

宁夏银北灌区灌淤土营养元素空间变异性研究

李友宏¹, 董莉丽², 王芳¹, 张建明³

(1. 宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 宁夏 银川 750004; 2. 陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西 西安 710062;
3. 兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 规则网格取样, 传统统计学和地统计学方法分别进行资料分析, 研究宁夏银北灌区灌淤土耕层土壤有机质和速效 Ca、Mg、N、K、P、S 含量分布特征及其空间变异性。结果表明, 研究区土壤有机质、氨态 N 和速效 K、P 含量普遍较低, 低于临界值的比例分别为 100%、11.8% 和 22.7%, 而 Ca、Mg 和 S 含量处于较高水平; 速效 Ca 的变异系数最大为 131.13%, 其它元素变异系数 32.97%~77.45%。利用球型模型对各元素的实验半变异函数进行拟合, 结果表明, 速效 N 在田间尺度的空间自相关性表现为纯块金效应, 说明其空间变异性主要受灌溉、作物类型、施肥等随机因素影响。而有机质、Ca、Mg、K、S 具有较强的空间结构, 块金效应在 1.6%~20% 之间。由于速效 P 含量的预测值和测量值在 0.01 水平未达到显著相关, 仅用普通克里格插值法绘制了土壤速效 Ca、Mg、K、S 含量分布图, 以直观地反映其空间变异性。

关键词: 灌淤土; 营养元素; 空间变异; 银北灌区

中图分类号: S153.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)06-0068-05

土壤养分空间变异研究对推动土壤科学量化研究与精确农业的实施具有重要意义^[1]。宁夏灌淤土是宁夏平原引黄灌区主要的农业土壤^[2,3], 深入研究灌淤土的养分特性及其空间变异性, 对于发展农业生产, 合理施肥, 有效利用土壤资源, 改善土壤环境具有重要意义^[4]。本文将对银北惠农地区灌淤土耕层有机质、氨态氮、速效钾、磷、硫、钙、镁等进行空间变异性分析, 在利用半变异函数研究其空间结构的基础上利用普通克里格插值法绘制研究区钾、硫、钙、镁速效态含量分布图以直观地表现其空间变异特征。

1 材料与方法

1.1 研究区的概况

研究区位于宁夏回族自治区石嘴山市惠农区庙台乡, 地处东经 106°11′~106°54′、北纬 38°59′~39°23′, 海拔 1 094 m。年平均降雨量 186 mm, 7、8、9 三个月降水量占全年降水的 70% 左右, 年平均蒸发量 2 444 mm, 是降水量的 11~13 倍。年平均气温 8.2℃, ≥10℃ 的积温 3 292.9℃, 无霜期 160 d。由于处于青铜峡灌区末端, 地势低平, 排水不畅, 土壤盐渍化较为严重, 是宁夏引黄灌区中具有代表性的中低产田地区(图 1)。种植作物以小麦为主, 灌溉用水主要有引黄自流灌溉、扬水(黄河水、回归水)灌

溉、井水灌溉、山泉水灌溉。

1.2 样品采集和分析

作物播种前对研究区土壤进行网格规则取样。在 1:10000 的惠农地块图上选 4~5 个控制点, 在田间利用 GPS 确定控制点位置, 选其中 2 个定位控制点作为基准点、以 100 m 间距划分网格, 在以网格结点为圆心、10 m 为半径的范围内采集 10 钻耕层土壤(0~20 cm)样品, 混合均匀后风干送往北京中国农科院植物营养实验室分析。本次研究共取样 110 个, 控制面积为 266.6 hm²。



图 1 研究区位置图

Fig. 1 Studied Area location

各种养分采用土壤养分系统研究法(ASI)^[5]进

收稿日期: 2006-05-14

资助项目: 加拿大钾磷肥研究所北京办事处资助项目; 宁夏自然科学基金(NZ0632)

作者简介: 李友宏(1959—), 男, 辽宁人, 研究员, 主要从事土壤与植物营养研究。

通讯作者: 张建明, E-mail: jmzhang@lzu.edu.cn

行分析测试。该方法在对土壤养分状况作出评价时全面考虑了 11 种作物必需的大量、中量和微量元素(氮、磷、钾、钙、镁、硫、铁、硼、锰、锌、铜)的综合平衡,本项研究中,速效磷、钾用国际农业服务中心的 ASI 浸提液浸提(0.25 摩尔浓度碳酸氢钠+0.01 摩尔浓度 EDTA+0.01 摩尔浓度氟化铵)^[6];速效硫用 0.08 摩尔浓度磷酸钙溶液浸提;铵态氮和速效钙、镁用 1 摩尔浓度氯化钾浸提。这些浸提方法有多年的实验室和田间试验基础,能较好地反映土壤有效养分供应状况。

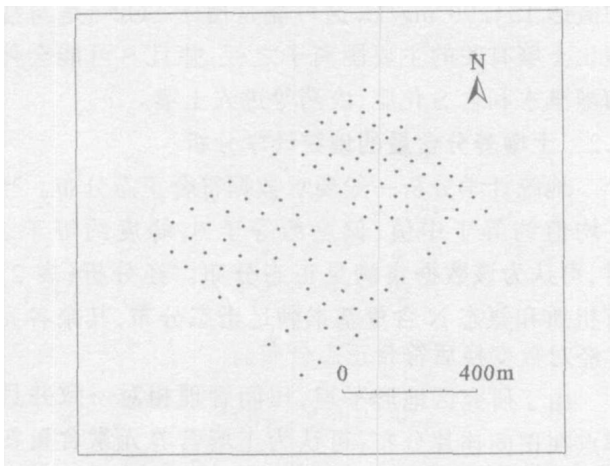


图 2 样点分布图
Fig.2 Sample distributions

1.3 研究方法

地统计学的基本原理和方法在文献[7]、[8]中都有详细的描述,本研究所采用的步骤如下:

数据检查 在进行地统计学分析之前利用 Geostatistical analyst 模块中的 Explore 工具检查数据,包括数据分布位置、分散状况和形状的量度。统计和计算各元素速效态含量范围、平均值、标准差、变异系数、偏度和峰度(表 1),并且利用直方图、正态 QQ 图等工具检验数据是否符合正态分布。

计算实验半变异函数 半变异函数用来探查变

量的空间相关性,其计算公式如下:
 $r(h) = 1/2 N(h) \sum [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$
式中: $N(h)$ 是在某一方向上一定角度容差范围内距离等于 h 的数据点对数; $Z(x_i)$ 是样点 Z 在位置 x_i 的测量值; $Z(x_i + h)$ 是与 x_i 距离为 h 处样点的属性值。

模型拟合 半变异函数理论模型的拟合过程主要包括确定曲线类型、参数最优估计和回归模型的 F 检验。 F 值越大,则回归模型的精度越高。通常通过匹配实验变异函数的曲线形状和数学方程的曲线形状来选择模型,在本文中,利用球型模型对各营养元素的实验半变异函数进行拟合,计算公式为:

$$r(h) = C_0 + C[3/2 \times h/a - 1/2 \times (h/a)^3] \quad 0 < h \leq a$$
$$r(h) = C_0 + C \quad h > a$$

使用反复尝试和交叉验证的方法来选择块金常数(C_0)、基台值($C_0 + C$)和变程(a)等参数。其中块金常数 C_0 反映了区域化变量 $Z(x)$ 内部随机性的可能程度。它主要有两种来源,一是来自于区域化变量 $Z(x)$ 在小于抽样尺度时所具有的内部变异,二是来自于实验分析的误差。变异函数达到水平的 y 轴高度为基台值 $C_0 + C$,对于球形模型来说变程 a 是变异函数达到水平时的滞后距离。

模型检验 回归模型的相关系数 R 的大小,说明了自变量 x 和因变量 y 之间线性关系的程度。对于判断曲线回归模型拟合的好坏,主要是采用决定系数 R^2 , R^2 愈大,该回归模型配合的理论曲线的精度愈高。另外,对回归模型进行 F 检验, F 值愈大则愈显著,且回归模型的精度愈高,检验结果见表 2。

克里格插值 在上述半变异函数模型的基础上,计算待估点周围一定邻域范围内的已知样点的权重,利用加权滑动平均的方法,对未采样点进行插值计算。

表 1 土壤营养元素描述性统计分析^①
Table 1 Statistic values of soil nutrition element content

养分项目 Item	浓度范围 ^② Concentration	平均值 Mean	标准差 S·D	变异系数(%) CV	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	中值 Median
OM	0.02%~0.40%	0.23%	0.09	39.13	-0.37	2.25	0.24%
Ca	304.9~26375.1	2604.90	3415.80	131.13	4.50	25.81	1630.50
Mg	268.5~4026.10	670.63	378.82	56.49	6.55	57.85	618.40
K	51.2~302.40	118.79	44.65	37.59	1.80	7.02	104.90
N	4.0~16.50	9.19	3.03	32.97	0.26	2.42	9.20
P	3.0~141.40	24.52	18.99	77.45	3.98	24.71	22.10
S	30.7~819.80	134.96	101.91	75.51	3.74	22.32	109.40

注:①ASI 法土壤养分临界值(mg/L):Ca:400、Mg:120、K:80、N:20、P:12、S:12; ②Ca、Mg、K、N、P、S 单位:mg/L ($n=110$), OM 单位为‰
(c)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2 土壤营养元素含量对数转换数据特征值

Table 2 Statistic values of soil nutrition element content after log-transform of data

养分项目 Item	浓度范围 Concentration	平均值 Mean	标准差 S·D	变异系数(%) CV	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	中值 Median
Ca	5.72~10.18	7.50	0.70	9.33	1.52	6.45	7.40
Mg	5.60~8.30	6.43	0.35	5.44	1.40	9.81	6.43
K	3.94~5.71	4.72	0.33	6.99	0.73	3.56	4.65
P	1.10~4.95	2.99	0.66	22.07	-0.45	4.19	3.10
S	3.42~6.71	4.74	0.54	11.39	0.70	4.18	4.70

在本研究中,首先将带有样点的 ID 值, X、Y 坐标(转换为高斯克吕格投影的大地坐标系)和营养元素速效态含量的 excel 表格另存为 dbf 格式,在 ARCMAP 软件里添加该格式获得样点分布的点图层(图 2)。利用 ARCMAP 中 Geostatistical analyst 模块完成上述各步骤的计算,利用 SPSS 软件计算回归模型的决定系数并进行 F 检验。

2 结果与讨论

2.1 土壤养分状况评价和传统统计学分析

按照土壤养分综合系统评价法所设定的土壤养分含量临界值对土壤养分含量进行初步评价。

由表 1 可以看出:所有样点 Mg、S 含量都大于其临界值,而仅有一个样点 Ca 速效态含量为 304.9 mg/L,小于临界值 400 mg/L,其余各样点的 Ca 速效态含量都大于其临界值。所有样点氨态 N 含量都小于其临界值 20 mg/L, K、P 含量小于临界值的样点数分别为 13、25。

有机质含量比较低,平均仅为 0.23%。氨态 N 含量也很低,变幅 4.0~16.5 mg/L,平均 9.19 mg/L,且其变异系数最小为 32.97%,说明氨态 N 是极易容易淋失的,且土壤特性对 N 的吸附保存性质基本稳定。速效 P 含量变幅较大,为 3.0~141.4 mg/L,平均含量为 24.52 mg/L,低于临界值的样本数所占的比例为 23%,P 的变异系数为 77.45%,表明该地施 P 水平差异较大,速效 K 平均含量为 118.79 mg/L,变异系数比较小,为 37.59%。土壤速效 P 变异系数比速效 K 变异系数大,可能是 P 和 K 在土壤中的化学行为和施用磷肥和钾肥有关,磷肥施入土壤后移动性差,当季利用率较低,残留在土壤中较多,导致土壤中速效磷分布不均匀;而钾肥相反,钾的移动较好,当季利用率高,且在当地施用量少,土壤速效钾分布比较均匀。

Ca、Mg 的含量均很高,分别达到 304.9~26 375.0 mg/L 和 268.5~4 026.1 mg/L,符合北方石灰性土壤的特性。另外,Ca 和 Mg 是与土壤盐渍化有关的主要阳离子,当地土壤盐渍化严重,因而

Ca 和 Mg 含量高且变异量大,变异系数分别达到 131.13%和 56.49%。土壤速效 S 含量也很高,平均值达 134.96 mg/L,这可能是由于 SO₄²⁻是与盐渍化土壤有关的主要阴离子之一,并且 S 可能会伴随灌溉水和含 S 化肥、农药等进入土壤。

2.2 土壤养分含量的地统计学分析

地统计学分析一般要求数据符合正态分布。当平均值约等于中值,偏度约等于 0,峰度约等于 3 时,可认为该数据集满足正态分布。经分析(表 2)有机质和氨态 N 含量基本满足正态分布,其余各元素经对数变换后符合正态分布。

由于研究区地形平坦,田间管理相对一致并且样点在田间连片分布,可认为土壤营养元素含量在有限大小的区域内,其增量([Z(x) - Z(x + h)])的数学期望等于零,并且其方差函数存在且平稳。因此可用变异函数 r(h)表示点(x, y)和(x + h, y + h)之间的差异,其中 h 为一矢量。利用 ARCMAP 中的 Geostatistical analyst 模块进行结构分析,表 3 是各养分变异函数理论模型的相应参数。

结果表明,氨态 N 无方差结构,表现出纯块金效应,速效 P 拟合的决定系数很低, F 检验未在 0.01 水平上达到显著相关。这表明氨态 N 和速效 P 含量不存在空间相关性,这可能是由于研究区农户多年注重施用氮肥,并以磷肥作为底肥,以及引水灌溉等人为因素使其空间自相关性减弱。其余各营养元素的空间变异性可以用球形模型进行拟合,拟合的决定系数在 0.29~0.60 之间。

块金值(nugget)与基台值(sill)的比例可以表明土壤养分的空间相关程度。一般认为该比例<25%说明具有强烈的空间相关性,其空间变异主要是由土壤母质、地形等非人为因素(空间自相关部分)引起的,从表 3 可以看出:Ca、Mg、K、S 块金效应/基台值在小于 15%,具有强烈的空间相关性,说明影响其含量分布的结构性因素(如气候、母质、地形)作用很强。OM、P 的块金效应较高(20%),说明灌溉、施肥以及耕作等人类活动的影响较大。

表 3 土壤营养元素及有机质的空间变异参数

Table 3 Spatial variation parameters of soil nutrition elements and organic matter

营养元素	最长轴变程(m)	块金值	基台值	块金效应(%)	R^2	F 检验
OM	1185	0.002	0.010	20.0	0.49	103.67**
Ca	500	0.01	0.61	1.6	0.60	161.57**
Mg	500	0.02	0.14	14.3	0.29	43.63**
K	500	0.01	0.11	9.1	0.30	46.38**
P	600	0.10	0.50	20.0	0.056	6.37
S	500	0.01	0.30	3.3	0.60	161.77**

注: ** 代表在 0.01 水平上显著相关。

块金方差通常表示由实验误差和小于实验取样尺度引起的变异,较大的块金方差值表明较小尺度上的某种过程不容忽视。如表 3 所示,除土壤有机质含量块金方差和基台值比较小以外,土壤各营养元素速效态含量均存在较大的块金方差,说明在田间尺度上,实验误差和小于实验取样尺度引起的土壤营养元素含量的变异不可忽略。

变程是指变异函数达到基台值所对应的距离,它表明土壤要素的空间相关范围,变程的变化也反映出引起土壤要素变异主要过程的变化。由表 3 可以看出 OM 变程最大为 1 185 m,这可能由于当地灌溉、排水、施肥、平整土地等措施相对比较一致,而这些措施会影响土壤有机质年分解量,因此,当地土壤有机质在较大范围内具有空间自相关性。Ca、Mg、K、S 的变程次之,均为 500 m。较大的变程说明这些营养元素在研究区以大块状变异为主。

2.3 灌淤土土壤养分的空间分布格局

为了直观地反映研究区内各养分元素的空间变异性,在半变异函数模型分析的基础上,对 Ca、Mg、K、S 速效态含量进行空间插值得到其分布图(图 3),可以看出,速效 Mg、Ca、K、S 含量分布图比较简单,具有明显的渐变性规律。结合图 3 和 ASI 法土壤养分分级范围^[10]可以看出:研究区速效 Ca 含量只有小面积处于中等水平,其他处于高水平;Mg 含量均大于其临界值 120 mg/L;大部分区域含量处于高水平,东北部小面积内处于极高水平状态。速效 K 含量在白色区内含量小于其临界值 80 mg/L,浅灰色和灰色斑块内其含量分别处于中等和高等水平状态,在小面积的深灰色和黑色区内其含量处于极高水平状态。速效 S 含量普遍处于极高水平状态。

3 结 论

根据宁夏回族自治区石嘴山市惠农区庙台乡土壤养分速效态含量数据,利用传统统计学和地统计学相结合的方法得出如下结论:

1) 研究区土壤极缺 N,所有样点有效含量低于 N 亏缺临界值,土壤 OM 含量普遍也很低,K、P 表现出不同程度的缺乏,而营养元素 Ca、Mg、S 速效态含量平均值远大于其临界值,OM、Ca、Mg、K、S 变异系数范围在 32.97%~131.13%之间,速效 Ca 的变异系数最高,为 131.13%,氨态 N 的变异系数最低,为 32.97%。

2) 半变异函数计算结果表明,土壤 OM 含量和 Ca、Mg、K、S 速效态含量分布具有强烈的空间结构性,其块金效应小于 20%,N 不具有空间相关性,半变异函数表现为纯块金效应,而速效 P 含量的预测值和测量值在 0.01 水平上不显著相关。

3) 土壤速效 Ca、Mg、K、S 含量分布图直观地显示,速效 Ca、Mg、S 含量在研究区内普遍处于高水平 and 极高水平状态,速效 K 含量除小面积低于临界值外普遍处于中高水平状态。土壤各营养元素速效含量有较强的空间结构性,养分含量具有明显的由低到高的分布梯度的规律。

参 考 文 献:

[1] 杨玉玲,文启凯,田长彦.土壤空间变异研究现状及展望[J].干旱区研究,2001,18(2):50—55.

[2] 王吉智,马玉兰,金国柱.中国灌淤土[M].北京:科学出版社,1996.

[3] 龚子同,张甘霖,王吉智,等.中国的灌淤人为土[J].干旱区研究,2005,22(1):4—10.

[4] 马玉兰.灌淤土研究新进展[J].土壤通报,1996,27(4):155—158.

[5] <http://cclab.caas.ac.cn/newmain/sys-xytjyf.jsp>.

[6] 杨俐苹,金继运.ASI 法测定土壤有效 P、K、Zn、Cu、Mn 与我国常规化学方法的相关性研究[J].土壤通报,2000,31(6):277—279.

[7] 侯景儒,黄竞先.地质统计学及其在矿产储量计算中的应用[M].北京:地质出版社,1981.

[8] 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.

[9] 张仁铎.空间变异理论及应用[M].北京:科学出版社,2004.

[10] <http://cclab.caas.ac.cn/jrepository/articletext.jsp?id=591>.

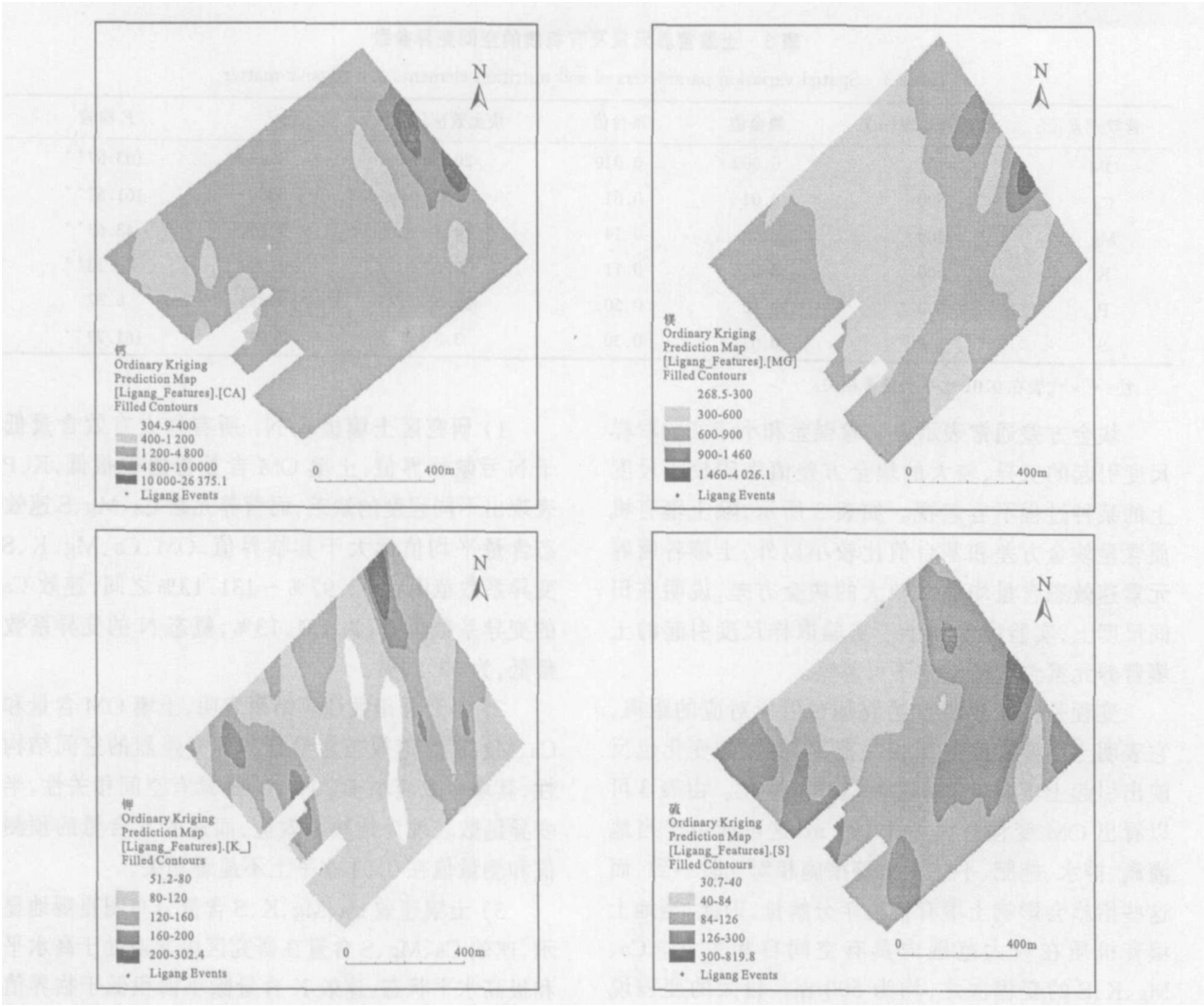


图 3 土壤营养元素含量分布图(克里格插值法)

Fig.3 Content distribution of soil nutrition elements (Kriging interpolation)

Spatial variability of nutrients in irrigation-silted soil in north Yinchuan, Ningxia

LI You-hong¹, DONG Li-li², WANG Fang¹, ZHANG Jian-ming³

(¹. Institute of Agricultural Resources and Environment, Ningxia Academy of Agroforestry Sciences, Yinchuan, Ningxia 750004, China; ². College of Tourism and Environmental Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China; ³. College of Resources and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: Spatial distribution and variability of organic matter, available Ca, Mg, N, K, P, S in irrigation-silted soil in Huinong, Ningxia Hui Autonomous Region were characterized using classic statistics and geo-statistics with grid sampling and systematic approach for soil nutrients status evaluation. The results showed that the content of the organic matter, N, K and P in topsoil were deficient and the percentage of soil available N, K, P below critical values were 100%, 1.8% and 22.7%, respectively. On the other hand, the content of Ca, Mg and S was abundant, even excessive. The variation coefficient of available Ca was the highest (131.13%) and that of the other available nutrition elements was between 32.97% and 77.45%. The spherical model was used to model the experimental semivariogram. Spatial autocorrelation of organic matter, Ca, Mg and K was strong and the ratios of nugget to sill + nugget of them were between 1.6 and 20%. Whereas spatial autocorrelation of N showed pure nugget, which indicates the spatial variability was mainly influenced by random factors such as irrigation, fertilization and management. Ordinary kriging interpolation was used to map the available content of Ca, Mg, K, S.

Keywords: irrigation-silted soil; nutrients; spatial variability; geostatistics