

古尔班通古特沙漠南部风沙土性状 在沙垄尺度上的空间变异

钱亦兵¹, 吴兆宁², 王忠臣^{1,3}, 蒋 超^{1,3}, 杨海峰^{1,3}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011;

2. 新疆大学地质与勘查工程学院, 乌鲁木齐 830046; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 在新疆古尔班通古特沙漠南部纵向沙垄上, 按 5 m×5 m 的网格采集浅层风沙土组合样品 184 件, 调查植被样方 100 个, 并测试了风沙土质地、pH、盐分、含水量、全 N 含量和有机质含量等理化性状。研究发现: 受沙垄地貌和植被格局的影响, 风沙土性状具有中等到强烈的空间相关性, 空间依赖范围(变程)介于 21.3~74.8 m, 大致对应着单一沙垄宽度或垄间地—沙垄—垄间地的地貌单元宽度。利用地统计分析求得不同取样尺度上的分维 D。风沙土质地(粒径、平均粒径、分选系数)和盐分(电导率)及养分(有机质和全 N 含量)在 0~40 m 的取样间隔下, D 较大, 空间变异程度基本处于中高水平; 在 90~150 m 的取样间隔下, D 骤减, 空间异质性大大增强。风沙土含水量的空间变异强度曲线为几段式形态, 并且分维依次递减。

关键词: 古尔班通古特沙漠; 沙垄尺度; 风沙土性状; 空间变异; 分维

文章编号: 1000-0585(2011)07-1178-09

土壤在成土过程中, 由于受到气候、生物、母质、地形等因素的影响或人为干扰, 其性质在空间上存在着一定程度的差异。即使同一土壤类型在不同的空间位置表现出的养分、水分和质地特征也具有差异, 除去随机因素的影响, 这种差异由土壤本身的变化引起, 即所谓土壤要素的空间异质性或空间变异性^[1]。土壤空间异质性是土壤的重要属性^[2]。在不同尺度上研究土壤的空间异质性, 不但对了解土壤的形成过程、结构和功能具有重要的理论意义, 而且对了解土壤与植被的关系以及土壤利用类型对土壤性状的影响等生态过程有参考价值^[1,3,4]。

20 世纪 70 年代空间变异理论成为国际学术界相关领域探讨的热点, 地统计学是该理论在实践中广泛运用的重要方法, 其在土壤理化性质空间变异性乃至陆地生态系统空间格局的定量研究上取得了很好的效果^[5~9]。利用地统计学进行干旱区和半干旱区土壤以及干旱沙地风沙土理化性状空间异质性的研究多有报道^[3,10], 但对沙漠区风沙土性质在沙垄尺度上的空间变异却少有类似的讨论^[11]。然而, 沙垄是沙漠中最重要的风积地貌形态, 全世界约高达半数的沙漠面积被纵向沙垄覆盖^[12]。为此, 本文以古尔班通古特沙漠南部典型地段的纵向沙垄为研究对象, 应用地统计学方法分析沙垄上风沙土理化性状的空间异质性, 并重点讨论不同取样尺度上的风沙土性状空间分布分形特征, 为深入研究沙漠区风沙土空间异质性产生的生态效应提供参考。

收稿日期: 2010-09-29; 修订日期: 2011-01-18

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2009CB825105); 新疆阜康市林业局项目

作者简介: 钱亦兵(1956-), 女, 江苏人, 硕士, 研究员, 主要从事荒漠生态环境研究。E-mail: dt6@ms.xjb.ac.cn

土壤样品测试包括土壤 pH、电导率、有机质和全 N 含量、含水量及粒度等。土壤有机质含量的测定用重铬酸钾容量法—外加加热法, 全 N 含量采用高氯酸—硫酸硝化法, 土壤含水量用 105℃ 烘干称重法。pH、电导率按常规方法测试。粒度测定在 Malvern 激光粒度仪上进行, 粒度分析的颗粒粒径为 0.02~1000 μm , 粒度参数计算基于目前广泛使用的 φ 值和 1/3 φ 值间隔, 经图解法获得基本参数后, 用 Fork 和 Ward 的计算公式求出^[13,14]。

风沙土理化性状空间异质性分析过程中, 首先采用 SPSS13.0 软件进行样本的传统统计分析, 并且为对比不同属性区域变量进行了原始数据的归一化处理。借助 ArcGIS 9 软件将经纬度坐标转换为公里网坐标, 然后应用 GS+ 软件建立半方差函数模型。数据中存在的特异值会造成变量的连续性中断, 使得实验半方差函数发生畸变, 甚至会掩盖变量固有的空间结构特征。本文采用域法识别特异值, 即样本平均值加减 3 倍标准差, 在此区间以外数据均定为特异值, 然后分别用正常最大和最小值代替特异值^[15]。

为探讨植被可能对土壤性状产生的影响, 有必要对比土壤和植被的空间异质性参数。文中选择 Herlbert 多样性指数 (PIE) 和盖度作为植被空间变量进行地统计分析^[16]。

2 结果分析

2.1 沙垄上风沙土性状的分布特征

古尔班通古特沙漠南部纵向沙垄上风沙土有机质和全 N 含量属于较低水平, 盐分低~中等, pH 以中性为主^[15], 含水量较低^[17], 质地偏细, 以细沙和极细沙为优势粒级^[11]。其中, 风沙土有机质、全 N 和盐分 (电导率表示) 含量的变异系数 CV 分别为 0.54、0.57 和 0.87, 均属中等变异; pH 的 CV 为 0.03, 属弱变异性。而且, 这些风沙土性状参数与沙垄地形的高程存在极显著的负相关关系^[15]。尤其是有机质和全 N 含量更为明显, 即在地势较高的垄顶部位含量较低, 而在地势较低的垄间地含量较高。这与沙垄表层土壤的再分配以及植被、生物结皮分布状况有关, 其中植物生长良好, 生物结皮较厚的地方有机质和全 N 含量较高。pH 和含盐量都表现出沙垄顶部最低、垄间地最高的分布特征, 说明垄间地风沙土有一定程度的盐 (渍) 碱化。含水量平均值的变化趋势是: 0~10cm 的表层土为垄顶>迎风坡>背风坡>垄间地; 10~30cm 深处次表层土则为迎风坡>垄顶>垄间地>背风坡。风沙土含水量沙垄尺度上的差异性产生的原因较多, 而植物蒸腾作用是重要影响因素。此外, 沙垄不同部位风沙土蒸发特征的差异也影响其含水量的分布^[17]。以上描述性统计结果和相关机理在作者已发表的文章中做过详细介绍和深入分析^[15,17], 此处不再赘述。

纵向沙垄风沙土粗物质粒径 (φ_1) 和平均粒径 (M_z) 由垄间→垄坡→垄顶呈明显变粗的趋势, 分选系数 (σ) 则由垄间→垄坡→垄顶不断变小, 体现出垄顶风沙土分选性好的特点。这种分布规律与 Lancaster 和 Livingstone 对比世界不同沙漠区线性沙丘 (垄) 表面粒度分布模式后归纳出的第一类相同 (第二类由垄底到垄顶, 粒径变细, 分选变好, 第三类是没有差别)^[11]。古尔班通古特沙漠南部在春夏季 WNW 向风力强于 ESE 风, 形成西坡为相对迎风坡, 东坡为背风坡, 西坡风蚀凹坑发育并略长于东坡的沙垄形态。气流在迎风坡垄顶附近加速使此处侵蚀加强。同时, 从垄间地→垄坡→垄顶, 植被盖度逐渐变小, 沙面由固定到半固定 (半流动) 状态, 最终形成了由垄间地→垄坡→垄顶, 风沙土粒径变粗、分选性变好的特征。而气流在背风侧的分离则导致风速降低, 沙粒沉积, 故背风

坡风沙土粒径比迎风坡细, 分选性也差。

2.2 风沙土性状的半方差函数特征

预处理结果显示, 风沙土理化性状各参数为正态或对数正态分布, 满足地统计分析的要求。半方差分析是地统计分析的基础, 根据半方差分析结果可以拟合出所研究对象(属性)空间变异的理论模型, 其表达式为^[18]:

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

式中, $r(h)$ 为某属性的变异函数, 是取样范围内间距为 h 的所有样点上某属性值的半方差; h 为取样间距, 又称为步长; $N(h)$ 为间距 h 对应的样点数; $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i + h)$ 分别为某属性在空间位置 x_i 和 $x_i + h$ 处的观测值或分析值。

如果空间变量(某属性)的变异函数 $r(h)$ 与取样尺度 h 之间在统计意义上存在某种幂率关系, 即 $r(h) = kh^{(4-2D)}$, 其中 k 为常数, D 为分维^[19], 则表明该空间变量具自相似性规律。在具有分形关系的尺度范围内, 利用分形维数可以对某属性的空间变异性进行较为准确的定量描述。分维 D 可用公式 $D = (4 - m)/2$ 计算, m 为 $2r(h) = h^{(4-2D)}$ 关系式双对数回归直线的斜率^[20,21]。 D 应介于 $0 \sim 2$ 之间, D 越小, 表明该属性空间变异性越强, 反之, 空间变异性越弱。

利用 GS⁺ 软件系统做出的分析结果显示(表 1), 各参数的变异函数分别为球状模型、指数模型和高斯模型。而且, 除风沙土全 N 含量、粗粒级值 φ_1 和草本植物多样性的块金系数 $C_0/(C_0 + C)$ 介于 $25\% \sim 75\%$, 属中等空间自相关外, 其他土壤和植被参数的块金系数均 $< 25\%$, 具有强烈的空间相关性^[22]。在这些风沙土性状和植被格局参数中, 土壤次表层(10~30cm)含水量、全 N 含量和木本植物多样性指数自相关空间较小, 即变程分别为 21.3m、25m 和 26.4m, 而基台值相对较大, 分别为 0.995、0.061 和 0.084, 表现出较强的空间变异性。风沙土表层(0~10cm)含水量、粗粒级值 φ_1 、植被盖度及草本植物多样性指数空间依赖范围(变程)中等, 基台值较大, 也具有较强的空间变异性。

表 1 纵向沙垄土壤性状及植被变异函数理论模型及相关参数

Tab. 1 Variogram models and parameters of soil properties and vegetation over the longitudinal dunes

变量	理论模型	块金值 C_0	基台值 $C_0 + C$	变程 (m)	块金值/ 基台值 (%)	决定系数 r^2	残差 RSS	分维 D
0~10 cm 含水量	指数模型	0.269	1.082	37.8	24.86	0.926	3.15 E-02	1.888
10~30 cm 含水量	指数模型	0.243	0.995	21.3	24.42	0.705	7.59 E-02	1.925
pH	球状模型	0.003	0.029	57.3	10.34	0.917	1 E-05	1.784
电导率	球状模型	0.004	0.031	74.8	12.90	0.943	11E-05	1.744
有机质	高斯模型	0.013	0.055	64.8	23.64	0.956	27 E-05	1.765
全 N	高斯模型	0.015	0.061	25.0	24.59	0.975	19 E-05	1.761
φ_1	球状模型	0.015	0.045	45.7	33.33	0.431	22 E-04	1.911
M_z	球状模型	0.0001	0.040	64.7	0.25	0.843	7 E-04	1.702
σ	球状模型	0.0001	0.064	64.8	0.16	0.938	7 E-04	1.664
草本多样性指数	球状模型	0.013	0.038	41.1	34.21	0.836	1E-04	1.900
木本多样性指数	指数模型	0.006	0.084	26.4	7.14	0.725	3E-04	1.932
植被盖度	球状模型	0.007	0.100	38.8	7.00	0.746	1.5E-04	1.837

对比发现, 基台值与变程共同表述的空间异质性程度和分维 D 定量描述的结果并不

一致(表1)。事实上,基台值和变程表述的是在依赖空间范围内属性总的变异性^[20],而分维 D 一定程度上代表着多尺度的变异特征。

2.3 风沙土性状的分段分维

作者在研究古尔班通古特沙漠纵向沙垄植被空间异质性时,认为由于反映植物群落组成和结构性质的植物多样性和盖度存在多尺度变化特性^[12],即受不同生态过程影响而具等级系统结构或套合结构^[6,18]。所以,用一个分维 D 描述植物群落复杂斑块的异质性往往不够全面,需要分段分形处理,得到不同尺度上的分维数^[12,23,24]。辛晓平等也曾就类似的问题做过讨论,指出求解斜率 m 的双对数回归直线如果没有明显的转折,说明测度范围内空间变量(某属性)在所有尺度上符合同样的空间相关规律,即变异性是一致的;如果回归线由几段折线构成,则说明该属性的空间变异具尺度依赖性,即其在不同尺度上的变化规律不一样^[25]。

观察古尔班通古特沙漠沙垄尺度上未归一化预处理的风沙土性状变异函数 $r(h)$ 与取样间隔 h 的双对数曲线,发现这些曲线具多个转折点,表明不同取样尺度下的风沙土性状变异规律不同。所以,对其分段拟合,获得不同取样尺度上的分维 D (图2~图4)。

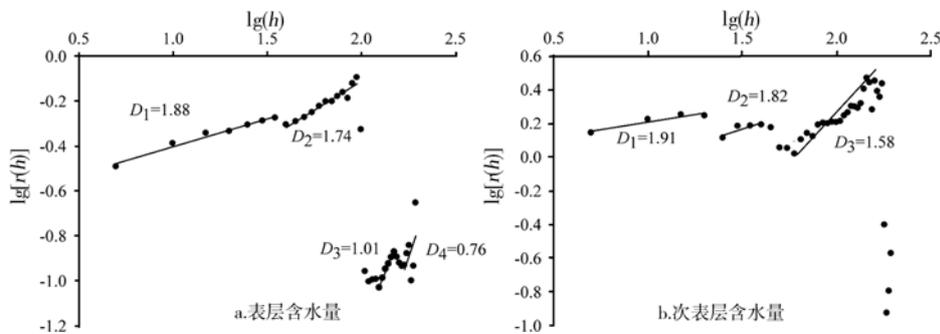


图2 风沙土含水量双对数半方差图

Fig. 2 Logarithm semivariograms of water contents for eolian sand soil

可以看出,风沙土粒度参数(φ_1 、 M_z 、 σ)和风沙土盐分(电导率)及养分(有机质和全N含量)空间异质性有着相似的强度分布,呈现周期性特征(图3、图4)。较小尺度的取样间隔(大约0~40m)下,即在垄间地—沙垄—垄间地这样一个完整的地貌单元范围内,分维 D 较大,介于1.40~1.68,上述风沙土性状的空间变异程度基本处于中高水平。较大的取样间隔(大约90~150m)下,即大致为两条沙垄所涉地貌单元周期性重复出现的宽度,分维 D 骤然减小,介于0.53~1.15,该性状的空间异质性大大增强。风沙土性状的周期性变异形态实际是不同等级空间系统构成的套合结构。也就是说,小尺度取样间隔和较大取样间隔会测度到不同的空间变异系统或结构。作者等^[11,12,15]在相关的研究中曾指出,古尔班通古特沙漠纵向沙垄风沙土的质地、盐分、养分等理化性状以及与之有关的植被盖度的空间变异受沙垄地形影响,具带状异向性空间结构,即在垂直沙垄走向的方向上,梯度性变化明显。由于观测的样带跨越了两条小型纵向沙垄,受相对高程、坡度、坡向等局部地貌形态影响的风沙土性状及植被格局空间变异出现了波状形态的周期性特征。但其不是简单的重复,也不是结构迥异,而是性质相似空间等级不同系统的套合。应说明,当取样间距 h 大于1/2样带长度时, $r(h)$ 会因数据对过少而失去统计学意义^[26]。本

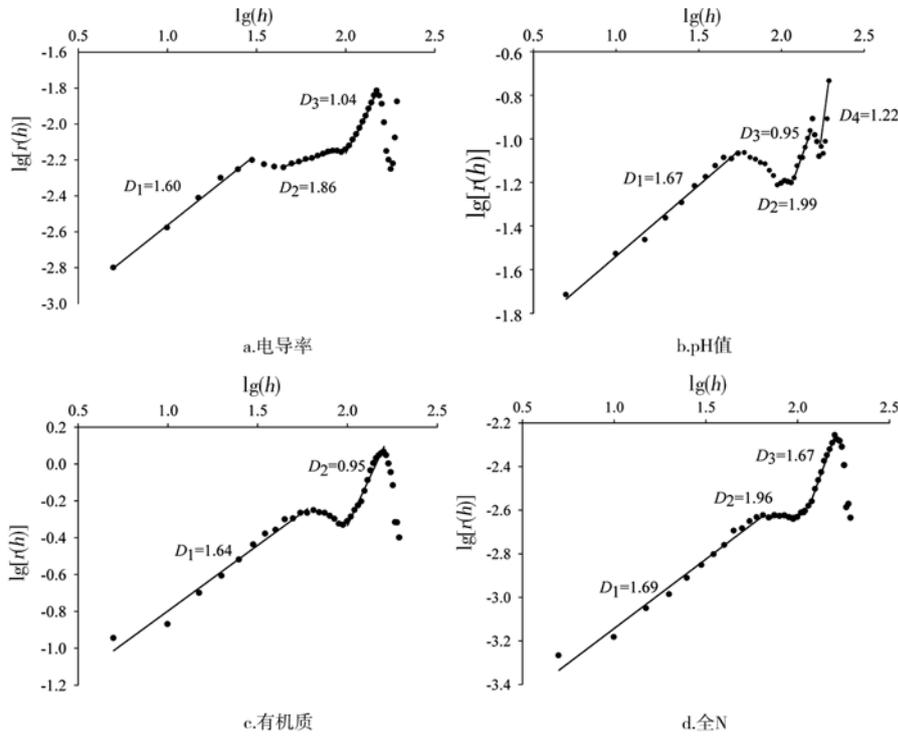


图 3 风沙土化学性质双对数半方差图

Fig. 3 Logarithm semivariograms of chemical properties for eolian sand soils

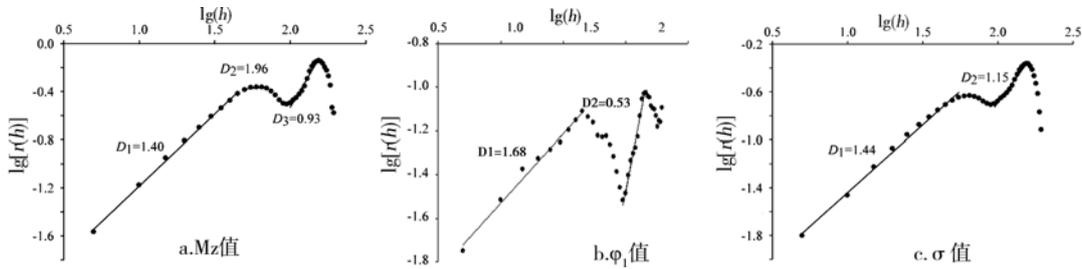


图 4 风沙土粒度参数双对数半方差图

Fig. 4 Logarithm semivariograms of grain-size parameters for eolian sand soils

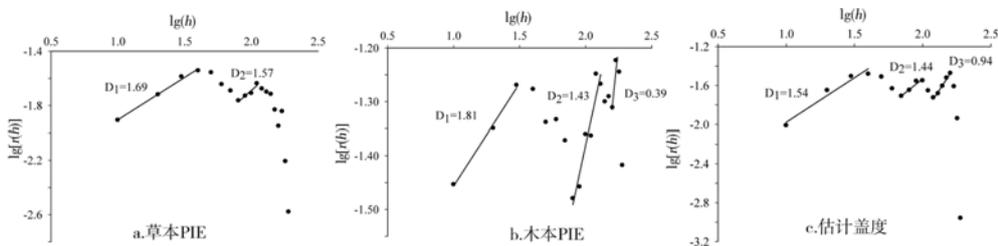


图 5 植被格局参数双对数半方差图

Fig. 5 Logarithm semivariograms of vegetation pattern parameters for eolian sand soils

研究的样带长度为 200m, 再结合沙漠南部一个较完整的沙垄地貌单元宽度多在百米以下的实际情况, 则大于 110m 取样间隔的空间相关问题可不予考虑。上述计算结果显示, 今后对古尔班通古特南部沙漠的纵向沙垄进行类似研究, 最佳样带长度基本为垄间地—沙垄—垄间地的范围。同时, 利用 Kriging 插值法可获得纵向沙垄上风沙土性状的变异图, 从而为人工生物固沙提供因地制宜的依据。

风沙土含水量的空间变异强度和风沙土其他性状存在两处明显的不同: (1) 风沙土含水量空间变异强度呈现几段式形态特征 (图 2), 其是风沙土含水量在沙垄上斑块分布的具体表现^[17], 是受地形、土壤性质和植被状况影响的结果^[9,24,27,28]。土壤水分和植被的耦合关系使二者空间格局有明显相似性^[11], 如沙垄植被盖度和物种多样性的自相关空间 (变程) 及反映其空间异质性的分维数与风沙土浅层含水量的这些参数较相似 (表 1、图 2 和图 5), 并且乔灌木层片的物种多样性变程更接近风沙土次表层 (10~30cm) 含水量变程。(2) 表述风沙土含水量空间变异性强度的分维 D 随着取样间隔的增大而依次减小, 意味着含水量空间变异性随取样间隔增加逐渐加强的尺度依赖很显著。此特征和沙垄上植被格局变异规律相一致。

用变程表述各属性空间异质性特征时, 风沙土全 N 含量、次表层含水量及乔灌木层片多样性有着非常相似的依赖空间, 21.3~26.4m (表 1)。有研究认为, 在微域地貌条件下, 植被状况可以影响土壤水分的变异^[28,29]。准确地说, 土壤水分和植被格局有相似的自相关空间是二者相互影响的产物^[12]。土壤全 N 含量与乔灌木层片空间上的密切关系被发现是一种普遍现象^[30,31], 原因之一是氮矿化潜力在灌丛周围 100cm 范围内具有空间相关性。有一个现象应引起关注: 原始数据经归一化处理, 风沙土全 N 含量与有机质含量的变程相差悬殊, 分别是 25.0m 和 64.8m (表 1)。这似乎有悖于它们的分布空间和变异特征应该基本一致的常理^[10,20,32,33], 因为土壤全 N 含量主要是由有机质分解后均匀供给而来。未归一化处理的变异函数 $r(h)$ 与取样间隔 h 的双对数曲线显示, 风沙土全 N 和有机质含量空间变异形态的确非常相似 (图 3)。同样, 杨海峰等对未做归一化处理的风沙土全 N 和有机质含量原始数据进行了地统计学的半方差分析, 二者的变程分别是 78.98m 和 64.43m^[15], 比较接近。看来, 是否应该将不同参数作为同一整体进行归一化处理, 值得商榷。

3 结论

古尔班通古特沙漠南部纵向沙垄上风沙土性状的变异受高程、坡向、坡度及垄上局部微地形等沙垄地貌和植被格局的影响, 具有弱~中等程度的变异和中等~强烈的空间相关性, 空间依赖范围 (变程) 介于 21.3~74.8m。其中, 风沙土次表层含水量和全 N 含量空间异质性的变程较小, 为 21.3m 和 25.0m; 有机质含量和盐分的变程较大, 分别为 64.8m 和 74.8m。由于风沙土性状在沙垄尺度上受不同生态过程影响而具等级系统的套合结构, 对变异函数 $r(h)$ 与取样间隔 h 的双对数曲线分段拟合, 获得不同取样尺度上的分维 D 。风沙土粒度参数 (φ_1 、 M_z 、 σ) 和风沙土盐分 (电导率) 及养分 (有机质和全 N 含量) 在 0~40m 的取样间隔下, 分维 D 较大, 空间变异程度基本处于中高水平; 在 90~150m 的取样间隔下, 分维 D 骤减, 空间异质性大大增强。这些特征对应着典型的带状异向性空间结构。风沙土含水量的空间变异强度曲线为几段式形态, 并且分维 D 依次递减, 基本反映了该土壤性状在沙垄上呈斑块状分布的特点。风沙土全 N 含量和有机质含量空间变异分维 D 的相似性客观描述了二者的密切关系。

参考文献:

- [1] 王政权, 王庆成. 森林土壤物理性质的空间异质性研究. 生态学报, 2000, 20(6): 945~950.
- [2] Burgess T M, Webster R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties I: The semivariogram and punctual Kriging. Journal of Soil Science, 1980, 31: 315~331.
- [3] 马风云, 李新荣, 张景光, 等. 沙坡头固沙植被若干土壤物理因子的空间异质性研究. 中国沙漠, 2005, 25(2): 208~215.
- [4] 王红, 宫鹏, 刘高焕. 黄河三角洲多尺度土壤盐分的空间分异. 地理研究, 2006, 25(4): 649~658.
- [5] Legendre P, Fortin M J. Spatial pattern and ecological analysis. Vegetation, 1989, 80: 107~138.
- [6] Goovaerts P. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. Biology and Fertility of Soils, 1998, 27: 315~334.
- [7] 姜秋香, 付强, 王子龙. 空间变异理论在土壤特性分析中的应用研究进展. 水土保持研究, 2007, 14(4): 413~419.
- [8] Frank S G, David A D. Spatial heterogeneity of soil nutrients and plant species in herb-dominated communities of contrasting land use. Plant Ecology, 2010, 209: 83~94.
- [9] 杨兆平, 欧阳华, 徐兴良, 等. 五道梁高寒草原土壤水分和植被盖度空间异质性的地统计分析. 自然资源学报, 2010, 25(3): 426~434.
- [10] 张宁, 滕玖琳, 何兴东, 等. 猫头刺群落对土壤养分空间异质性的响应. 中国沙漠, 2008, 28(4): 706~711.
- [11] 钱亦兵, 吴兆宁, 杨海峰, 等. 古尔班通古特沙漠南部风沙土粒度分布的空间异质性. 干旱区地理, 2009, 32(5): 655~661.
- [12] 钱亦兵, 吴兆宁, 杨海峰, 等. 古尔班通古特沙漠纵向沙垄植被空间异质性. 中国沙漠, 2011, 31(2): 420~429.
- [13] Fork R L, Ward W C. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology, 1957, (27): 3~26.
- [14] 任明达, 王乃梁. 现代沉积环境概论. 北京: 科学出版社. 1981. 8~9, 14.
- [15] 杨海峰, 钱亦兵, 蒋超, 等. 古尔班通古特沙漠南缘主要土壤化学特征的空间异质性. 中国沙漠, 2010, 30(2): 319~325.
- [16] Qian Y B, Wu Z N, Zhao R F, *et al.* Vegetation patterns and species-environment relationships in the Gurbantunggut Desert of China. Journal of Geographical Sciences, 2008, 18(4): 400~414.
- [17] 蒋超, 钱亦兵, 杨海峰, 等. 古尔班通古特沙漠南缘浅层风沙土含水量的空间变异. 干旱区研究, 2009, 26(4): 519~525.
- [18] 王政权. 地统计学在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999. 3~4, 65~100.
- [19] 尚占环, 姚爱兴, 龙瑞军. 干旱山地生态系统植物群落不同尺度下物种数的变化特征. 干旱区地理, 2005, 28(6): 805~810.
- [20] 胡旭, 王海涛, 卢建国, 等. 干旱和半干旱区油蒿对土壤空间异质性的响应. 中国沙漠, 2007, 27(4): 587~592.
- [21] 阿如早, 杨持, 同丽嘎. 基于分形理论的沙漠化土地空间结构——以内蒙古多伦县为例. 地理研究, 2010, 29(2): 283~290.
- [22] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, *et al.* Field-scale variability of soil properties in central Iowa Soils. Soil Science Society America Journal, 1994, 58(5): 1501~1511.
- [23] 何志斌, 赵文智. 黑河下游荒漠河岸林典型样带植被空间异质性. 冰川冻土, 2003, 25(5): 591~596.
- [24] Chen Y F, Yu F H, Dong M. Scale-dependent spatial heterogeneity of vegetation in Mu Us sandy land, a semi-arid area of China. Plant Ecology, 2002, 162: 135~142.
- [25] 辛晓平, 李向林, 杨桂霞, 等. 放牧和刘割条件下草山草坡群落空间异质性分析. 应用生态学报, 2002, 13(4): 449~453.
- [26] 张华良, 刘振义, 刘朝杰. 数学地质. 北京: 冶金工业出版社, 1994. 210.
- [27] 潘颜霞, 王新平. 荒漠人工植被区浅层土壤水分空间变化特征分析. 中国沙漠, 2007, 27(2): 250~256.
- [28] 刘继龙, 马孝义, 张振华. 土壤水盐空间异质性及尺度效应的多重分形. 农业工程学报, 2010, 26(1): 81~86.
- [29] 张继光, 陈洪松, 苏以荣, 等. 喀斯特洼地表层土壤水分的空间异质性及其尺度效应. 土壤学报, 2008, 45(3): 544~549.
- [30] 郑敬刚, 张本昫, 何明珠, 等. 灌丛化对贺兰山西坡草场土壤异质性的影响. 干旱区研究, 2009, 26(1): 27~31.
- [31] 张华, 何红, 李锋瑞, 等. 科尔沁沙地灌木对风沙土壤的生态效应. 地理研究, 2005, 24(5): 708~716.
- [32] 李元寿, 张人禾, 王根绪, 等. 青藏高原典型高寒草甸区土壤有机碳氮的变异特征. 环境科学, 2009, 30(6): 1826~1831.

- [33] 王军, 傅伯杰, 邱扬, 等. 黄土高原小流域土壤养分的空间分布格局——Kriging 插值分析. 地理研究, 2003, 22 (3): 373~379.

Spatial variation of physical and chemical properties for eolian sand soil at longitudinal dune scale in southern Gurbantunggut Desert

QIAN Yi-bing¹, WU Zhao-ning², WANG Zhong-chen^{1,3},
JIANG Chao^{1,3}, YANG Hai-feng^{1,3}

- (1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China;
2. College of Geology and Exploration Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;
3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The spatial variation of physical and chemical properties for eolian sand soil at longitudinal dune scale in southern Gurbantunggut Desert was studied by means of geostatistical methods. In the study, 184 samples of eolian sand soil from the quadrats of 5 m×5 m were systemically collected over the dune crests, slopes and interdune areas of two longitudinal dunes in southern Gurbantunggut Desert and 100 quadrats of vegetation were measured. The physical and chemical properties of eolian sand soil, including soil grain-size parameters, pH, salts, water content, total N and organic matter were determined. The results show that under the impact of longitudinal dune landform characteristics, including elevation, slope aspect, slope angle and partial micro-terrain and vegetation pattern, the physical and chemical properties of eolian sand soil have the variance of weak to medium extent and the spatial autocorrelation of moderate to strong extent. The values of spatial correlated ranges are 21.3-74.8 m, which approximately correspond to a width of single longitudinal dune or a width of landform unit from interdune area to dune to interdune. Because these soil properties have a nest structure of different level systems, the fractal dimensions, D values at different scales were gained. The D values of soil grain-size parameters (φ_1 , Mz, σ), soil salts (EC) and soil nutrients (organic matter and total N) in a sampling interval of 0-40 m are larger, and the spatial variation is basically medium to high level. Under a sampling interval of 90-150 m, the D values were sharply reduced and the spatial variations were greatly increased. The curve of variation strength for soil water contents was in several segments and the D values were gradually decreased in turn. The mechanism of the close relationship of the spatial variations between soil total N and organic matter contents shows that the spatial variations of the soil physical and chemical properties, which are expressed by the fractal dimensions and not regularly preprocessed, well accord with the field facts.

Key words: Gurbantunggut Desert; longitudinal dune scale; physical-chemical properties of eolian sand soil; spatial variation; fractal dimension