

李 岩,尚士友,王志国,等. 内蒙古乌珠穆沁典型草原栗钙土层厚度空间异质性研究[J]. 江苏农业科学,2014,42(11):364-368.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2014.11.130

内蒙古乌珠穆沁典型草原栗钙土层厚度空间异质性研究

李 岩^{1,2}, 尚士友¹, 王志国³, 阿拉塔其其格⁴, 德力格尔⁴

(1. 内蒙古农业大学机电工程学院, 内蒙古呼和浩特 010018; 2. 内蒙古电子信息职业技术学院电子工程系, 内蒙古呼和浩特 010070;
3. 内蒙古工业大学机械学院, 内蒙古呼和浩特 010051; 4. 内蒙古西乌旗草原工作站, 内蒙古锡林郭勒盟 026200)

摘要:通过对不同地形的 3 个试验样地的栗钙土层厚度数据进行分析发现,3 个样地栗钙土层厚度的平均值均在 10 cm 以下,变异系数介于 25.47%~39.74%之间。选用高斯函数模型对 1 号样地(坡地)、3 号样地(丘陵区)的栗钙土层厚度进行拟合,用指数函数模型对 2 号样地(高平原区)的栗钙土层厚度进行拟合,决定系数均在 0.8 以上,拟合度较好。3 个样地的块金值、基台值、偏基台值和变程值从大到小依次为 3 号(丘陵区)>1 号(坡地)>2 号(高平原区)。3 个样地的栗钙土层厚度具有明显的空间异质性,空间自相关部分引起的空间异质性占总空间异质性的比例分别是 1 号样地(坡地)62.2%、2 号样地(高平原区)88.4%、3 号样地(丘陵区)83.1%。3 个试验样地均表现出明显的各向异性,空间格局差异明显。

关键词:典型草原;栗钙土层厚度;地统计学;空间异质性

中图分类号: X833;S151.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)11-0364-05

地统计学是以区域化变量为基础的一门新的统计学分支,它借助变异函数研究自然现象的空间变异和空间相关性,是描述空间异质性的有效研究方法^[1-2]。地统计学与经典统计学的最大区别是,地统计学不仅考虑样本值的大小,而且重视样本的空间位置和距离,弥补了经典统计学忽略空间位置关系的缺陷^[3-4]。地统计学在土壤生态学科领域应用较多,但大多是集中在土壤的养分、含水量等方面^[5-8],且很多是局限在小尺度上,在大尺度上研究栗钙土层厚度的空间异质性以及植被和栗钙土层厚度间的协同演变还未见报道。典型草原的土壤结构主要由栗钙土层组成,约占 63%,栗钙土层是在自然因素综合作用下,经过数千多年时间,腐殖质积累、钙化及雨水淋溶淀积而形成的^[9],是植被赖以生长的基础,其土层厚度和机械组成、土壤含水量等因素对植被的空间异质性有决定性的影响。典型草原土壤栗钙土层有如人体皮肤,仅 100~400 mm 厚,栗钙土层下伏疏松风沙层(图 1),在过量放牧和人为破坏的情况下,植被一旦被破坏,栗钙土裸露,随着裸露地表比例的增加,为风力侵蚀创造了条件,风蚀直接削弱了维系草原生命力的要素,使栗钙土层厚度、营养成分、持水能力发生了变化,从而使草原植被的缀块组成特征及其空间分布与配置关系也发生了重大变化,典型草原继而向沙地草原转化,加速了草原退化与荒漠化的进程。若能快速找到抵抗风蚀能力较弱的区域并将这些区域作重点保护,这无疑使国家的沙源治理工程变得有的放矢的一项主动的、积极的保护与利用策略。



图1 典型草原栗钙土层

由于典型草原幅员辽阔,若完全依赖人工野外采集数据了解各个地区的栗钙土层厚度变化及植被特征,则工作量很大,费时费力,周期长,且不能实现实时监测。本研究利用半方差函数分析法,分析不同地形栗钙土土层的空间异质性,以揭示不同地形栗钙土层厚度的空间结构特征,为研究不同地形栗钙土层厚度的调查取样试验设计提供参考,进而为建立大尺度、快速、动态监测系统奠定基础。

1 研究区选择、取样及研究方法

1.1 利用遥感影像结合地面踏查选择试验研究区

利用西乌珠穆沁旗 1:1000 00 地形图及 Landsat 5 卫星遥感影像图选择试验研究区,研究区位于内蒙古自治区西乌珠穆沁旗巴拉嘎尔郭勒镇南部偏西方向,范围是 117°16′~117°37′E、44°25′~44°32′N,总面积约 900 km²,具有典型草原地形、地貌特征,在这个区域内踏查选择具有坡地、高平原和低山丘陵 3 种地形地貌的 3 个试验样地,每个试验样地的面积约为 25 km²。

1.2 试验点布设及测量

布点采样时间为 2012 年 7 月中旬(考虑卫星过境时间),连续取样测量,在试验样地内用 GPS 定位布点,利用 YZ-1 型原状取土钻取土,测量栗钙土层厚度并记录。为了

收稿日期:2014-04-04

基金项目:国家自然科学基金(编号:41061023,41261050)。

作者简介:李 岩(1981—),女,内蒙古赤峰人,博士研究生,讲师,主要从事环境监控与信息技术研究。E-mail:nmllyan@126.com。

通信作者:尚士友,教授,博士生导师,主要从事“3S”技术和环境监控与信息技术方向的研究。E-mail:shangshiyu@163.com。

研究草原退化区周围栗钙土土层和植被的演变规律以及栗钙土厚度分布是否具有各向异性,布点时选择退化较严重的区域为中心,“十”字交叉布点,沿梯度方向等距离布点取样,同时,尽可能保证其他区域的采样点均匀分布。每个试验样地采样点为 350 个,试验区布点情况如图 2、图 3、图 4 所示。

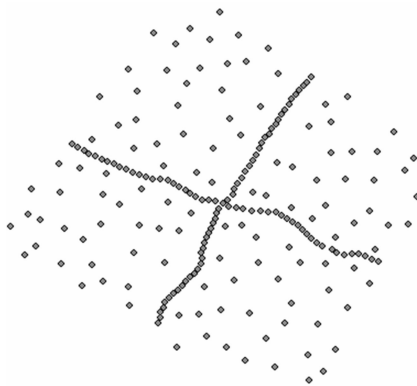


图2 1号样地(坡地)布点图

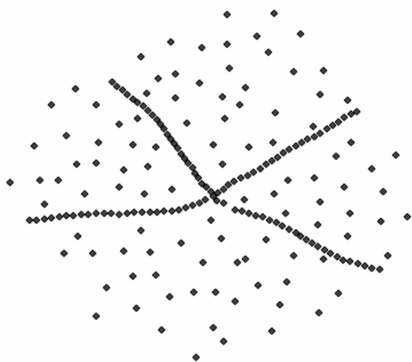


图3 2号样地(高平原区)布点图

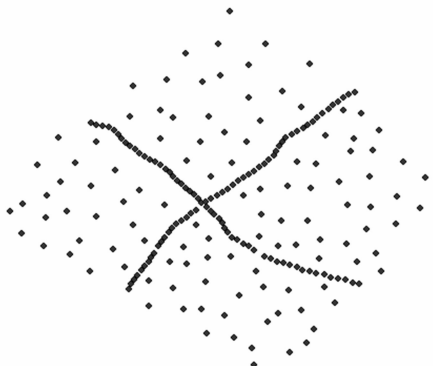


图4 3号样地(丘陵区)布点图

1.3 数据分析

利用 SPSS 17.0 进行栗钙土土层厚度的描述性统计分析(如均值、标准差、变异系数、偏度等),基于 GS + 7.0 进行半方差函数的拟合以及地统计学分析。

1.3.1 特异值的剔除 特异值也称为异常值,是指样本中的个别值,其数值明显偏离它(或它们)所属样本的其余观测值,且出现概率很低。特异值的存在会影响试验结果的精度,使变量连续表面中断、试验半方差函数发生变形,甚至会掩盖变量本来的空间结构特征。为了克服这些特异值带来的干

扰,在正式研究以前应对试验数据进行特异值的识别和剔除。判别特异值的方法很多,本研究采取域法识别异常值^[10],设样本的平均值为 \bar{x} 、标准差为 σ ,则在区间 $(\bar{x} \pm 3\sigma)$ 以外的数据均视为异常值,并用数据中的最大值和最小值代替。

1.3.2 正态检验 数据满足正态分布是利用半方差函数进行拟合的前提,利用 K-S 单样本概率检验对 3 个试验样地的栗钙土厚度进行正态检验。显著水平 $\alpha = 0.05$,若 $P_{K-S} > 0.05$,则认为数据是正态分布。

1.3.3 拟合模型选择 变异函数计算公式为^[3-4,11]:

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

式中: h 为两样本点空间分隔距离, $N(h)$ 是分隔距离为 h 时样本点对数, $Z(x_i)$ 是随机变量 $Z(x)$ 在点 x_i 处的样本值, $Z(x_i + h)$ 是 $Z(x)$ 在 x_i 处与偏离 h 的样本值。

基于(1)式并结合残差平方最小的最优拟合模型选择原则,确定 1 号样地(坡地)和 3 号样地(丘陵区)的栗钙土厚度最优拟合模型是高斯模型,2 号样地栗钙土厚度最优拟合模型是指数模型。

高斯模型:

$$\gamma(h) = C_0 + C(1 - e^{-\frac{h^2}{a^2}}); \quad (2)$$

指数模型:

$$\gamma(h) = C_0 + C(1 - e^{-\frac{h}{a}}). \quad (3)$$

式中: C_0 表示块金值; C 表示偏差基台值; $C + C_0$ 表示基台值; a 表示变程,指数函数和高斯函数不易表现出有限变程,实际应用中一般用 $3a$ 代替。

2 结果与分析

2.1 3 个试验样地栗钙土厚度的描述性统计

由表 1 可见,高平原区的栗钙土厚度平均值最高,丘陵区的栗钙土厚度平均值低,只有 3.80 cm,坡地的栗钙土厚度平均值居中。采样时发现坡地的坡顶多为裸露的地表,没有栗钙土,只有沙土和大小不一的碎石,但坡中段栗钙土土层最厚,局部地区为 50 ~ 60 cm。但总体来讲,3 个试验样地栗钙土土层的平均厚度都不高,均在 10 cm 以下,而且 3 个样地中均有栗钙土厚度为 0 的区域存在。变异系数(CV)表示随机变量的离散程度, $CV \leq 10\%$ 为弱变异性, $10\% < CV < 30\%$ 为中等变异性, $CV \geq 30\%$ 为强变异性^[12]。经数据处理结果可以看出,2 号样地(高平原区)栗钙土厚度变异属于中等变异,1 号(坡地)和 3 号样地(丘陵区)栗钙土厚度变异均达到强变异水平,分别为 31.09%、39.74%。偏度表示数据的左右对称性^[4],从表 1 中可以看出,3 个样地偏度均为正值,表明数据在右侧更为分散。峰度是用来描述数据分布高度的指标^[4],3 个样地的峰度值均大于 0,表明其栗钙土厚度分布均呈现尖峰态。利用 K-S 对样本进行正态性检验, P_{K-S} 均大于 0.05,样本符合正态分布。

2.2 3 个试验样地栗钙土厚度的空间变异性分析

将 3 个样地的栗钙土厚度数据进行空间结构分析后得出,1 号和 3 号样地变异函数曲线的变化均符合高斯模型,2 号样地可以采用指数模型进行拟合。1 号、2 号、3 号样地决定系数分别是 0.922、0.810、0.953(表 2),拟合程度较好,表

表 1 3 个试验样地的描述性统计特征

样地	栗钙土层厚度 (cm)				CV (%)	偏度	峰度	P_{K-S}
	平均值	最大值	最小值	标准差				
坡地	6.24	45.00	0.00	1.94	31.09	0.558	0.674	0.050
高平原区	9.54	40.00	0.00	2.43	25.47	0.818	1.035	0.133
丘陵区	3.80	31.00	0.00	1.51	39.74	0.748	0.270	0.064

表 2 3 个试验样地理论拟合模型及半方差分析参数

样地	理论模型	C_0	C	$C + C_0$	变程 (m)	$C/(C + C_0)$	决定系数 r^2	RSS
坡地	高斯	36.00	59.30	95.30	890.27	0.622	0.922	280.00
高平原区	指数	3.80	28.99	32.79	315.00	0.884	0.810	48.40
丘陵区	高斯	42.10	207.50	249.60	1220.34	0.831	0.953	318.00

明该理论变异函数模型能很好地反映栗钙土层厚度的空间结构特性。

从图 5、图 6、图 7 中可以看出,2 号样地的变异函数曲线较为平稳,说明在整个尺度上各种生态过程同等重要;1 号和 3 号样地的决定系数都达到 0.9 以上,但变异函数曲线变化不平稳,表明影响这 2 个样地的栗钙土土层变化的各种生态过程在整个变程范围之内所起的重要程度大不相同。

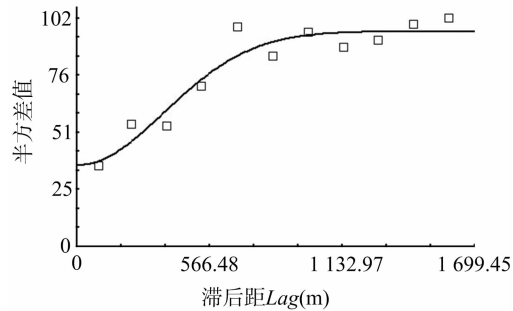


图5 1号样地土层厚度半方差值高斯拟合模型

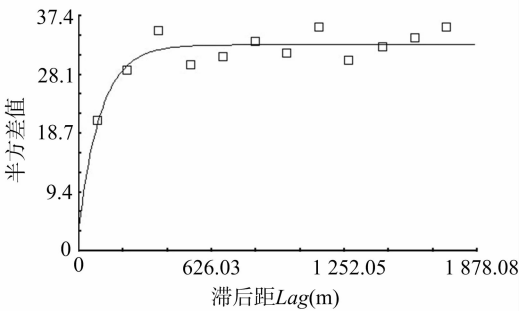


图6 2号样地土层厚度半方差值指数拟合模型

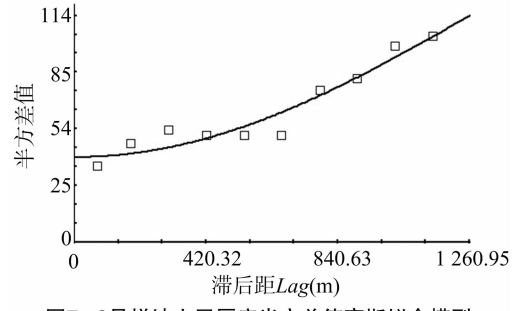


图7 3号样地土层厚度半方差值高斯拟合模型

块金值别称块金方差,反映的是最小抽样尺度以下变量

的变异性及测量误差。从表 2 中可以看出,1 号和 3 号样地的块金值较大,说明小尺度上的某种过程不可以忽略^[13],可以采取减小取样间隔的方法来增加其空间结构信息。基台值是半方差值随步长增加到一个相对稳定的水平上时对应的半方差值^[14],基台值越高,表示变量的空间异质性越高。3 号样地的基台值最高,达到了 249.60,说明 3 号样地的栗钙土层厚度的空间变异程度最大,这也验证了 3 号样地块金值最大这个结果。块金值与基台值的比值用来描述随机因素在变量空间变异中所起作用的大小,1 号样地比值最大,为 0.377 8,2 号样地最小,值为 0.115 9,3 号样地的值为 0.168 7。究其原因,1 号样地中包含了部分放牧场,牲畜的啃食和践踏对栗钙土的土层厚度变化有一定的干扰,2 号样地离居民点最远,各种人为因素干扰最小。同时,由于每个样地的地形不同,土壤含水量和植被类型等有明显区别,对栗钙土层厚度的变化有不可忽略的影响。

偏基台值与基台值的比值称为结构比 $C/(C + C_0)$ 。Cambardella 等用结构比来判定变量的空间相关性,指出当结构比值 <0.25 时,变量的空间相关性较弱,比值介于 $0.25 \sim 0.75$ 时,变量的空间相关性为中等,比值 >0.75 时,表明变量具有较强的空间相关性^[15-16]。从表 2 中可以看出,坡地的结构比小于 0.75,栗钙土层厚度表现出中等空间相关性,高平原区和丘陵的结构比均大于 0.75,表明栗钙土层厚度具有较强的空间相关性。3 个试验样地均表现出较好的空间结构性。

变程是当变异函数的取值由块金值增长到基台值时采样点的间隔距离。变程表示变量的空间相关性的作用范围,其值受采样尺度的影响。在变程范围内,采样间距越小,相似性越高,即空间相关性越大。当某采样点与已知点距离大于变程时,变量间不存在空间相关性^[4,11]。该点的数据值无论用于内插还是外推均是无效的。变程的大小同时也说明土层厚度空间连续性的好坏。在本研究中,2 号样地(高平原区)的变程最小,为 315.00 m,3 号样地(低山丘陵区)的变程最大,为 1 220.34 m。变程对采样间距设计的有效性有一定的指导意义,一般认为在块金效应不大时,可以将变异函数变程的 1/2 作为取样间隔的上限^[17]。

2.3 3 个试验样地栗钙土层厚度的各向异性分析

通过空间上不同方向半方差函数图比较,可反映变量在不同方向上的变化特征。如果各个方向上的半方差图基本相

同,称为各向同性,反之,则称为各向异性^[3,18]。

空间异质性不仅与观测范围有关,还与方向有着密切的联系。由于受大气、植被、人为等因素的影响,栗钙土的土层厚度的空间变异通常是有方向性的,用各向异性表示。为了

了解不同地形的栗钙土层厚度的空间变异是否具有方向性,分别研究 3 个样地的栗钙土层厚度在 0° 、 45° 、 90° 、 135° 等 4 个方向上的变异函数。不同方向的变异函数如图 8、图 9、图 10 所示。

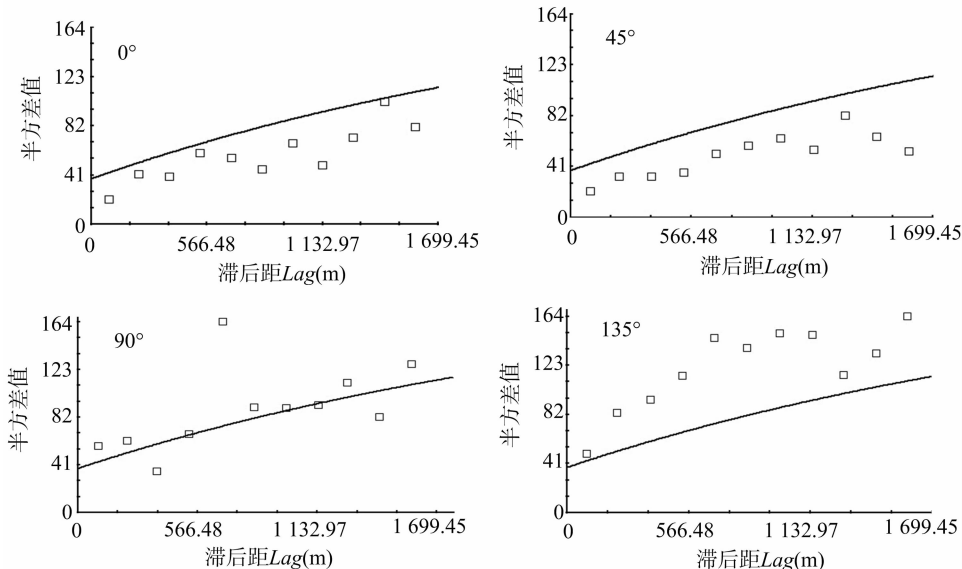


图8 1号样地栗钙土层厚度各向异性半方差值函数图

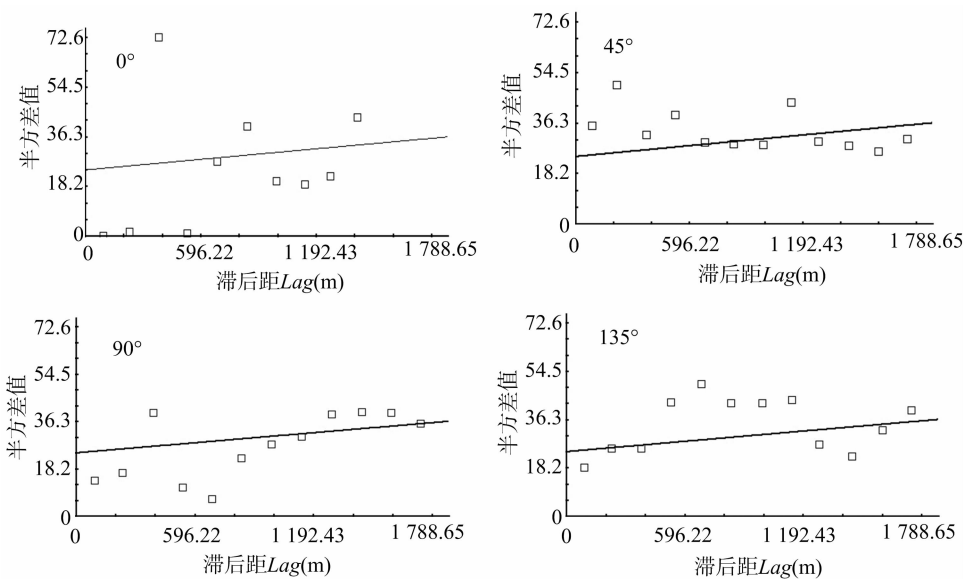


图9 2号样地栗钙土层厚度各向异性半方差值函数图

从图8、图9、图10可以看出,3个样地在4个方向上的半方差函数均表现出了各向异性,除了1号样地正北 0° 方向、东北-西南 45° 方向,2号样地东北-西南 45° 方向上栗钙土层厚度变异程度范围较小以外,其他所有方向上的各个样地的半方差函数变化明显,都是高低交替,无规律可循。尤其是1号样地的正南 90° 、2号样地的正北 0° 、3号样地正北 0° 和正南 90° 的变异程度最为突出,大起大落,这可能是这些方向上的植被类型、土地利用类型、人为干扰等因素较复杂造成的。3个样地的钙土土层厚度的各向异性都非常显著,各向同性不显著,这同时也说明了在3个样地的栗钙土层厚度发生空间变异的过程中,各个因素表现的作用同等重要,均不可

忽略。

3 结论

本研究经过对3个不同地形的试验样地栗钙土层厚度的空间变异分析得出以下结论:所选3个样地的栗钙土层均较薄,厚度的平均值都在10 cm以下,由大到小顺序依次为2号(高平原区) $>$ 1号(坡地) $>$ 3号(丘陵区)。3个样地的变异系数在25.47%~39.74%之间,由大到小顺序为3号(丘陵区) $>$ 1号(坡地) $>$ 2号(高平原区)。其中2号样地表现为中等变异,1号样地和3号样地表现为强变异性。1号样地(坡地)和3号样地(丘陵区)的变异函数曲线可以用高斯函

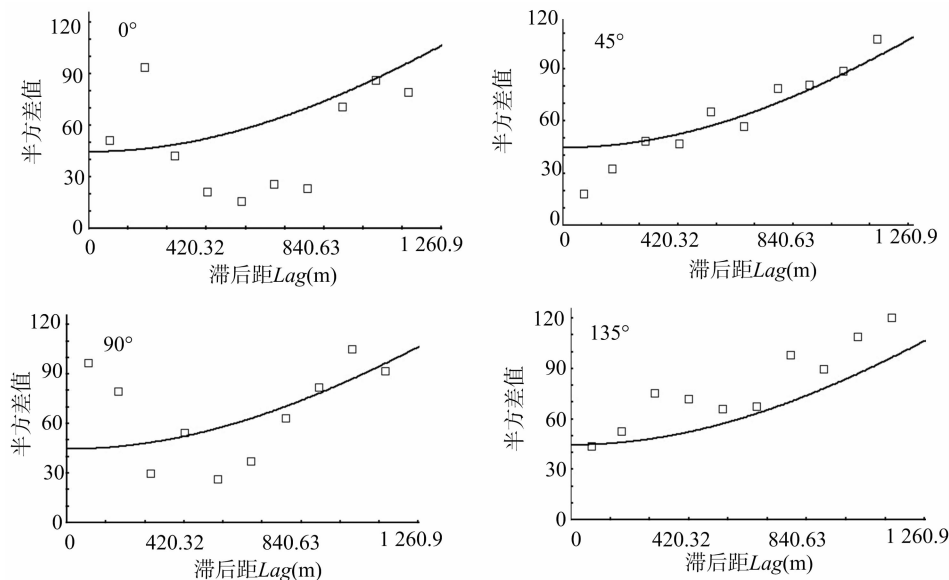


图10 3号样地栗钙土层厚度各向异性半方差值函数图

数来拟合,2号样地(高平原区)的理论变异函数模型采用指数函数模型,模型拟合度较好,决定系数均大于0.8。3个样地的块金值、基台值、偏基台值和变程值都是3号(丘陵区)>1号(坡地)>2号(高平原区),表明3号样地(丘陵区)栗钙土层厚度的空间变异程度最大,2号样地(高平原区)栗钙土层厚度的空间变异程度最小。3个样地的块金值都较大,以后试验设计时应根据地形的复杂程度适度调整采样间距,以减小块金值。2号样地(高平原区)变程最小,3号样地(丘陵区)变程最大,说明地形越复杂,变程越大。2号样地(高平原区)和3号样地(丘陵区)的结构比 $[C/(C+C_0)]$ 均>0.75,表明在观察尺度上栗钙土层厚度表现为较强的空间自相关,1号样地(坡地)的结构比 $[C/(C+C_0)]$ 为0.622,表现为中等空间相关性。3个样地栗钙土层厚度具有明显的空间异质性,由空间自相关部分引起的空间异质性占总空间异质性的比例分别是1号样地(坡地)62.2%、2号样地(高平原区)88.4%、3号样地(丘陵区)83.1%。在验证其他条件前提下,可以用克里金插值来模拟整个试验区的栗钙土层厚度分布。3个试验样地均表现出明显的各向异性,各向同性不明显,空间分布格局较为复杂。

参考文献:

- [1]李哈滨,王政权,王庆成. 空间异质性定量研究理论与方法[J]. 应用生态学报,1998,9(6):93-99.
- [2]郭旭东,傅伯杰,马克明,等. 基于GIS和地统计学的土壤养分空间变异特征研究——以河北省遵化市为例[J]. 应用生态学报,2000,11(4):557-563.
- [3]王政权. 地统计学及在生态学中的应用[M]. 北京:科学出版社,1999:162-192.
- [4]汤国安,杨昕. ArcGIS地理信息系统空间分析与实验教程[M]. 2版. 北京:科学出版社,2012:300-350.
- [5]李亮亮,依艳丽,凌国鑫,等. 地统计学在土壤空间变异研究中的

- 应用[J]. 土壤通报,2005,36(2):265-268.
- [6]李小昱,雷廷武,王为. 农田土壤特性的空间变异性及Kriging估值法[J]. 西北农业大学学报,2000,28(6):30-35.
- [7]姚月锋,满秀玲. 毛乌素沙地不同林龄沙柳表层土壤水分空间异质性[J]. 水土保持学报,2007,21(1):111-115.
- [8]Famiglietti J S, Rudnicki J W, Rodell M. Variability in surface moisture content along a hillslope transect: Rattlesnake Hill, Texas[J]. Journal of Hydrology,1998,210:259-281.
- [9]熊顺贵. 基础土壤学[M]. 北京:中国农业科技出版社,1996:225-230.
- [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]张仁铎. 空间变异理论及应用[M]. 北京:科学出版社,2005:23-371.
- [12]薛正平,杨星卫,段项锁,等. 土壤养分空间变异及合理取样数研究[J]. 农业工程学报,2002,18(4):6-9.
- [13]王军,傅伯杰,邱扬,等. 黄土丘陵小流域土壤水分的时空变异特征——半变异函数[J]. 地理学报,2000,55(4):428-438.
- [14]马风云,李新荣,张景光,等. 沙坡头人工固沙植被土壤水分空间异质性[J]. 应用生态学报,2006,17(5):789-795.
- [15]Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, et al. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils[J]. Soil Science Society of America Journal,1994,58(5):1501-1511.
- [16]Finzi A C, Canham C D, van Breemen N. Canopy tree soil interactions within temperate forests: species effects on pH and cations[J]. Ecological Applications,1998,8(2):447-454.
- [17]张国耀,程先富,鲍伟佳,等. 小流域土壤有机质和全磷空间变异分析——以安徽省舒城县龙潭小流域为例[J]. 应用与环境生物学报,2011,17(2):169-173.
- [18]周运超,王世杰,卢红梅. 喀斯特石漠化过程中土壤的空间分布[J]. 地球与环境,2010,38(1):1-7.