

草地利用方式对草甸草原植被空间异质性的影响

杨 阳 贾丽欣 张 峰 乔芙蓉 赵天启 陈大岭 赵萌莉*

(内蒙古农业大学草原与资源环境学院, 呼和浩特 010019)

摘要 研究不同利用方式下植物群落中物种的分布特征,有助于解释植物在不同利用方式干扰下的演替规律。本研究以内蒙古呼伦贝尔草甸草原为研究对象,通过野外调查,基于幂函数法则,探讨围封、放牧和刈割利用方式下草地植被物种分布状况和群落整体空间分布的变化。结果表明:在放牧和刈割利用及围封下,草甸草原植被物种分布规律符合幂函数法则;与围封相比,放牧增加了群落整体的空间分布异质性,而刈割则降低了这种变化,刈割和放牧草地物种异质性指数高于群落整体异质性指数的物种增多;物种出现频率发生变化,如对糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)种群而言,围封地中糙隐子草的出现频率为0.010,刈割和放牧增加了糙隐子草的出现频率(0.151和0.521),刈割和放牧降低了狭叶青蒿(*Artemisia dacunculus*)的出现频率(0.132和0.028)。

关键词 草甸草原; 利用方式; 幂函数法则; 空间异质性

Effects of different grassland use modes on spatial heterogeneity of vegetation in meadow steppe. YANG Yang, JIA Li-Xin, ZHANG Feng, QIAO Ji-Rong, ZHAO Tian-Qi, CHEN Daling, ZHAO Meng-Li* (College of Grassland Resources and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China).

Abstract: Understanding the spatial distribution of species in plant communities is important for explaining community succession under different use modes. Here, we investigated the spatial distribution of species and communities under three different use modes (grazing, mowing, and fence) in Hulun Buir meadow grassland in Inner Mongolia by using exponential function based on field survey data. The results showed that the patterns of species distribution well fitted the law of exponential function under all modes. Compared with control, grazing increased and mowing reduced community spatial heterogeneity. The number of species with higher species heterogeneity index than the community heterogeneity index increased under mowing and grazing. Mowing and grazing increased or decreased species frequency. For example, the frequency of *Cleistogenes squarrosa* was 0.010 in enclosure, 0.151 in mowing and 0.521 in grazing. The frequency of *Artemisia dacunculu* was 0.755 in enclosure, 0.132 in mowing and 0.028 in grazing.

Key words: meadow steppe; use mode; power function law; spatial heterogeneity.

空间异质性是指生态学变量在空间上的不均匀分布和复杂性(Pickett *et al.*, 2007),是许多生态学过程在时间和空间上连续作用产生的结果,也是格局产生的重要原因。空间异质性对资源和物理环境的分布形式和组合具有决定性作用,是生态系统的—一个重要结构(李哈滨等,1998)。空间异质性的研

究以前主要采用定量分析的传统方法,包括分布型指数法、分布拟合法、亲和度分析法和景观多样性测定等(孙艳杰等,2011)。近年来,地统计学方法和幂函数方法被广泛应用于小尺度空间异质性的研究。地统计学用于研究小尺度种群分布的空间异质性,幂函数被用于研究小尺度群落物种分布的异质性。幂函数法则是英国昆虫学家 Taylor 在研究昆虫种群分布的过程中发现的,后来被 Madden 和 Huhges(1995)应用于植物病理学研究中。在天然草地方面的应用,最早由日本学者盐见正卫(2005)研究

天然放牧草地植被的群落结构、生物量及生产力时引入,后又被广泛用于草地植被分布的异质性研究中。草原植被的异质性大部分反映在群落水平上,黄琛等(2014)基于幂函数规律对荒漠草原植被的空间分布进行研究,草地群落中的物种分布规律符合幂函数法则,且随着载畜率的增加,草地群落整体分布的空间异质性逐渐加强;而乌云娜等(2011)也以幂函数法则为基础,对不同放牧梯度下群落的异质性进行过相关研究,发现随着放牧梯度的上升,群落的空间异质性呈现逐渐下降的趋势;吕杰(2011)对放牧和刈割利用下草地群落物种的分布进行研究,结果表明,放牧和刈割利用方式下草地物种分布均与幂函数法则相吻合。而常学礼等(2015)认为,群落的异质性是由多种原因导致的,主要原因是地形对水、热条件的重新分配引起土壤环境改变而导致的。近年来关于草原植被的研究,国内学者从土地沙漠化与人类活动的关系(阿衣先木等,2011)、植物群落空间格局(刘振国等,2005)、生物量动态(张彩琴等,2015)、生物多样性变化(胡玉坤等,2007)等方面进行了许多研究,但关于草原植物群落的数学定量分析,不同利用方式下小尺度草地群落植被分布的异质性研究尚不常见。

呼伦贝尔草原是欧亚大陆草原的重要组成部分之一,草原总面积约为 $997.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$,是中国重要的畜牧业生产基地,同时也是重要的生态系统保护屏障(闫瑞瑞等,2014)。放牧和刈割是草原最常见的利用方式,影响着草地群落的物种分布。放牧家畜对植物的采食、践踏以及排泄物的不均匀归还,均会使物种在群落中的分布发生改变(杨智明等,2007);刈割时期、刈割频次、刈割强度及留茬高度等均会对草地群落物种的分布格局产生影响,刈割影响植物的生长繁衍,改变土壤的养分结构,导致地上植被的分布格局发生变化(章家恩等,2005)。由于长期以来对草地的不合理利用,以及近年来受到气候变化的影响,草地退化逐渐严重,物种多样性遭到破坏(杨尚明等,2015),导致牧草产量下降,环境逐渐恶化(卫智军等,2011)。

本研究以呼伦贝尔草甸草原为研究对象,基于幂函数法则研究放牧和刈割利用下草地群落物种的空间分布特征,验证幂函数法则在草甸草原异质性研究中的适用性;并探讨放牧和刈割干扰下草地群落的物种组成变化及其空间分布规律,为管理和合理利用草地资源提供理论指导。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

试验样地位于内蒙古自治区呼伦贝尔市鄂温克自治旗内,地理坐标为 $118^{\circ}48'02''\text{E}$, $47^{\circ}32'50''\text{N}$,平均海拔 600~900 m。气候属于中温带半干旱大陆性气候,冬长夏短,秋季霜冻早雪,年均温为 $-5 \sim 2.2^{\circ}\text{C}$,年均降水量在 290~400 mm,降水时间主要集中在 7—8 月,约占全年降水量的 70%,无霜期 100~120 d,土壤为黑钙土和暗栗钙土。试验区为草甸草原,优势植物种为贝加尔针茅(*Stipa baicalensis*)和羊草(*Leymus chinensis*),伴生有糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、细叶白头翁(*Pulsatilla turczaninowii*)、二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)、三出委陵菜(*Potentilla betonicifolia*)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、狭叶青蒿(*Artemisia dacunculus*)、日阴菅(*Carex pediformis*)、斜茎黄芪(*Astragalus complanatus*)和龙胆(*Gentiana scabra*)等物种。

1.2 野外调查方法

于 2016 年 8 月中旬进行野外样方调查,选择刈割(M)和放牧(G)以及围封不利用草地(CK)各 3 块。刈割样地自 2000 年起,每年 8 月底刈割一次,留茬 5 cm;放牧样地放牧年限超过 20 年,2014—2016 年通过移动围笼测定放牧利用率为 70.3%,属于重度放牧;对照样地于 2005 年开始围栏封育。在上述样地,选择植被生长均匀、地形差异较小和分布较为集中的地段进行取样。各个重复样地中设置 3 条长为 50 m 的样线,每条样线上设置 100 个 $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ 的样方(称为 L 型样方),再将每个 L 型样方划分成 4 个 $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ 的小样方(称为 S 型样方)。将 S 型样方作为最小单位,记录样方中出现的所有植物种。如果某物种在 L 型样方内的 4 个 S 型样方中都没有出现,记作 0;如果在 1 个 S 型样方中出现,记作 1;如果在 2 个 S 型样方中出现,记作 2;如果在 3 个 S 型样方中出现,记作 3;如果在 4 个 S 型样方中出现,记作 4。用这种方法描述同一物种在 100 个样方中出现的次数,得到每个物种在 L 型样方中出现的频率。

1.3 数据处理与分析方法

草地群落中所有植物种的空间异质性可以用幂函数法则进行解析。1990 年英国昆虫学家 Taylor 在研究昆虫种群分布的过程中,发现了“幂函数法则”。目前,在研究草地植被空间分布的异质性中

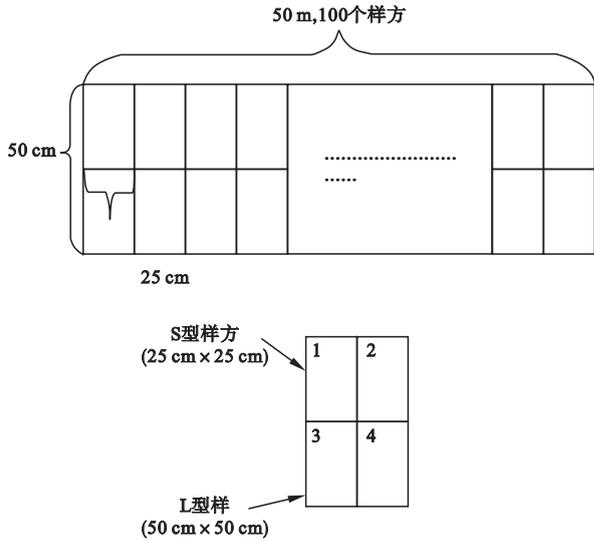


图 1 调查样方简图
Fig.1 Survey methods

被广泛应用。

将物种 i 在 S 型样方中的出现频率记作 P_i , 群落中物种出现次数的方差用 v 表示, v/n^2 表示实际观察中物种出现频率的方差, $P_i(1-P_i)/n$ 表示为物种随机出现的频率。将 $x_i = \lg [P_i(1-P_i)/n]$ 作为横坐标, 将 $y_i = \lg(v/n^2)$ 作为纵坐标 ($n=4$, 表示 L 型样方中的 S 型样方个数, 对数的底数为 10)。用群落中所有物种的 x_i 和 y_i 作散点图, 得到方程 $y_i = ax_i + b$, 得到物种的实际分布曲线。

用 δ_i 表示物种 i 的空间异质性, δ_i 等于物种 i 的 y_i 值与直线 $y = x$ 之间的差值 ($\delta_i = \lg(v/n^2) - \lg [P_i(1-P_i)/n]$), δ_i 值有 3 种不同的情况, 当 $\delta_i = 0$ 时: 表示物种 i 符合随机性空间分布; 当 $\delta_i < 0$ 时: 表示物种 i 具有比随机分布更低的空间异质性, 说明物种 i 呈现为均匀分布或者规则分布; 当 $\delta_i > 0$ 时: 表示物种 i 具有比随机分布更高的空间异质性, 说明物种 i 表现为集群分布。 ε_i 为回归残差, 表示物种偏离幂函数直线的程度: $\varepsilon_i = y_i - y$, 代表物种 i 实际分布方差的数值 y_i 与随机分布时 y 值之间的差值, 用来表示物种 i 偏离群落整体水平的异质性程度, 也分为 3 种情况, 当 $\varepsilon_i = 0$ 时, 表示物种 i 具有和群落整体分布相一致的空间异质性; 当 $\varepsilon_i > 0$ 时, 物种 i 的空间异质性高于群落整体; 当 $\varepsilon_i < 0$ 时, 物种 i 具有比群落整体更低的异质性。用 δ_c 代表群落整体的空间异质性指数, 是构成群落的各个物种的空间异质性指数 (δ_i) 与群落中出现的频率 (P_i) 的乘积, 再进行加权求平均值所得, 可用公式表示:

$$\delta_c = \sum (P_i \times \delta_i) / \sum P_i$$

式中: δ_c 数值越大, 表示群落整体的空间异质性水平就越高。

文中物种的出现频率用 SPSS 19.0 进行统计, 用 Excel 2013 进行计算得出各指标, 作图用 SigmaPlot 12.5。

2 结果与分析

2.1 群落内所有物种分布的幂函数

直线 $y=x$ 为种群的随机分布曲线, 直线 $y_i = ax_i + b$ 为种群观测值的实际分布曲线 (图 2)。由图 2 可以看出, 种群的实际分布曲线均位于随机分布曲

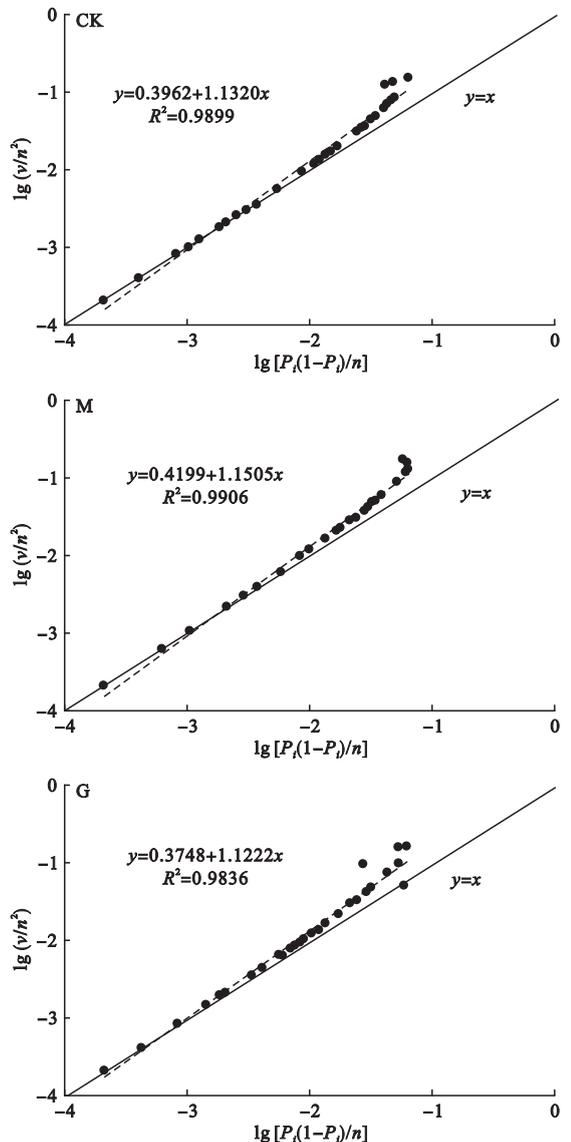


图 2 不同利用方式下物种分布对幂函数法则的吻合性
Fig.2 Fitting of exponential function law to species distribution under different land use modes

线的上方,表明与随机分布相比较而言,放牧地和刈割地群落整体上均具有更强的空间异质性。并且决定系数 R^2 的值均大于 0.980,放牧地为 0.984,刈割地为 0.991,围封地为 0.990。表明刈割和放牧利用下以及围封不利用的草地群落中不存在使群落结构发生混乱的物种,物种分布均与幂函数法则相吻合。

2.2 群落中主要物种的出现频率

选择围封地、刈割地和放牧地出现频率较高的 15 种植物,按照出现频率的大小进行排序(表 1)。由表 1 可以看出,围封地中物种出现频率大于 0.5 的有 3 种,分别是贝加尔针茅、狭叶青蒿和羊草;刈割地中物种出现频率大于 0.5 的有 2 种,分别是贝加尔针茅和羊草;放牧地中物种出现频率大于 0.5 的有 4 种,分别是贝加尔针茅、羊草、日阴菅和糙隐子草;围封、刈割和放牧样地种出现的相同物种有 2 个,分别是贝加尔针茅和羊草。物种出现频率介于 0.1 和 0.5 之间,围封地有 10 种,刈割地有 13 种,放牧地有 6 种。物种出现频率在 0.1 之下,围封地有 2 种,放牧地有 4 种,刈割地没有。刈割地前 15 种植物的空间异质性指数均在 0.1 以上;对照地瓣蕊唐松草 (*Thalictrum petaloideum*) 和百里香 (*Ruta graveo-*

lens) 的空间异质性指数小于 0.1,其余 13 个物种的空间异质性指数大于 0.1;放牧地空间异质性指数小于 0.1 的植物有 4 种,分别是二裂委陵菜 (*Potentilla bifurca*)、三出委陵菜、狼毒 (*Stellera chamaejasme*) 和洽草 (*Koeleria cristata*),其余 11 种植物的异质性指数大于 0.1。经过放牧和刈割利用后,一些物种的出现频率发生变化,围封地中糙隐子草的出现频率为 0.01,刈割利用后糙隐子草的出现频率增大为 0.151,而放牧后糙隐子草的出现频率增大为 0.521;狭叶青蒿在围封地中的出现频率为 0.755,刈割后减小为 0.132,放牧后减小为 0.028;围封地中细叶白头翁的出现频率为 0.116,刈割后增加为 0.284,放牧干扰下,细叶白头翁的出现频率下降为 0.035。

2.3 物种出现频率与空间分布异质性的关系

P_i 表示物种的出现频率, δ_i 表示物种 i 的空间异质性指数,两者共同决定了物种 i 分布的密集程度以及该物种在群落整体空间异质性分布中所起的作用和贡献。物种的出现频率高且具有较高的空间异质性指数,则群落整体的空间异质性也越高;反之,如果物种的出现频率低且空间异质性指数也低,则会降低群落整体的空间异质性。不同利用方式下群

表 1 不同利用方式下主要物种的出现频率 (P_i) 及其空间异质性指数 (δ_i)

Table 1 Frequency of species occurrence (P_i) and spatial heterogeneity index (δ_i) for main species under different use modes

CK				G				M			
排序	植物种类	出现频率 (P_i)	异质性指数 (δ_i)	排序	植物种类	出现频率 (P_i)	异质性指数 (δ_i)	排序	植物种类	出现频率 (P_i)	异质性指数 (δ_i)
1	Sba	0.797	0.492	1	Sba	0.647	0.464	1	Sba	0.876	0.539
2	Ad	0.755	0.466	2	Lc	0.568	0.404	2	Cp	0.686	0.464
3	Lc	0.517	0.393	3	At	0.419	0.350	3	Lc	0.573	0.432
4	Cp	0.270	0.255	4	Ct	0.375	0.296	4	Cs	0.522	0.385
5	Cd	0.243	0.237	5	Pc	0.284	0.248	5	Pt	0.319	0.270
6	Lf	0.233	0.234	6	Sc	0.189	0.198	6	Cc	0.298	0.272
7	Ct	0.228	0.226	7	Af	0.154	0.181	7	Ha	0.222	0.221
8	Bs	0.199	0.205	8	Cs	0.152	0.165	8	Cd	0.145	0.174
9	Sch	0.157	0.169	9	Cd	0.143	0.176	9	At	0.135	0.151
10	At	0.141	0.158	10	Ad	0.132	0.161	10	Sch	0.108	0.134
11	Pb	0.123	0.139	11	Cm	0.128	0.153	11	Bs	0.073	0.138
12	Pc	0.116	0.136	12	Kc	0.126	0.143	12	Pb	0.057	0.087
13	Am	0.107	0.122	13	Pa	0.121	0.146	13	Sc	0.049	0.082
14	Tp	0.072	0.085	14	Tp	0.103	0.140	14	Kc	0.043	0.061
15	Tv	0.063	0.077	15	Bs	0.101	0.130	15	Cm	0.038	0.059

Sba, *Stipa baicalensis* (贝加尔针茅); Lc, *Leymus chinensis* (羊草); Ad, *Artemisia dacunculul* (狭叶青蒿); At, *Allium tenuissimum* (细叶葱); Cp, *Carex pediformis* (日阴菅); Cd, *Cymbaria dahurica* (达乌里芯芭); Ct, *Carex tristachya* (苔草); Cs, *Cleistogenes squarrosa* (糙隐子草); Pc, *Pulsatilla chinensis* (细叶白头翁); Pt, *Potentilla tanacetifolia* (菊叶委陵菜); Lf, *Leontopodium fangingense* (火绒草); Sc, *Serratula chinensis* (麻花头); Kc, *Koeleria cristata* (洽草); Af, *Artemisia frigida* (冷蒿); Cc, *Carex chinensis* (苔草); Ha, *Heteropappus altaicus* (阿尔泰狗娃花); Bs, *Bupleurum scorzoneriifolium* (柴胡); Cs, *Cleistogenes squarrosa* (糙隐子草); Sch, *Stellera chamaejasme* (狼毒); At, *Allium tenuissimum* (细叶葱); Pb, *Potentilla betonicifolia* (三出委陵菜); Pc, *Pulsatilla turczaninowii* (细叶白头翁); Cm, *Caragana microphylla* (小叶锦鸡儿); Am, *Astragalus membranaceus* (并头黄芪); Pa, *Potentilla acaulis* (星毛委陵菜); Tp, *Thalictrum petaloideum* (唐松草); Tv, *Thymus vulgaris* (百里香)。

落整体的空间异质性指数(δ_c)是不同的,放牧地大于围封地,刈割地最小(图3)。草甸草原不同利用方式下物种出现频率(P_i)与物种分布空间异质性(δ_i)的关系表明(图3),不同利用方式下,影响群落

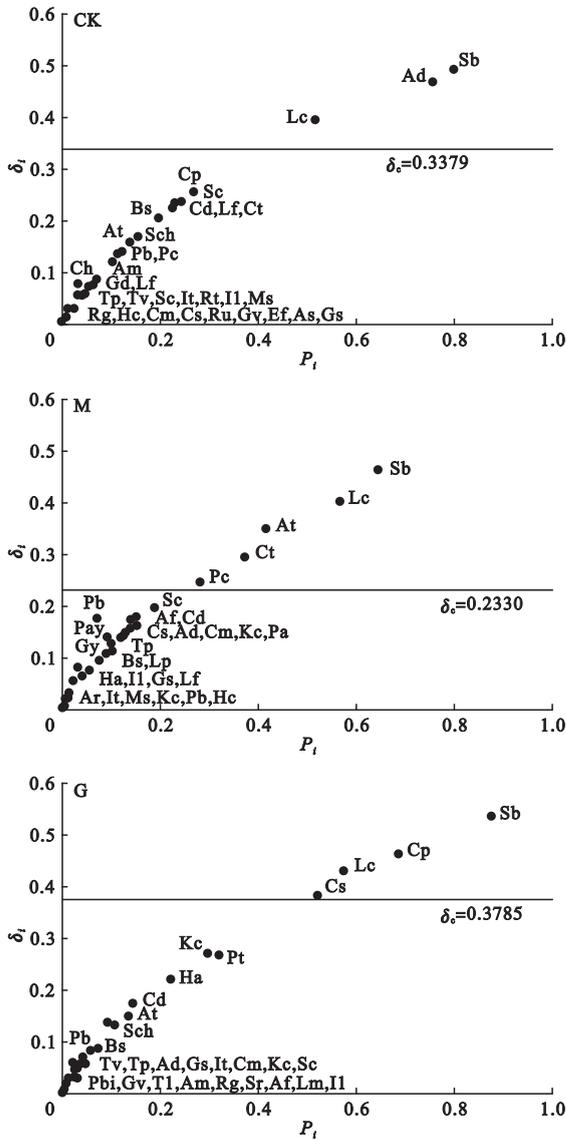


图3 不同利用方式下物种出现频率(P_i)和空间分布异质性(δ_i)之间的关系

Fig.3 Relationship between frequency of species occurrence (P_i) and spatial heterogeneity index (δ_i) under different use modes

(表1中没有出现的植物拉丁名) Ch, *Clematis hexapetala* (棉团铁线莲); It, *Iris tenuifolia* (细叶鸢尾); Il, *Iris lactea* (马蔺); Lm, *Lappula macra* (鹤虱); Rg, *Ruta graveolens* (草芸香); Hc, *Hemerocallis citrina* (黄花菜); Ru, *Rhaponticum uniflorum* (祁州漏芦); Gv, *Galium verum* (蓬子菜); As, *Artemisia scoparia* (猪毛蒿); Gs, *Gentiana scabra* (龙胆); Ef, *Euphorbia fischeriana* (狼毒大戟); Pbi, *Potentilla bifurca* (二裂委陵菜); Sr, *Scorzonera ruprechtiana* (鸭葱); Ar, *Allium ramosum* (野韭); Tl, *Thermopsis lanceolata* (披针叶黄华); Pav, *Polygonum aviculare* (篇蓄); Lp, *Lilium pumilum* (山丹); Ms, *Melilotus snaveolens* (黄花草木樨)。

整体空间分布异质性的物种主要分为3类,第一类主要以物种空间异质性高于群落整体空间异质性的植物种为主,围封地有贝加尔针茅、羊草和狭叶青蒿;刈割地有贝加尔针茅、羊草、细叶葱、苔草和细叶白头翁;放牧地有贝加尔针茅、羊草、糙隐子草和日阴菅。第二类主要以物种空间异质性接近群落整体空间异质性的植物种为主,围封地有日阴菅、麻花头、达乌里苾巴、火绒草、苔草和柴胡等物种;刈割地有狭叶青蒿、二裂委陵菜、篇蓄、三出委陵菜、冷蒿、洽草和达乌里苾巴等物种;放牧地有洽草、菊叶委陵菜、阿尔泰狗娃花、细叶葱、达乌里苾巴和棘豆等物种。第三类主要以物种空间异质性小于群落整体空间异质性的植物种为主,围封地有草芸香、糙隐子草、蓬子菜、山韭、狼毒和小叶锦鸡儿等物种;刈割地有细叶鸢尾、洽草、草木樨、野韭、黄花菜和二裂委陵菜等物种;放牧地有马蔺、草芸香、并头黄芩、蓬子菜、冷蒿和二裂委陵菜等物种,这些物种在一定程度上降低了群落整体的空间异质性。

2.4 物种出现频率与空间分布异质性之间的残差关系

每一个物种分布的空间异质性都会对群落整体分布的空间异质性产生一定的影响,不同利用方式下草地群落中各个物种的出现频率及其与群落空间异质性的残差关系(图4)。在不同利用方式下,物种分布的空间异质性与群落整体的异质性呈现出不同的关系,小于群落空间异质性的物种数越少,则群落整体的空间异质性越高。放牧地群落整体的空间异质性最高,只有日阴菅1个物种的空间异质性小于群落整体的空间异质性;刈割地群落整体的空间异质性最低,在刈割地小于群落空间异质性的物种数最多,有二裂委陵菜、洽草、黄花菜、山韭、苜蓿和火绒草。在围封地中,小于群落空间异质性的物种有4种,是山韭、黄花菜、斜茎黄芪和糙隐子草。

3 讨论

放牧和刈割是天然草地最常见也是最主要的利用方式(宁发等,2008),不同放牧强度对草地群落植被特征有显著的影响,并且在气候条件相对一致的情况下,与其他影响因子相比较,放牧干扰对草地植被特征的影响占据主导地位(李永宏等,1988)。刈割频率、时间和刈割后的留茬高度等都会对草地群落植被特征产生不同的影响,刈割利用会对草地植被的分布产生影响(Conant et al.,2001;Güsewell,

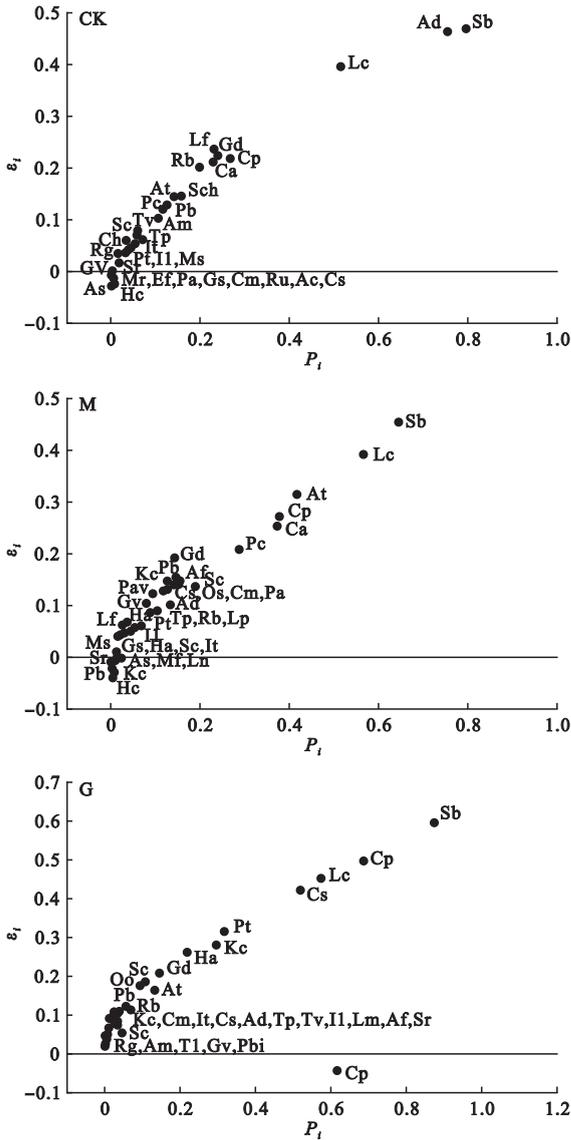


图4 不同利用方式下物种出现频率(P_i)和回归残差(ϵ_i)之间的关系

Fig.4 Relationship between frequency of species occurrence (P_i) and regression residual (ϵ_i) under different land use modes

2004; Antonsen *et al.*, 2005)。

草地群落中物种的空间分布格局对整体的分布格局产生重要影响,掌握不同利用方式下群落的空间分布规律,可以更好地掌握物种的演替变化。放牧和刈割利用方式下,草地群落的空间异质性指数呈现不同的变化趋势,与围封草地相比,放牧增加了群落的空间异质性指数,而刈割降低了群落的空间异质性指数。经过放牧干扰后,群落的物种组成发生变化,群落的空间异质性指数高于围封地,这与黄琛等(2014)的实验结果一致,随着放牧强度的增加,群落整体的空间异质性变大。这可能是由于家

畜的选择性采食和不均匀排泄以及对草地的践踏所导致的,使群落的物种结构发生变化(孙大帅, 2012)。但陈俊等(2005)对日本半天然草地在轻度和重度两个放牧水平下的研究表明,随着放牧压力的不断增大,群落整体分布的空间异质性指数却表现为先增大后减小,可能是由于载畜率水平的不同而导致的。吕杰等(2011)对呼伦贝尔额尔古纳草原群落结构的空间异质性研究结果表明,刈割处理后的群落异质性大于放牧处理之后的草地群落异质性。本研究表明,放牧干扰后的群落异质性高于刈割处理,与吕杰的研究结果相反。这可能与长期刈割的累积效应有一定的关系,刈割导致植物光合作用的器官及面积受到损害,导致营养物质的生产和积累下降,严重时可能导致植物死亡(黄振艳等, 2013)。也可能与凋落物的减少有关,刈割可以有效地降低草地凋落物的积累,使物种出现频率低的物种逐渐增多,降低了群落整体的空间异质性(程积民等, 1998)。因此,选择合理的草地利用方式,对提高草地生产力和防止草地退化具有重要的指导意义,是维持草地生态系统稳定的重要措施之一。

植被空间分布的异质性是草地植被群落的一个重要特征,草地植物群落经过放牧和刈割两种利用方式的干扰后,植被在空间分布上表现出不同程度的异质性。本研究中,在放牧和刈割利用方式下决定草地植物群落空间分布异质性的物种主要分为3类,分别是高于、接近和低于群落整体空间异质性水平的物种,不同物种在放牧和刈割利用方式下表现出的空间差异性具有物种特异性。一些物种如贝加尔针茅、羊草等,是草甸草原的建群种和优势种,具有比其他物种更强的竞争资源的能力。在围封、刈割和放牧草地中均具有较高 P_i 值和 δ_i 值的物种,它们构成较大且密度较高的种群,形成面积比较大的斑块。由于家畜往往选择适口性好的植物,这有利于其他物种的生长,增加了植被的种间竞争,从而通过扩大种群分布以提高自身竞争能力。虽然斑块的大小对提高植被空间异质性的作用不同,但是每一个物种的 P_i 值和 δ_i 值决定了该物种在群落中所占有的位置。在不同的利用方式下,草地群落植被结构、植被格局与空间异质性之间存在极为密切的关系,草地植被群落整体上具有比随机分布更高的空间异质性。研究表明,放牧对典型草原物种空间分布具有明显的影响,在放牧干扰之后,一些物种空间分布的随机性增大,空间异质性减小(刘先华等, 1998;

许清涛等,2007)。本研究结果表明,贝加尔针茅和羊草在围封、刈割和放牧草地中均具有较大的 P_i 值和 δ_i 值,在一定程度上提高了群落整体的空间异质性;在围封和刈割草地中,空间异质性指数接近于 0 的物种数较多,主要有火绒草、苔草、柴胡、三出委陵菜、洽草、达乌里苾巴、菊叶委陵菜、阿尔泰狗娃花、细叶葱等物种,这些物种的出现频率较低,会降低群落的空间异质性。因此,在不同利用方式下,物种的空间分布状况是由自身的出现频率和生物学特性所决定的。

从组成群落的植物种的出现频率和空间异质性看,在草甸草原放牧和刈割利用方式下,一些物种的空间异质性高于群落整体的空间异质性,建群种贝加尔针茅和优势种羊草在放牧和刈割利用方式下的空间异质性水平平均高于群落的整体水平,这与家畜的采食行为有密切的关系,它们通过自我调节,矮化株丛或者扩大种群而占据更大的空间以适应外界的干扰(刘振国等,2005a;刘红梅等,2011)。冷蒿在围封地中没有出现,在放牧干扰之后,出现频率变大,这与刘振国等(2005a)的研究结果相一致,冷蒿的出现频率随着放牧强度的增加呈现出先增加后减小的趋势,表明增大放牧压力会导致冷蒿的出现频率增加。草地在放牧干扰后,糙隐子草的出现频率明显增加,刘振国等(2005b)对不同放牧强度下的糙隐子草种群的小尺度研究表明:糙隐子草的种群密度随着放牧强度的增加,表现为先增大后减小,符合“中度干扰假说”。因为在适当的放牧强度干扰下,糙隐子草种群存在明显的“超补偿性生长”机制(汪诗平等,2001),可以增加糙隐子草的种群密度,导致糙隐子草的出现频率增加。因此,深入研究草甸草原植被空间异质性的产生以及植物自身的生物学特性,可以通过更好地控制草地群落植被空间分布的异质性而合理地利用草地资源。

参考文献

阿依先木·司马义,吐尔逊·哈斯木,祖木拉提·伊布拉音,等. 2011. 人类活动对土地沙漠化影响的研究——以塔里木河下游为例. 水土保持研究, **18**(1): 56–60.

常学礼,吕世海,冯朝阳,等. 2015. 地形对草甸草原植被生产力分布格局的影响. 生态学报, **35**(10): 3339–3348.

程积民,邹厚远. 1998. 封育刈割放牧对草地植被的影响. 水土保持研究, **5**(1): 36–54.

黄琛,张宇,王静,等. 2014. 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, **38**

(11): 1184–1193.

黄振艳,王立柱,乌仁其其格,等. 2013. 放牧和刈割对呼伦贝尔草甸草原物种多样性的影响. 草业科学, **30**(4): 602–605.

胡玉坤,李凯辉,阿德力·麦地,等. 2007. 天山南坡高寒草地海拔梯度上的植物多样性变化格局. 生态学杂志, **26**(2): 182–186.

吕杰,陈俊. 2011. 不同利用方式下额尔古纳草原群落结构特征的研究——幂乘方法则的应用. 草地学报, **19**(3): 388–394.

刘红梅,卫智军,杨静,等. 2011. 不同放牧制度对荒漠草原短花针茅空间异质性的影响. 干旱区资源与环境, **25**(8): 138–143.

刘振国,李镇清. 2005a. 植物群落中物种小尺度空间结构研究. 植物生态学报, **29**(6): 1020–1028.

刘振国,李镇清, Ivan Nijs, 等. 2005b. 糙隐子草种群在不同放牧强度下的小尺度空间格局. 草业学报, **14**(1): 11–17.

刘先华,韩苑鸿,李凌浩. 1998. 放牧率对内蒙古典型草原物种分布空间异质性的影响. 草地学报, **6**(4): 293–298.

李海滨,王政权,王庆成. 1998. 空间异质性定量研究理论与方法. 应用生态学报, **9**(6): 93–99.

李永宏. 1988. 内蒙古锡林河流域羊草草原和大针茅草原在放牧影响下的分异和趋同. 植物生态学与地植物学学报, **12**(3): 27–34.

宁发,徐柱,单贵莲. 2008. 干扰方式对典型草原土壤理化性质的影响. 中国草地学报, **30**(4): 46–50.

孙大帅. 2012. 不同放牧强度对青藏高原东部高寒草甸植被和土壤影响的研究(博士学位论文). 兰州: 兰州大学.

孙艳杰,艾长胜. 2011. 基于切削声和切削力参数融合的刀具磨损状态监测. 组合机床与自动化加工技术, (5): 42–45.

乌云娜,张凤杰,盐见正卫,等. 2011. 基于幂函数法则对放牧梯度上种群空间异质性的定量分析. 中国沙漠, **31**(3): 689–696.

卫智军,李霞,刘红梅,等. 2011. 呼伦贝尔草甸草原群落特征对不同放牧制度的响应. 中国草地学报, **33**(1): 65–70.

汪诗平,王艳芬. 2001. 不同放牧率下糙隐子草种群补偿性生长的研究. 植物学报, **43**(4): 413–418.

许清涛,黄宁,巴雷,等. 2007. 不同放牧强度下草地植物格局特征的变化. 中国草地学报, **29**(2): 7–12.

杨尚明,金娟,卫智军,等. 2015. 刈割对呼伦贝尔割草地群落特征的影响. 中国草地学报, **37**(1): 90–96.

闫瑞端,辛晓平,王旭,等. 2014. 不同放牧梯度下呼伦贝尔草甸草原土壤碳氮变化及固碳效应. 生态学报, **36**(6): 1587–1595.

杨智明,王琴. 2007. 放牧对草原植物的影响. 当代畜牧,

- 46(6): 43-45.
- 盐见正卫, 安田泰辅, 陈俊. 2005. 关于放牧草地植被的调查方法. *草地学报*, **13**(2): 149-158.
- 张彩琴, 张军, 李茜若. 2015. 草地植被生物量动态研究与研究方法评述. *生态学杂志*, **34**(4): 1143-1151.
- 章家恩, 刘文高, 陈景青, 等. 2005. 刈割对牧草地下部根区土壤养分及土壤酶活性的影响. *生态环境学报*, **14**(3): 387-391.
- 陈俊, 堀良通, 塩見正衛, 等. 2005. 半自然草地および森林化した長期放任草地の群集構造. *日本草地学会誌*, **51**(2): 143-151.
- Antonsen H, Olsson PA. 2005. Relative importance of burning, mowing and species translocation in the restoration of a former boreal hayfield: Responses of plant diversity and the microbial community. *Journal of Applied Ecology*, **42**: 337-347.
- Conant RT, Paustian K, Elliott ET. 2001. Grassland management and conversion into grassland: Effects on soil carbon. *Ecological Applications*, **11**: 343-355.
- Güsewell S. 2004. N:P ratios in terrestrial plants: Variation and functional significance. *New Phytologist*, **164**: 243-266.
- Madden LV, Hughes G. 1995. Plant disease incidence: Distributions, heterogeneity, and temporal analysis. *Annual Review of Phytopathology*, **33**: 529-564.
- Pickett STA, Kolasa J, Jones CG. 2007. Ecological understanding: The nature of theory and the theory of nature. 2nd edition. Amsterdam: Academic Press.
-
- 作者简介 杨阳, 男, 1993年生, 硕士研究生, 研究方向为草地生态学。E-mail: 957448292@qq.com
- 责任编辑 张敏
-