

毛乌素沙地沙生半灌木群落的空间异质性

陈玉福, 于飞海, 董 鸣*

(中国科学院植物研究所植被数量生态学开放研究实验室, 北京 100093)

摘要 在使用 $5\text{m} \times 5000\text{m}$ 样带进行调查获得的植被盖度数据的基础上, 通过半方差分析和分形分析揭示了毛乌素沙化草地沙生半灌木群落植被盖度的空间变异特点。半方差分析揭示出植被盖度的多尺度变异和等级斑块结构, 在取样范围内至少存在着 3 个等级。分形分析得出毛乌素沙地沙生半灌木群落植被盖度的分维 $D = 1.90$, 接近于 2, 指示着大部分空间变异发生在较小的尺度上。分段分形分析得出不同尺度范围内的分维, 反映了空间异质性的多尺度变异性。这一结果揭示了荒漠化过程引起的生境破碎化。

关键词 空间异质性 沙生半灌木群落 植被盖度 半方差分析 分形分析 毛乌素沙地

Spatial heterogeneity of the psammophytic half-shrub community in Mu Us Sandland

CHEN Yu-Fu, YU Fei-Hai, DONG Ming* (Lab. of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract Based on the data from field investigation along a 5 km transect, spatial variant features of the vegetation coverage of the psammophytic half-shrub community in Mu Us Sandland was described through semivariance analysis and fractal analysis. Nested structure of the vegetation coverage and its multiple-scale of variability were revealed by semivariance analysis. There were at least three scales of variability over the sampling range. Fractal dimension of the vegetation coverage was estimated by fractal analysis. It was 1.90, suggesting the dominance of variations of smaller scales. Fractal dimensions at different scales were obtained through piecewise fractal analysis, which reflects the multi-scale variation in spatial heterogeneity of the community. This result reveals habitat fragmentation caused by the desertification in this region.

Key words spatial heterogeneity; the psammophytic half-shrub community; vegetation coverage; semivariance analysis; fractal analysis; Mu Us Sandland

文章编号: 1000-0933(2000)04-0000-00 中图分类号: Q948.15 文献标识码: A

自然系统内在的异质性已成为生态学家的共识^[1], 异质性存在于许多时空尺度上的生态学现象之中^[1,2], 因此异质性的生态学效应一直是生态学研究的重要内容。陆地景观是由异质性的地貌、植被类型和土地利用类型组成的镶嵌体^[3], 在景观生态学理论产生以前被视为间断的内部同质的陆地景观斑块, 现在代之以跨越多个尺度的具有等级层次的斑块镶嵌概念^[3~5]; 一个给定尺度上的斑块具有反映更小尺度异质性的内部结构, 同时也是更大尺度异质性结构的一部分。景观的这种等级斑块结构是不同尺度上的生态学过程的结果, 同时它也制约着各种景观生态学过程^[6]。多尺度变异是生态学现象的一个普遍特征, 因为影响景观格局的生态学过程作用于许多不同的尺度^[1]。生态学家发展了多种方法来揭示多尺度变异的现象, 半方差分析和分形分析就是其中较为简单有效的数量方法^[7]。

基金项目 国家杰出青年科学基金(No. 39825106)和中国科学院资源与生态环境研究重大项目(KZ951-B1-108)资助。

通讯作者 Author for correspondence. E-mail: dongming@public.east.cn.net.

收稿日期: 1999-09-30 修订日期: 2000-03-02

作者简介 陈玉福(1968~), 男, 山东人, 博士生。主要从事景观生态学和植被生态学的研究工作。

植被是对自然环境最敏感的要害,它与其它要素的联系最为密切^[8,9]。同时植被又是自然条件的最好标志,是对某一地区生态环境的综合反映^[8]。位于鄂尔多斯高原的毛乌素沙区(37°30'~39°20'N;107°20'~111°30'E)是我国重要的生态环境过渡带之一^[10],干旱和半干旱的温带大陆性气候及其变化和长期以来不断加剧的人类活动使荒漠化过程日益严重^[11~15]。荒漠化,作为该区主要的景观生态学过程,深刻地影响了该地区的景观格局^[16,17]。在毛乌素沙区,植被的覆盖程度指示着景观环境因子的适宜程度^[18,19],是自然环境变化和人类活动所引起的景观过程的综合结果^[20,21]。因而植被覆盖度被作为表征土地退化特征的一个直接的主导性指标^[21,22]。对该地区植被的调查研究使人们认识到该地区景观破碎化程度高,植被常常以不同大小的斑块形式分布^[16,20]。然而,仍然非常缺乏对景观异质性的深入研究。本研究结合半方差分析和分形分析两种方法揭示毛乌素沙地沙生半灌木群落通过植被盖度反映出的空间异质性。

1 研究方法

1.1 研究区域概况

位于鄂尔多斯高原东南部洼地的毛乌素沙地是中国 12 大沙区之一^[23],海拔 1200~1600m,面积约 40,000km²。属温带半干旱大陆性气候区,年均温 6~9℃,降水量由东南部的 440mm 递减至西北部的 250mm,潜在蒸散率(PER)0.8~2.5,由东南向西北递增。冬春干燥多风,是塑造该区景观的主要生态因子之一^[23,24]。该区地带性植被是欧亚大草原的一个组成部分^[8],但由于该区的砂性基质和特殊的气候条件,各种类型的沙地(固定沙地、半固定-半流动沙地、流动沙地等)成为本区的主要景观类型,沙生植被在本区占有最大的面积。固定和半固定沙地植被多由含杂类草的油蒿群落为主体构成^[24,25]。

1.2 调查地点和方法

调查地点位于内蒙古自治区伊金霍洛旗东南部的沙地上,该地植被由以沙生半灌木群落为主的群落组成,其优势植物包括沙柳(*Salix psammophila*)、乌柳(*S. cheilophila*)、油蒿(*Artemisia ordosica*)、羊柴(*Hedysarum laeve*)、沙竹(*Psammochloa villosa*)等。

沿东南-西北方向设置一条 5km 的样线,沿样线设置 5m×5m 连续样方,通过目测记录每个样方目测的植被百分比盖度^[26],共得到连续的 1000 个点的植被盖度数据。

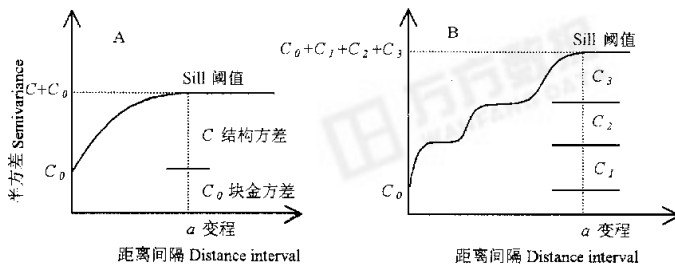


图 1 半方差分析示意图

A) 半方差图结构,在小于变程 α 的范围内具有空间依赖性。B) 巢状半方差图,显示多尺度变异和等级斑块结构。

Fig.1 Generalized semivariograms.

A) Structure of the semivariogram. Spatial dependence exists at the scale smaller than the range α . B) Nested semivariogram. Multiscaling and hierarchical patchiness are shown

1.3 数据分析

方差分析是在地学(采矿学、地质学)研究中发展起来的一种统计分析方法,后被广泛应用于土壤及景观空间格局的生态学研究,是研究尺度依赖性和空间变异的有效方法^[7,9,27~29]。半方差的计算公式为:

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

式中 $r(h)$ 是取样范围内间距为 h 的所有点的半方差, $z(x_i)$ 代表点 x_i 的值, $z(x_{i+h})$ 代表与 x_i 间距为 h 的点的值; $N(h)$ 是相距 h 的所有点对的数目。计算取样范围内所有可能间距的半方差就得到半方差图。从图

1A 所示的半方差图可以看出,一个具有空间依赖性的变量的半方差随空间间距的增加而增加(区段 1),当到达某一间距(变程 a)之后,半方差达到阈值(Sill,即 $C + C_0$, C 称为结构方差(Structure variance), C_0 称为块金方差(Nugget variance)^[28],不随间距的增加而变化(区段 2)。这种变化趋势反映了变量在不同尺度上的变异。如果取样范围足够大,具有多尺度变异的变量的半方差图将表现出巢状结构(图 1B)。

将半方差图取双对数坐标就得到双对数半方差图,变量的分维 D 可用下面的公式来估计^[27] :

$$D = 2 - m/2 \tag{2}$$

式中 m 为双对数半方差图的斜率,可通过对数据点的直线拟合来得到。对于图 1B 所示的巢状方差结构可通过分段拟合的直线的斜率得到不同尺度的分维^[6]。分维是衡量一个变量的空间依赖性程度的指数^[7],也反映了变量的小尺度变异和大尺度变异的相对重要性, D 值大,说明小尺度上的变异显著; D 值小,说明大尺度上的变异控制着景观格局^[27]。

半方差分析是用 Cs+ 的网上演示版(Gamma Design Software,1989~1999)来完成的。

2 结果与讨论

图 2A 是从样线起始点到终点各个样方的植被盖度,显示了极大的波动性。图 2B 是植被百分比盖度的半方差随空间距离的变化情况,其总趋势是随分隔间距的增加而增大。在 5~50m、100~700m 和 1400~2000m 范围内,半方差随空间距离的增加而增加,在 50~100m、700~1400m 范围内又相对稳定。半方差图的这种变化说明植被盖度的空间异质性存在着多尺度变异,并且不同尺度上的变异是迭加在一起的,这种方差结构被称之为‘巢状结构’^[27,28]。植被盖度的这种等级斑块结构可能反映了多个空间尺度上的景观生态学过程。5~50m 区间内半方差的持续上升可能是由于诸如微地貌(如沙丘迎风坡、背风坡、丘间低地等)或小尺度人为干扰(如放牧、樵采等)等局部因素和过程对植被盖度的影响作用。而 100~700m 和 1400~2000m 范围内半方差的再度增加指示出影响植被盖度的作用于更大空间尺度上的因素,这些因素可能是地形因素(如覆沙较软、覆沙滩地、高大沙丘等)和不同的地面物质组成。近几十年来,过度放牧、开垦、樵采等不合理的人类活动造成该区荒漠化的迅速扩展^[30],但不同的地貌单元和地表物质组成对荒漠化过程有着重要的影响,如地形起伏、地表物质由沙粒组成的固定沙丘较易荒漠化,而地势低洼地面由粘壤性物质组成的覆沙滩地则不易荒漠化^[31]。

图 2C 是双对数半方差图,由此得出毛乌素沙地沙生半灌木群落的植被盖度的分维 $D = 1.90 \pm 0.09$ ($r^2 = 0.902, p < 0.01$),接近于 2,这个较大的 D 值说明空间变异主要发生在较小的尺度上^[32],也就是说沿样带相邻点间的植被盖度差异很大,较高的盖度往往随之以较低的盖度(图 2A),从而导致较大的小尺度上的变异^[27]。在固定半固定沙丘,过度放牧、开垦、樵采等不合理的人类活动造成的沙丘活化过程往往是由风蚀而形成斑点状流沙,继而形成片状流沙,严重的甚至形成新月形沙丘及沙丘链^[17,20]。所调查地区植被总平均盖度为 34.0%,处于潜在荒漠化和正在发展中的荒漠化阶段^[16],这可能是小尺度上的变异的一个原因。另外,沙生

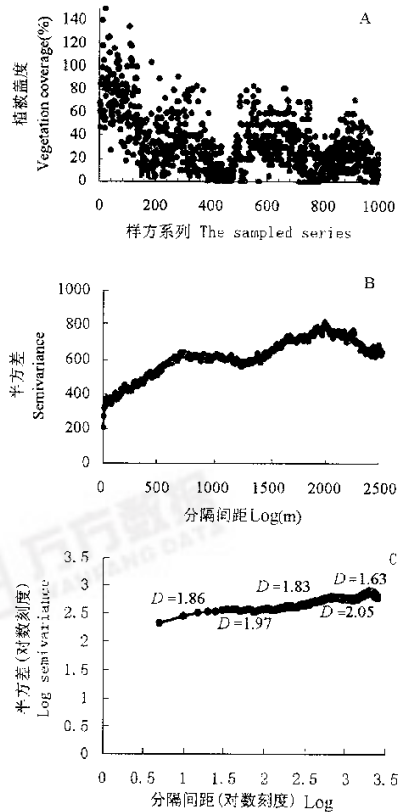


图 2 调查样带的植被盖度及其半方差图

A) 沿样带 1000 个样方的植被盖度, B) 植被盖度的半方差图, C) 相应的双对数半方差图。

Fig.2 The vegetation coverage and its semivariogram along the surveyed 5 km transect.

A) vegetation coverage of quadrats along the transect, B) its semivariogram, C) its double logarithmic semivariogram.

植物群落的更替非常迅速明显^[33,34],植物个体与植物群落引起的生境的改善和放牧、践踏等人为活动对生境的破坏作用,都造成了局部的环境资源的异质性,这可能是群落植被盖度小尺度上的变异占优势的另一个原因。此外,该区有限的资源加剧了植物种间和种内竞争,植物不可能长期密集生长而不衰,所以植物间的竞争排斥作用导致植被覆盖在很短的空间距离上往往差异很大。由此可见,植物适应特定的环境在生存与竞争的利益权衡中形成了特定的景观格局。

由于植被盖度空间异质性的尺度变化特征,仅仅一个 D 值往往不能给植被群落复杂的斑块结构一个全面的描述^[28],所以需要根据其变化特点进行分段分析^[9],得到几个不同尺度范围内的分维(图 2C)。在 5 ~ 50m、100 ~ 700m 和 1400 ~ 2000m 范围内, D 值较小,分别为 1.86、1.83 和 1.63,说明在这些尺度范围内,植被盖度具有较大的空间依赖性,其中,1400 ~ 2000m 范围内的依赖性最大;而在 50 ~ 100m 和 700 ~ 1400m 范围内, D 值较大,分别为 1.97 和 2.05,说明在此区间内,空间依赖性较小,近乎同质。所以,分段分析能够反映空间异质性的等级斑块结构,可以对不同尺度上的空间异质性进行比较,比单一的分维值更能反映空间异质性的变化全貌。

植被盖度由于其在毛乌素沙地的突出重要性,被选用来进行景观异质性的分析。应用其他的景观特征(如物种丰度,物种多样性,土壤理化特性等)来进行分析,可能会得到与之不同的结论。植被覆盖度在景观空间上的分布格局反映了毛乌素沙地荒漠化过程的特点,是评价荒漠化过程最主要的指标之一,认识植被盖度的空间变异特点有助于理解荒漠化机制和制定有效的荒漠化防治措施。本研究的结果可使人们认识到,要防止荒漠化过程,就必须保护所有尺度上的斑块,特别要注重小尺度斑块的保护,因为长期的过度放牧可能会破坏这些小尺度斑块。

参考文献

- [1] Milne B T. Heterogeneity as a Multiscale Characteristic of Landscapes. In: Kolasa J. and Pickett S. T. ed. *Ecological heterogeneity*. New York: Springer, 1991. 69 ~ 84.
- [2] 董 鸣. 资源异质性环境中的植物克隆生长: 觅食行为. *植物学报*, 1996, 38(10): 828 ~ 835.
- [3] Urban D L, O'Neill R V and Shugart H H Jr. Landscape Ecology. *BioScience*, 1987, 37: 119 ~ 127.
- [4] Kotliar N B and Wiens J A. Multiple scales of patchiness and patch structure: a hierarchical framework for the study of heterogeneity. *Oikos*, 1990, 59: 253 ~ 260.
- [5] 郭建国. 生态学范式变迁综论. *生态学报*, 1996, 16(5): 449 ~ 460.
- [6] 伍业钢, 李哈滨. 景观生态学的理论发展. 见: 刘建国主编. *当代生态学博论*. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 30 ~ 39.
- [7] Palmer M W. Fractal geometry: a tool for describing spatial pattern of plant communities. *Vegetation*, 1988, 75: 91 ~ 102.
- [8] 中国植被编辑委员会. *中国植被*. 北京: 科学出版社, 1995. 1 ~ 18.
- [9] 祖元刚, 马克明, 张喜军. 植被空间异质性的分形分析方法. *生态学报*, 1997, 17(3): 333 ~ 337.
- [10] 王 铮, 张不远, 刘啸雷, 等. 中国生态环境过渡的一个重要地带. *生态学报*, 1995, 15(3): 319 ~ 326.
- [11] 董光荣, 高尚玉, 金 炯, 等. 毛乌素沙漠的形成、演变和成因问题. *中国科学(B 辑)*, 1988, 18(6): 633 ~ 642.
- [12] 史培军. 地理环境演变研究的理论与实践——鄂尔多斯地区晚第四纪以来地理环境演变研究. 北京: 科学出版社, 1991. 171 ~ 173.
- [13] 董光荣, 陈惠忠, 王贵勇, 等. 150ka 以来中国北方沙漠、沙地演化和气候变化. *中国科学(B 辑)*, 1995, 25(12): 1303 ~ 1312.
- [14] 孙继敏, 丁仲礼, 袁宝印. 2000aB. P. 来毛乌素地区的荒漠化问题. *干旱地区地理*, 1995, 18(1): 36 ~ 42.
- [15] 慈龙骏. 我国荒漠化发生机理与防治对策. *第四纪研究*, 1998, (2): 97 ~ 107.
- [16] 朱震达. 中国北方荒漠化现状及发展趋势. *中国沙漠*, 1985, 5(3): 3 ~ 11.
- [17] 朱震达. 中国土地荒漠化的概念、成因与防治. *第四纪研究*, 1998, (2): 145 ~ 155.
- [18] 中国科学院兰州冰川冻土沙漠研究所沙漠研究室. *中国沙漠概论*. 北京: 科学出版社, 1974. 1 ~ 4.
- [19] Ludwig J A, Tongway D J. Spatial organisation of landscapes and its function in semi-arid woodlands, Australia. *Landscape Ecology*, 1995, 10: 51 ~ 63.
- [20] 朱震达, 刘 怒. 中国荒漠化土地的特征及其防治的途径. *自然资源*, 1980, (3): 25 ~ 37.

- [21] 王 涛, 吴 薇, 王熙章. 沙质荒漠化的遥感监测与评估——以中国北方沙质荒漠化区内的实践为例. 第四纪研究, 1998, (2) : 108 ~ 118.
- [22] 刘彦随, 倪绍祥, 查 勇. 陕北风沙滩地区土地退化机理及治理对策. 1997, 12(4) : 357 ~ 362.
- [23] 北京大学地理系, 等. 毛乌素沙地自然条件及其改良利用. 北京: 科学出版社, 1983. 1 ~ 6.
- [24] 张新时. 毛乌素沙地的生态背景及其草地建设原则与优化模式. 植物生态与地植物学学报, 1994, 18(1) : 1 ~ 16.
- [25] 李孝芳. 编制毛乌素沙区土被结构图的初步尝试. 自然资源, 1980, (1) : 32 ~ 46.
- [26] 董 鸣. 陆地生物群落调查观测与分析. 北京: 中国标准出版社, 1996. 6.
- [27] Burrough P A. Multiscale sources of spatial variation in soil. I. Application of fractal concepts to nested levels of soil variation. *J. Soil Sci.*, 1983, 34 : 577 ~ 597.
- [28] Robertson G P and Gross K L. Assessing the Heterogeneity of Belowground Resources : Quantifying Pattern and scale. In : Caldwell M M and Pearcy R W. Ed. *Exploitation of Environmental Heterogeneity by plants*. New York : Academic Press. 1994. 237 ~ 253.
- [29] 葛剑平, 郭海燕, 仲莉娜. 地统计学在生态学中的应用 (I)——基本理论与方法. 东北林业大学学报, 1995, 23(2) : 88 ~ 94.
- [30] 吴 波, 慈龙骏. 五十年代以来毛乌素沙地荒漠化扩展及其原因. 第四纪研究, 1998, (2) : 165 ~ 172.
- [31] 陈隆亨. 鄂尔多斯西部地区土地荒漠化(退化)及其防治研究——以公卡汗苏木为例. 1994, 8(1) : 62 ~ 71.
- [32] Bellehumeur C and Legendre P. Multiscale sources of variation in ecological variables : modeling spatial dispersion, elaborating sampling designs. *Landscape Ecology*, 1998, 13 : 14 ~ 25.
- [33] 沈渭寿. 毛乌素流动沙地飞播后基质的变化与播区植被的演变. 干旱区资源与环境, 1996, 10(3) : 63 ~ 68.
- [34] 李新荣, 赵雨兴, 杨志忠, 等. 毛乌素沙地飞播植被与生境演变的研究. 植物生态学报, 1999, 23(2) : 116 ~ 124.