

DOI: 10.5846/stxb201903180506

赵丽娅, 钟韩珊, 齐开, 梅新. 围封和放牧对科尔沁沙地植物群落种间关联的影响. 生态学报, 2021, 41(9): 3724-3733.

Zhao L Y, Zhong H S, Qi K, Mei X. Effects of enclosure and grazing on interspecific association of plant communities in Horqin Sandy Land, Inner Mongolia. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(9): 3724-3733.

围封和放牧对科尔沁沙地植物群落种间关联的影响

赵丽娅, 钟韩珊, 齐开, 梅新*

湖北大学资源环境学院, 武汉 430062

摘要:为明确围封和放牧对科尔沁沙地植物群落种间关联的影响,在对植物群落进行样方调查的基础上,采用方差比率法(VR)、 χ^2 检验、Ochiai 指数、Spearman 秩相关分析对种间关联性及相关性进行研究,得出如下结论:(1)围封和放牧改变了群落物种组成,围封群落出现 30 个物种,主要物种 16 个;放牧群落出现物种 21 个,主要物种 13 个。(2)VR 值显示围封和放牧群落总体均呈正关联性, χ^2 检验表明围封群落正联结显著率大于负联结显著率,主要物种间显著联结率为 27.5%,放牧群落仅有显著正联结种对 4 个,占 6.06%,OI 值与 χ^2 检验结果基本一致。(3)Spearman 秩相关分析表明,围封群落显著正相关对数略高于显著负相关对数,放牧群落则相反,且围封群落显著相关水平种对占比(44.17%)高于放牧群落(12.82%),故围封群落处于稳定发展阶段,而放牧群落处于退化阶段。

关键词:围封;放牧;植物群落;种间联结

Effects of enclosure and grazing on interspecific association of plant communities in Horqin Sandy Land, Inner Mongolia

ZHAO Liya, ZHONG Hanshan, QI Kai, MEI Xin*

School of Resources and Environmental Science, Hubei University, Wuhan 430062, China

Abstract: Interspecific association is one of the important quantitative and structural characteristics of plant communities. Inter-species linkage analysis is an effective way of understanding the community composition and interspecific relationship. In the Horqin Sandy Land of Inner Mongolia in China, vegetation restoration occurs under proper management regimes in fragile environmental conditions, e. g., enclosing and non-grazing. However, little is known about the interspecific association in the area. Therefore, a field experiment was performed to examine the effects of enclosure and grazing on interspecific association of plant communities. And we compared the species associations of dominant and companion species in grassland plots with the ten-year enclosure and grazing. In 2014, the grazed and enclosed (ten years) communities were selected as experimental sites. At each site, two parallel 250 m line transects (20 m apart) were established. For each transect, 25 sampling points of 1 m $\times$ 1 m were established at 10 m intervals. At each of the 100 sampling points, the species composition, coverage, and height were surveyed. By analyzing the original data, the interspecific association of species and the overall association of herbaceous community were calculated. Based on the sample survey of plant communities, the interspecific association and correlation were studied by variance ratio method (VR), χ^2 test, Ochiai index (OI), and Spearman rank correlation analysis. The conclusions are as follows: (1) Both enclosure and grazing changed community species composition, with 30 species and 16 major species appearing in the enclosed community and 21 species and 13 main species in grazing communities. (2) The VR value showed a positive correlation between the enclosing

基金项目:湖北省教育厅重点项目(D2015003);区域开发与环境响应湖北省重点实验室;生物资源绿色转化湖北省协同创新中心

收稿日期:2019-03-18; **网络出版日期:**2021-03-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: meixin@hubu.edu.cn

community and the grazing community as a whole. According to the χ^2 test, the positive association of the enclosing community was higher than that of negative association. The positive association among major species was 27.5% while the numbers of the species with positive association in the grazing community was only 4, accounting for 6.06%. The result of OI value was basically consistent with that of χ^2 test results. (3) Spearman rank correlation analysis exhibited that the number of species with positive association of the enclosed community was slightly higher than that of negative association. However, the result of grazed community was completely opposite and the significantly correlated level in the enclosed community (44.17%) was higher than that of the grazing community (12.82%). The results indicated that the enclosed community was in a stable development stage while the grazed community was in a degraded stage.

Key Words: Enclosure; grazing; plant community; interspecific association

种间联结是植物群落重要的数量和结构特征之一,通常是以物种的存在与否为依据,群落生境的差异会影响其变化^[1-3]。种间正联结表示相互作用的物种之间对一方或者双方是有利的,负联结表明不利于一方或对双方都不利^[4]。因此分析种间联结性可以确定种群的种间关系,是探讨群落稳定性与演替过程中种间关系动态变化的有效途径^[5-6]。目前,国内外关于植物种间联结研究颇多,国外更多聚焦于资源上的竞争关系或者是物种间的促进关系,例如 Levine 等认为多竞争者系统中的共存机制对维持群落物种多样性有重要的作用^[7];Harpole 等研究来自 6 个大陆的 45 个草地样地,发现增加资源会降低物种生态位^[8]。国内研究则是注重于探讨植物种群种间关系特点,例如吴艳玲等研究表明随着放牧强度的增加,植物群落总体关联性呈正联结的变化趋势^[9];江沙沙等认为随封育年限增加,蒿类荒漠植物群落成对物种间负关联种对占总物种对的比例增加,群落内部竞争增强,但也增加了群落的稳定性^[10]。

科尔沁沙地属于较脆弱的干旱荒漠生态系统,由于长期超载放牧导致植被减少,现已采用围栏禁牧等方式恢复其生态功能,为维持其生态系统功能和实现可持续发展,应对该区域的植物群落进行分析。目前对于科尔沁沙地的研究大多在群落特征及多样性上,鲜少有关于植物种间联结性的报道^[11]。种间联结分析可以表明植物群落的种间关系,进而为科尔沁沙地植物群落恢复过程中的种群配置和管理提供科学依据。因此,选择通过研究放牧和围封植物群落种间关联的差异,阐明两种干扰方式对沙地生态系统物种的影响,了解群落组成结构并揭示群落种间关系。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于科尔沁沙地中南部的奈曼旗中国科学院奈曼沙漠化研究站境内。地理位置 120°41'E,42°54'N。该区属半干旱气候,年平均降水量 366 mm,年蒸发量 1935 mm,年均气温 6.5℃,1 月平均气温 -12.7℃,7 月平均气温 23.7℃,≥10℃ 积温 3000℃ 以上,无霜期 150 d。土壤类型为沙质栗钙土,被破坏后则退化为流动风沙土,沙土基质分布广泛,风沙活动强烈^[12]。近年来,随着土地沙漠化的态势得到扭转,沙地植被得以恢复并向稳定的植被类型演替。

1.2 野外调查方法

2014 年 8 月,在科尔沁沙地中南部选择自由放牧和围封保护的缓起伏沙质草地为实验样地,对试验区进行了植被调查。围封样地(10 年前自由放牧,之后围封恢复)面积约 4 hm²,地表流沙面积低于 10%,地表覆盖固定风沙土或沙质栗钙土或已形成较厚的土壤结皮,植被盖度大于 40%,主要物种是猪毛菜(*Salsola collina*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)等。放牧样地是公共自由放牧区,放牧强度大约 2 头牛/hm²+6 头羊/hm²,地表流沙面积大于 10%,地表已有结皮,但结皮数量较少,植被盖度低于 20%。主要植物有大果虫实(*Corispermum macrocarpum*)、狗尾草(*Setaria viridis*)和差巴嘎蒿(*Artemisia halodendron*)等。

分别在每个群落的典型地段等距离 (20 m, 南北向) 设置 2 条长 250 m 的样带, 在每条样带上等距离 (10 m) 设置 25 个固定样点, 每个样地 50 个样点, 两个样地共计 100 个样点。样点旁设置面积 1 m×1 m 的草本样方, 用针刺法调查草本植物的种类、高度和盖度等。在调查的 100 个样方中, 围封群落共出现 30 个物种, 放牧群落 21 个物种, 选取 17 个主要物种进行种间关联分析 (表 1)。

表 1 沙地植物群落主要物种、序号

Table 1 The main species and serial number of the sandy plant communities

种名代号 Species code	物种名 Species name	种名代号 Species code	物种名 Species name
Pa	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	Ep	画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>
Cg	灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	Aa	三芒草 <i>Aristida adscensionis</i>
Mr	扁蓿豆 <i>Melissilus ruthenicus</i>	Ds	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>
Bd	五星蒿 <i>Bassia dasyphylla</i>	As	黄蒿 <i>Artemisia scoparia</i>
Pc	白草 <i>Pennisetum centrasaticum</i>	Cv	虎尾草 <i>Chloris virgata</i>
Sc	猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	Cm	大果虫实 <i>Corispermum macrocarpum</i>
Cs	糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	Ah	差巴嘎蒿 <i>Artemisia halodendron</i>
Sv	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	Ol	白山薊 <i>Olgaea leucophylla</i>
Ld	达乌里胡枝子 <i>Lespedeza davurica</i>		

1.3 数据分析方法

统计两群落的物种在各样方中出现的频度, 以此排除偶见种, 把主要成对物种列入 2×2 列联表, 物种在各样方内的出现情况作为原始数据进行分析, 计算种间联结性, 并进行 χ^2 检验和各种对间的 Ochiai 指数的计算, 同时利用方差比率法计算草本群落的整体联结性, 用定量数据 (优势度) 对种间关系进行 Spearman 秩相关分析^[3]。

1.3.1 重要值和优势度^[13]

$$IV = \text{相对密度} + \text{相对频度} + \text{相对高度} + \text{相对盖度}$$

$$DS = IV / 4 \times 100$$

式中, IV 是物种的重要值 (Important Value), DS 为物种的优势度 (Dominance of species)。

1.3.2 总体关联性检验

通常采用 Schluter 的方差比率 (VR) 检验多个物种间总体关联的显著性。

$$VR = S_r^2 / \delta_r^2$$

式中, 总样本方差: $\delta_r^2 = \sum P_i (1 - P_i)$; 总种数方差: $S_r^2 = 1/N \sum (T_j - t)^2$; $P_i = n_i / N$, $t = (T_1 + T_2 + \dots + T_N) / N$; T_j 为第 j 样方物种总和, P_i 指某物种出现的样方数占总样方数的比例, n_i 为第 i 物种出现的样方数, N 为样方总数。 $VR = 1$, 则所有物种种间无关联; $VR > 1$, 则种间表现出正联结; $VR < 1$ 则表现出负联结。 $\Omega (\omega = VR \times N)$ 是检验 VR 显著程度的统计量, 若 ω 落入 χ^2 分布给出的界限内 ($\chi^2_{0.95}(N) < \omega < \chi^2_{0.05}(N)$), 则种间关联不显著。

1.3.3 物种种间关联分析

基于 2×2 列联表的 χ^2 统计量, 检验物种间的联结性及显著性。由于取样的非连续性, 会造成偏低估计, 可以用 Yates 的连续校正系数来校正, 其公式为:

$$\chi^2 = \frac{N [| ad - bc | - 0.5N]^2}{(a+b)(a+c)(c+d)(b+d)}$$

式中, a 表示两个种均出现的样方数, b 表示物种 B 出现而物种 A 不出现的样方数, c 表示物种 A 出现而物种 B 不出现的样方数, d 表示两个物种均不出现的样方数。通常当 $\chi^2 > 6.635$, 即 $P < 0.01$ 时, 认为种间联结极显著; 当 $3.841 < \chi^2 < 6.635$, 即 $0.01 < P < 0.05$ 时, 认为种间联结显著; 当 $\chi^2 < 3.841$ 时, 即 $P > 0.05$ 时, 认为种间联结不显著。当 $ad < bc$ 时为负联结, $ad > bc$ 时为正联结。

1.3.4 Ochiai 指数测定种间关联程度

Ochiai 指数(OI)表示种对的联结性程度和相伴随机出现的几率,是一个在 0 与 1 之间变化的无中心指数,指数越大,种对同时出现在样方中的几率越大。

$$OI = \frac{a}{(\sqrt{a+b} \times \sqrt{a+c})}$$

1.3.5 相关性分析

用定量数据(优势度)对种间关系进行 Spearman 秩相关分析^[14],计算公式如下:

$$r(i, k) = 1 - \frac{6 \sum_{j=1}^N d_j^2}{N^3 - N}$$

其中,

$$d_j = x_{ij} - x_{kj}$$

式中, $r(i, k)$ 为 Spearman 秩相关系数; N 为样方数; x_{ij} 和 x_{kj} 分别为种 i 和 k 在样方 j 中的秩(优势度)。

2 结果与分析

2.1 群落物种存在状况、频度和优势度

围封群落共计物种数 30,优势种有三芒草(*Aristida adscensionis*)、狗尾草、白草(*Pennisetum centrasiatricum*)、芦苇(*Phragmites australis*)、猪毛菜、达乌里胡枝子和黄蒿(*Artemisia scoparia*)等,优势度占比 58.08%。放牧群落物种数 21,优势种是狗尾草、大果虫实和差巴嘎蒿等,优势度占比 56.36%。围封和放牧群落均以禾本科、藜科、豆科及菊科植物为主,围封群落中,禾本科、藜科、豆科及菊科植物的优势度占比 90.33%,优势度大于 1 的物种数为 16;放牧群落中,禾本科、藜科、豆科及菊科植物的优势度占比 87.60%,优势度大于 1 的物种数为 13。其中,禾本科和豆科植物的优势度,围封比放牧群落高,分别增加了 26.26%和 123.32%。此外,放牧和围封对优势物种频率影响均较大,围封群落优势物种出现频率的变动幅度在 14%—44%之间,放牧群落的变动幅度在 10%—46%之间,其他物种频率变化情况详见表 2。

表 2 围封和放牧群落植物种的存在状况、频度和优势度

Table 2 Existence conditions, frequency and DS of plant species in enclosure and grazing communities

植物名称 Species	围封 Enclosed			放牧 Grazed		
	存在情况 Existence conditions	频度 Frequency/%	优势度 Dominance	存在情况 Existence conditions	频度 Frequency/%	优势度 Dominance
禾本科 Gramineae			41.319			32.726
芦苇 <i>Phragmites australis</i>	✓	40	4.556	✓	20	1.908
白草 <i>Pennisetum centrasiatricum</i>	✓	44	5.225	✓	4	0.466
糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	✓	24	1.831	—	—	—
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	✓	88	12.892	✓	98	15.854
画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	✓	42	3.505	✓	10	1.951
野黍 <i>Eriochloa villosa</i>	✓	8	0.733	—	—	—
三芒草 <i>Aristida adscensionis</i>	✓	52	7.923	✓	38	6.767
马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	✓	36	1.839	✓	60	4.934
虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	✓	26	2.397	—	—	—
赖草 <i>Leymus secalinus</i>	✓	6	0.418	✓	6	0.846
藜科 Chenopodiaceae			30.015			37.926
灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	✓	30	4.106	—	—	—
五星蒿 <i>Bassia dasyphylla</i>	✓	50	3.044	✓	40	3.307
猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	✓	84	16.605	✓	64	4.211

续表

植物名称 Species	围封 Enclosed			放牧 Grazed		
	存在情况 Existence conditions	频度 Frequency/%	优势度 Dominance	存在情况 Existence conditions	频度 Frequency/%	优势度 Dominance
大果虫实 <i>Corispermum macrocarpum</i>	√	54	6.260	√	100	30.408
豆科 Leguminosae			8.716			3.903
狭叶米口袋 <i>Gueldenstaedtia verna</i>	√	10	0.436	—	—	—
扁蓿豆 <i>Melissilus ruthenicus</i>	√	12	1.503	√	12	1.930
山竹岩黄芩 <i>Hedysarum fruticosum</i>	√	2	0.292	√	4	0.659
达乌里胡枝子 <i>Lespedeza davurica</i>	√	56	6.485	√	12	1.314
菊科 Compositae			10.411			13.922
黄蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	√	40	4.453	—	—	—
大籽蒿 <i>Artemisia sieversiana</i>	√	2	0.129	—	—	—
差巴嘎蒿 <i>Artemisia halodendron</i>	√	22	5.254	√	46	10.663
苦苣菜 <i>Ixeris polycephala</i>	√	4	0.193	—	—	—
白山蓟 <i>Olgaea leucophylla</i>	√	10	0.382	√	16	1.554
细叶苦苣菜 <i>Ixeris gracilis</i>	—	—	—	√	14	1.705
其他科植物 others			9.688			12.525
地锦 <i>Euphorbia humifusa</i>	√	48	3.902	√	50	5.121
地稍瓜 <i>Cynanchum thesioides</i>	√	36	2.030	√	34	3.013
柳穿鱼 <i>Linaria vulgaris</i>	—	—	—	√	14	3.114
防风草 <i>Saposhnikovia divaricata</i>	—	—	—	√	2	0.595
蒺藜 <i>Tribulus terrester</i>	√	18	1.595	√	2	0.682
太阳花 <i>Erodium stephanianum</i>	√	6	0.585	—	—	—
鹅绒萎陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	√	16	1.101	—	—	—
田旋花 <i>Convolvulus arvensis</i>	√	6	0.274	—	—	—
问荆 <i>Equisetum arvense</i>	√	2	0.201	—	—	—

√: 样地中有该种植物;—: 样地中无该种植物

2.2 群落总体关联性分析

种间的总体关联性反映了群落的稳定性^[15]。由表 3 可知,围封和放牧群落总体关联性的方差比率值 VR 均大于 1,且检验统计量 ω 在临界值范围外,故围封和放牧群落整体均表现出显著的正关联性。

表 3 围封和放牧群落整体关联性变化

Table 3 Dynamics of overall associations in enclosure and grazing communities

群落类型 Type of community	方差比率 Variance ratio	检验统计量 Statistic ω	χ^2 临界值 χ^2 threshold value	结果 Result
围封 Enclosed	1.65	82.5	[34.76, 67.5]	显著正联结
放牧 Grazed	1.95	97.5	[34.76, 67.5]	显著正联结

2.3 种间联结性分析

χ^2 检验结果(图 1)显示,围封群落 16 个主要物种共组成 120 个种对,正联结种对 78 个,占 65%;负联结种对 42 个,占 35%,且正联结显著率(16.67%)大于负联结显著率(10.83%)。放牧群落中,大果虫实在每个样方中均出现,无法与其他物种进行 χ^2 检验,故 13 个主要物种组成 66 个种对,正联结种对 41 个,占 62.12%;负联结种对 25 个,占 37.88%;从显著性来看,显著正联结的种对有 4 个(占 6.06%),没有显著负联结的种对。两个群落同时出现的种对 55 个,其中有 33 对的联结性或显著性发生了改变。

比较发现,围封群落主要物种间联结性显著的种对数较多,且优势种芦苇-白草、黄蒿、猪毛菜-达乌里胡枝子、黄蒿、三芒草-猪毛菜、达乌里胡枝子均是显著正联结,究其原因可能是:(1)一个物种依赖于另一个物

种,由此形成了共生的种间关系,如猪毛菜-达乌里胡枝子,这是灌木对草本的促进作用;(2)物种对环境条件有相似的适应和反应,如三芒草-猪毛菜等;显著负联结多表现在优势种与大果虫实、差巴嘎蒿间,是因为这些物种之间适应的环境状况存在差异^[16-18]。放牧群落的物种间联结性较弱,仅猪毛菜-五星蒿,三芒草-画眉草、达乌里胡枝子,狗尾草-白草呈显著正联结,而优势种狗尾草、差巴嘎蒿间,优势种与其他物种间关系均不明显,说明种间虽然具有一定的关联性,但仍存在较大的独立分布格局^[19]。

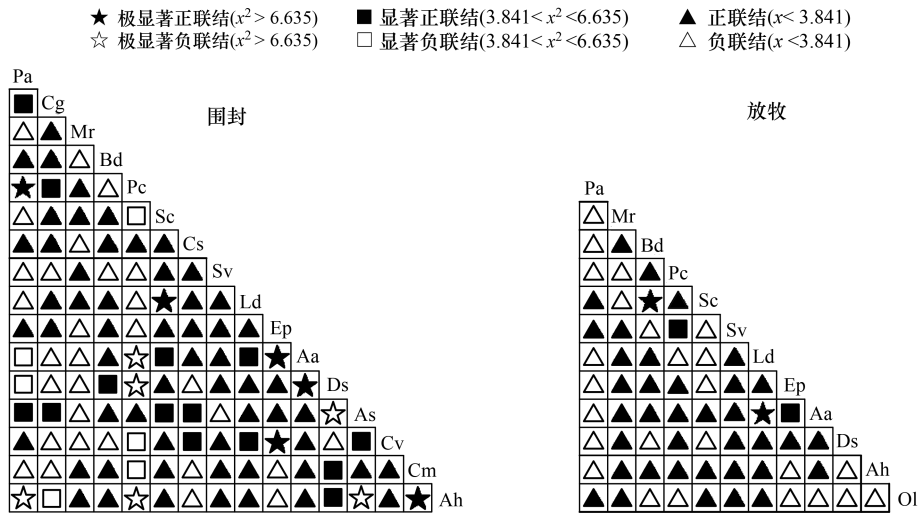


图 1 围封和放牧群落 χ^2 检验半矩阵图

Fig.1 The semi-matrix of the χ^2 test in enclosure and grazing communities

Pa: 芦苇 *Phragmites australis*; Ep: 画眉草 *Eragrostis pilosa*; Cg: 灰绿藜 *Chenopodium glaucum*; Aa: 三芒草 *Aristida adscensionis*; Mr: 扁蓿豆 *Melissilus ruthenicus*; Ds: 马唐 *Digitaria sanguinalis*; Bd: 五星蒿 *Bassia dasyphylla*; As: 黄蒿 *Artemisia scoparia*; Pc: 白草 *Pennisetum centrasaticum*; Cv: 虎尾草 *Chloris virgata*; Sc: 猪毛菜 *Salsola collina*; Cm: 大果虫实 *Corispermum macrocarpum*; Cs: 糙隐子草 *Cleistogenes squarrosa*; Ah: 差巴嘎蒿 *Artemisia halodendron*; Sv: 狗尾草 *Setaria viridis*; Ol: 白山薹 *Olgaea leucophylla*; Ld: 达乌里胡枝子 *Lespedeza davurica*

2.4 种间关联程度分析

表 4 显示,围封群落共调查 120 个种对,放牧群落 78 个种对,两群落中同时出现的种对 66 对,其中有 36 对的关联程度发生了改变。总体上看,两群落的 *OI* 值大部分低于 0.6(围封群落占 81.83%,放牧群落占 82.04%),说明两个群落主要物种间的关联程度中等偏弱。此外,两群落中,优势物种之间的 *OI* 值较大,即关联程度较高,说明群落优势种同时出现的几率较大,而伴生种五星蒿、扁蓿豆、马唐等与其他物种呈较弱的关联性,说明这些物种相互排斥,在群落中同时出现几率较小。

对照 χ^2 检验结果,围封群落中表现出显著正联结的种对 *OI* 值较大,如达乌里胡枝子-猪毛菜等;表现出显著负相关的种对 *OI* 值较小,如芦苇-差巴嘎蒿等。放牧群落也有相同趋势,如显著正联结的猪毛菜-五星蒿 *OI* 值为 0.75,存在种对 χ^2 检验联结性不显著,但 *OI* 值较大的情况,如狗尾草-猪毛菜等(图 2)。

表 4 围封和放牧群落 Ochiai 指数 (*OI*) 统计表

Table 4 Ochiai indices (*OI*) of inter-specific associations in enclosure and grazing communities

群落类型 Type of community	0≤ <i>OI</i> <0.2		0.2≤ <i>OI</i> <0.4		0.4≤ <i>OI</i> <0.6		0.6≤ <i>OI</i> <0.8		0.8≤ <i>OI</i> <1	
	种对数 Species pairs	/%	种对数 Species pairs	/%	种对数 Species pairs	/%	种对数 Species pairs	/%	种对数 Species pairs	/%
围封 Enclosed	19	15.83	26	21.67	46	38.33	27	22.5	2	1.67
放牧 Grazed	17	21.79	32	41.02	15	19.23	13	16.67	1	1.28

2.5 Spearman 秩相关分析

群落物种的 χ^2 检验与 Spearman 秩相关分析(图 3、图 4)的趋势具有一致性,即 χ^2 检验中极显著联结种对在 Spearman 秩相关分析表现出同性质的极显著关系,如围封群落呈显著正联结的白草-芦苇、猪毛菜-黄蒿、达乌里胡枝子-三芒草以及优势种与糙隐子草、虎尾草间均呈极显著正相关,呈显著负联结的优势种与大果虫实、差巴嘎蒿和狗尾草间表现出极显著负相关;放牧群落优势种差巴嘎蒿、大果虫实及狗尾草间也没有显著相关关系,且优势种与其他物种也鲜有显著关系。

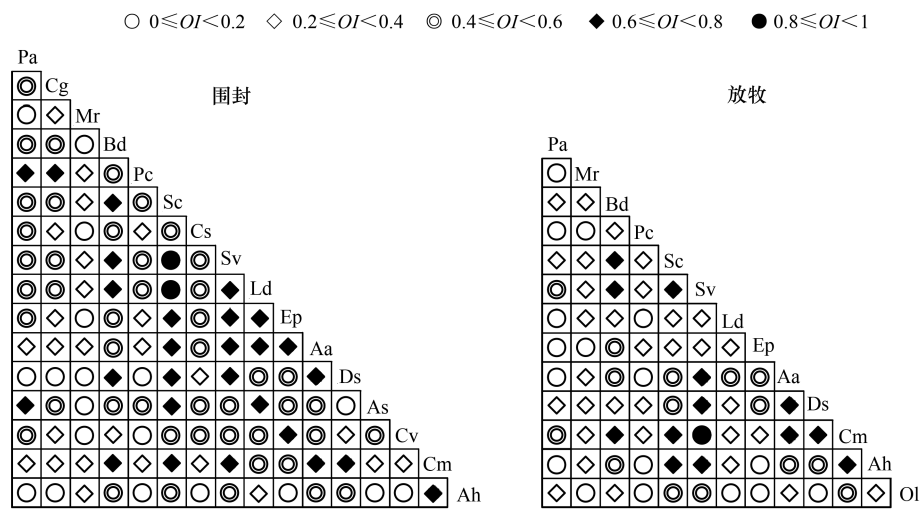


图 2 围封 a 和放牧 b 群落 Ochiai 指数 (OI) 半矩阵图

Fig.2 The semi-matrix of Ochiai indices (OI) for species in plots in enclosure and grazing communities

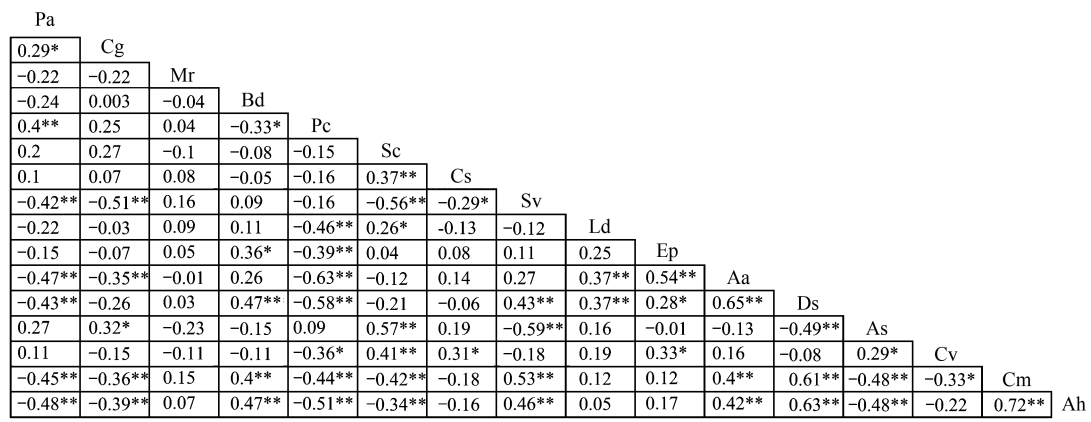


图 3 围封群落物种间 Spearman 相关分析半矩阵图

Fig.3 The semi-matrix of the Spearman correlation analysis for species in enclosure community

** $P \leq 0.01$; * $P \leq 0.05$

种间关联性是定性分析,而种间相关性是定量方法,后者的灵敏度较高^[20]。群落物种间 χ^2 检验的显著和极显著水平关联种对比例低于 Spearman 秩相关分析。且 χ^2 检验只能快速判定群落的稳定性及突出的种间关系,对相关性不显著的种对难以准确判定,而 Spearman 秩相关分析可明确植物空间分布的基本现状,检验结果更科学合理^[21]。围封群落 16 个物种间表现出显著正相关的种对 27 对,占 22.5%;表现出显著负相关的种对 26 对,占 21.67%。放牧群落 13 个物种间表现出显著正相关的种对 4 对,占 5.13%,表现出显著负相关的 6 对,占 7.69%。另外,同时在两群落出现的 66 对种对中,有 36 对的显著相关性发生了改变,有 29 对从放牧群落的不相关到围封群落的显著相关关系,还有大果虫实与其他物种的相关性及显著性均发生了变化。

也受到影响,故围封群落物种多样性增加的同时,物种间的竞争也会加剧^[31,33]。董乙强等指出封育后,群落向进展方向演替,且这种演替必然会使原有草地群落的种间关系发生改变^[34]。而放牧则相反,适口性牧草生长受抑制,植物对光资源的竞争降低很多,优势物种原本占据的资源空间得到释放,使其他物种拥有更多的生长空间,且牲畜的践踏及排泄物使土地资源结构改变,因此导致了各物种之间关联性的差异^[35]。梯度胁迫假说认为,植物间的竞争和促进作用在一定程度上取决于植物所处外界环境的压力强度^[36]。外界压力小则物种间竞争较强,外界压力大时,竞争关系可能转变成促进关系,因此干扰对植物种间关系的影响应综合考虑温度、光照、水分和土壤等环境因子的变化。

综上所述,适度的放牧有利于缓解植物群落对资源的竞争压力,而围封对科尔沁沙地退化较严重的群落恢复有显著效果,同时在围封过程中种植达乌里胡枝子、黄蒿、虎尾草和白草等植物,更有利于群落的演替。

4 结论

(1)围封和放牧群落的物种组成不同,围封群落物种数 30,优势物种数 16,优势物种为三芒草、狗尾草、白草、猪毛菜、达乌里胡枝子等;放牧群落物种数 21,优势物种数 13,优势物种为狗尾草、大果虫实、差巴嘎蒿等。物种在两群落中出现的频率也不同。

(2)围封和放牧群落的种间总体关联性均呈显著正关联。 χ^2 检验结果与 *OI* 值基本一致,联结性越显著的种对,*OI* 值越高。围封群落物种间正联结显著率为 16.67%,负联结显著率为 10.83%;放牧群落正联结显著率为 6.06%,无负显著联结种对。

(3)Spearman 秩相关分析说明,围封群落主要物种间显著相关的对数占比 44.17%,种对间依赖性较强;放牧群落主要物种间显著相关的对数占比 12.82%,种间关系相对松散独立。

参考文献 (References):

- [1] 尹林克,李涛.塔里木河中下游地区荒漠河岸林群落种间关系分析.植物生态学报,2005,29(2):226-234.
- [2] 张金屯.数量生态学.北京:科学出版社,2004.
- [3] 龚容,高琼,王亚林.围封对温带半干旱典型草原群落种间关联的影响.植物生态学报,2016,40(6):554-563.
- [4] 房飞,胡玉昆,张伟,公延明,柳妍妍,杨秀娟.高寒草原植物群落种间关系的数量分析.生态学报,2012,32(6):1898-1907.
- [5] 张悦,郭利平,易雪梅,曹伟,王远遐,吴培莉,姬兰柱.长白山北坡 3 个森林群落主要树种种间联结性.生态学报,2015,35(1):106-115.
- [6] 张明霞,王得祥,康冰,张岗岗,刘璞,杜焰玲,于飞.秦岭华山松天然次生林优势种群的种间联结性.林业科学,2015,51(1):12-21.
- [7] Levine J M, Bascompte J, Adler P B, Allesina S. Beyond pairwise mechanisms of species coexistence in complex communities. Nature, 2017, 546 (7656): 56-64.
- [8] Harpole W S, Sullivan L L, Lind E M, Lind E M, Firm J, Adler Peter B, Borer E T, Chase J, Fay P A, Hautier Y, Hillebrand H, MacDougall A S, Seabloom E W, Williams R, Bakker J D, Cadotte M W, Chaneton E J, Chu C J, Cleland E E, D'Antonio C, Davies K F, Gruner D S, Hagenah N, Kirkman K, Knops J M H, La Pierre K J, McCulley R L, Moore J L, Morgan J W, Prober S M, Risch A C, Schuetz M, Stevens C J, Wragg P D. Addition of multiple limiting resources reduces grassland diversity. Nature, 2016, 537(7618): 93-96.
- [9] 吴艳玲,吕世杰,刘红梅,卫智军.不同放牧强度对短花针茅草原植物种群种间关系的影响.生态科学,2016,35(6):34-40.
- [10] 江沙沙,孙宗玖,杨静,董乙强.封育年限对伊犁绢蒿荒漠草地群落种间关系及稳定性的影响.中国草地学报,2018,40(3):68-75.
- [11] 吕朋,左小安,张婧,周欣,连杰,刘良旭.放牧强度对科尔沁沙地沙质草地植被的影响.中国沙漠,2016,36(1):34-39.
- [12] 刘新民,赵哈林,赵爱芬.科尔沁沙地风沙环境与植被.北京:科学出版社,1996.
- [13] 赵丽娅,高丹丹,熊炳桥,陈涛,李艳蕾,李锋瑞.科尔沁沙地恢复演替进程中群落物种多样性与地上生物量的关系.生态学报,2017,37(12):4108-4117.
- [14] 徐满厚,刘敏,翟大彤,刘彤.植物种间联结研究内容与方法评述.生态学报,2016,36(24):8224-8233.
- [15] 周先叶,王伯荪,李鸣光,咎启杰.广东黑石顶自然保护区森林次生演替过程中群落的种间联结性分析.植物生态学报,2000,24(3):332-339.
- [16] Hurlbert S H. A coefficient of interspecific association. Ecology, 1969, 50(1): 1-9.
- [17] 孙中伟,赵士洞.长白山北坡椴树阔叶红松林群落木本植物种间联结性与相关性研究.应用生态学报,1996,7(1):1-5.

- [18] 苗纯萍, 李雪华, 蒋德明. 科尔沁沙地流动沙丘-丘间低地过渡带植被分布特征及种间关联. 干旱区研究, 2013, 30(5): 832-837.
- [19] 陈文思, 朱清科, 卢纪元, 王瑜, 王利娜. 陕北黄土区自然恢复植物群落优势种种间关系研究. 植物研究, 2016, 36(4): 520-526.
- [20] 简小枚, 税伟, 陈毅萍, 江聪, 胡颖, 王前锋, 黄梦圆. 云南中度退化的喀斯特天坑草地植物群落优势种种间关系. 应用生态学报, 2018, 29(2): 492-500.
- [21] 丁文慧, 李秀珍, 姜俊彦, 黄星, 张运清, 张骞, 周云轩. 崇明东滩南部河口盐沼植物群落种间关系的数量分析. 应用生态学报, 2016, 27(5): 1417-1426.
- [22] 杨勇, 刘爱军, 李兰花, 陈海军, 宋向阳, 王保林, 罗冬, 王明玖. 围封对内蒙古典型草原群落特征及土壤性状的影响. 草业学报, 2016, 25(5): 21-29.
- [23] 赵哈林, 大黑俊哉, 李玉霖, 左小安, 黄刚, 周瑞莲. 人类放牧活动与气候变化对科尔沁沙质草地植物多样性的影响. 草业学报, 2008, 17(5): 1-8.
- [24] 张婧, 左小安, 吕朋, 周欣, 连杰, 刘良旭, 岳喜元. 科尔沁沙地草地植被对围封和放牧的响应. 中国沙漠, 2017, 37(3): 446-452.
- [25] 李军保, 刘洪来, 朱进忠, 吐尔逊娜依·热依木江, 李海. 伊犁河谷春秋草地围封恢复过程中种间关联性研究. 草业科学, 2009, 26(6): 18-24.
- [26] Aguiar M R, Sala O E. Competition, facilitation, seed distribution and the origin of patches in a Patagonian steppe. *Oikos*, 1994, 70(1): 26-34.
- [27] Callaway R M, Brooker R W, Choler P, Kikvidze Z, Lortie C J, Michalet R, Paolini L, Pugnaire F I, Newingham B, Aschehoug E T, Armas C, Kikodze D, Cook B J. Positive interactions among alpine plants increase with stress. *Nature*, 2002, 417(6891): 844-848.
- [28] 李晓兰, 相吉山, 赵岩, 秦立金, 赵雪梅. 科尔沁沙质割草地植物群落种间联结研究. 哈尔滨师范大学: 自然科学学报, 2015, 31(6): 104-108.
- [29] 刘珏宏, 高慧, 张丽红, 陈丽萍, 赵念席, 高玉葆. 内蒙古锡林郭勒草原大针茅-克氏针茅群落的种间关联特征分析. 植物生态学报, 2010, 34(9): 1016-1024.
- [30] 蒋德明, 苗仁辉, 押田敏雄, 周全来. 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.
- [31] 吕世杰, 吴艳玲, 刘红梅, 卫智军. 春季休牧后放牧强度变化对短花针茅草原植物种群种间关系的影响. 草地学报, 2016, 24(2): 302-308.
- [32] 单贵莲, 徐柱, 宁发, 马玉宝, 李临杭. 围封年限对典型草原群落结构及物种多样性的影响. 草业学报, 2008, 17(6): 1-8.
- [33] 王卫, 张鲜花, 安沙舟. 那拉提草原草地群落结构及种间关联性研究. 草地学报, 2011, 19(4): 553-559.
- [34] 董乙强, 安沙舟, 孙宗玖, 杨合龙, 杨静. 禁牧对中度退化伊犁绢蒿荒漠植被特征的影响. 中国草地学报, 2016, 38(1): 93-99.
- [35] 柳剑丽, 王宗礼, 李平, 高娃. 锡林郭勒典型草原不同群落物种间关系的数量分析. 中国草地学报, 2013, 35(5): 74-79.
- [36] Bertness M D, Callaway R. Positive interactions in communities. *Trends in Ecology & Evolution*, 1994, 9(5): 191-193.