

退化沙质草场群落特征及功能群生物量的空间变异性

左小安, 赵学勇, 张铜会, 郭轶瑞, 李玉强, 云建英

(中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所 奈曼沙漠化研究站, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 科尔沁沙地草地退化、沙漠化发展中的沙质草场阶段, 植被丰富度、盖度可很好地拟合为球状模型, 都具有明显的空间结构特征, 在所研究范围内, 盖度变异幅度明显高于丰富度, 但在变程范围内植被丰富度空间变异性强, 盖度的空间变异性弱, 依赖性强。群落生物量及各功能群生物量的空间自相关范围在 9.390~252.690 m 范围内变化, 相差近 30 倍, 表明影响功能群生物量的生态过程和格局起作用的尺度效应明显。多年生草本和中生植物生物量的结构方差与基台值的比值小于 60%, 不具有空间结构特征, 随着距离的增大, 半方差函数值达到一个稳定的极限值后, 开始下降并呈现出减小的趋势, 但是受牲畜活动等随机因素影响, 在 5 m 取样尺度内不存在局部格局, 而可能受更大尺度的格局控制。群落中其它功能群生物量表现出随着距离的增大空间变异性增强的趋势, 但超过其变程后半方差函数值稳定在一个极限值附近。群落中生态功能群旱生植物的波动变化不仅对群落盖度、草场的生产力有直接的影响, 而且对草场群落及其生态系统的稳定和生态功能的发挥具有重要作用。

关键词: 沙质草场; 群落特征; 功能群生物量; 空间变异性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2006)01-0020-06

中图分类号: Q948.1, S812

Spatial Variability of Community Characteristics and Above-ground Biomass of Functional Group in Degraded Sandy Grassland

ZUO Xia-an, ZHAO Xue-yong, ZHANG Tong-hui, GUO Yi-rui, LI Yu-qiang, YUN Jian-ying

(Naiman Desertification Research Station, Cold and Arid Regions Environmental and

Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, Gansu Province, China)

Abstract: Geostatistical theory and methods were used for describing spatial variability of community characteristic and above-ground biomass of functional group in sandy grasslands of the Horqin Sand. Results showed that vegetation richness and coverage had distinct degree and scale changes in spatial variability. Vegetation richness had the high spatial variability, while coverage had a high dependence in study area. The above-ground biomass of functional groups and community in sandy grasslands had a different spatial auto-relation range from 9.39 m to 252.69 m. This showed that factors, affecting ecological processes and patterns of above-ground biomass of different functional groups, played their ecological roles on different scales. The semi-variogram values of above-ground biomass of perennial herbs and Mesophytes, following the increase of spatial distances, showed decreasing trends when semi-variogram values exceeded the effective range. However, semi-variogram values of above-ground biomass of other functional groups, following the increase of spatial distances, showed a trend of increasing spatial variability, but semi-variogram values were no longer changed when exceeding the effective range. The above-ground biomass of perennial herb and intermediate xerad, owing to the effects of human disturbance and livestock activities and topographic condition, had no spatial difference in a range of five meters. It may be controlled by a process on larger scale. So, the above-ground biomass of different functional groups had the more complex mechanism and processes corresponding to disturbance and effects from human, livestock and nature. Moreover, changes on xerad not only influenced community's coverage, but also played an important role in maintaining ecological functions and the stability of grassland ecosystem.

Keywords: sandy grassland; community characteristics; above-ground biomass of functional group; spatial variability

收稿日期: 2005-06-23

资助项目: 中国科学院野外台站基金项目(1731690200015); 国家自然科学基金(40471004)

作者简介: 左小安(1978-), 男(汉族), 甘肃张掖人, 博士生, 主要从事干旱区景观、植被、生态格局及过程方面的研究。E-mail: zuoxa@cern.ac.cn.

空间变异性(spatial variability) 是所研究的系统特性在空间上的复杂性^[1]。它反映了生态格局和生态过程的内在特性。群落在空间上的分布受环境的影响既非均一又非随机, 存在着诸如聚集分布或梯度分布的空间结构, 而空间变异性从空间差异的角度指出了空间不连续性对自然群落分布格局的重要影响, 也即空间过程对群落格局的重要性^[2]。空间变异性与生态学过程之间的相互作用是群落发展的基本原因^[3]。在干旱地区、半干旱地区, 沙漠化过程伴随着植被的退化过程, 不仅导致了植被的破坏和减少以及多样性的丧失, 还深刻地影响了植被群落生产力的空间变化。

科尔沁沙地沙质草场生态系统由于过渡的放牧、开垦和持续的干旱出现了不同程度的退化, 造成生物资源锐减、土地生产力急剧下降^[4]。前人为此做过大量的调查研究工作^[5-9]。但在较小的空间尺度上, 由于微地形、放牧干扰和种间竞争等作用的影响, 在沙质草场内部存在着小尺度群落组成和生物量分布格局的空间变异性, 这种小尺度的空间变异性可能是维持较大尺度的群落初级生产力和稳定性的重要因素。本章拟采用地统计学的分析方法^[10], 研究科尔沁沙地草地退化、沙漠化过程中的沙质草场阶段群落中各功能群生物量的空间变异性, 以及群落中各功能群生物量之间的相互关系, 为草场的管理、草场生态系统功能的维持和沙地生态系统恢复提供理论依据。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于科尔沁沙地中南部的奈曼旗境内。地理位置 120°55' E, 42°41' N, 平均海拔 360 m。该区域属温带半干旱大陆性季风气候, 年均温 6.4℃, >10℃年积温在 3 000℃以上, 无霜期约 150 d。年均降水量 364.6 mm, 主要集中在 6—8 月, 年均蒸发量 1972.8 mm。土壤类型主要有风沙土、草甸土、沙质栗钙土和沼泽土^[4]。气候特征是冬、春季干旱, 多大风, 降雨集中在夏季, 水热同期, 有利于植物生长。地貌类型以流动和半流动沙丘、固定沙丘、缓平沙地、丘间低地和开阔的大片甸子地相间分布为特征。一些起伏的甸子地主要作为放牧草场和旱作农田。植被的斑块化分布和空间异质性较强, 优势植物种有沙米 [*Agriophyllum squarrosum* (L.) Moq]、猪毛菜 [*Salsolacollina*]、狗尾草 [*Setaria iridis*]、砂蓝刺头 [*Echinops gmelini turcz*]、冷蒿 [*Artemisia frigida*]、糙隐子草 [*Cleistogenes squarrosa*]、差巴嘎蒿

(*Artemisia halodendron*) 和小叶锦鸡儿 (*Caragana microphylla*) 等。

1.2 研究方法

1.2.1 调查方法 2004 年 8 月, 选取科尔沁沙地退化沙质草场典型群落样地, 坡度为 3°~9°, 在样地上取互相平行的 4 条 1 m 宽的样带, 样带长度 50 m, 样带间距 10 m。在样带上和样带间每隔 5 m 设置 1 m × 1 m 的样方, 用来调查草场植被群落特征。生物量的测定是采割样方内所有物种个体生物量鲜重, 把样品带回实验室, 80℃恒温烘至恒重, 并称每个物种个体干重。

1.2.2 分析方法 根据科尔沁沙地群落中植物的生活型和水分生态类型组成, 进行物种功能群的划分^[4], 分析各功能群的生物量的空间变异性及其相互关系。应用单样本柯尔莫哥洛夫-斯米诺夫 [One-sample Kolomogorov-Semirnov (KS)] 检验数据是否符合正态分布规律, 对不符合正态分布的数据, 进行对数或者平方根等数据转换的方法转换, 使转换后的数据趋于正态分布。

经典统计学用 SPSS11.5 软件包, 空间变异特征用地统计学软件 GS5+ 进行变异函数分析和分维数分析。在地统计学中, 半方差函数是研究变异性的关键函数, 该函数可用下式表示^[11-12]:

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

式中: $\gamma(h)$ —— 半方差函数; h —— 两样本间的分离距离; $z(x_i)$, $z(x_i + h)$ —— 随机变量在空间位置 x_i 和 $x_i + h$ 上的取值; $N(h)$ —— 在分离距离为 h 时的样本对总数。

由 $\gamma(h)$ 对 h 作图可得试验半方差函数图, 该图由一批散点组成。根据残差平方和 (RSS) 最小原则, 对试验半方差函数拟合, 得到半方差函数的理论模型。一般 C_0 表示块金方差, 反映的是最小抽样尺度以下变量的变异性及测量误差; C 为结构方差, 表示非随机原因形成的变异; $C_0 + C$ 为基台值, 表示变量的最大变异程度; $C/(C_0 + C)$ 为空间自相关度, 表示的是可度量空间自相关的变异所占的比例; 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。分维数 D 是一个无量纲数, $D = (4 - m)/2$, m 是变异函数 $\gamma(h)$ 和抽样间距 h 双对数线性回归的斜率。随着变异函数对数曲线斜率的增加而减少, 斜率越陡 (m 越大), D 越小, 格局变异的空间依赖性就越强, 随机因素引起的异质性所占的比重也越大。本文中用到的理论模型有球状模型指数模型和线性模型。

2 结果分析

2.1 草场群落特征空间变异分析

2.1.1 群落特征的描述性分析 沙质草场物种丰富度和植被盖度的统计特征(见表 1)。有描述性统计结果,丰富度的分布规律基本符合正态分布,盖度经对数转化后呈正态分布。统计平均、标准差指绝对变异,变异系数反映的是相对变异。在研究范围内,盖度变异幅度明显高于丰富度,说明草场内由于牲畜等干扰作用下的植被盖度比丰富度存在更大的变异。

2.1.2 群落特征变异函数分析 沙质草场物种丰富

度和植被盖度的空间变异规律均能较好地拟合成变异函数的理论模型——球状模型,均具有明显的空间特征(表 2,图 1)。由表 1 见,草场物种丰富度和植被盖度的结构方差与基台值的比值 $C/(C_0 + C)$ 均大于 70%,说明随机变异均小于结构性变异,反映出丰富度和盖度在此研究尺度上具有较强的空间自相关格局。 C 与 $(C_0 + C)$ 的比值 $> 75%$, $75% \sim 25%$, $< 25%$ 分别表明变量的空间相关性强烈、中等、较弱^[11],而植被的丰富度、盖度的 C 与 $(C_0 + C)$ 的比值各为 97.4%, 74.2%,表明在研究尺度内丰富度具有较强烈的空间相关性,盖度具有中等空间相关性。

表 1 群落特征测定结果的统计特征

植被特征	平均值	标准差	最小值	最大值	变异系数/%	分布类型
丰富度	10.364	1.870	7	14	18.043	正态
盖度/%	27.182	13.507	10	70	49.691	对数正态

表 2 群落特征变异函数理论模型及相关参数

植被特征	模型	C_0	$C/(C_0 + C)$	$C_0 + C$	A/m	D	RSS
丰富度	球状	0.090	0.974	3.487	6.020	1.994	0.419
盖度/%	球状	0.058	0.742	0.225	17.910	1.875	0.000

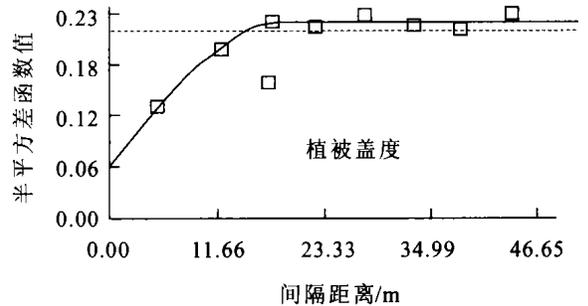
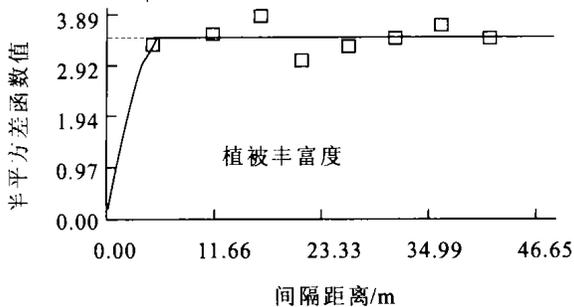


图 1 沙质草场群落特征空间半方差图

变程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生态过程相互作用有关^[12]。在变程范围内,变量具有空间自相关特性,反之则不存在,所以,变程提供了研究某种属性相似范围的一种测度。从表 2、图 1 可见,物种丰富度、植被盖度变程分别是 6.020 m, 17.910 m,表明在变程范围内存在着空间自相关性,前者小于后者,而且均未超过所研究的区域,表现出随着距离的增大,空间变异性增强的趋势,但超过其变程后半方差函数值达到一个稳定值。

分维数 D 是一个无量纲数, $D = (4 - m)/2$, m 是变异函数 $\gamma(h)$ 和抽样间距 h 双对数线性回归的斜率。 D 随着变异函数对数曲线斜率的增加而减少,斜率越陡(m 越大), D 越小,格局变异的空间依赖性就越强,随机因素引起的异质性所占的比重也越大。丰

富度、盖度的分维数分别为 1.994, 1.875,前者明显大于后者,表明物种丰富度空间依赖性弱、破碎化程度高;盖度的空间依赖性强、变异性弱。由随机因素引起的变异性所占的比重大于物种丰富度(表 2,图 1)。分析表明,不同的牲畜啃食和践踏是引起上述差异的关键原因。

2.2 草场群落中各功能群生物量空间变异分析

2.2.1 群落中各功能群生物量描述性特征 沙质草场植被群落中各功能群生物量统计特征(见表 3)。有描述性统计结果显示,群落总生物量、生活型和生态型功能群生物量的分布规律经数据对数或者平方根转化后基本符合正态分布,各功能群生物量统计特征值也存在明显的差异。在所研究的范围上,从群落的生物量到生态型功能群旱生植物的生物量,变异系数都比较大,变动的范围在 61.398% ~ 275.704%。

表明草地退化到沙质草场阶段, 各功能群生物量在空间上的差异较大。其中, 群落总生物量的变异系数最小, 说明草场内本身就具有很高的生物量。旱生植物和一、二年生草本生物量在各功能群中相对较高, 且具有相对较小的变异系数, 说明二者作为草场群落的优势种所发挥的稳定群落的作用, 而此处表现出对群落的生物量有较大的贡献作用。其余各功能群生物量的变异系数均在 100% 以上, 说明这些功能群草场空间上分布差异较大, 变化较为强烈, 而其中多年生草本和旱生植物生物量变异系数分别为 259.680% 和 275.704%, 表明其受牲畜啃食、践踏等外界干扰作用的影响在各功能群中最大。

2.2.2 群落中功能群生物量变异函数分析 沙质草场群落生物量和生活型、生态型功能群生物量的空间变异规律均能较好地拟合成变异函数的理论模型, 其

中群落生物量和一、二年生草本、灌木、中旱生植物和旱生植物的生物量可拟合为球状模型, 湿生植物的生物量可拟合为指数模型, 多年生草本和中生植物拟合为线性模型(表 4, 图 2)。群落生物量和各生活型、生态型功能群生物量的 C 与 $(C_0 + C)$ 的比值分别为 97.5%, 66.5%, 0%, 86.8%, 72.3%, 0%, 83.5% 和 80.5%, 表明草场群落生物量, 灌木, 中旱生植物和旱生植物的生物量具有强烈的空间相关性; 一、二年生草本和湿生植物生物量具有中等的空间相关性, 而多年生草本和旱生植物生物量具有弱的空间相关性。多年生草本和旱生植物生物量的结构方差与基台值的比值 $C/(C_0 + C)$ 小于 60%, 而其它功能群生物量均大于 60%, 表明除多年生草本和旱生植物生物量外, 其它功能群的生物量具有空间结构特征, 且随机变异均小于结构性变异。

表 3 群落中各功能群生物量描述性特征

植被群落分类	平均值	标准差	最小值	最大值	变异系数/%	分布类型	
群落生物量	154.078	100.676	46.280	468.130	65.341	对数正态	
生活型	一、二年生草本	95.585	58.687	15.080	240.640	61.398	对数正态
	多年生草本	8.502	22.078	0	117.000	259.680	平方根正态
	灌木	49.997	73.364	0	281.200	146.737	平方根正态
生态型	湿生植物	11.671	18.308	0	100.010	156.867	平方根正态
	中生植物	20.940	21.444	0.680	132.670	102.407	对数正态
	中旱生植物	16.966	46.776	0	278.980	275.704	平方根正态
	旱生植物	104.555	103.975	2.050	454.108	99.445	对数正态

表 4 群落中功能群生物量的变异函数理论模型及相关参数

植被群落分类	模型	C_0	$C/(C_0 + C)$	$C_0 + C$	A/m	D	RSS
群落生物量	球状	0.008	0.975	0.319	9.390	1.979	0.010
生活型	一、二年生草本	0.142	0.665	0.427	18.120	1.925	0.022
	多年生草本	6.179	0	6.179	41.589	1.946	7.290
	灌木	3.810	0.868	28.840	18.960	1.838	4.510
生态型	湿生植物	2.490	0.723	8.989	252.690	1.888	1.880
	中生植物	0.886	0	0.886	41.589	1.940	0.209
	中旱生植物	2.210	0.835	13.420	17.090	1.987	13.800
	旱生植物	0.589	0.805	3.014	101.000	1.796	0.131

从表 4、图 2 可见, 在研究尺度上, 群落及各功能群生物量的空间自相关范围在 9.390~252.690 m 内变化, 相差近 30 倍, 说明在草场群落内, 影响功能群生物量的生态过程和格局在不同的尺度上起作用。从变程范围和半方差图来看, 多年生草本和旱生植物生物量, 随着距离的增大, 在出现一个相对稳定的基台值后, 开始下降, 并随着空间距离的增大, 空间变异性减弱, 而其它各功能群生物量表现出随着距离的增大空间变异性增强的趋势, 但超过其变程范围后半方差

函数值也基本稳定在一个极限值附近。一、二年生草本、多年生草本、灌木、湿生植物、中生植物和旱生植物生物量具有较高的变程, 分别为 18.120, 41.589, 18.960, 252.690, 41.589 和 101.000m; 分维数分析发现其又具有相对较低的分维数, 分别为 1.925, 1.946, 1.838, 1.888, 1.940 和 1.796, 表明这些处于优势地位和亚优势地位的功能群生物量空间依赖性强、变异性弱, 由随机因素引起的异质性所占的比重较大, 且也主要表现在 5 m 以下的尺度范围内。再由多年生

草本和中生植物生物量的 C 与 $(C_0 + C)$ 的比值为 0 和线性模型, 说明其空间变异性主要是有牲畜活动、地形等随机因素引起的, 在 5 m 取样尺度内不存在局部格局, 而可能受更大尺度的格局控制。

2.3 沙质草场群落特征和功能群生物量间的关系

沙质草场群落特征及各功能群生物量的 Pearson 相关分析结果见表 5 所示。从表 5 中可以看出, 在植被特征中, 丰富度与湿生植物生物量成显著的负相关 ($p < 0.05$), 盖度与群落生物量、灌木生物量、中旱生植物生物量、旱生植物生物量成极显著的正相关关系 ($p < 0.01$)。这说明在一定程度上生物量是盖度的函数, 生物量的变化对盖度的影响较显著。

群落生物量与灌木、旱生植物和一、二年生草本的生物量成极显著的正相关关系 ($p < 0.01$), 与中旱生植物生物量存在着正相关关系 ($p < 0.05$), 而旱生植物与灌木、和一、二年生草本的生物量又成极显著的正相关关系 ($p < 0.01$)。多年生草本生物量与中生植物、中旱生植物成极显著的正相关关系 ($p < 0.01$)。该分析结果表明, 沙质草场植物群落中各功能群与群落之间相互影响的关系非常密切, 形成了相互作用的统一系统。群落中生态功能群旱生植物的波动变化不仅直接影响群落盖度的变化, 而且也会影响到草场的生产力, 对草场群落及其生态系统的稳定和生态功能的发挥具有重要作用。

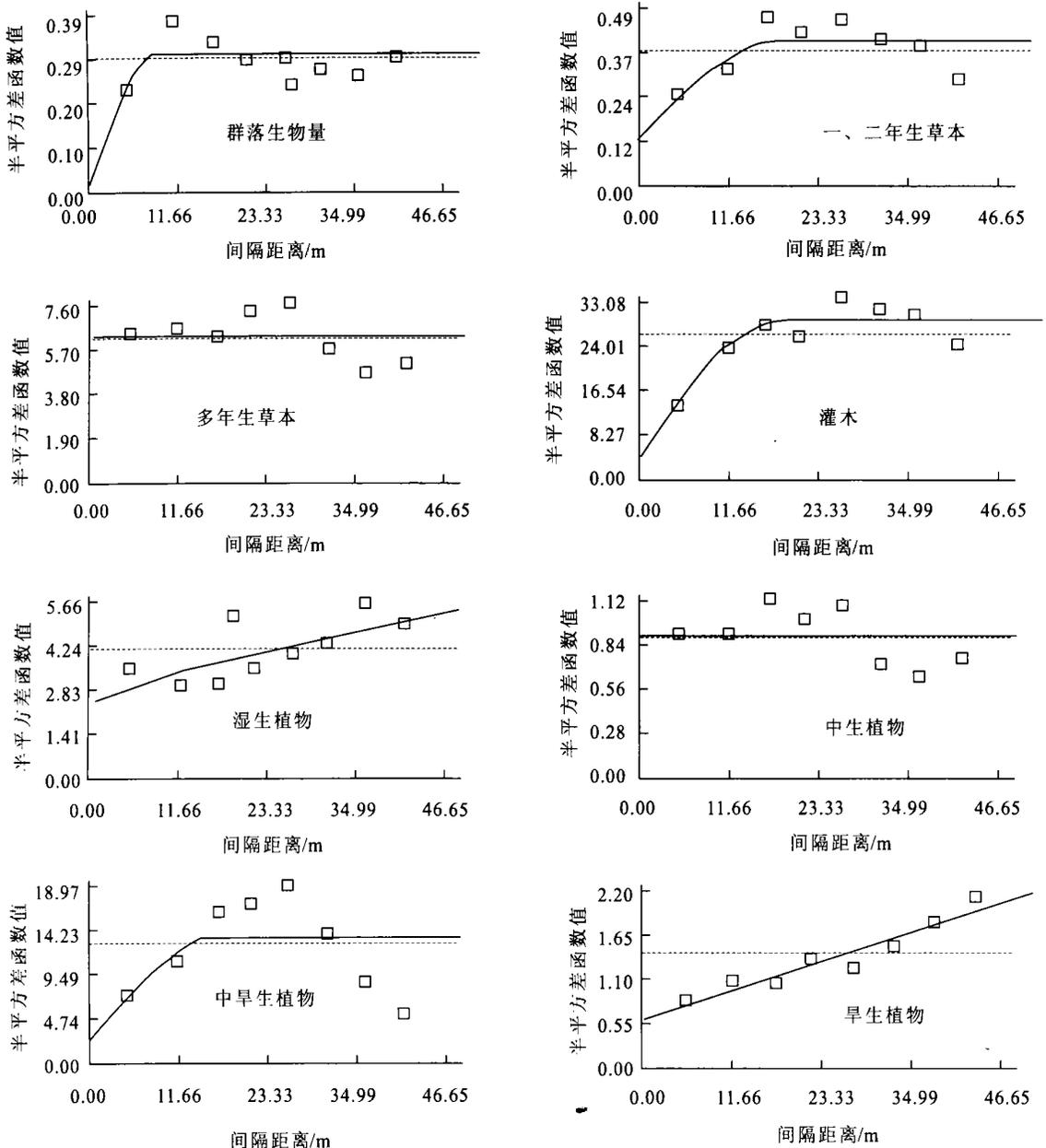


图 2 群落中功能群生物量的空间半方差图

表 5 沙质草场群落特征和功能群生物量之间的相关关系

功能群分类	丰富度	盖度/%	群落生物量	多年生草本	灌木	一、二年生草本	旱生植物	湿生植物	中旱生植物	中生植物
丰富度	1.00									
盖度/%	-0.19	1.00								
群落生物量	-0.02	0.62**	1.00							
多年生草本	0.20	0.05	0.31*	1.00						
灌木	0.01	0.65**	0.77**	0.07	1.00					
一、二年生草本	-0.12	0.23	0.63**	0.06	0.05	1.00				
旱生植物	0.08	0.45**	0.87**	-0.01	0.69**	0.64**	1.00			
湿生植物	-0.33*	-0.06	-0.14	-0.12	-0.18	0.03	-0.32	1.00		
中旱生植物	-0.17	0.35*	0.20	0.48**	0.30*	-0.22	-0.25	0.11	1.00	
中生植物	0.16	0.03	0.16	0.54**	-0.21	0.34*	0.05	-0.17	-0.14	1.00

注: 生物量(g/m^2); *: 显著($p < 0.05$); **: 极显著($p < 0.01$)。

3 结 论

(1) 草地退化、沙漠化发展中的沙质草场阶段, 群落特征可很好地拟合为球状模型, 具有明显的空间结构特征。在变程内, 植被丰富度空间变异性强、破碎化程度高, 盖度的空间依赖性强、变异性弱。但在研究区域内, 由牲畜啃食、践踏等随机因素对植被盖度的影响大于丰富度, 盖度表现出比丰富度更强的变异幅度。

(2) 群落生物量及各功能群生物量的空间自相关范围在 9.390~252.690 m, 相差近 30 倍, 表明影响功能群生物量的生态过程和格局起作用的尺度效应明显。在研究范围内, 多年生草本和中生植物生物量的结构方差与基台值的比值 $C/(C_0 + C)$ 小于 60%, 不具有空间结构特征。随着距离的增大, 半方差函数值达到一个相对稳定的极限值后, 开始下降, 并呈现出减小的趋势, 但是受牲畜活动等随机因素影响较大, 在 5 m 取样尺度内不存在局部格局, 而可能受更大尺度的格局控制。群落中其它功能群生物量均大于 60%, 具有空间结构特征, 且随机变异均小于结构性变异。表现出随着距离的增大空间变异性增强的趋势, 但超过其变程后半方差函数值稳定在一个极限值附近。

(3) 在草地退化、沙漠化过程中的沙质草场阶段, 由于人类、牲畜活动的干扰和物种竞争等共同作用, 影响着小尺度分布格局在大尺度上的配置格局, 使各功能群生物量在所研究的空间范围上存在较大差异, 生活型、生态型各功能群生物量的空间响应机制和过程也较为复杂。草场群落中的多年生草本中大多数植物由于受牲畜啃食、践踏作用, 表现出与一、二年生草本和旱生植物等群落优势功能群不同的空间变异性, 而多年生草本生物量与中生植物成极显著

的正相关关系, 进一步解释了二者在小尺度受牲畜干扰而不存在局部格局的原因。群落中生态功能群旱生植物的波动变化不仅对群落盖度、草场的生产力有直接的影响, 而且对草场群落及其生态系统的稳定和生态功能的发挥具有重要作用。

[参 考 文 献]

- [1] Li H, Reynolds JF. On the definition and quantification of heterogeneity[J]. *Oikos*, 1995, 73: 280—284.
- [2] 辛晓平, 李向林, 杨桂霞, 等. 放牧和刈割条件霞草山坡群落空间变异性分析[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(4): 449—453.
- [3] 韩有志, 王政权. 天然次生林中水曲柳种子库的空间格局与过程[J]. *植物生态学报*, 2002, 26(2): 170—176.
- [4] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 等. 科尔沁沙地沙漠化过程及其恢复机理[M]. 北京: 海洋出版社, 2003. 29—83.
- [5] 张华, 伏乾科, 李锋瑞, 等. 退化沙质草地自然恢复过程中土壤—植物系统的变化特征[J]. *水土保持通报*, 2003, 23(6): 1—6.
- [6] 赵哈林, 张铜会, 赵学勇. 内蒙古半干旱地区沙质过牧草地的沙漠化过程[J]. *干旱区研究*, 2002, 19(4): 1—6.
- [7] 张继义, 赵哈林, 崔建垣, 等. 科尔沁沙地沙丘植被发育过程及物种组成变化[J]. *干旱区研究*, 2004, 21(4): 72—75.
- [8] 张继义, 赵哈林, 张铜会, 等. 科尔沁沙地植被恢复演替系列上群落演替与物种多样性的恢复动态[J]. *植物生态学报*, 2004, 28(1): 86—92.
- [9] 文海燕, 赵哈林. 退化沙质草地植被与土壤分布特征及相关分析[J]. *干旱区研究*, 2004, 21(1): 76—80.
- [10] 李艳, 史舟, 徐建明, 等. 地统计学在土壤科学中的应用及展望[J]. *水土保持学报*, 2003, 17(1): 178—182.
- [11] 贾宇平, 苏志珠, 段建南. 黄土高原沟壑区小流域土壤有机碳空间变异[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(1): 31—34.
- [12] 王军, 傅伯杰, 邱扬, 等. 黄土高原小流域土壤养分的空间异质性[J]. *生态学报*, 2002, 22(8): 1173—1178.