

文章编号: 1000-0690(2003)01-0072-05

水土化学场理论在松嫩平原盐渍土研究中的应用

宋新山^{1,2}, 何 岩³, 汪永辉¹

(1. 东华大学环境学院, 上海 200051; 2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林
长春 130012; 3. 中国科学院, 北京 100864)

摘要: 根据水土环境中盐渍成分时空分异的区域化特征, 提出盐渍水土化学场理论, 建立变异函数模型 量化模拟其空间分异, 求得变异函数后, 通过克里格插值定量预测某种盐渍水土环境特征的空间分布。利用在松嫩平原盐渍化试验小区的实测数据进行验证, 可为盐渍水土环境的定量研究提供理论依据。

关 键 词: 盐渍化; 区域化变量; 水土化学场; 变异函数; 克里格插值

中图分类号: X142, X144 **文献标识码:** A

受土壤性质、气象、地貌、地下水文及长期地球化学过程等自然条件和耕作、灌溉等人类活动影响, 土壤盐分是土壤特性中最活跃和复杂的一部分^[1~3], 其在时空域上具有结构性和随机性特征^[4]。早期对时空分异的研究是通过溶质运移方程模拟垂向一维变化, 但仅能模拟一点的垂直变化; 或是依据成土因子把土壤分为内部相对均一的分类单元, 将其在空间上的连续变异性转化为单元间差异, 而野外试验则尽量选用性质均一小区, 以消除其变异性对试验的影响, 或者将土壤变异包括到试验误差中进行解释^[5]。这样可能丢失土壤空间连续变异信息。场的提出和发现, 其意义不仅在于建立了电磁场理论, 更重要的是它作为描述物质空间分布及相互作用的一种直观而有效的方法。场理论被引入其它学科后, 促进了其它学科研究方法的变革。如美国德克萨斯农工大学一个生态系统研究组提出生态场理论, 王德利将之应用于草地生态系统研究^[6]。因此, 提出盐渍水土化学场概念, 以模拟土壤盐碱成分的空间变异, 并将这种变异定量化的表示出来。本文藉此研究盐渍水土环境中盐分空间分异特征, 为土壤盐渍化的治理和农田灌溉管理提供信息。

1 盐渍水土化学场的基本内涵

对水土化学场概念, 不同研究者有不同的理

解, 文献[7]认为: 地下水土化学场是含水层中矿物溶解与沉淀, 元素在水中的存在与迁移形式以及水土间离子的吸附和解吸等物理 化学作用程度的主要控制因素。也有人认为: 水土化学场是受水分运动空间和各种力的作用形成的。前者从引起水土环境中物理 化学作用的控制性因素方面定义, 如在不同的区域, 水中氟盐具有不同的浓度区间, 由其容度积控制的水中氟的浓度也是不同的, 又如由 pE 和 pH 决定的氧化 还原区间控制着水中各种不同形态金属化合物的存在。后者从土壤物理角度, 通过对运载化学溶质的水分在土壤中的受力状况和其运行空间来研究水土化学场。

无论何种控制性因素造成的水土环境中盐分的时空分异, 不同区域水土环境中盐分对外作用强度和方式均表现在它们在时空方向上的含量和成分差异上。它们的分布显示出一定的结构性和随机性, 具有 区域化 现象^[8], 随空间位置的不同, 水土环境中的盐分含量和成分表现出差异性, 并可用等值线图等空间数据分析手段表现出它们的差异性。就象在电磁场中不同位置场的矢量属性可通过电、磁力线来表示一样。

盐渍水土环境中盐分运移和分布的时空变异包括系统变异和随机变异两部分。一方面气候、地质、成土母质决定了水土环境中盐分含量和成分的系统性差异, 另一方面, 人为因素、微地貌造成水土

收稿日期: 2002-02-20; 修订日期: 2002-10-15

基金项目: 中国科学院资源与生态环境研究项目(KZ952-J1-067)资助。

作者简介: 宋新山(1972-), 男, 博士, 讲师, 主要从事水土资源环境演变研究。E-mail: newmountain@163.com

钱贞国. 松嫩平原西部盐碱湿地开垦前后水土环境化学特征变化. 中国科学院长春地理所研究硕士论文, 1997. 20.

环境中盐分的随机性差异^[9], 这种差异依赖于时空变化。因此提出水土化学场是由土壤物理结构和溶质化学性质决定的时空域随机场。定义盐渍水土化学场为实现某种水土环境化学特征的随机变异函数 $Z(x, y, z, t)$ 的时空自变量集合。其中的随机变异函数 $Z(x, y, z, t)$ 代表了区域某种水土环境化学特征, 如土壤盐分含量、土壤水分含量等, 而空间位置 (x, y, z) 和时间 (t) 则是决定这种水土环境化学特征的自变量集合。

2 盐渍水土化学场的特点

在盐渍水土化学场中, 水土环境化学特征在场中表现出的结构性和随机性体现在随机变量的变化上: 明显的空间分布几何域、不同程度的块金效应及绝对的各向异性^[9~11]。

(1) 明显的空间分布几何域 (Geometric Region) 反映某种盐渍水土环境特征的随机变量被限定在一定的空间范围内, 该空间范围称为其几何域。如特殊的地形地貌及水文地质条件导致的盐分高含量区, 盐碱地开发洗盐形成的盐分低含量区。几何域范围内, 变量的特征属性(如盐分含量的高或低、离子交换的难与易、氧化还原的正与逆)明显, 变量的自相关程度高; 几何域范围外, 变量的特征属性不明显, 变量的自相关性减弱或消失。

(2) 不同程度的块金效应 (Nugget Effect) 块金效应原义是表示矿脉的不连续性, 这里借鉴它的不连续性意义。由于盐渍水土化学场的复杂性, 它在时空域上的连续性是不同的, 连续性强, 块金效应就小。盐渍水土环境中, 相邻很近的洼地和高地土壤中盐分的含量和成分连续性可能很差, 而在土壤剖面中, 受降水和灌溉的淋溶作用或地下水位的顶托作用, 其剖面盐分特征具有明显的连续性, 块金效应很小。

(3) 绝对各向异性 (Anisotropy) 区域化随机变量如果在各个方向上的性质变化相同, 称各向同性, 否则称各向异性。由于影响盐渍水土环境各条件复杂多样, 其特征在不同方向的变异性不可能完全相同, 其各向同性是相对的, 各向异性则是绝对的^[12]。

3 盐渍水土化学场的研究方法

在一般流场研究中, 假设流场中物质扩散符合某种概率分布形式, 如正态分布、泊松分布等, 扩散的方向也是确定的^[13], 可用概率论、数理统计的知

识及流场介质的迁移转化规律推导出它们的随机场模式, 如高斯点源模式、水体污染扩散模式。而在盐渍水土化学场中, 由于土壤性质的相对不均一性, 影响因素的复杂性, 要假定它服从某种现有的概率分布模式是不可能的。因此对盐渍水土化学场的研究应采取不同于传统的模型推导方法。

某种水土环境化学特征在场中的区域化现象不但体现在其变化的随机性^[14], 而且表现在其结构性上, 即某种水土环境化学特征在点 x 处和点 $x+h$ 处的数值 $z(x)$ 和 $z(x+h)$ 具有某种程度的自相关, 这种自相关的大小依赖于时空域的变化, 这体现了盐渍水土化学场的结构性。当区域土壤盐分变量满足二阶平稳或准平稳假设^[15], 且样本容量足够大时, 上述随机性和结构性可用自相关函数 $\gamma(h)$ 和实验变异函数 $\hat{\gamma}(h)$ 表示:

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

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

式中: $N(h)$ 为样本资料数目; h 为采样间距(m); 为标准差; $z(x_i)$ 为某种盐渍化学成分特征; i 为采样点序号。

$\gamma(h)$ 和 $\hat{\gamma}(h)$ 呈相反的变化趋势, $\gamma(h)$ 越大则数据空间相关性越强。

上述的实验变异函数, 只能计算离散变异系数, 为了得到连续的变异系数, 需建立理论变异函数模型。在土壤空间分异研究中, 应用较多的是球状模型^[5]:

$$\gamma(h) = \begin{cases} c_0 + c \left[\frac{3}{2} \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^2 \right] & 0 < |h| < a \\ c_0 + c & |h| > a \\ 0 & |h| = 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中: c_0 为块金方差, c_0 越大表示空间异质性越强; c 为拱高, 它是空间变异函数所达到的最大稳态值与 c_0 的差; a 为最大滞后距(变程), 当盐渍水土化学场中样点空间距离达到 a 时, 数据的空间变异达到最大稳态值, 同时理论上数据的空间相关性已不存在。

求得变异系数后, 利用克立格 (Kriging) 插值^[16]就可估算试验区任一点的盐渍水土化学场的特征值。变异函数能够揭示盐渍水土化学场

中盐分变化的空间结构和方向性特征, 克立格插值则可估计任一点的土壤盐分含量特征。利用上述盐渍水土化学场的基本理论和在实地采样的基础上可对区域土壤盐渍成分进行定量化估算。

4 实例研究

利用上述理论, 计算了松嫩平原典型试验小区水田与盐渍荒地 0~ 30 cm 实测的土壤电导(EC) 的实验变异函数和理论变异函数值, 并绘制了曲线(图 1、图 2)。

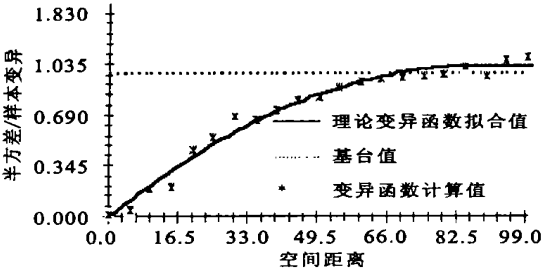


图1 水田(0~ 30 cm)EC 变异函数
Fig. 1 EC sample variance of paddy field

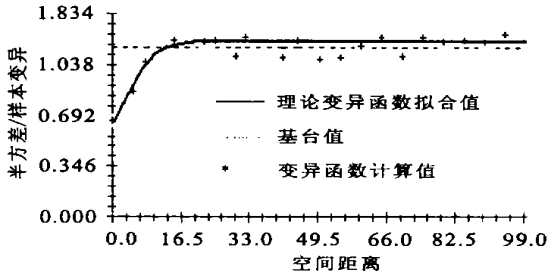


图2 盐碱荒地(0~ 30 cm) EC 变异函数
Fig. 2 EC sample variance of saline badlands

性, 必须加大采样密度。
为进一步对盐渍水土化学场的空间变化进行阐释, 计算了水田- 荒地复合区不同方向上的变异函数(图 3), 并应用克立格插值法计算了该小区土壤电导的空间分布(图 4)。

可见, 图 3 中 0 方向实验变异函数(点) 最大滞后距小, 随空间距离增大其变异函数逐渐增大; 而 90 方向实验变异函数最大滞后距大。图 4 中 0 方向盐渍水土环境变化相对较大, 而在 90 方向由于水土环境变化相对一致, 因此其变异函数也较小。

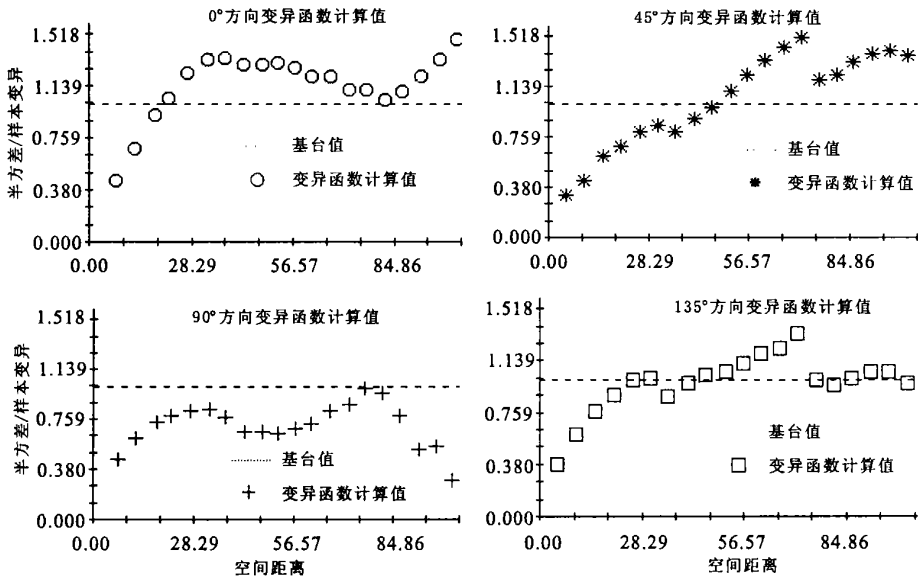


图3 水田 盐碱荒地复合区不同方向变异函数
Fig. 3 Different direction EC sample variance of composite fields of paddy and saline badland

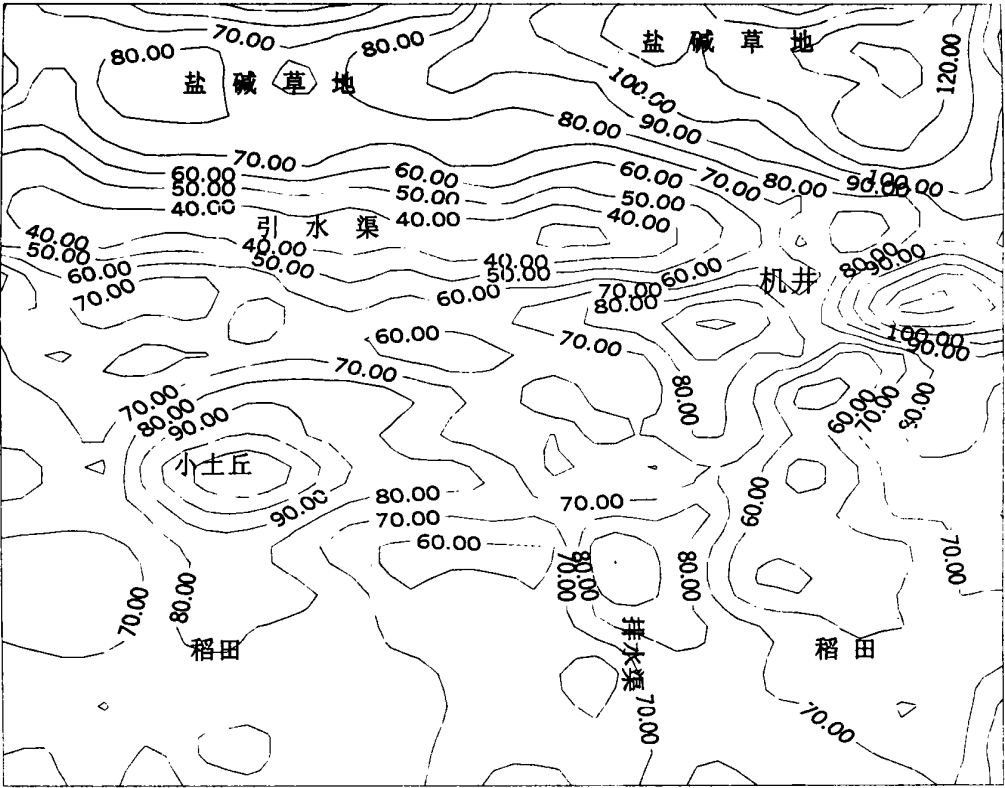


图 4 水田 荒地复合试验区土壤电导(ms m) 分布的克立格插值等值线

Fig. 4 (ms m) Kriging interposing isoline of soil EC in composite fields of paddy and saline badland

反映在图 4 上,等值线在 90 方向多呈条带状分布,等值线变化较为连续,而在 0 方向上等值线变化不连续。在 45 和 135 方向上由于其实验变异函数没有明显差异,因此这两个方向上土壤电导等值线分布的差异不明显。

对比分析表明,盐渍水土环境类型变化较大,其实验变异函数的最大滞后距小,反之较大。这说明在盐渍水土环境研究中,在区域不同方向采样时,必须考虑到其变异函数的空间变化,这样才能反映不同盐渍水土环境的特征。上述图形分析对于表现盐渍水土化学场的空间变异是直观的。

5 结 论

应用提出的盐渍水土化学场理论,实现了对盐渍水土环境空间变异的定量化表示。其中的空间变异函数可用于定量化模拟盐渍水土化学场的空间变异,克立格插值用于定量模拟盐渍水土化学场特性的空间展布。这为盐渍水土环境的定量化研究提供了理论方法。需要指出的是,上述方法的应用建立在正确的空间数据采样基础上,并且需要的数据量相对较大,如果将 GIS 技术引进该研究中,

或将该方法作为模块嵌入 GIS 系统中,将对较大区域土壤盐渍化空间定量分布的模拟和预测起到重要作用。

参考文献:

[1] 史海滨,陈亚新.表土盐分空间变异及合理采样与信息估计[J].内蒙古农牧学院学报,1999,17(4):74~81.
[2] 宋长春,闫百兴,宋新山.电磁技术在苏打盐渍化土壤研究中的应用[J].地理科学,2002,22(1):91~95.
[3] 李取生,王志春,李秀军.苏打盐渍土壤微咸水淋洗改良技术研究[J].地理科学,2002,22(3):342~348.
[4] 沈思渊.土壤空间变异性:事实,调节和应用[J].国外农业-土壤肥料,1988,2:35~42.
[5] 沈思渊.土壤空间变异研究中地统计学的应用及其展望[J].土壤研究进展,1989,(2):11~25.
[6] 王德利.植物生态场导论[M].北京:科学出版社,1995.1.
[7] 周福俊,单润起,张中庸.松嫩平原中部地区地下水化学研究[M].长春:吉林大学出版社,1994.168.
[8] 王政权.地统计学及其在生态学中的应用[M].北京:科学出版社,1999.1~5,177~185.
[9] Kemper W D and Van Schaik J C. Distribution of salt in soil-water systems[J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1966, 30(5): 534~538.
[10] Guitjens J C. Spatial and temporal variabilities in salinity[A].

In: Tanji K K. Agricultural salinity assessment and management [C]. New York: American Society of Civil Engineers, 1990. 328.

[11] Webster R. Quantitative spatial analysis of soil in the field[J]. Advances in soil science, 1985, 3: 1- 4.

[12] 祝寿泉. 我国土壤盐渍化的发生及演变[A]. 见: 俞仁培, 郭建新, 胡祥明. 全国盐渍土研究学术研讨会会议论文集 盐渍土资源综合利用与治理[C]. 中国土壤学会盐渍土专业委员会, 1997. 25.

[13] 朱发庆. 环境规划[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 1994. 85~ 90, 203~ 210.

[14] Matheron G. The theory of regionalized variables and its applications[M]. Cahiers Du Centre De Morphologie Mathematique, Fontainbleau: 1971. 56.

[15] 华 孟, 王 坚. 土壤物理学[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993. 214~ 237.

[16] Alemi M H, Azari A B and Nielsen D R. Kriging and univariate modeling of a spatial correlated data[J]. Soil Technology, 1989, 1(2): 133- 147.

Theories and Application of Salt Distribution Field in Water-Soil Environment on study of soil salination in Songnen Plain

SONG Xir-Shan^{1,2}, HE Yan³, WANG Yong-Hui¹

(1. Environmental Science and Engineering College, Donghua University, Shanghai 200051; 2. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, the Chinese Academy of Sciences, Changchun Jilin, 130012; 3. the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100864)

Abstract According to regional distribution characteristics of salt in water-soil environment, the theories of Salt Distribution Field in Water-Soil Environment are put forward. Variation function offered is used to model quantitatively space differentiation of salt in water- soil environment, and its space distribution can be modeled quantitatively by Kriging interposing method offered. At last, this method is applied by integrating experimental data in saline soil of Songnen Plain, and get EC sample variance map in paddy field and saline badlands, at the same time, get different direction EC sample variance and soil EC Kriging interposing isoline in paddy and saline badland. This theories can be used quantificationally study on saline and alkaline water- soil environment.

Key words: salinization; regional variable; salt distribution field in water-soil environment; variogram function; Kriging interposing method