

地质统计学及其在草地水土资源研究中的应用

徐 冰¹,郭克贞¹,思世勇²,赵培成²

(1. 水利部牧区水利科学研究所,呼和浩特 010010;2. 内蒙古鄂尔多斯市乌审旗水利局,鄂尔多斯 017000)

摘 要:及时、准确掌握草地水土资源信息以及它们的相互影响关系是制定草场建设规划,合理利用草地资源的基础。简述了地质统计学的原理与方法,介绍了其在草地水土资源空间变异性研究中的应用与发展前景,有助于该学科在草业科学与水土科学中的深入应用与开拓。

关键词:地质统计学;草地;水土资源;应用

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2006)06-0319-03

Geostatistics and Its Application on the Study of Water - Soil Resources in the Pasture

XU Bing¹, GUO Ke-zhen¹, SI Shi-yong², ZHAO Pei-cheng²

(1. Institute of Water Resources for Pastoral Area, Ministry of Water Resources, Huhhot 010010, China;

2. Water Conservancy Bureau of Wushen Banner, Eerduosi 017000, China)

Abstract: The timely and exact information of water - soil resources and their relations in the pasture is foundation when we institute the layout of pasture and utilize the grassland resources. The theory and method of geostatistics is depicted and also the application and foreground of GS on spatial variability of water - soil resources in the pasture is presented. It administers to application and deploitation of GS in the science of grassland and water - soil.

Key words: geostatistics; pasture; water - soil resources; application

1 引 言

我国草地总面积 3.93 亿 hm^2 ,草原不仅是我国的重要资源,还是牧区经济社会发展的基础与维系生态安全的绿色屏障。因牧区多处于我国中西部干旱地区,风大沙多,干旱少雨、超载过牧等原因,草地生态环境恶化,水土流失严重,生态承载力逐年降低。因此,及时、准确的掌握草地资源信息,特别是草地水、盐、养分信息变化以及它们与草地生产力的协同关系,成为制定合理的草场建设发展规划,减少水土流失,改善草地生态环境的基础。

早期草地资源信息的调查采用区域采样,再进行代表性分析。90 年代中期,随着计算机和网络技术的发展与广泛应用,信息技术在各个行业里的发展也日新月异,RS、GIS、GPS 技术在草地资源动态监测和管理过程中发挥出巨大的作用。在全国先后建立起多处遥感综合监测和管理系统,这些系统在草地退化沙化监测、草畜平衡动态监测及各类草原灾害的预测预报、草场资源调查等领域得到广泛应用,如王朋新等(2002, 2003)对近 30 年来典型草原的退化与恢复特征进行了研究,并对典型草原退化草地的时空分布特征及其动态进行监测,罗西文(2003)利用 GPS 和 GIS 技术,分析土壤的理化性质与牧草生物量的关系,研究了影响产草量的因素。李建龙、朱进忠等人利用 3S 技术对新疆草地资源动态进行了多年的研究,取得了一定的进展。苏大学、刘建华等(2005)阐述了全国草地资源第二次遥感快速调查的总体技术路线以及遥感技术、计算机技术、地理信息系统技术在草地资源调查中的应用和方法。遥感调查采用全数字作业方

式,应用 MGE/Microstation 遥感制图专用软件和人机交互判断方法,完成草地资源信息的提取和草地资源图的编制,同时选择松嫩、甘南和伊犁等 7 片重点牧区草原,进行野外路线实地调绘,建立判读标志,测定草地生产力,生成草地资源的图形数据和属性数据,在 2 年时间内完成全国草地资源的快速清查。此外,也有学者采用空间遥感对锡林郭勒草原局部地区的植被及生态环境监测作了有益的尝试。

现代空间信息技术(Spatial Information Technology)有两个主要分支:其一是地理信息系统(GIS)技术;其二是空间数字信息技术,即地质统计学(Geostatistics)。GIS 技术已在草地资源信息的研究中发挥了巨大作用,但实际应用中干扰因素过多,精度难以保证。而 GS 理论的独特优势及其在地球科学领域多年实践为其在草地资源信息研究中的拓展打下了基础,因此,在地球科学的所有领域大力发展和应用空间信息技术,已成为 21 世纪地球科学发展的重要技术取向。

2 地质统计学理论

2.1 地质统计学的发展

地质统计学(空间信息统计学)是数学地质领域中一门发展迅速且有着广泛应用前景的新兴学科。它是法国数学地质家 G. Matheron 教授在研究了南非矿山地质工程师 D. G. Krige 等的工作基础上,从理论和实践上经过系统的研究于 1962 年首创的一门科学。其适合研究在时间、空间上具有随机性和结构性的各种自然现象。经过多年的研究与应用,地质统计学除了在异常值评价、找矿勘探、矿山生产及地学科研等方面具有明显的优越性外,它在生物学、生态学、地

* 收稿日期:2006-01-11

作者简介:徐 冰(1977-),男,工程师,主要从事水土资源空间变异性研究。

球化学、农业、水文水资源、气象学、遥感地质、环境、林业、医学等许多方面都有成功应用的实例。目前,地质统计学的有关理论、方法和模拟技术已经成为研究空间信息的分布特征、分布规律、模拟它们的离散性或波动性的重要工具。是评价各种区域性自然现象、自然资源及其开发利用过程新的工程科学,在 21 世纪围绕人口—资源—环境的可持续发展中对指导经济建设和现代管理具有重要意义,是与前沿发展密切相关的新兴交叉学科。

2.2 地质统计学基本概念

2.2.1 区域化变量

地质统计学是以区域化变量 (Regionalized Variable) 理论为基础,研究那些分布于空间中并显示出一定结构性和随机性的自然现象。当一个变量呈空间分布时,称之为“区域化”,这种变量常常反映某种空间相关现象的特征。草地资源信息(如土壤水分、养分、草地生物量等)中许多变量都具有地球科学的空间分布特点,可以当作区域化变量应用地质统计学理论进行研究。

2.2.2 变异函数

变异函数是地质统计学所特有的基本工具。它既能描述区域化变量的结构性变化,又能描述其随机性变化。

变异函数(一维)定义如下:

$$\begin{aligned} \gamma(x, h) &= \frac{1}{2} \text{Var}[Z(x) - Z(x+h)] \\ &= \frac{1}{2} E[Z(x) - Z(x+h)]^2 - \frac{1}{2} \{E[Z(x) - Z(x+h)]\}^2 \end{aligned}$$

当区域化变量满足二阶平稳假设或本征假设时,变异函数只依赖于步长 h ,与 x 取值无关,可以得到一维实验变异函数的计算公式:

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

式中: h ——分离距离; $N(h)$ —— x 轴上相隔 h 的点的对数; $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i+h)$ 是观测值 $Z(x)$ 和 $Z(x+h)$ 的 $N(h)$ 对实现。如果 $Z(x)$ 是定义在二维、三维空间的区域化变量,则 x 是二维、三维空间中的点。

2.2.3 变异函数模型

理论变异函数模型 $\gamma(h)$ 是未知的,需用在不同的尺度 (h) 下计算的 $\gamma(h)$ 值拟合理论模型。地质统计学将此模型分为 3 类:一类是有基台值模型,包括球状模型、指数模型、高斯模型、线性有基台模型和纯块金模型。第二类是无基台值模型,包括幂函数模型、线性无基台模型、抛物线模型。第三类是孔穴效应模型。在地质科学中通常使用球状模型。球状模型一般表达式:

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & h=0 \\ C_0 + C \left(\frac{3h}{2a} - \frac{1h^3}{2a^3} \right) & 0 < h < a \\ C_0 + C & h > a \end{cases} \quad (3)$$

式中: a ——变程,表明当样本距离等于或大于此距离时,样本完全独立; C_0 ——块金值(Nugget),块金常数是在极短的样本距离之间变异函数从原点的跃升值,是由样本误差和短距离的变异性引起的; $C_0 + C$ 为基台值(Sill), C 为拱高。变差函数基台值的大小可反映变量在该方向上变化幅度或总的变异程度的大小。块金值与基台值之比 $C_0/(C_0 + C)$ 反映块金方差占总空间异质性变异的大小。

2.2.4 克里格插值

克里格插值也称空间局部估计,它利用区域化变量的数据和变异函数的结构特点,在有限尺度内对未知区域进行线性无偏最优估计。与普通方法不同,它最大限度的利用了空间取样所提供的各种信息,估值时,它不仅考虑了已知点与未知点的空间位置,还考虑了各临近点彼此间的位置关系,利用已知点空间分布的结构特征,使这种估计更精确,更符合实际。

3 地质统计学在草地水土资源研究中的应用

空间相关是草地水土信息普遍存在的一种客观现象,但这种空间相关性在传统研究中被忽略了。传统方法对空间分布的研究仅通过一些简单的指数进行,其结果是获得一些空间分布的定性信息如样本的平均数、标准差、方差、频数分布以及分布的类型等,却无法知道分布的具体位置和程度。此外,传统统计学方法关注的只是时间相关,而忽略了格局内样点间的空间相关和格局间的时间相关的问题,其结果不仅造成系统误差,而且研究的时域范围十分有限。地质统计学以区域化变量理论为基础,不仅可对区域化变量的空间相关进行定量化描述,而且还可对未抽样位置进行估值,对空间分布进行模拟,这很好的弥补了传统统计学方法的不足,也成为它的最大优势。

近年来,随着地质统计学研究的深入,已有学者将这一理论引入草地资源信息的研究中,为在草地水土资源的研究提供了有力的理论基础与初步实践经验。吕贻忠、李保国等(2002)通过野外调查采样与室内土壤理化分析结合的方法,对鄂尔多斯荒漠区不同地貌类型下的土壤水分、养分分布特征进行了初步分析,研究表明,鄂尔多斯沙地土壤养分含量普遍较低,在多数土壤剖面上,土壤养分从上到下递减。两地形断面上土壤有机质和有效钾的一维半方差函数均表现出明显的空间结构性,如在艾碱壕断面上土壤有效钾和有机质的独立间距为 70.89 和 69.15 m,在深海沟断面上土壤有效钾和有机质的独立间距为 12.48 m 和 35.98 m,说明在调查区域内土壤养分存在一定的相关关系。固定沙丘和半固定沙丘表层土壤含水量的半方差函数均呈球状模型,其 $G_0/G_0 + C$ 值分别为 0.33 和 0.16,表明随机因素引起的空间异质程度固定沙丘比半固定沙丘大;半固定沙丘迎风面水分变异比背风面大,而固定沙丘则相反;从土壤剖面上看,表层土壤的含水量最低,其次是底层,而剖面中间的层次土壤含水量较高。总之,鄂尔多斯高原不同地形下土壤水分具有不同的空间变异特征,这将影响草场植物的生长。许红卫、王人潮(2003)以英国 Hills borough 农业研究所附近的一块牧草田为研究区,采用地统计方法分析了 1999 年夏季牧草干物质和氮素产量的空间变异及两者之间的关系。结果表明:牧草干物质与氮素产量的空间格局在不同生长季有很大区别;在本试验田中,第一季的产量高且变异小,这主要与牧草本身的生长规律和较高的肥料投入有关;对于牧草氮素产量,还与土壤中 N 的矿化有关;牧草氮素产量与干物质质量之间存在极显著的相关性,其空间结构基本一致。佟长福、史海滨等(2004)根据鄂尔多斯市及其周边地区 24 个站点 30 年气象资料,在对已有的水文、气象站网(均为非规则分布)进行正则化基础上,对 ET_0 空间结构性进行了系统分析。充分利用 ET_0 区域信息的特征,采用普通 Kriging 法对区域信息进行最优估计,并据此绘制了参考作物 ET_0 最优等值线图。研究了大区域复杂气候和环境条件下牧草的需水,为发展灌溉草业提供了科学的依据。左小安、赵学勇等(2005)采用地统计学的方法,研究了科尔沁沙地沙质草场土壤含水量对干旱和降雨响应的空间变异规律。研究表明,干旱时与降雨后沙质草场表层土壤水分统计特征、变异函数模型和参数、分维数和土壤水分空间格局分布图存在显著的差异,而亚表层差异较小。一定强度的降雨在短期内只能削弱处于干旱时沙质草场表层土壤水分的空间变异性,使其表层土壤水分破碎化程度、空间变异性减弱,而对土壤深层的水分补充和影响有限。苏里坦、宋郁东等(2005)对新疆三工河流域地下水埋深和自然植被盖度进行取样检测,将分形理论与地质统计学原理相结合,计算了三工河流域地下水埋深和自然植被盖度的分形维数和变异系数,认为该地区地下水埋深和自然植被盖度在空间上存在显著的变异性,且它们具有相似的变异特征,即随着地下水埋深的递增(或递减),自然植被盖度有所减少(或增

加),这暗示着在干旱地区影响自然植被盖度的众多因素中,最具有决定性的因素是地下水埋深。

4 展 望

(1)时间与空间变化是草地水土资源信息研究的核心内容之一,目前,应用地质统计学多只处理空间静态现象而很少涉及时间问题,因此,如何将时间因子融入空间变异研究之中是地质统计学在草地水土科学研究需要解决的难点之一。

(2)近年来兴起的地质统计学研究已取得了众多成果,

为草地资源信息的获取提供了有力的支持。然而,如何将地质统计学空间相关分析、插值功能与地理信息系统的空间显示、叠置、面积计算等功能相结合,更好地发挥各自的优势,完成对空间数据的获取、存储、分析、查询、显示等一系列空间数据操作,成为完善草地水土资源信息的关键。

21 世纪科学发展的趋势是多学科进一步交叉与融合,学科体系及成果将高度信息化、综合化,GS 理论的独特优势将在不断深化与开拓中为草地资源信息的研究提供更有力的支持。

参考文献:

[1] 中国自然资源丛书编撰委员会.中国自然资源丛书-草原卷[M].北京:中国环境科学出版社,1995.

[2] 李银鹏,李劲钧.内蒙古草地生产力资源和载畜量的区域尺度模式评估[J].自然资源学报,2004,19(5):610-616.

[3] 苏大学,刘建华,等.中国草地资源遥感快查技术方法的研究[J].草地学报,2005,增刊:4-9.

[4] 李裕伟.空间信息技术的发展及其在地球科学中的应用[J].地学前缘,1998,(5)4:335-341.

[5] 李建龙,蒋平,等.3S技术在草地产量生态成因分析与农业资源估测中的应用研究[J].中国草地,2003,25(3):15-23.

[6] 张时煌,彭公炳.基于遥感与地理信息系统支持下的地表植被特征参数反演[J].气候与环境研究,2004,9(1):80-91.

[7] 陈亚新,魏占民.基于稳健统计学的水盐变差函数的逼近方法[J].水利学报,2004,(9):55-61.

[8] 肖斌,赵鹏大,侯景儒.地质统计学新进展[J].地球科学进展,2000,15(6):293-296.

[9] 王军,邱扬.土壤质量的空间变异与尺度效应研究[J].地理科学进展,2005,24(7):28-35.

[10] 张仁铎.空间变异理论及应用[M].北京:科学出版社,2005.

[11] 吕贻忠,李保国,等.鄂尔多斯不同地形下土壤养分的空间变异[J].土壤与环境,2002,11(1):32-37.

[12] 吕贻忠,李保国等.鄂尔多斯夏初不同地形土壤水分的空间变异[J].中国农业大学学报,2002,7(5):38-43.

[13] 许红卫,王珂.田间土壤采样数据的统计特征与空间变异性研究[J].浙江大学学报,2000,26(6):665-669.

[14] 佟长福,史海滨,等.参考作物腾发蒸腾量等值线图的绘制[J].沈阳农业大学学报,2004,35(10):492-494.

[15] 左小安,赵学勇,等.科尔沁沙地沙质草场上壤水分对干旱和降雨响应的空间变异性[J].水土保持学报,2005,19(1):140-144.

[16] 苏里坦,宋郁东,张展羽.天山北麓地下水与自然植被的空间变异及其分形特征[J].山地学报,2005,23(1):14-20.

[17] 王龙,王琳,等.基于GIS和地质统计学的水稻灌溉用水定额等值线图[J].云南农业大学学报,2005,20(6):863-870.

[18] Felicitas Avendaño, Oliver Schabenberger, Francis J. Pierce, et al. Geostatistical analysis of field spatial distribution pattern of soybean cyst nematode[J]. Agron. J., 2003, 95: 936-948.

[19] Felicitas Avendaño, Francis J. Pierce, Oliver Schabenberge, et al. The spatial distribution of soybean cyst nematode in relation to soil texture and soil map unit[J]. Agron. J., 2004, 95: 181-194.

(上接封四)

88	Rational Thought of Sustainable Utilization of Water Resources in Ningxia	WANG Zhi-liang, YANG Ting	(278)
89	The Research of Formation Mechanism and Stability on a Landslide in a Hydropower Station	CHEN Wan-ye ¹ , DONG Lai-feng ²	(282)
90	Study on Ecological Courtyard Construction of Yanghuang Irrigation Area in South Ningxia	MA Ming ¹ , WEN Xue-fei ² , WANG Feng ² , et al.	(285)
91	Study on the Influence of Mantles on Plants' Water Economizing Effects in Stereo Virescence	QU Zhi-qiang ¹ , DING Guo-dong ¹ , ZHAO Fang-ying ^{1,2} , et al.	(288)
92	The Dangerous Assessment of Geological Hazards on the Moving and Settling Construction Land in Nanan Village of Sichuan Jiuzhaigou County	YU Peng-cheng, ZHOU Wei-long, BAI Yan-bo	(290)
93	On Research of Change Trend of Soil Erosion in Mountain Area of Hebei Province	CHEN Yan-mei, QIAN Ji-rong	(293)
94	Discussion on Application of Participatory Land Use Planning in Watershed Management	WANG Xue-xiong ¹ , ZHOU Qiong ²	(295)
95	Research of Construction Engineering of Ecology-economy Protective Forest System in Semi-arid Degenerated Mountainous Area	ZHANG Yuan-run ¹ , JIANG Qi ¹ , CAI Ji-rui ¹ , et al.	(298)
96	Analysis of the Characteristics of Runoff in Typical Watershed of the Purple Soil Region in North Sichuan	YUAN Zai-jian ¹ , CAI Qiang-guo ² , BU Chong-feng ^{2,3} , et al.	(300)
97	The Resource Distributing Characteristic and Exploiture Foreground Analyzing of Geological Remnant Sight of Gesala	SHEN Zhong-chao ¹ , SHEN Jui-hui ¹ , WANG Lai-sheng ¹ , et al.	(303)
98	Classification, Ecosystem Service, Protection and Utilization of the Urban Ecological Land ——A Case Study of Liaocheng City	WANG Zhen-jian, LI Rui-xue	(306)
99	Research on Comparing the Topographic Index Based on the Single Flow Direction Arithmetic and Multiple Flow Direction Arithmetic ——Treating Caijiachuan Small Watershed in Ji County of Shanxi Province as Sample	LIU Li-feng, BI Hua-xing	(309)
100	Research on Soil Water Content Sampling Distance in Orchard	XIE Heng-xing, ZHANG Zhen-hua, LIU Ji-long, et al.	(311)
101	Resource Present Conditions and Ecology Environment Evaluation for Wetland in Yili, Xinjiang	WANG Yi-qun ^{1,2}	(314)
102	Geostatistics and Its Application on the Study of Water- Soil Resources in the Pasture	XU Bing ¹ , GUO Ke-zhen ¹ , SI Shi-yong ² , et al.	(319)