

基于地统计学的田间尺度下土壤 盐分离离子空间变异研究

曹伟¹, 魏光辉², 庄亮亮¹

(1. 新疆水利水电科学研究院, 乌鲁木齐 830049; 2. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要: 土壤中可溶性盐的分析是研究盐渍土盐分动态监测与盐渍化防治的重要基础工作。利用地统计学方法研究了田间尺度下土壤盐分离离子的空间变异特征, 运用 Kriging 插值绘制了盐分离离子的空间分布图。结果表明: 除 Cl^- 和 Ca^{2+} 属强变异强度外, 其他离子均具有中等变异强度; 受结构性因素和随机性因素的共同作用, 除 Ca^{2+} 与总盐外, 其余各盐分离离子均具有中等强度的空间相关性, 自相关距差异不大; Kriging 插值图表明大部分盐分离离子的空间结构性都较好, 中部的离子含量明显低于其他方向。研究结果为孔雀河灌区盐渍化土壤的防治、改良和利用提供了理论基础。

关键词: 土壤盐分; 盐分离离子; 地统计学; 空间变异; 孔雀河灌区

中图分类号: S156.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)01-0148-04

Study on spatial variability of soil salt ions under farmland scale based on geo - statistics method

CAO Wei¹, WEI Guanghui², ZHUANG Liangliang¹

(1. Xinjiang Research Institute of Water Resources and Hydropower, Urumqi 830049, China;

2. School of Water Resources & Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: The analysis of soluble salt in soil is an important foundation work in research of salt dynamic monitoring of salinized soil and prevention of soil salinization. This paper studied the spatial variability of salinization by geo - statistics method, and made the spatial distribution map of salt contents by using Kriging method. The results indicated that except Cl^- and Ca^{2+} belongs to strong spatial variation of strength, other ions possess moderate spatial variation of strength; apart from Ca^{2+} and total salt, other salt ions exhibit moderate spatial correlation and shows little difference in the autocorrelation distance of each salt ion due to the joint action of structural and stochastic factors; the spatial structure of most salt ions is good as showed in Kriging interpolation maps, ions content in the middle was significantly lower than that in other directions. The results can provide theoretical basis for the prevention, improvement and utilization of salinized soil in the irrigation region of Kongque river.

Key words: soil salt; salt ion; geo - statistics; spatial variability; irrigation region of Kongque river

土壤盐渍化问题是制约作物产量和农业可持续发展的重大问题, 有效地改良和利用盐渍化土地对农业可持续利用具有重要意义。土壤中的盐分离离子含量及其空间分布更是研究盐渍化发生机理进而因地制宜提出盐渍土改良措施的关键。

近年来, 有关土壤盐分离离子组成及盐渍化类型的研究国内已有很多比较详细的报道^[1-4]。然而,

掌握土壤盐渍化程度和变化特征是改良及合理利用盐渍化土壤的首要条件。目前, 地统计学已被证明是分析土壤特性空间分布特征及其规律的有效方法之一^[5]。地统计学的各种方法, 包括普通克里格、协同克里格、泛克里格及指示克里格等被成功地应用于这一领域^[6-7]。本文在前人研究的基础上, 以新疆巴音郭楞蒙古自治州的孔雀河灌区为例, 运用

收稿日期: 2013-03-08; 修回日期: 2013-04-01

基金项目: 绿洲灌区节水安全关键技术研究示范(201130103-3); 水利部公益性行业科研专项(201301102); 自治区公益性科研院所基本科研项目(KY2012064)

作者简介: 曹伟(1977-), 男, 新疆呼图壁人, 在读研究生, 工程师, 主要从事农业节水灌溉技术研究。

地统计学的方法研究表层土壤(0~30 cm)中盐分离子 HCO_3^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 及总盐的空间结构及分布特征,以期了解该地区土壤盐分离子在二维空间的分布特征,为制定合理的盐渍化土壤改良措施提供指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

田间试验点位于新疆塔里木河流域巴音郭楞管理局水利科研所试验站 3 号地内,地理位置介于 $41^\circ 35' \sim 41^\circ 37' \text{N}$ 、 $86^\circ 09' \sim 86^\circ 12' \text{E}$,海拔 896 m。试验区属暖温带大陆性荒漠气候,多年平均降水量 53.3~62.7 mm,多年平均蒸发量 2 273~2 788 mm (20 cm 直径小型蒸发皿),平均相对湿度为 45%~47%,平均气温 10.5℃,夏季炎热,极端最高气温达 43.6℃,冬季寒冷少雪,1 月平均气温 -9.4℃。全年以晴天为主,日照时间长,太阳总辐射 633 kJ,昼夜温差大。多年平均日照时数 3036.2 h,大于 10℃ 的年积温 4 285℃ 以上,多年平均无霜期 188 d。

试验田采用滴灌系统灌溉,种植作物为棉花,棉花品种为新陆中 21 号,生育期为 133~136d。棉花覆膜种植,模式为“一膜双管四行”(见图 1),前茬种植棉花。

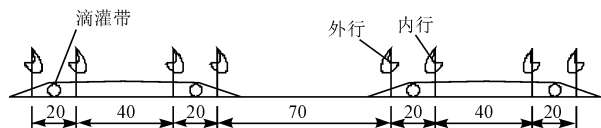


图 1 棉花种植模式(单位:cm)

1.2 数据处理

试验于 2012 年 6 月在棉花苗期展开,取样深度为土壤表层 0~30 cm,取样点间距为 50 m×50 m,取样面积为 350 m×350 m,共计取土样 64 组。将采集的 64 组土样带回实验室自然风干,磨碎、过 1 mm 筛;之后准确称取 18.0 g 的土样置于离心管中,加入 90 mL 去 CO_2 蒸馏水,将离心管置于振荡器上振荡 3 min 后,以 4 500~5 000 r/min 转速离心后获得的上清液倒入烧杯中,并立即测量其电导率和盐分离子组成。

土壤离子组成测定方法: HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 用双指示剂滴定法测定; Cl^- 用 AgNO_3 滴定法测定; SO_4^{2-} 用 EDTA 间接滴定法测定; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 用 EDTA 络合滴定法测定; K^+ 、 Na^+ 用火焰光度法测定。

1.3 地统计学理论

地统计学是以区域化变量理论为基础,以变差函数为主要工具,研究在空间或时间分布上既有随机性又有结构性变化的自然现象的科学。其核心为通过对采样数据的分析及对采样区地理特征的认识来选择合适的 Kriging 插值,利用观测值之间的空间自相关性预测未采样点的区域化变量值并创建统计表面。

根据平稳性的定义,协方差和半变异函数是地统计学的两个基本函数,是表征空间数据自相关的定量指标。设变量在 x 处的值 $z(x_i)$ 与 $x+h$ 处的值 $z(x_i+h)$ 有某种程度的相关性。其数学期望为 m ,协方差函数 $c(h)$ 及半变异函数 $r(h)$ 分别表示为:

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

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

变异函数有 4 个非常重要的参数,即基台值 (Sill)、变程 (Range)、块金值 (Nugget) 以及分维数 (Fractal Dimension)。当变异函数随间隔距离 h 的增大,从非零值达到一个相对稳定的常数时,该常数称为基台值 $C_0 + C$,当间隔距离 $h = 0$ 时, $\gamma(0) = C_0$,该值称为块金值。基台值是系统中最大的变异,变异函数达到基台值时的间隔距离都称为变程,变程表示在 $h \geq a$ 以后,区域化变量 $z(x)$ 空间相关性消失。分维数用于表示变异函数的特性,由变异函数 $r(h)$ 和间隔距离 h 之间的关系确定。

2 结果与分析

2.1 描述性统计分析

由于变异函数的计算一般要求数据符合正态分布,否则可能存在比例效应^[8],因此需要对原始数据进行 K-S 法正态检验(见表 1)。由表 1 可知,被测的各离子中 HCO_3^- 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 及总盐含量服从对数正态分布,而 Na^+ 含量服从正态分布。从变幅来看,各离子含量的变幅相差较大, SO_4^{2-} 变幅最大为 24.045 mg/kg, Mg^{2+} 变幅最小为 0.194 mg/kg。从盐分离子含量均值来看, SO_4^{2-} 和 Ca^{2+} 是盐分的主要成分。

从变异系数来看,各盐分离子的变异系数相差较大,变化范围在 0.517~1.288,按照变异系数的划分标准 HCO_3^- 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 属于中等变异强度,而 Cl^- 和 Ca^{2+} 则属于强变异强度,分别达到了 1.288 和 1.159。

表1 盐分离子的统计特征值($n=64$)

项 目	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	总盐
最大值	0.489	2.650	24.537	9.791	0.219	1.045	1.255	35.373
最小值	0.003	0.050	0.492	0.078	0.025	0.021	0.049	0.963
极差	0.486	2.600	24.045	9.713	0.194	1.024	1.207	34.409
平均值	0.133	0.376	6.790	2.333	0.088	0.212	0.571	10.504
标准差	0.093	0.484	6.224	2.705	0.052	0.175	0.295	9.119
变异系数	0.702	1.288	0.917	1.159	0.590	0.826	0.517	0.868
分布类型	对数正态	对数正态	对数正态	对数正态	对数正态	对数正态	正态分布	对数正态

g/kg

2.2 空间变异特征分析

经典统计学方法仅在一定程度上反映研究区域样本总体及变异状况,不能定量地描述土壤盐分离子含量的随机性、结构性、独立性和相关性。因此在进行土壤盐分离子空间变异性研究时,需利用地统计学方法进行进一步的分析与探讨。

表2为各盐分离子的半方差函数理论模型及相关参数,模型参数采用交叉验证法进行修正,直至达到所需要的要求。变异函数揭示了整个尺度上的空间变异,随间隔距离 h 的增大,变异函数 $r(h)$ 从非零值达到一个相对稳定的数值,该数值称为基台值 $C_0 + C$,表示系统内总的变异,其中 C_0 为块金值也叫基底方差,表示由试验误差和小于试验取样尺度等随机部分引起的空间异质,较大的块金值表明较小尺度上的某种过程不可忽视。块金值(C_0)与基台值($C_0 + C$)之比表示随机部分引起的空间异质性占系统总变异的比例;比值小于25%,说明系统具有强烈的空间相关性,比值在25%~75%,说明系统为中等空间相关,比值大于75%,说明系统具有较弱的空间相关性^[9]。变程指影响的范围,反映空间依赖的最大距离,与观测尺度及其取样尺度有关。

由表2可以看出,HCO₃⁻、Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻及总盐的变异函数理论模型符合球状模型。所有土壤盐分离子的基底方差均为正值,说明存在着由采样误差、短距离的变异、随机和固有变异引起的各种正基底效应。从块基比看出,除Ca²⁺与

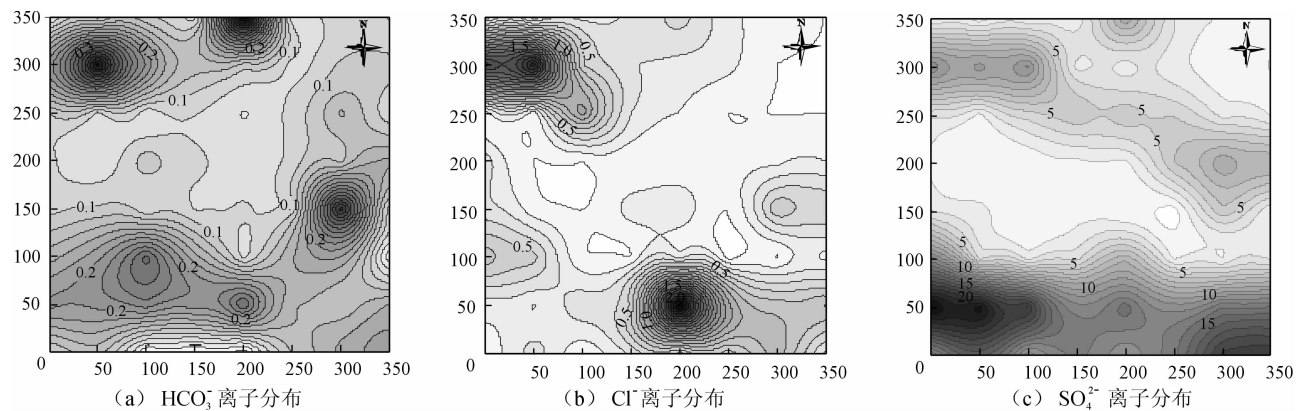
总盐外,其余盐分离子比值较大,但没有超过80%,各离子都具有中等强度的空间相关性,这主要是受结构性因素(土壤母质等)和随机性因素(局部地形等)共同作用影响的结果。从变程来看,各离子的变程都相差不大,其中Na⁺离子的变程最大,达到362.4 m;Mg²⁺变程也达到355.3 m,这主要是受到取样距离(50 m)及内外因素的共同作用,使得各盐分离子的空间相关性减弱,朝均一化方向发展,导致了其空间自相关距趋于一致的现象。

表2 盐分离子的半方差函数理论模型及相关参数 m

盐分离子	理论模型	C_0	$C_0 + C$	$C_0/(C_0 + C)$	变程	R^2
HCO ₃ ⁻	球状	0.831	1.089	0.763	315.2	0.778
Cl ⁻	球状	0.189	0.28	0.675	330.7	0.899
SO ₄ ²⁻	球状	0.551	1.088	0.506	323.1	0.817
Ca ²⁺	球状	1.824	9.908	0.184	351.8	0.752
Mg ²⁺	球状	0.002	0.003	0.667	355.3	0.803
K ⁺	球状	0.025	0.033	0.758	305.5	0.712
Na ⁺	球状	0.071	0.097	0.732	362.4	0.746
总盐	球状	26.270	110.07	0.239	320.6	0.843

2.3 Kriging 插值分析

本文采用克立格(Kriging)插值法来绘制所测盐分离子含量的空间分布,见图2。由图2可知,大部分盐分离子的空间结构性都较好。从图2(a)~图2(h)各盐分离子的分布图可以看出,中部的各盐分离子含量明显低于其他方向,研究区南、北部各盐分离子及总盐的含量较高,尤其以南部的离子含量

(a) HCO₃⁻离子分布(b) Cl⁻离子分布(c) SO₄²⁻离子分布

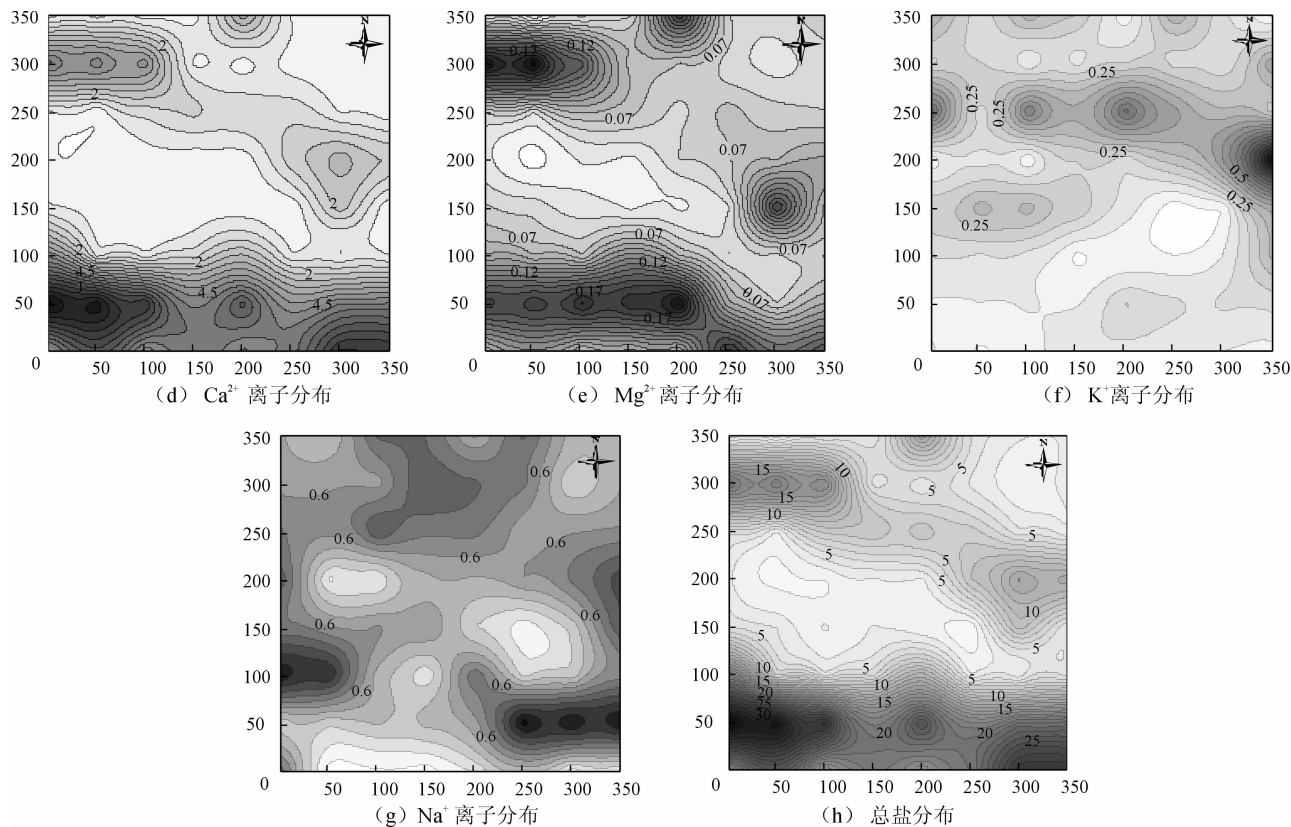


图 2 土壤盐分离子含量空间分布图(单位:g/kg)

为最高。从各盐分离子的分布规律情况来看, Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 和 Mg^{2+} 离子的分布规律极为相似,表明该盐渍化土壤中 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 和 Mg^{2+} 是主要的结合方式;总盐含量分布规律与 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 离子含量的分布规律类似,这是由于研究区总盐含量的构成主要是 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 这两种离子所决定。

3 结 语

利用地统计学的方法,对研究区 64 个土样的盐分离子的结构性与空间分布进行综合评价。从整个表层土壤盐分离子含量的描述性统计分析看出, HCO_3^- 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 及总盐含量服从对数正态分布,而 Na^+ 含量服从正态分布。各盐分离子的变异系数相差较大, HCO_3^- 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 属于中等变异强度,而 Cl^- 和 Ca^{2+} 则属于强变异强度;从变异函数理论模型看,所有离子的变异函数理论模型符合球状模型;除 Ca^{2+} 与总盐外,其余各离子都具有中等强度的空间相关性,变程相差不大。盐分离子含量的空间分布图可以看出,大部分盐分离子的空间结构性都较好,中部的离子含量明显低于其他方向。该研究结果为孔雀河灌区盐渍化土壤的防治、改良和利用提供了理论基础。

参考文献:

- [1] 蔺 娟,艾尼瓦尔·买买提,地里拜尔·苏力坦.新疆盐渍化区土壤盐分离子的空间变异特征[J].水土保持研究,2007,14(6):184-192+197.
- [2] 王丹,康跃虎,万书勤.微咸水滴灌条件下不同盐分离子在土壤中的分布特征[J].农业工程学报,2007,23(2):83-87.
- [3] 谭军利,康跃虎,焦艳平,等.不同种植年限覆膜滴灌盐碱地土壤盐分离子分布特征[J].农业工程学报,2008,24(6):59-63.
- [4] 海米提·依米提,米日姑·买买提,古丽娜尔·托合提,等.伊犁河谷盐渍化区土壤盐分离子的空间变异特征[J].干旱地区农业研究,2011,29(1):64-69.
- [5] Webster R. Quantitative spatial analysis of soil in the field[J]. Advances in Soil Sciences, 1985,3:1-70.
- [6] 郭旭东,傅伯杰,陈利顶,等.河北省遵化平原土壤养分的时空变异特征——变异函数与Kriging插值分析[J].地理学报,2000,55(5):555-566.
- [7] 杨劲松,姚荣江,刘广明,等.黄河三角洲地区土壤盐分的空间变异性及其CoKriging估值[J].干旱区研究,2006,23(3):439-445.
- [8] 李海滨,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):651-657.
- [9] 侯景儒,黄竟先.实用地质统计学空间信息统计学[M].北京:地质出版社,1998.