 10.36% and 10.34%, respectively. The two species with the highest niche breadth in enclosures were *Iris ventricosa* and *Leymus chinensis*, with values of 0.921 and 0.873, respectively. In comparison, the two species with the highest niche breadth in the freely grazed grassland were *Taraxacum mongolicum* and *Carex duriuscula*, with values of 0.912 and 0.791, respectively. Our results clearly show that enclosure by fencing is an efficient restoration measure that not only promotes species diversity but also improves

收稿日期: 2020-05-26; 改回日期: 2020-06-16

基金项目: 重点研发计划(2017YFC0503805, 2016YFC0500603, 2017YFE0104500), 国家自然科学基金(41703801), 国家牧草产业技术体系(CARS-34)和中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(G202002-25)资助。

作者简介: 聂莹莹(1990-), 女, 科研助理, 硕士。E-mail: 547105832@qq.com

\* 通信作者 Corresponding author. E-mail: xulijun@cass.cn

grassland productivity. Compared with free grazing, fencing enclosure increases the overall niche overlap value and inter-species competition of plant communities and their component plant populations.

**Key words:** meadow steppe; niche breadth; niche overlap; biomass; species diversity; enclosure

呼伦贝尔是我国温带草甸草原分布最集中、最具代表性的地区,是我国目前原生植被保存最好、景观生态类型和生物多样性最丰富的草原生态系统类型<sup>[1]</sup>。近些年,随着生产发展和人口增加,人们对草地的掠夺逐渐加剧,导致呼伦贝尔草原由点状退化已经发展成了区域性的整体退化<sup>[2-3]</sup>,这不仅阻碍了当地草地畜牧业的发展,也对草甸草原物种多样性和生态环境维持构成严重威胁。因此,草地生态系统的管理是诸多学者关注的热点。围栏封育作为一种有效、简便易行的促进退化草地生态恢复的策略<sup>[4]</sup>,不仅能够促进物种多样性<sup>[5]</sup>,提高退化草地生产力<sup>[6]</sup>,而且还能改善土壤的理化性质<sup>[7]</sup>。围栏封育是当前退化草地恢复与重建的重要举措之一,在一定的恢复时间尺度内可提高物种丰富度,促进物种对资源利用能力和生态位功能的发挥<sup>[8]</sup>。

生态位概念自 1917 年 Grinnell 提出以来,受到国内外众多生态学者的关注,并对该理论进行了广泛研究,使得该理论在植物种间关系、生物多样性、群落结构和演替以及种群进化等方面得到广泛应用<sup>[9]</sup>。研究认为植物利用资源的状况反映了植物种群间相互关系<sup>[10]</sup>,因此资源利用状况是认识群落组成形成机制的主要问题,而生态位理论可以揭示物种间对可利用资源的量化问题<sup>[11]</sup>。经典的生态位理论认为,物种在某种(或多种)环境资源利用上存在差异,即物种间的生态位分化,这是物种共存的基本机制之一<sup>[12]</sup>,也是物种进化、群落结构变化和群落演替的主要动力和群落动态研究的重点<sup>[13]</sup>。关于生态位理论的研究目前已经较为成熟,尤其对于生态位宽度与生态位重叠的测度<sup>[14]</sup>。研究种群生态位,了解各种群在群落中的地位和作用以及种群间的相互关系,对植被资源保护、可持续利用和植被的恢复重建等具有重要意义。

近年来,众多学者在草甸草原上开展了大量的工作,研究内容主要集中于封育下草甸草原群落结构与物种多样性<sup>[15]</sup>、功能群结构与生物量<sup>[16]</sup>、土壤理化性质<sup>[17]</sup>、土壤种子库<sup>[18]</sup>、种群空间分布格局<sup>[19]</sup>和群落稳定性<sup>[20]</sup>等方面。但针对围栏封育和自由放牧两种干扰方式下的植物群落构成和种群生态位特征的研究尚少见相关报道。因此,本研究基于经典的生态位理论,通过调查温性草甸草原植物群落数量特征,分析在围栏封育和自由放牧两种干扰方式下草原植物群落构成、生态位宽度以及生态位重叠,探索退化草甸草原植物群落的种群资源利用状况及生态适应能力,以期对呼伦贝尔温性草甸草原植物多样性维持机制与植被恢复提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古呼伦贝尔草原生态系统观测研究站(北纬 49°19',东经 119°56'),温带大陆性季风气候。1 月平均气温为 -48.5 °C,7 月平均气温为 36.2 °C,年平均气温为 1.5 °C。 $\geq 10$  °C 的活动积温在 1700~2300 °C,无霜期约为 110 d。年平均降水量 350~400 mm,主要集中在 6-9 月。草甸草原建群种为贝加尔针茅(*Stipa baicalensis*),优势种为羊草(*Leymus chinensis*),常见种有糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、麻花头(*Serratula komarovii*)、扁蓿豆(*Medicago ruthenica*)、寸草苔(*Carex duriuscula*)、裂叶蒿(*Artemisia laciniata*)等,并伴以其他杂类草。土壤类型主要为淡栗钙土。

### 1.2 样地设置

试验地为呼伦贝尔羊草草甸草原围封样地,围封试验始于 2006 年,将 2006 年作为封育第 1 年,围栏外的自由放牧地作为对试样地,于 2006-2019 年每年 7 月初植物生长最旺盛的季节进行取样(本试验采用 2013 年即封育 8 年的监测数据),采用样方法在围栏内外随机进行取样测定植物高度、盖度、密度、地上生物量和地下生物量指标,每个样方面积为 1 m×1 m,围栏内取 10 个,围栏外取 10 个,共计样方 20 个。在围栏内外分别选取重要值大于 0.2 的物种进行生态位分析。

### 1.3 测定指标

在每个样方内测量如下指标<sup>[4]</sup>:盖度:采用针刺法测定盖度。高度:每种植物随机 5 株的平均值。密度:同一植物出现的个数(或丛数)。地上生物量:将样方内的植物分种齐地面剪下,装入塑料样品袋中,编号带回实验室。

将每个样方中的地上生物量分为地上绿色生物量和枯落物(包括立枯物和凋落物)两部分,称取鲜重,并装入纸袋中在恒温(85 ℃)下烘干 12 h,称其干重。地下生物量:在每个样方内用直径 10 cm 的根钻,按照 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm、40~50 cm、50~60 cm 的深度钻取土柱,每个样方重复取 6 钻。将土柱放在 0.5 mm 网眼的纱网袋里,用水冲洗,将采集到的根系置于 85 ℃ 的烘箱中烘干称重,计算地下生物量。

#### 1.4 评价指标和计算方法

##### 1.4.1 重要值计算

$$IV = (RC + RH + RD + RB) / 4 \times 100$$

式中:IV 表示重要值,RC 为相对盖度,RH 为相对高度,RD 为相对密度,RB 为相对地上生物量;相对盖度为某一种植物盖度占全部植物盖度总和的百分比;相对高度为某一种植物高度占全部植物高度总和的百分比;相对密度为某一种植物密度占全部植物密度总和的百分比;相对地上生物量为某一种植物地上生物量占全部植物地上生物量总和的百分比。

1.4.2 物种多样性计算 选用 Shannon—Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数、Pielou 均匀度指数和 Margalef 丰富度指数进行多样性测度,计算公式如下:

$$\text{Shannon—Wiener 指数 } H = - \sum P_i \ln P_i$$

$$\text{Simpson 指数 } D = 1 - \sum P_i^2$$

$$\text{Pielou 均匀度指数 } J = H / \ln S$$

$$\text{Margalef 丰富度指数 } M = \frac{S-1}{\ln N}$$

式中: $P_i$  为样方内的物种  $i$  的相对重要值, $P_i = N_i / N$  ( $N_i$  为物种  $i$  的绝对重要值, $N$  为物种  $i$  所在样方的各个物种的绝对重要值总和), $S$  为样方内的物种数量, $N$  为样方内的全部植株数量。

1.4.3 生态位宽度 采用以下公式<sup>[21]</sup>计算:

$$B_j = \frac{1}{t \times \sum_k P_{jk}^2}$$

式中: $B_j$  表示第  $j$  个物种的生态位宽度, $P_{jk}$  表示第  $j$  个物种在第  $k$  个资源水平下的重要值占该种在所有资源水平上的重要值总和的比例, $t$  表示样方总数。

1.4.4 生态位重叠公式<sup>[22]</sup> 计算如下:

$$O_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^t P_{ik} P_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^t P_{ik}^2 \sum_{k=1}^t P_{jk}^2}}$$

式中: $O_{ij}$  为物种  $i$  和  $j$  的生态位重叠值, $P_{ik}$  和  $P_{jk}$  分别表示第  $i$  和  $j$  个物种在第  $k$  个样方的重要值占该种在所有样方中重要值总和的比例, $t$  为样方总数。

样地全部物种间生态位重叠值的总平均值 = 样地内全部物种间生态位重叠值总数 / 总种对数

#### 1.5 数据分析

采用 Excel 2013 软件进行数据整理与作图,运用 SPSS 20.0 软件进行数据分析,围栏内外物种多样性与生物量差异显著性采用单因素分析(One-Way ANOVA),并用 Duncan 检验进行平均值之间的多重比较,显著性水平设为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 围栏封育对生物量的影响

围栏封育提高了各土层的植物根系生物量(图 1A),其中,0~10 cm 土层差异显著( $P < 0.05$ ),相较于围栏外增加 44.98%,其他土层差异不显著( $P > 0.05$ );这说明了自由放牧对表层土壤中根系生物量的影响较大。

围栏封育能够显著增加地上生物量( $P < 0.05$ ),与围栏外的自由放牧样地相比,地上生物量增加了 255.07% (图 1B)。

## 2.2 围栏封育对物种多样性的影响

物种多样性是群落的重要特征,围栏封育增加了 Shannon—Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数、Pielou 均匀度指数和 Margalef 丰富度指数值,与围栏外的自由放牧相比,分别增加了 10.36%、10.19%、13.89% 和 10.34%(图 2);围栏封育增加草地植物群落多样性和丰富度,但差异均未达到显著性水平( $P > 0.05$ )。



图 1 围栏内外群落地下生物量和地上生物量

Fig. 1 The belowground biomass and aboveground biomass of plant community inside and outside the enclosure

\* 表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 无 \* 表示差异不显著, 下同。\* indicates a significant difference at 0.05 level, no \* indicates the difference is not significant, the same below.

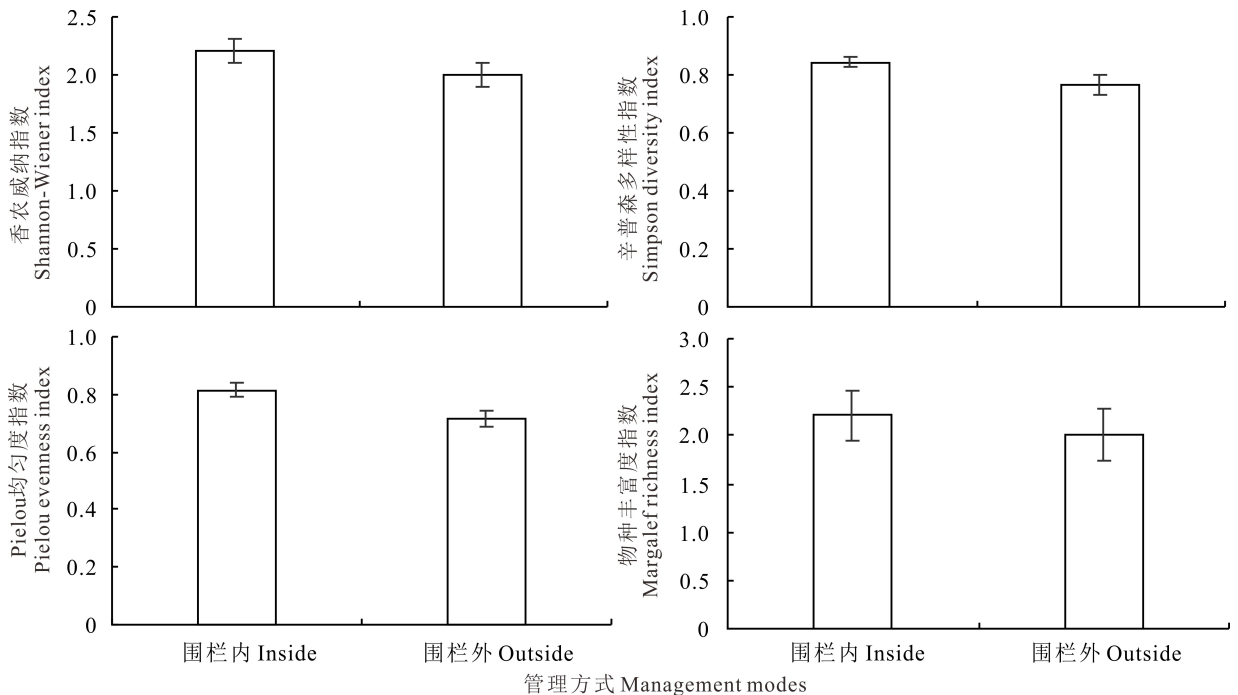


图 2 围栏内外草地植物群落多样性指数、均匀度指数和物种丰富度指数

Fig. 2 The diversity, evenness and richness indexes of plant species inside and outside the enclosure

## 2.3 围栏封育对主要植物种重要值与生态位宽度的影响

**2.3.1 重要值** 围栏内外主要植物种的重要值有明显的差异(表 1)。围栏封育样地的羊草、裂叶蒿、麻花头、日荫菅(*Carex pediformis*)、囊花鸢尾(*Iris ventricosa*)、叉枝鸦葱(*Scorzonera divaricata*)、狭叶青蒿(*Artemisia*

*dracunculus*)、二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)和沙参(*Adenophora stricta*)的重要值高于围栏外的自由放牧样地,分别高出213.53%、313.78%、138.59%、412.52%、161.07%、22.20%、66.93%、62.47%和2181.00%。围栏外自由放牧样地内的贝加尔针茅、糙隐子草、冷蒿(*Artemisia frigida*)、寸草苔、羽茅(*Achnatherum sibiricum*)和披针叶黄华(*Thermopsis lanceolata*)的重要值比围栏内高出101.23%、1759.75%、209.51%、696.40%、40.09%和29.75%。

表 1 围栏内外主要植物种生态位宽度与重要值

Table 1 Niche breadth and importance value of main species inside and outside the enclosure

科 Family	编号 No.	植物种 Species	生态位 Niche breadth		重要值 Importance value		
			围栏内 Inside	围栏外 Outside	围栏内 Inside	围栏外 Outside	
禾本科 Gramineae	S <sub>1</sub>	羊草 <i>L. chinensis</i>	0.873	0.534	27.915	8.903	
	S <sub>2</sub>	贝加尔针茅 <i>S. baicalensis</i>	0.530	0.507	3.026	6.089	
	S <sub>3</sub>	羽茅 <i>A. sibiricum</i>	0.199	0.340	1.150	1.611	
	S <sub>4</sub>	糙隐子草 <i>A. sibiricum</i>	0.224	0.429	0.321	5.978	
菊科 Asteraceae	S <sub>5</sub>	阿尔泰狗娃花 <i>H. altaicus</i>	0.200	—	0.319	—	
	S <sub>6</sub>	冷蒿 <i>A. frigida</i>	0.331	0.100	0.545	1.688	
	S <sub>7</sub>	裂叶蒿 <i>A. laciniata</i>	0.681	0.496	11.716	2.832	
	S <sub>8</sub>	麻花头 <i>S. komarovii</i>	0.757	0.586	3.926	1.645	
	S <sub>9</sub>	变蒿 <i>Artemisia commutata</i>	—	0.273	—	0.723	
	S <sub>10</sub>	叉枝鸦葱 <i>S. divaricata</i>	0.294	0.252	0.754	0.617	
	S <sub>11</sub>	蒲公英 <i>T. mongolicum</i>	—	0.912	—	2.805	
	S <sub>12</sub>	狭叶青蒿 <i>A. dracunculus</i>	0.372	0.266	1.631	0.977	
	豆科 Leguminosae	S <sub>13</sub>	披针叶黄华 <i>T. lanceolata</i>	0.163	0.149	1.274	1.653
		S <sub>14</sub>	山野豌豆 <i>Vicia amoena</i>	0.335	—	1.462	—
S <sub>15</sub>		扁蓿豆 <i>M. ruthenica</i>	—	0.221	—	1.626	
S <sub>16</sub>		斜茎黄芪 <i>A. adsurgens</i>	—	0.624	—	4.226	
蔷薇科 Rosaceae	S <sub>17</sub>	二裂委陵菜 <i>P. bifurca</i>	0.422	0.426	1.277	0.786	
	S <sub>18</sub>	菊叶委陵菜 <i>P. tanacetifolia</i>	0.289	0.378	0.656	0.671	
	S <sub>19</sub>	伏毛山莓草 <i>Sibbaldia adpressa</i>	—	0.260	—	0.373	
	S <sub>20</sub>	轮叶委陵菜 <i>Potentilla verticillaris</i>	—	0.358	—	0.699	
莎草科 Cyperaceae	S <sub>21</sub>	寸草苔 <i>C. duriuscula</i>	0.230	0.791	4.555	36.276	
	S <sub>22</sub>	目荫苔 <i>C. pediformis</i>	0.852	0.100	13.943	0.330	
杂类草 Forb	S <sub>23</sub>	柴胡 <i>Bupleurum scorzoniferolium</i>	0.231	—	0.366	—	
	S <sub>24</sub>	蓬子菜 <i>Galium verum</i>	0.418	—	1.797	—	
	S <sub>25</sub>	细叶白头翁 <i>Pulsatilla turczaninovii</i>	0.664	—	3.288	—	
	S <sub>26</sub>	沙参 <i>A. stricta</i>	0.781	0.339	5.611	0.246	
	S <sub>27</sub>	展枝唐松草 <i>T. squarrosus</i>	0.719	—	4.643	—	
	S <sub>28</sub>	列当 <i>Orobancha coerulescens</i>	0.566	—	0.691	—	
	S <sub>29</sub>	囊花鸢尾 <i>I. ventricosa</i>	0.921	0.320	4.986	1.910	
	S <sub>30</sub>	独行菜 <i>L. apetalum</i>	—	0.608	—	3.861	
	S <sub>31</sub>	灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	—	0.179	—	0.678	
	S <sub>32</sub>	车前 <i>Plantago asiatica</i>	—	0.167	—	3.153	

“—”表示未出现此物种 “—” represents that there is no this species.

**2.3.2 生态位宽度** 生态位宽度反映了植物种群对资源的利用及对环境的适应能力,表征了种群在群落中的竞争地位,种群生态位越宽,表明在群落中竞争能力越强,种群生态位越窄,表明在资源环境的竞争中处于劣势地位<sup>[23]</sup>。封育样地内生态位宽度较大的物种有囊花鸢尾、羊草、日荫菅、沙参、麻花头和展枝唐松草(*Thalictrum squarrosum*),其中生态位宽度值排在前3位的植物为囊花鸢尾、羊草和日荫菅;此3种物种出现在调查的每一个样方中,其中囊花鸢尾属于多年生密丛型草本植物,且耐盐碱,耐寒,占据了最多的资源,生态位宽度值最大,为0.921,羊草和日荫菅次之,分别为0.873和0.852(表1)。而生态位宽度排在后3位的植物是阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)(0.200),羽茅(0.199)和披针叶黄华(0.163)。3种物种在所有调查的样方中出现的频率极低,为偶见种,说明此3种植物具有较低的资源利用谱,对资源的利用处于劣势地位,对环境的适应能力相对较差。

围栏外的自由放牧样地生态位宽度较大的物种有蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)、寸草苔、斜茎黄芪(*Astragalus adsurgens*)、独行菜(*Lepidium apetalum*)、麻花头、羊草和贝加尔针茅;生态位宽度排名前3位的物种是蒲公英、寸草苔和斜茎黄芪,其值分别为0.912、0.791和0.624(表1)。生态位宽度排在后3位的物种为披针叶黄华、冷蒿和日荫菅,值分别为0.149、0.100和0.100,在调查的10个样方中,出现的频率低,生态位宽度较窄,说明其对空间的侵占能力较差,是此群落中易于退化的种群。

综合两种干扰方式下的样地,其中封育样地的羊草、针茅、麻花头和囊花鸢尾等11种植物的生态位宽度高于围栏外的自由放牧样地,其中,群落中的优势种羊草的生态位宽度值比围栏外高出63.48%。围栏外的羽茅、糙隐子草、二裂委陵菜和菊叶委陵菜(*Potentilla tanacetifolia*)等6种植物的生态位宽度值高于围栏内(表1)。导致这种现象出现的原因可能是自由放牧区的牲畜的选择性采食,践踏等使适口性良好、不耐践踏的植物种群数量下降,生态位宽度降低。而封育却促使这部分植物种群数量增加,生态位宽度随之增加。

通过对调查样地植物群落中各植物的生态位宽度与重要值之间的回归分析,围栏封育下的各植物种生态位宽度与重要值之间的相关关系的方程为: $y=0.0259x+0.3724, R^2=0.4203, P<0.01$ ;围栏外的自由放牧样地各植物种生态位宽度与重要值之间建立的关系为: $y=0.0152x+0.3298, R^2=0.2678, P<0.01$ (图3)。二者均呈现正相关关系,且解释变量 $R^2$ 值大小为围栏内>围栏外,说明围栏内生态位宽度与重要值的相关关系大于围栏外。一般来说,重要值越大的物种,其生态位宽度往往也越大,对资源的利用和对环境的适应能力也越强。但也有研究认为,重要值大小并非是生态位宽度大小唯一的因素,也就是说重要值最大的物种其生态位宽度也并非最大<sup>[13]</sup>。本研究中也存在个别植物种重要值较大,但是生态位宽度值并不是最大的。这可能与植物种群自身特性制约,或是土壤湿度与不同干扰因子影响息息相关。

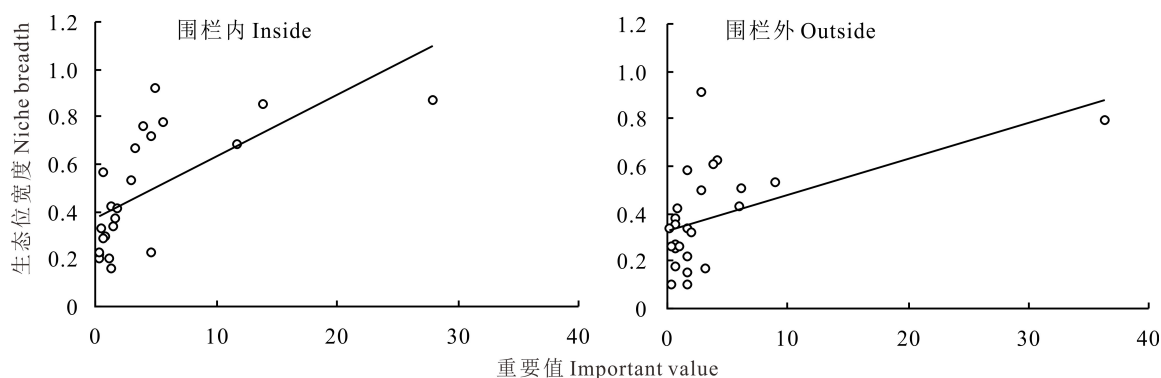


图3 围栏内外生态位宽度与重要值的相关关系

Fig. 3 Correlation between niche breadth and important value inside and outside the enclosure

## 2.4 围栏封育对生态位重叠的影响

生态位重叠体现了种群之间对于相同等级资源利用的相似程度和空间上的配置关系,较高的生态位重叠代表了种群之间对环境资源具有相似的生态学要求,因此可能会存在激烈的竞争<sup>[24]</sup>。从表2可以看出,围栏内生





态位重叠值为 0.000 的种对有 13 种,占总种对数的 5.14%;生态位重叠值在 0.000~0.300 的种对有 61 对,占总种对数的 24.11%。生态位重叠值在 0.300~0.850 的有 165 种对,占总种对数的 65.22%;生态位重叠值大于 0.850 的有 14 对种对,占总种对数的 5.53%,分别为羊草和日荫菅(0.875)、冷蒿和羽茅(0.885)、冷蒿和糙隐子草(0.856)、裂叶蒿和麻花头(0.850)、沙参和裂叶蒿(0.854)、囊花鸢尾和裂叶蒿(0.926)、麻花头和日荫菅(0.877)、沙参和麻花头(0.862)、细叶白头翁和麻花头(0.879)、囊花鸢尾和麻花头(0.872)、日荫菅和囊花鸢尾(0.854)、沙参和囊花鸢尾(0.883)、细叶白头翁和囊花鸢尾(0.860)、羽茅和糙隐子草(0.984)。生态位宽度最大的囊花鸢尾(0.921)与其他物种之间的重叠值均较高。生态位宽度均较小的羽茅(0.199)和糙隐子草(0.224)有着最高的重叠,但与其他大多数物种的重叠值较低。生态位重叠值大,说明两物种对资源的利用方式相似或对生境的要求基本一致。

由表 3 可知,围栏外的自由放牧样地内有 24 对种对的生态位重叠值为 0.000,占总种对数 8.00%;生态位重叠值在 0.000~0.300 共有 123 对种对,占总种对数的 41.00%;生态位重叠值在 0.300~0.850 共有 143 对种对,占总种对数的 47.67%;生态位重叠值大于 0.850 的有 10 种对,占总种对数的 3.33%,分别为羊草和羽茅(0.873)、裂叶蒿和羽茅(0.900)、狭叶青蒿和轮叶委陵菜(0.918)、麻花头和二裂委陵菜(0.980)、狭叶青蒿和针茅(0.861)、针茅和糙隐子草(0.861)、叉枝鸦葱和囊花鸢尾(0.899)、二裂委陵菜和菊叶委陵菜(0.978)、扁蓿豆和车前(0.942)。生态位重叠最大值出现在麻花头和二裂委陵菜之间,说明两个物种对环境资源具有相似的生态学要求。

在围栏内外生态位重叠值为 0 的植物种对,其对资源的利用方式具有较大差异,或者分布具有局限性,造成明显的生态位分化。在调查的 10 个样方中,这些物种的分布区域有限,而且出现频率极低,仅在 1~2 个样方中出现,导致与其他植物共存的概率低,所以出现生态位重叠值为 0 的情况。由表 4 可以得到,围栏封育增加了群落整体生态位重叠值,与对照相比,生态位重叠指数平均值增加了 25.57%。说明围栏封育为植物提供了更好的生存空间,使种群间利用资源接近,进而加剧了植物种间的竞争。围栏外的自由放牧区,牲畜的啃食与践踏,促使生态位分化,降低了资源的利用和物种间的竞争。

### 3 讨论

物种多样性是维持草地生态系统稳定和生产力的基础<sup>[25]</sup>;生物量则是生态系统生产力的重要体现,更是整个生态系统运行的能量基础和营养物质来源<sup>[26]</sup>。前人的研究中关于植物多样性对封育时间的响应并未得到一致性的结论。有研究指出,围栏封育增加了物种多样性<sup>[27]</sup>,也有研究表明围栏封育使物种多样性降低<sup>[28]</sup>,还有研究指出封育对物种多样性没有显著性影响<sup>[29]</sup>。导致这些结论不同的主要因素包括封育前草地退化程度、草地类型或生境、封育时间以及放牧强度等差异<sup>[30]</sup>。本研究中围栏封育样地与围栏外自由放牧样地相比,围栏封育显著增加了群落地上生物量和地下生物量;同时也增加了物种多样性和物种丰富度,与左万庆等<sup>[31]</sup>围栏封育措施对退化羊草草原植物群落特征影响的结果一致。围栏封育是恢复退化草地的有效措施,可以改善生境,为植物群落中减少或消退的物种再次入侵创造了条件。

生态位宽度和生态位重叠是影响物种多样性及群落结构的决定因素,都在一定程度上反映了植物自身的特性和对环境的适应性,二者既有联系,又有区别<sup>[32]</sup>。生态位宽度是衡量植物种对环境资源利用状况的一个指标,反映某一种群对环境的适应性,其值大小表示占有资源的强弱<sup>[33]</sup>;生态位重叠表示种群间对资源的共享能力及环境资源的利用状况,反映种群间的竞争关系和分布地段的交错程度,生态位重叠值的大小表示植物利用资源方式的相似性<sup>[34]</sup>。相关研究表明,生态位宽度越大,对环境的适应能力越强,同时伴随着较高的生态位重叠,生态位宽度较小的物种则因对资源的利用能力较弱,分布较窄而与其他物种间有较低的生态位重叠,但由于环境资源

表 4 围栏内外所有物种生态位重叠指数平均值

Table 4 Average niche overlap index of all the species inside and outside the enclosure

处理 Treatment	生态位重叠指数平均值 Average value of niche
围栏内 Inside	0.442
围栏外 Outside	0.352

存在高度的空间异质性或者不同演替阶段的竞争特点存在差异,较高的生态位重叠值也会出现在生态位宽度较小的物种间<sup>[35]</sup>。

种群生态位除受自身特性制约外,群落海拔、土壤湿度和人为干扰等主要环境因子对种群生态位也有重要影响<sup>[36]</sup>。目前,围栏封育和放牧是人类在草地生态系统管理利用实践中的主要干扰类型,对生态系统过程产生重要影响。本研究结果显示,围栏封育样地内生态位排在前2位的植物为囊花鸢尾和羊草,其中囊花鸢尾是密丛型草本植物,对资源有着较强的利用能力,羊草为群落中的优势种,优势种在创建植物群落内部独特的环境和决定群落种类组成方面有着重要作用<sup>[24]</sup>。放牧由于牲畜的选择性采食和践踏改变草地植物种群分布,从而影响着草地种群生态位特征<sup>[8]</sup>。自由放牧样地内的一些适口性好的高大型牧草生态位降低,从而为牲畜不喜食或是耐牧强、耐践踏的低矮型植物种的生存拓宽了空间,增强了对资源的利用力;本研究中的蒲公英,因其极强的生命力、耐贫瘠等特性,在自由放牧样地内表现出最大的生态位宽度值;寸草苔为下繁草,耐践踏,繁殖能力强,其生态位宽度值次之。研究还发现围栏封育样地内的植物种生态位重叠值大于0.850和处于0.300~0.850的种对分别比围栏外的自由放牧样地增加1.80%和17.88%。由此可见,围栏封育避免外界干扰,为生境提供了一个休养生息的机会,使植物种群间利用资源接近,进而加剧了植物种间竞争。

#### 4 结论

- 1) 围栏封育相较于自由放牧可以显著提高草地生产力,对物种多样性也有一定的促进作用,是应对退化温性草甸草原恢复的有效措施。
- 2) 与自由放牧比,围栏封育显著增加了草地优势种羊草的生态位宽度(增幅为63.39%)。
- 3) 围栏封育相较于自由放牧增加了植物群落内物种整体生态位重叠值和植物种间竞争。

#### 参考文献 References:

- [1] Chen B R, Zhu L B, Li G, *et al.* Analysis of vegetation characteristics under different grazing intensities in Hulunber meadow steppe. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2010, 31(4): 67-71.  
陈宝瑞, 朱立博, 李刚, 等. 呼伦贝尔草甸草原不同放牧强度下植被特征分析. *中国农业资源与区划*, 2010, 31(4): 67-71.
- [2] Liu Z Y, Wang X G, Wei H W, *et al.* Effects of nitrogen supplementation on forage yield and quality of a degraded grassland in Hulunbuir, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(9): 2992-2998.  
刘卓艺, 王晓光, 魏海伟, 等. 氮素补给对呼伦贝尔草甸草原退化草地牧草产量和品质的影响. *应用生态学报*, 2019, 30(9): 2992-2998.
- [3] Lü S H, Lu X S, Gao J X. Responses of soil fauna to environment degeneration in the process of wind erosion desertification of Hulunbeir steppe. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(9): 2055-2060.  
吕世海, 卢欣石, 高吉喜. 呼伦贝尔草地风蚀沙化土壤动物对环境退化的响应. *应用生态学报*, 2007, 18(9): 2055-2060.
- [4] Nie Y Y, Du G M, Wang G Q, *et al.* Effects of enclosure on species diversity of community in Hulunbuir meadow steppe. *Chinese Journal of Grassland*, 2016, 38(6): 106-110.  
聂莹莹, 杜广明, 王国庆, 等. 围栏封育对呼伦贝尔草甸草原群落物种多样性的影响. *中国草地学报*, 2016, 38(6): 106-110.
- [5] Liu X D, Li R, Zhang K B, *et al.* Diversity of plant species and communities complexity in artificial fencing region of semi-arid area. *Ecology and Environmental Sciences*, 2014, 23(7): 1093-1101.  
刘小丹, 李瑞, 张克斌, 等. 半干旱区人工封育草场植物群落物种多样性与复杂性研究——以宁夏盐池为例. *生态环境学报*, 2014, 23(7): 1093-1101.
- [6] Jia X N, Cheng J M, Wan H E. Change of species diversity on typical *Stipa bungeana* community restoration and succession in the Yunwu Mountain. *Acta Prataculturae Sinica*, 2008, 17(4): 12-18.  
贾晓妮, 程积民, 万惠娥. 云雾山本氏针茅草地群落恢复演替过程中的物种多样性变化动态. *草业学报*, 2008, 17(4): 12-18.
- [7] Jiang D M, Miao R H, Ya T M X, *et al.* Effects of fence enclosure on vegetation restoration and soil properties in Horqin sandy land. *Ecology and Environment Sciences*, 2013, 22(1): 40-46.  
蒋德明, 苗仁辉, 押田敏雄, 等. 封育对科尔沁沙地植被恢复和土壤特性的影响. *生态环境学报*, 2013, 22(1): 40-46.
- [8] 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. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(9): 43–52.
- 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. *草业学报*, 2015, 24(9): 43–52.
- [9] Peng W J, Wang X M. Concept and connotation development of niche and its ecological orientation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(1): 327–334.
- 彭文俊, 王晓鸣. 生态位概念和内涵的发展及其在生态学中的定位. *应用生态学报*, 2016, 27(1): 327–334.
- [10] Abtams P A. Alternative models of character displacement and niche shift I. Adaptive shifts in resource use when there is competition for nutritionally non substitutable resources. *Evolution*, 1987, 41(3): 651–661.
- [11] Liu J K, Zhang K B, Wang L L, *et al.* Vegetation niche of enclosed grassland in semi-arid area—Taking Yanchi of Ningxia as an example. *Ecology and Environment Sciences*, 2014, 23(5): 762–768.
- 刘建康, 张克斌, 王黎黎, 等. 半干旱区人工封育草场植被群落生态位研究—以宁夏盐池县长期定位监测点为例. *生态环境学报*, 2014, 23(5): 762–768.
- [12] Chesson P. Mechanisms of maintenance of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2000, 31: 343–366.
- [13] Chen L, Xin J N, Su Y, *et al.* Effects of heterogeneous habitats on community composition and niche characteristics of different plant populations in the desert steppe of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(17): 6187–6205.
- 陈林, 辛佳宁, 苏莹, 等. 异质生境对荒漠草原植物群落组成和种群生态位的影响. *生态学报*, 2019, 39(17): 6187–6205.
- [14] Guo P P, Shui W, Jiang C, *et al.* Niche characteristics of understory dominant species of talus slope in degraded tiankeng. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(11): 3635–3645.
- 郭平平, 税伟, 江聪, 等. 退化天坑倒石坡林下优势物种生态位特征. *应用生态学报*, 2019, 30(11): 3635–3645.
- [15] Chen Z Y, Xie Y X, Liu M. Responses of aboveground biomass and species richness to environmental factors in a fenced alpine grassland. *Pratacultural Science*, 2019, 36(4): 1000–1009.
- 陈智勇, 谢迎新, 刘苗. 围栏封育高寒草地植物地上生物量和物种多样性对关键调控因子的响应. *草业科学*, 2019, 36(4): 1000–1009.
- [16] Liu X M, Nie X M. Effects of enclosure on the quantitative characteristics of alpine vegetation. *Pratacultural Science*, 2012, 29(1): 112–116.
- 刘雪明, 聂学敏. 围栏封育对高寒草地植被数量特征的影响. *草业科学*, 2012, 29(1): 112–116.
- [17] Liu F C, Li H L, Dong Z, *et al.* Advances in research on enclosure effects on vegetation restoration and soil physicochemical property of degraded grassland. *Science of Soil and Water Conservation*, 2012, 10(5): 116–122.
- 刘凤婵, 李红丽, 董智, 等. 封育对退化草原植被恢复及土壤理化性质影响的研究进展. *中国水土保持科学*, 2012, 10(5): 116–122.
- [18] Deng B, Ren G H, Liu Z Y, *et al.* Effect of 3-year fencing on soil seed banks of three alpine grassland communities. *Acta Prataculturae Sinica*, 2012, 21(5): 23–31.
- 邓斌, 任国华, 刘志云, 等. 封育三年对三种高寒草地群落土壤种子库的影响. *草业学报*, 2012, 21(5): 23–31.
- [19] Li X B, Chen L, Li G Q, *et al.* Influence of enclosure on *Glycyrrhiza uralensis* community and distribution pattern in arid and semi-arid areas. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(13): 3995–4001.
- 李学斌, 陈林, 李国旗, 等. 干旱半干旱地区围栏封育对甘草群落特征及其分布格局的影响. *生态学报*, 2013, 33(13): 3995–4001.
- [20] Luo J F, Zhou J X, Zhao W X, *et al.* Effects of fences on functional groups and stability of the alpine meadow plant community in the Qinghai–Tibet Plateau. *Pratacultural Science*, 2017, 34(3): 565–574.
- 罗久富, 周金星, 赵文霞, 等. 围栏措施对青藏高原高寒草甸群落结构和稳定性的影响. *草业科学*, 2017, 34(3): 565–574.
- [21] Liu J Z, Chen Y N, Zhang Y M. Niche characteristics of plants on four environmental gradients in middle reaches of Tarim River. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(4): 8–14.
- 刘加珍, 陈亚宁, 张元明. 塔里木河中游植物种群在四种环境梯度上的生态位特征. *应用生态学报*, 2004, 15(4): 8–14.
- [22] Wang G Q, Du G M, Nie Y Y, *et al.* Niche dynamics of dominant species during restoration process of meadow steppe in enclosure. *Chinese Journal of Grassland*, 2017, 39(6): 74–80.
- 王国庆, 杜广明, 聂莹莹, 等. 草甸草原封育演替过程中主要植物种群生态位动态分析. *中国草地学报*, 2017, 39(6): 74–80.
- [23] Bai X H, Zhang J T. Niche analysis of dominant species of forest community in Xiaowutai Mountain, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(12): 4–15.
- 白晓航, 张金屯. 小五台山森林群落优势种的生态位分析. *应用生态学报*, 2017, 28(12): 4–15.

- [24] Zheng W, Dong Q M, Li S H, *et al.* Effects of grazing on niche of major plant populations in alpine steppe in Qinghai Lake Region. *Pratacultural Science*, 2013, 30(12): 2040—2046.  
郑伟, 董全民, 李世雄, 等. 放牧对环青海湖高寒草原主要植物种群生态位的影响. *草业科学*, 2013, 30(12): 2040—2046.
- [25] Song M H, Liu L P, Chen J, *et al.* Biology, multi-function and optimized management in grassland ecosystem. *Ecology and Environmental Sciences*, 2018, 27(6): 1179—1188.  
宋明华, 刘丽萍, 陈锦, 等. 草地生态系统生物和功能多样性及其优化管理. *生态环境学报*, 2018, 27(6): 1179—1188.
- [26] Zhao F, Xie Y H, Ma H B, *et al.* Effects of enclosure on species diversity and soil organic matter of typical steppe. *Pratacultural Science*, 2011, 28(6): 887—891.  
赵菲, 谢应忠, 马红彬, 等. 封育对典型草原植物群落物种多样性及土壤有机质的影响. *草业科学*, 2011, 28(6): 887—891.
- [27] Shi H X, Fan Y J, Hou X Y, *et al.* Analysis of plant community characteristics of *Kobresia pygmaea* meadow in the three Headwaters under fencing and grazing. *Chinese Journal of Grassland*, 2014, 36(3): 67—72.  
石红霄, 范月君, 侯向阳, 等. 三江源区围栏与放牧高山嵩草草甸植物群落特征分析. *中国草地学报*, 2014, 36(3): 67—72.
- [28] Yan Y C, Tang H P. Effects of enclosure on typical steppe community properties in Inner Mongolia. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2007, 27(6): 1225—1232.  
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.
- [29] 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.
- [30] Yang H L, Sun Z J, Chen Y P. Effects of enclosure years on the grassland community characteristics and pasture mass index of *Seriphidium transiliense* desert grassland. *Acta Agrestia Sinica*, 2015, 23(2): 252—257.  
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. *草地学报*, 2015, 23(2): 252—257.
- [31] Zuo W Q, Wang Y H, Wang F Y, *et al.* Effects of enclosure on the community characteristics of *Leymus chinensis* in degenerated steppe. *Acta Prataculturae Sinica*, 2009, 18(3): 12—19.  
左万庆, 王玉辉, 王凤玉, 等. 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.
- [32] Wang H, Xie Y S, Cheng J M, *et al.* Allelopathic effects of *Artemisia sacrorum* population in typical steppe based on niche theory. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(3): 673—678.  
王辉, 谢永生, 程积民, 等. 基于生态位理论的典型草原铁杆蒿种群化感作用. *应用生态学报*, 2012, 23(3): 673—678.
- [33] Cheng Z Q, Zhang K B, Chang J, *et al.* Vegetable niche of different enclosure measures in Yanchi County, Ningxia. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(7): 1537—1542.  
程中秋, 张克斌, 常进, 等. 宁夏盐池不同封育措施下的植物生态位研究. *生态环境学报*, 2010, 19(7): 1537—1542.
- [34] Li Z L, Qin W H, Zhou S B, *et al.* Study on plant niche under fencing measures in the semi-arid grassland of North China. *Acta Agrestia Sinica*, 2014, 22(6): 1186—1193.  
李中林, 秦卫华, 周守标, 等. 围栏封育下华北半干旱草原植物生态位研究. *草地学报*, 2014, 22(6): 1186—1193.
- [35] 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. *Pratacultural Science*, 2016, 33(7): 1391—1402.  
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. *草业科学*, 2016, 33(7): 1391—1402.
- [36] Li B, Li S Q, Zhang J T. A study on niches of dominant species of subalpine meadow in the Yunding Mountain. *Acta Prataculturae Sinica*, 2010, 19(1): 6—13.  
李斌, 李素清, 张金屯. 云顶山亚高山草甸优势种群生态位研究. *草业学报*, 2010, 19(1): 6—13.