

# 封育对科尔沁沙地小叶锦鸡儿群落植被特征及空间异质性的影响<sup>\*</sup>

蒋德明<sup>1\*\*</sup> 李明<sup>1,2</sup> 押田敏雄<sup>3</sup> 唐毅<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016 ; <sup>2</sup> 中国科学院研究生院, 北京 100039 ; <sup>3</sup> 麻布大学, 日本 相模原 229 )

**摘 要** 以科尔沁沙地小叶锦鸡儿群落为对象, 分析了放牧和不同封育年限下小叶锦鸡儿群落的植被特征及植被分布的小尺度空间异质性。结果表明: 放牧和封育样地内植被均以 1 年生草本植物为主, 物种数没有明显差异; 封育 6 年、封育 12 年样地的植株密度分别为 ( 124. 46 ± 5. 22 ) 株 · m<sup>-2</sup> 和 ( 203. 05 ± 10. 38 ) 株 · m<sup>-2</sup>, 显著高于放牧样地 (  $P < 0. 05$  ); 封育样地的 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数、Pielou 均匀度指数均低于放牧样地, 并随着封育年限的增加而减小; 封育样地植被分布的小尺度空间异质性小于放牧样地, 并且封育年限越长, 空间异质性越小。

**关键词** 科尔沁沙地; 封育; 物种多样性; 空间异质性

中图分类号 Q948 文献标识码 A 文章编号 1000-4890( 2009 )11-2159-06

**Effects of enclosure on vegetation characteristics and spatial heterogeneity of *Caragana mirophylla* community in Horqin Sandy Land.** JIANG De-ming<sup>1</sup>, LI Ming<sup>1,2</sup>, TOSHIO Oshida<sup>3</sup>, TANG Yi<sup>1,2</sup> ( <sup>1</sup>Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China ; <sup>2</sup>Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China ; <sup>3</sup>Azabu University, Sagami-hara, 229 Japan ). Chinese Journal of Ecology 2009 28( 11 ) 2159-2164.

**Abstract :** This paper studied the vegetation characteristics and small-scale spatial heterogeneity of *Caragana mirophylla* community in Horqin Sandy Land in northeast Inner Mongolia of China under grazing and under 6- and 12 years enclosure, aimed to assess the effects of grazing and enclosure on vegetation restoration. In the sampling plots of grazing and different years enclosure, the species composition of *C. mirophylla* community all dominated by annual herbaceous plants. The species richness in grazed plot and in the plots enclosed for 6 and 12 years was 22, 19, and 20, respectively, with no significant difference. In the plots enclosed for 6 and 12 years, the plant density was ( 124. 46 ± 5. 22 ) plants · m<sup>-2</sup> and ( 203. 05 ± 10. 38 ) plants · m<sup>-2</sup>, respectively, being significantly higher than that in grazed plot, which suggested that enclosure was an effective method to accelerate the vegetation restoration in Sandy Land. The Shannon-Wiener index, Simpson species diversity, and Pielou evenness in enclosed plots were lower than those in grazed plot, and decreased with increasing enclosure duration. The small-scale spatial heterogeneity of vegetation in enclosed plots was smaller than that in grazed plot. The longer the enclosure duration, the smaller the spatial heterogeneity was.

**Key words :** Horqin Sandy Land ; enclosure ; species diversity ; spatial heterogeneity.

不合理的土地利用方式和过度放牧是干旱、半干旱地区土地沙化的主要原因( 王国宏等 2002 ; 曹成有等 2006 )。在退化土地恢复和植被重建过程中, 围栏封育以其投资少、见效快等特点, 已成为退

化土地恢复的重要措施之一, 并被世界各国广泛采用( Puget *et al.* 2000, Shirato *et al.* 2006 )。研究发现, 退化沙质草地或草甸封育后地上植被的植物种数、密度( Valone *et al.* 2002 ; 李锋瑞等 2003 )、土壤种子库的物种丰富度( 李红艳等 2007 )及土壤的理化性质显著提高( 何玉惠等 2008 )。目前, 国内外已对各区域的封育方式( Smith & Rushton, 1994 ; 杨

<sup>\*</sup> 国家“十一五”科技支撑资助项目( 2006BAD26B0401 )。

<sup>\*\*</sup> 通讯作者 E-mail : Jiangdeming@iae.ac.cn

收稿日期: 2009-03-16 接受日期: 2009-07-18

晓晖等 2005) 封育效果( Katoh *et al.* ,1998 ;苏永中和赵哈林 2003 )进行了大量的研究 ,但研究的对象多为退化的沙质草地 ,对于流动沙丘固定后封育措施对于沙地植被特征及植被小尺度空间异质性影响的研究相对较少 ,开展此方面的研究将有助于深入了解沙地植被的自然恢复过程。

科尔沁沙地是我国北方农牧交错区的典型代表区域 ,在长期干旱的自然条件及过度放牧等人为因素的作用下 ,该区域成为近年来土地沙漠化最为严重的地区之一 ,在沙漠化土地中 ,流动——半流动沙丘达  $9.2 \times 10^5 \text{ hm}^2$  ( 邹受益等 2001 )。近些年 ,为抑制流动沙丘移动 ,提高沙地植被盖度 ,根据原生植被状况 ,一些适合沙生环境生存的植被如黄柳( *Salix gordejewii* )、山竹子、差巴嘎蒿等被广泛种植 ,经过多年的自然演替更新 ,已形成介于人工植被和天然植被之间的半自然状态。

小叶锦鸡儿( *Caragana microphylla* )是豆科具刺灌木 ,它具有很强的耐寒、抗旱、耐贫瘠和耐高温等特点 ,在科尔沁沙地流动沙丘治理过程中 ,小叶锦鸡儿作为一种优良固沙植物被广泛采用( 贺山峰等 , 2007 ;蒋德明等 2008 )。

本文以科尔沁沙地乌兰敖都地区小叶锦鸡儿群落为研究对象 ,采用经典统计学和地统计学的分析方法 ,对比分析了不同封育年限对沙地植被特征及植被小尺度空间异质性的影响 ,旨在探讨沙地植被恢复过程中植被的变化规律 ,以期为该地区开展沙地植被保护和退化生态系统恢复与重建提供一定的理论依据。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究地区概况

研究区位于科尔沁沙地西部乌兰敖都地区(  $43^\circ 01' \text{N}$  ,  $119^\circ 38' \text{E}$  ) ,海拔高度 481.6 m。该区域属于温带大陆性半干旱气候 ,年均气温  $6.2^\circ \text{C}$  ,年均降水量 340.5 mm ,多集中在 7—8 月 ,年均蒸发量 2200 mm ,气候干燥 ,风沙大且频繁 ,年均风速  $4.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。这里沙丘起伏 坨甸相间 ,为广阔的沙地景观。主要生境类型可分为 流动和半流动沙丘、固定和半固定沙丘、缓平沙地、丘间低地和石质残丘。地带性土壤主要为沙质栗钙土 ,经破坏后则退化为流动风沙土。原生植被属华北区系与蒙古区系的过渡地带 ,由于气候变化及不合理的开发利用 ,原生植被已被破坏殆尽 ,目前植被表现出强烈的次生性 ,大部分

已演变为沙生植被和草甸植被( 阿拉木萨等 2004 ;曹成等有 2007 )。本地区代表性植物有小叶锦鸡儿、黄柳、差巴嘎蒿、狗尾草、虎尾草等。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 植被调查** 本试验选择相互毗邻的封育 6 年、封育 12 年和自由放牧条件下的小叶锦鸡儿群落作为研究对象 ,其中封育样地在围封前与放牧样地的基本特征一致。根据当地的牧业管理政策 ,自由放牧地允许放牧时间为每年的 7—10 月。植被调查于 2008 年 8 月 15—19 日进行 ,分别在每个处理中设置 1 块  $32 \text{ m} \times 32 \text{ m}$  的样地 ,然后将每个研究区划分为 64 个边长为 4 m 的网格 ,以每个网格的顶点为中心设定  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$  的调查样方 ,每个样地共计 81 个样方 ,调查记录样方中的物种多度、高度及分盖度。

### 1.2.2 数据分析方法

#### 1) 群落特征

采用物种优势度( *DV* )、Shannon-Wiener 和 Simpson 多样性指数、Margalet 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数表征群落特征( 蒋德明等 2004 ;赵娅丽等 2006 )。

物种的重要值 :

$$IV = (\text{相对多度} + \text{相对高度} + \text{相对盖度}) / 3$$

物种优势度 :

$$DV = IV / 2 \times 100$$

Shannon-Wiener 多样性指数 :

$$H = - \sum_{i=1}^s (P_i \ln P_i)$$

Simpson 多样性指数 :

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2$$

Margalet 丰富度指数 :

$$R = (S - 1) / \ln N$$

Pielou 均匀度指数 :

$$E = H / \ln S$$

式中  $S$  为物种总数 ; $N$  为所有种的个数 ; $P_i$  为第  $i$  种的个数占群落中所有物种总数比例 ,此处  $P_i$  为重要值。

采用单因素方差分析( one-way ANOVA )对各样地物种密度进行差异显著性检验 ,差异水平  $P < 0.05$  ,多重比较采用最小显著差数法( *LSD* 法 )。

#### 2) 植被的空间变异分析

应用地统计学中的半方差函数进行植被的空间

异质性分析(王政权,1999),其公式为:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

式中  $\gamma(h)$  为半方差函数  $h$  为 2 个样本间的分离距离  $z(x_i)$  和  $z(x_i + h)$  分别表示间隔距离为  $h$  的 2 样本点  $x_i$  和  $x_i + h$  的实际观测值  $N(h)$  为分离距离为  $h$  时的样本对总数。根据残差平方和(RSS)最小原则,对试验半方差函数拟和,建立半方差函数的理论模型。模型中的  $C_0$  表示块金方差,反映的是最小抽样尺度以下变量的变形式迹测量误差  $\gamma_C$  为结构方差,表示非随机原因形成的变异  $\gamma_{C_0} + C$  为基台值,表示变量的最大变异程度  $\gamma_C/(C_0 + C)$  为空间自相关度,表示可度量空间自相关变异所占的比例  $A$  为变程,表示研究变量的空间变异中,空间自相关变异的尺度范围。

数据采用 Microsoft Excel 2003、SPSS 13.0、GS<sup>+</sup> for Windows 软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 群落的物种组成

从表 1 可见,放牧和封育 6 年、封育 12 年样地中物种组成较为相似,均以 1 年生草本植物为主,各样地物种数分别为 22、19 和 20,表明封育措施并没有导致小叶锦鸡儿群落物种数发生明显变化。在植株密度方面,封育 6 年和封育 12 年样地内的植株密度分别为(124.46 ± 5.22)株·m<sup>-2</sup>和(203.05 ± 10.38)株·m<sup>-2</sup>,是放牧样地 1.1 和 2.4 倍。方差分析结果表明,封育与放牧样地及不同封育年限样地间的植株密度差异均显著( $P < 0.05$ )。同时,不

表 1 放牧和封育样地小叶锦鸡儿群落物种组成特征  
Tab.1 Characteristics of species composition of *Caragana microphylla* community in the grazed and fenced plots

物 种	生活型	放牧样地		封育 6 年样地		封育 12 年样地	
		密度 (株·m <sup>-2</sup> )	物种优 势度	密度 (株·m <sup>-2</sup> )	物种优 势度	密度 (株·m <sup>-2</sup> )	物种优 势度
白 草 <i>Pennisetum centrasiaticum</i>	PH	0.31 ± 0.20 ab	0.33	0.12 ± 0.05 a	0.43	0.75 ± 0.24 b	0.81
细叶白前 <i>Cynanchum sibiricum</i>	PH	0.11 ± 0.06 a	0.35	0.02 ± 0.02 a	0.07	0.14 ± 0.07 a	0.38
烛台虫实 <i>Corispermum candelabrum</i>	AH	0.05 ± 0.03 a	0.17	3.49 ± 0.92 b	3.01	2.88 ± 0.62 b	2.21
刺 藜 <i>Chenopodium aristatum</i>	AH	0.07 ± 0.04 a	0.18	0.80 ± 0.18 b	1.79	0.38 ± 0.10 c	1.00
刺沙蓬 <i>Salsola ruthenica</i>	AH	0.01 ± 0.01 a	0.06	0.35 ± 0.16 a	0.68	1.04 ± 0.34 b	1.44
地 锦 <i>Euphorbia humifusa</i>	AH	3.27 ± 0.45 a	4.50	0.31 ± 0.12 b	0.60	0.56 ± 0.25 b	0.43
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	AH	8.21 ± 1.39 a	6.66	3.98 ± 1.20 b	2.83	4.19 ± 0.859 b	2.73
虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	AH	10.73 ± 2.39 a	6.73	0.94 ± 0.33 b	1.61	1.44 ± 0.50 b	1.02
画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	AH	10.89 ± 1.25 a	7.62	14.40 ± 1.69 a	6.35	35.16 ± 5.97 b	7.20
蒺 藜 <i>Tribulus terrestris</i>	AH	1.90 ± 0.22 a	3.69	0.11 ± 0.05 b	0.43	0.99 ± 0.37 c	0.84
绿珠藜 <i>Chenodium acuminatum</i>	AH	0.04 ± 0.037 a	0.07	89.42 ± 4.21 b	23.31	139.80 ± 8.08 c	22.06
马齿苋 <i>Potulaca oleracea</i>	AH	0.02 ± 0.02 a	0.11	0.17 ± 0.17 a	0.10	4.27 ± 1.48 b	1.60
毛马唐 <i>Digitaria ciliaris</i>	AH	0.27 ± 0.09 a	0.68	0.52 ± 0.17 ab	0.98	0.86 ± 0.17 b	1.90
雾冰藜 <i>Bassia dasyphylla</i>	AH	0.01 ± 0.01 a	0.06	1.80 ± 0.87 b	1.99	0.44 ± 0.20 c	0.59
草瑞香 <i>Diarthron linifolium</i>	AH	16.49 ± 2.01 a	10.68	0.12 ± 0.05 b	0.43	0	0
沙 蓬 <i>Agriophyllum squarrosum</i>	AH	0.14 ± 0.05 a	0.42	0.01 ± 0.012 b	0.07	0	0
差巴嘎蒿 <i>Artemisia halodendron</i>	SS	0	0	0.01 ± 0.01 a	0.07	0.04 ± 0.021 a	0.19
灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	AH	0	0	7.81 ± 0.83 a	5.16	9.48 ± 1.11 a	4.34
山竹子 <i>Hedysarum fruticosum</i>	SS	0	0	0.06 ± 0.06 a	0.08	0.40 ± 0.15 b	0.65
飞 廉 <i>Carduus nutans</i>	BH	0.01 ± 0.01	0.06	0	0	0	0
冠芒草 <i>Enneapogon brachystachyus</i>	AH	0.16 ± 0.01	0.27	0	0	0	0
兴安胡枝子 <i>Lespedeza daurica</i>	SS	0.33 ± 0.01	0.91	0	0	0	0
三芒草 <i>Aristida adscensionis</i>	AH	1.61 ± 0.27	2.62	0	0	0	0
虱子草 <i>Tragus berteronianus</i>	AH	0.36 ± 0.15	0.72	0	0	0	0
寸苔草 <i>Carex duriuscula</i>	PH	4.99 ± 1.01	3.11	0	0	0	0
草木樨 <i>Melilotus suaveolens</i>	PH	0	0	0	0	0.07 ± 0.05	0.19
大籽蒿 <i>Artemisia sieversiana</i>	ABH	0	0	0	0	0.02 ± 0.025	0.06
兴安天冬 <i>Asparagus dauricus</i>	PH	0	0	0	0	0.11 ± 0.05	0.37
总计		59.84 ± 4.31 a		124.46 ± 5.22 b		203.05 ± 10.38 c	

AH 1 年生植物, BH 2 年生植物, ABH 1、2 年生植物, SS 半灌木(小半灌木);不同字母者表示不同样地相同物种密度差异显著( $P < 0.05$ );方差分析采用对数转换数据,但表中所示密度数据是未转换数据。

同封育年限对小叶锦鸡儿群落内不同物种的密度及物种优势度的影响程度均不相同,封育导致了群落内优势种发生了显著变化。在放牧样地中优势度较高的物种为草瑞香、画眉草、虎尾草、狗尾草,其植株密度分别为( 16.49 ± 2.01 )株 · m<sup>-2</sup>、( 10.89 ± 1.25 )株 · m<sup>-2</sup>、( 10.73 ± 2.39 )株 · m<sup>-2</sup>、( 8.21 ± 1.39 )株 · m<sup>-2</sup>,而在封育 6 年和封育 12 年样地中草瑞香急剧下降,甚至消失,绿珠藜、灰绿藜显著增加,相比其他物种,绿珠藜具有较高的植株密度及物种优势度,成为群落的优势种。

2.2 群落的多样性指数

从表 2 可以看出,在封育 6 年和封育 12 年样地中,Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数、Margalet 丰富度指数、Pielou 均匀度指数都明显小于放牧样地,并且随着封育年限的增加而下降,表明封育将导致物种丰富度、物种多样性及物种均匀度的下降。这可能与群落中绿珠藜对其他植物强大的种间竞争优势抑制了其他物种的生长有关,这与刘振国和李镇清( 2006 )的研究结果相似,他们指出,在无放牧处理的冷蒿群落中具有强竞争优势的羊草能抑制其他物种的生长,从而导致群落物种多

表 2 放牧和封育样地小叶锦鸡儿群落物种多样性、丰富度及均匀度指数

Tab. 2 Species diversity ,richness and evenness index in the grazed and fenced plots

样地	物种数	Shannon-Wiener 多样性指数	Simpson 多样性指数	Margalet 丰富度指数	Pielou 均匀度指数
放牧样地	22	2.31	0.87	2.47	0.75
封育 6 年样地	19	2.05	0.76	1.96	0.68
封育 12 年样地	20	1.90	0.74	1.95	0.65

表 3 放牧和封育样地小叶锦鸡儿群落植株密度变异函数理论模型及有关参数

Tab. 3 Semivariogram models and parameters of plant density in the grazed and fenced plots

样地	模型	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> + C	C/( C <sub>0</sub> + C )	A( m )	R <sup>2</sup>	RSS
放牧样地	球状模型	0.22	1.60	0.86	101.00	0.842	0.094
封育 6 年样地	球状模型	0.08	0.32	0.75	101.00	0.822	0.003
封育 12 年样地	球状模型	0.23	0.54	0.58	97.67	0.909	0.003

3 讨 论

封育措施主要是通过人为降低或排除牲畜对生态系统的影响使系统在自身的弹性下得以恢复和重建。本研究中,封育 6 年、封育 12 年样地的总植株密度均显著高于放牧样地,主要是源于封育区内植

样性的降低。

2.3 植被分布的空间异质性

将各样地植株密度进行对数转换,转换后的数据经 Kolomogorv-Semirnov( K-S )检验符合正态分布( *P* < 0.05 ),然后对其进行半方差函数分析、模型拟合得到各样地植株密度变异函数模型( 表 3 )。从表 3 可以看出,放牧和封育样地中植株密度均能较好的拟合为球状模型,具有明显的空间结构特征。各样地植株密度的结构方差与基台值的比值( C<sub>0</sub> + C )均 > 55%,说明随机变异均小于结构变异,反映出植株密度在现有研究尺度上具有较强的空间自相关性。由 C/( C<sub>0</sub> + C ) > 75%, 75% ~ 25%, < 25% 分别表示变量的空间自相关及变异性强烈、中等、较弱( 贾宇平等 2004 ;杨劲松等 2006 ),放牧样地的 C/( C<sub>0</sub> + C ) > 75%,表明植株密度具有强烈的空间自相关性,封育 6 年和封育 12 年样地的 C/( C<sub>0</sub> + C ) 分别为 75% 和 58%,表明物种植株具有中等的空间自相关性。封育样地的 C/( C<sub>0</sub> + C )均要小于放牧样地,并且封育 12 年样地的 C/( C<sub>0</sub> + C )小于封育 6 年样地,说明封育措施能够降低物种密度的空间相关性,并且随着封育时间的延长空间自相关性越弱。

空间异质性是尺度的函数,变异函数中的变程( A )是描述空间异质性尺度的有效参数,它表明属性因子空间自相关范围的大小,它与观测尺度以及在取样尺度上影响属性特征的各种生态过程的相互作用有关( 左小安等 2006 ;Su *et al.* ,2006 )。研究发现,放牧和封育样地中,变程均较大,表明在科尔沁沙地小叶锦鸡儿群落内植株密度存在较大的空间自相关性范围。

被躲避了牲畜的啃食、践踏的干扰而大量的繁殖,同时封育区内的土壤种子库为沙丘植被的自然更新和恢复提供了大量的繁殖体( 赵丽娅等 2006 ),从而有利的提高沙丘的植株密度。随着封育年限的延长,表层土壤细粒组分和有机质增加,与枯落物的结合会形成稳定的结皮层( 李新荣等 ,1999 ;苏永中

等 2002), 提高地表的抗风蚀能力, 固沙效应明显增强。可见, 在科尔沁地区封育措施是促进沙丘植被快速恢复、固定流动沙丘的有效措施。

研究发现, 不同区域内的植被结构、物种多样性对封育措施的实施表现出了不同变化规律( Perevolotsky & Seligman, 1998)。杨晓晖等( 2005) 对半干旱沙地草场的研究表明, 封育后旱生和强旱生植物的比例增加, 饲用价值差的植物大量出现。长期封育导致一些牲畜喜食或耐采食的植物开始逐渐消失( Perevolotsky & Seligman, 1998)。本研究中的结果与其相反, 放牧导致牲畜喜食性植物多度的减少, 降低其种间竞争优势, 而给牲畜厌食性植物提供扩大种群的机会, 如草瑞香。封育 6 年后, 草瑞香消失, 具有强竞争优势的绿珠藜逐渐发展成为群落的优势种, 这与 Muller-Scharer( 1991) 的研究结果一致, 即封育措施能够改变牧草的竞争力, 适口性差的牧草竞争力被削弱, 适口性好的牧草种竞争力被增强。

李锋瑞等( 2003) 和曹子龙等( 2006) 的研究结果显示, 围封可显著增加沙化草地地上植被的物种丰富度、物种多样性, 并且在围封 1~4 年增长幅度最大。本研究中, 相比放牧样地, 封育 6 年和封育 12 年样地群落的物种数并没有明显变化。由于群落物种组成的多样性, 不仅仅指物种的丰富度, 而是丰富度和均匀度二者的综合量度( 杨利民和王仁忠, 1999), 放牧和封育均可通过改变群落物种的均匀度而直接影响多样性指数。在封育样地内, 由于缺少对植被演替的干扰, 使适应当地生存环境的绿珠藜迅速发展, 导致其个体数量明显高于其他物种, 致使群落内物种组成的个体多度极不平衡, 均匀度下降, 从而导致物种多样性的降低, 并且随着封育年限的增加, 物种多样性越低。

从沙区物种多样性保护的角度出发, 在固定沙丘上, 轻度干扰利于植被多样性的形成( Lemauiel *et al.*, 2003), 适度放牧可使草地保持较高的物种多样性, 能够促进草地物质和养分的良性循环, 从一定程度上可以提高草地的生产力( Hopkins & Wainwright, 1989)。因此, 如进行沙区植物多样性保护, 则应重视“干扰”的调节作用, 一方面, 应避免过度干扰造成的剧烈沙化及其所引起的草原植被的严重毁灭; 另一方面, 应通过利用适度放牧、破坏结皮等措施促进适沙植物的繁衍, 增加植物功能组成, 提高植物丰富度和沙生植物的比重。但应加强对干扰强度量化的研究( 刘志民和马君玲, 2008)。

植被的分布格局不仅受到非生物因素的影响( 如地形、水分、温度等), 生物因素( 如牲畜啃食、由放牧所导致土壤养分空间分布的变化) 也将改变植被的空间分布状态( Augustine, 2003)。本研究中, 封育样地植株密度的空间异质性均要小于放牧样地, 并且随着封育年限的增加, 空间异质性越小。这与罗亚勇等( 2008) 对沙质草地植被特征的研究结果相同。封育样地植被没有被牲畜践踏和啃食而大量生长, 从而降低了植株密度的空间异质性。而且封育也使沙质土壤结构也发生了不同程度的改变( 郑景明和马克平, 2006), 进而再次改变其分布格局和功能, 这种反馈作用加大了植被空间异质性的变化。

植被的空间分布特征与群落的物种多样性、物种的入侵紧密相关。群落内部的空间异质性也可能对物种入侵有一定的影响。根据群落组合理论, 由于物种丰富的立地存在较高的时间、空间异质性, 从而可能增加植物入侵的机会( 郑景明和马克平, 2006)。因此, 在放牧样地植被较高的空间异质性给物种的入侵提供了一定机会, 但考虑到沙丘的固定程度、植被盖度等固沙方面的要求, 应合理地制定放牧的强度, 加强适牧的研究, 从而实现沙地植被恢复和物种多样性保护的双向要求。

# 参考文献

- 阿拉木萨, 蒋德明, 裴铁璠. 2004. 科尔沁沙地人工小叶锦鸡儿植被水分入渗动态研究. 生态学杂志, 23( 1): 56-59.
- 曹成有, 蒋德明, 朱丽辉, 等. 2006. 科尔沁沙地草甸草场退化原因与植物多样性变化. 草业学报, 15( 3): 18-26.
- 曹成有, 朱丽辉, 富瑶, 等. 2007. 科尔沁沙质草地沙漠化过程中土壤生物活性的变化. 生态学杂志, 26( 5): 622-627.
- 曹子龙, 赵廷宁, 郑翠玲, 等. 2006. 浑善达克沙地南缘沙化草地围封过程中土壤种子库与地上植被的耦合关系. 干旱区资源与环境, 20( 1): 178-183.
- 何玉惠, 赵哈林, 刘新平, 等. 2008. 封育对沙质草甸土壤理化性状的影响. 水土保持学报, 22( 2): 159-161.
- 贺山峰, 蒋德明, 阿拉木萨, 等. 2007. 科尔沁沙地小叶锦鸡儿灌木林固沙效应的研究. 水土保持学报, 21( 1): 84-87.
- 贾宇平, 苏志珠, 段建南. 2004. 黄土高原沟壑区小流域土壤有机碳空间变异. 水土保持学报, 18( 1): 31-34.
- 蒋德明, 曹成有, 押田敏雄, 等. 2008. 科尔沁沙地小叶锦鸡儿人工林防风固沙及改良土壤效应研究. 干旱区研究, 25( 5): 653-658.

- 蒋德明,李荣平,刘志民,等. 2004. 科尔沁草甸地放牧和割草条件下土壤种子库研究. *应用生态学报*, **15**(10): 1860–1864.
- 李铮瑞,赵丽娅,王树芳,等. 2003. 封育对退化沙质草地土壤种子库与地上群落结构的影响. *草业学报*, **12**(4): 90–99.
- 李红艳,杨晓晖,黄选瑞,等. 2007. 盐池封育草场土壤种子库特征及其与植被的关系. *生态环境*, **16**(2): 533–537.
- 李新荣,赵雨兴,杨志中,等. 1999. 毛乌素沙地飞播植被与生境演变的研究. *植物生态学报*, **23**(2): 116–124.
- 刘振国,李镇清. 2006. 退化草原冷蒿群落 13 年不同放牧强度后的植物多样性. *生态学报*, **26**(2): 475–482.
- 刘志民,马君玲. 2008. 沙区植物多样性保护研究进展. *应用生态学报*, **19**(1): 183–190.
- 罗亚勇,赵学勇,左小安,等. 2008. 放牧和封育对沙质草地植被特征及其空间变异性的影响. *干旱区研究*, **25**(1): 118–124.
- 苏永中,赵哈林,文海燕. 2002. 退化沙质草地开垦和封育对土壤理化性状的影响. *水土保持学报*, **16**(4): 5–9.
- 苏永中,赵哈林. 2003. 持续放牧和围封对科尔沁退化沙地草地碳截存. *环境科学*, **24**(4): 23–28.
- 王国宏,任继周,张自和. 2002. 河西沙地绿洲荒漠植物群落多样性研究. *草业学报*, **11**(1): 31–37.
- 王政权. 1999. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社.
- 杨劲松,姚荣江,刘光明,等. 2006. 黄河三角洲地区土壤盐分的孔家变异型及 Cokriging 估值. *干旱区研究*, **23**(3): 439–445.
- 杨利民,王仁忠. 1999. 松嫩平原主要草原群落放牧干扰梯度对植物多样性的影响. *草地学报*, **7**(1): 8–16.
- 杨晓晖,张克斌,侯瑞萍. 2005. 封育措施对半干旱沙地草场植被群落特征及地上生物量的影响. *生态环境*, **14**(5): 730–734.
- 赵丽娅,李兆华,赵锦慧,等. 2006. 科尔沁沙质草地放牧和围封条件下的土壤种子库. *植物生态学报*, **30**(4): 617–623.
- 郑景明,马克平. 2006. 植物群落多样性与可入侵性关系研究进展. *应用生态学报*, **17**(7): 1338–1343.
- 邹受益,张景龙,冯政夫,等. 2001. 科尔沁沙地荒漠化土地初析. *中国沙漠*, **21**(1): 76–78.
- 左小安,赵学勇,赵哈林,等. 2006. 退化沙质草场群落特征及功能群多样性的空间异质性. *干旱区研究*, **23**(1): 39–45.
- Augustine DJ. 2003. Spatial heterogeneity in the herbaceous layer of a semi-arid savanna ecosystem. *Plant Ecology*, **167**: 319–332.
- Hopkins A, Wainwright J. 1989. Changes in botanical composition and agricultural management of enclosed grassland in upland areas of England and Wales, 1970–1986, and some conservation implications. *Biological Conservation*, **47**: 219–235.
- Kato K, Takeuchi KI, Jiang DM, et al. 1998. Vegetation restoration by seasonal enclosure in the Kerqin Sandy Land, Inner Mongolia. *Plant Ecology*, **139**: 133–144.
- Lemauiel S, Gallet S, Roze F. 2003. Sustainable management of fixed dunes: Example of a pilot site in Brittany (France). *Comptes Rendus Biologies*, **326**(suppl.): 183–191.
- Muller-scharer H. 1991. The impact of root herbivory as a function of plant-density and competition- survival, growth and fecundity of *Centaurea maculosa* in field plots. *Journal of Applied Ecology*, **28**: 759–776.
- Perevolotsky A, Seligman NG. 1998. Role of grazing in Mediterranean rangeland ecosystems. *BioScience*, **48**: 1007–1017.
- Puget P, Chenu C, Balesdent J. 2000. Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregates. *European Journal of Soil Science*, **51**: 595–605.
- Shirato Y, Zhang TH, Ohkuro T, et al. 2006. Changes in topographical features and soil properties after enclosure combined with sand-fixing measures in Horqin Sandy Land, northern China. *Soil Science and Plant Nutrition*, **51**: 61–68.
- Smith RS, Rushton SP. 1994. The effects of grazing management on the vegetation of mesotrophic (meadow) grassland in northern England. *Journal of Applied Ecology*, **31**: 13–24.
- Su YZ, Li YL, Zhao HL. 2006. Soil properties and their spatial pattern in a degraded sandy grassland under post-grazing restoration, Inner Mongolia, northern China. *Biogeochemistry*, **79**: 297–314.
- Valone TJ, Meyer M, Brown JH, et al. 2002. Timescale of perennial grass recovery in desertified arid grasslands following livestock removal. *Conservation Biology*, **16**: 995–1002.

作者简介 蒋德明,男,1958 年生,研究员。主要从事荒漠化防治及退化生态系统恢复研究,发表论文 40 余篇。  
E-mail: jiangdeming@iae.ac.cn  
责任编辑 刘丽娟