doi: 10.13866/j.azr.2017.05.04

伊犁河谷察南灌区土壤盐分空间变异研究①

刘迁迁[1,2]， 苏里坦[1]， 刘广明[3]， 沙吾兰·哈斯木[4]， 张 音[1,2]

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所，荒漠与绿洲生态国家重点实验室，新疆 乌鲁木齐 830011;
2. 中国科学院大学资源与环境学院，北京 100049; 3. 中国科学院南京土壤研究所，江苏 南京 210008;
4. 新疆国土资源规划研究院，新疆 乌鲁木齐 830011)

摘 要: 以伊犁河谷察南灌区为研究区，运用EM38电导率仪测定及室内分析相结合的手段，获取土壤电导率值及0~30 cm、30~60 cm、60~100 cm土壤盐分含量。一方面对各土层土壤盐分含量进行了简单的盐渍化分级统计，另一方面应用地统计学方法，对土壤盐分特征因子进行半方差函数分析及空间插值分析。初步研究表明: 察南灌区土壤电导率变异系数为1.31，各土层土壤盐分含量变异系数分别为1.31、1.10、1.49，均呈现空间强变异; 0~30 cm、30~60 cm、60~100 cm土层土壤中，盐化土所占比例分别为25.37%、21.79%、12.11%，形成了比较明显的盐渍化趋势; 在空间分布上，土壤电导率及土壤盐分含量自灌区西北至东南方向总体呈现减小的趋势。另外，研究发现灌区各土壤盐分因子具有强烈的空间相关性，空间变异格局主要是结构性因素作用的结果。

关键词: 灌区; 土壤盐分; 空间变异; 地统计分析; 电导率; 伊犁河谷

随着3S技术的不断发展，土壤特性空间变异研究已成为土壤科学研究的热点之一[1]。空间信息的统计分析在数据处理中的位置、属性以及两者相结合时的不确定性，是当代诸多学科广泛关注的前沿问题[2]。数据内插法是土壤盐分空间信息变异性研究最常用的方法之一，有多种形式，常见的有边界内插法、整体内插法、克立格插值法、局部内插法[3]。内插法属地统计学的范畴，地统计学不仅能有效地揭示属性变量在空间上的分布、变异和相关特征，还能将空间格局与生态过程联系起来，可较好地解释空间格局对生态过程和功能的影响[4]。当前全球盐渍化的面积约为7.71×10^7 hm^2，其中58%发生在灌溉农业区，接近20%的灌溉土壤受到盐渍化的威胁[5]。灌区土壤盐渍化危害不仅制约着区域农牧业和经济发展，而且对国家粮食和生态安全造成不利影响[6]。

土壤盐分空间变异研究是土壤盐渍化程度研究的重要方法。近年来，国内外学者对土壤盐分空间变异研究逐渐增多[7-10]，并取得了一定的成果，但有关干旱、半干旱区灌区高精度土壤盐分空间变异的研究还较少。土壤时空连续变化的特性，使得高精度土壤盐分空间变异研究对农业生产具有重要意义[11]。本研究以伊犁河谷察南灌区为研究区，使用半方差函数定量描述其空间变异规律，并通过克里格空间插值及相关方法对土壤盐分特征因子进行空间变异格局研究，以了解干旱区灌溉农田的盐分空间分布特征。一方面可为灌区盐分治理以及同类型灌溉农田盐分空间变异研究提供理论支持; 另一方面对提高土壤盐分调查质量、效率具有重要意义。

1 研究区概况及土样采集测定

1.1 研究区概况

新疆伊犁察布查尔县地处43°17′~43°57′N，80°31′~81°43′E(图1)，有大小河流13条，年均径流量2.73×10^9 m^3，已利用1.30×10^9 m^3; 地下水资源动态储量4.31×10^9 m^3，已利用量0.72×10^9 m^3。察南灌区位于该县中南部，地处43°46′~43°50′N，81°08′~81°13′E，常年灌溉面积1 870~2 000 hm^2，属大陆性干旱、半干旱气候，热量丰富，光照充足。全年有效光照时数达2 846 h，无霜期177 d，积温3 800 ℃，年平均降水量222 mm。灌区内常年种植

① 收稿日期: 2016-05-16; 修订日期: 2016-08-17
基金项目: 新疆维吾尔自治区科技厅科技计划项目(伊犁河谷盐渍土壤磁感式快速精量诊断评估技术研究)(201531116); 新疆优秀青年科技人才培养项目(qn2015yx033)资助
作者简介: 刘迁迁(1988-)，男，硕士研究生，研究方向为干旱区生态水文学. E-mail: Liuqianqian215@mails.ucas.ac.cn
通讯作者: 苏里坦. E-mail: sulitan@ms.xjb.ac.cn

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

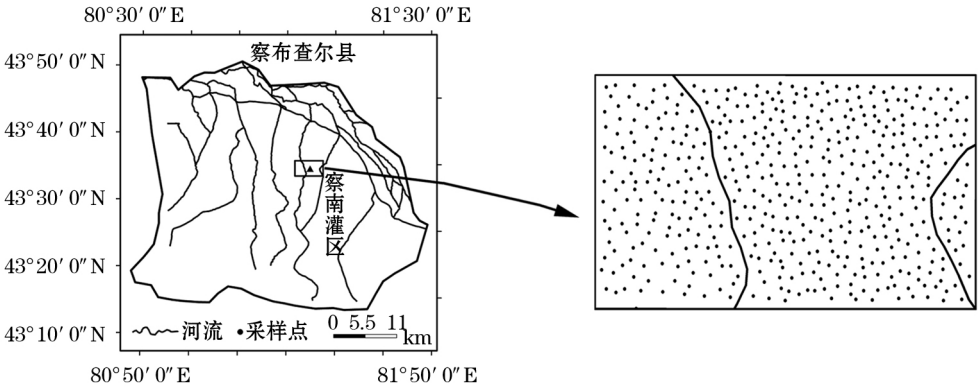

图 1　伊犁河谷察南灌区土壤样点分布

Fig. 1　Distribution of soil sampling sites in the Chanan Irrigated Area in the Ili River Valley

小麦、水稻、棉花、蔬菜等，是伊犁地区主要的粮食生产区。察南灌区土地资源丰富，经多年农业开发，质量较好的土地资源大部分已被开辟为农田，开垦后面临着潜水蒸发及农业灌溉所引起的土壤盐渍化风险。

1.2　土样采集及测定方法

土样采样时间为 2015 年 8 月，地点位于新疆伊犁河谷察南灌区内。根据灌区常年粮食种植区域及灌溉分布特征，在覆盖整个灌溉区的基础上共设置 36 446 个采样点，样点间距为 1 m(图 1 选取覆盖整个区域的 500 个采样点)，以 0 ~ 100 cm 范围内土壤为研究范围。测量方法为: 将 EM38 电导率仪[12]固定于牵引式拖拉机后方，在保证测量精度的前提下，对设置的 36 446 个采样点 0 ~ 100 cm 范围内土壤电导率值进行测定，并用 GPS 进行定位。此方法可以快速、精准的测量土壤电导率值，是大范围土壤电导率值获取的常用方法。土壤盐分含量是根据 EM38 电导率仪测值读数和跟踪取样进行室内分析相结合，建立线性回归关系来解译，并利用除扰模型，提高土壤电导率值处理及土壤盐分含量解译过程中的数据精度。本研究选取 70 个具有代表性的样点，共 210 个土样进行室内分析，设置 0 ~ 30 cm、30 ~ 60 cm、60 ~ 100 cm 三个解译土层，用以确定整个研究区内各土层土壤盐分含量。

2　统计分析方法

地质统计学是研究土壤空间变异最常用的方法，它通过半方差函数定量描述其空间变异规律。半方差函数既能描述区域化变量的空间结构性，也能描述其随机性[13-14]。半方差函数也称为半变异函数，它是地统计学中研究土壤变异性的关键函数。土壤特征度量值 $Z(x)$ 是取样点 x 的函数，以 h 为样点间的距离，则 h 间距处土壤特性值为 $Z(x+h)$，即有随机变量的理论半方差函数为:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2}E[Z(x) - Z(x+h)]^2 \qquad (1)$$

为了满足研究精度的需求，半方差函数计算公式为:

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

式中: $\gamma(h)$ 是样点间距 h 的半方差，该值随 h 的增加而增加; 而 $N(h)$ 是间距为 h 的计算对数。

然而，在实际测量中，样点分布是散乱的[15]。对平稳化分布变量 $Z(x)$，先算出每个观测点与其他观测点之间的距离 h_{is}，然后把观测点间距离分成 P 个级别，取其可能点数据对数 $(x_i, x_{is}) = (x_i, x_i + h_{is})$，并算出该距离平均距离 h_{is}、点对数 $N(h_{is})$ 和观测值平方和的平均值，则半方差函数 $\gamma(h_{is})$ 为:

$$\gamma(h_{is}) = \frac{1}{2N(h_{is})}\sum_{i=1}^{N(h_{is})}[Z(x_i) - Z(x_i+h_{is})]^2 \qquad (3)$$

式中: $s = 1, 2, \cdots, P$; h_{is} 为第 s 级空间不同点之间的样本距，又称步长。这样就可以根据半方差函数原理画出 $\gamma(h) \sim h$ 图。

3　结果与分析

3.1　土壤盐分特征统计分析

根据王遵亲等[16]对我国干旱、半干旱区盐化土分级标准，对上、中、下土层盐分含量进行土壤盐化水平分级统计，得出土壤各盐化程度统计比例(表 1)。表 1 直观地反映出非盐化土及各种盐渍化程度盐化土在察南灌区内所占的面积比例，基于多样

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 察南灌区各土层土壤盐化水平分级统计比例

Tab. 1 Statistic results of classification of soil salinization level of each soil layer in Chanan Irrigated Area

土壤特性	分级标准 /(g·kg^{-1})	0~30 cm /%	30~60 cm /%	60~100 cm /%
非盐化土	< 1	74.63	78.21	87.89
轻度盐化土	1~2	16.90	14.17	5.03
中度盐化土	2~4	3.56	4.47	4.21
强度盐化土	4~10	4.85	3.12	2.83
盐土	> 10	0.06	0.03	0.04

点统计，该百分比能比较直观、高精度地反映出灌区内土壤盐化水平，使结果更加符合实际土壤盐分状况。

对土壤电导率值及土壤盐分含量进行简单统计分析，得到表 2 结果。土壤电导率为土壤 0~100 cm 土层范围内测量的结果，其变化范围在 2~702 mS·m^{-1}之间，变化范围较大；各土层土壤盐分含量变化范围分别为 0.03~18.18、0.14~14.32、0.01~15.99 g·kg^{-1}，区域内土壤盐分含量变化范围也较大；对土壤电导率值及土壤上、中、下土层盐分含量变异系数分析可知，其结果均大于 1，分别为 1.31、1.31、1.10、1.49，表现为空间上强变异性。对土壤盐分特征进行 K-S 检验，各因子双侧渐进显著性检验值 $P < 0.05$，在概率分布上均呈现为非正态分布，且土壤样本为覆盖整个灌区随机采样所得，在

表 2 察南灌区土壤电导率及各土层土壤盐分含量统计特征值

Tab. 2 Statistical eigenvalues of soil *EC* and salt content in each soil layer in the Chanan Irrigated Area

土壤因子	最小值	最大值	均值	中数	标准差	偏度系数	变异系数	K-S 检验(P)
土壤电导率/(mS·m^{-1})	2	702	36.88	21	48.14	3.46	1.31	0
0~30 cm/(g·kg^{-1})	0.03	18.18	0.96	0.54	1.25	3.46	1.31	0
30~60 cm/(g·kg^{-1})	0.14	14.32	0.88	0.56	0.97	3.46	1.10	0
60~100 cm/(g·kg^{-1})	0.01	15.99	0.67	0.34	0.99	3.75	1.49	0

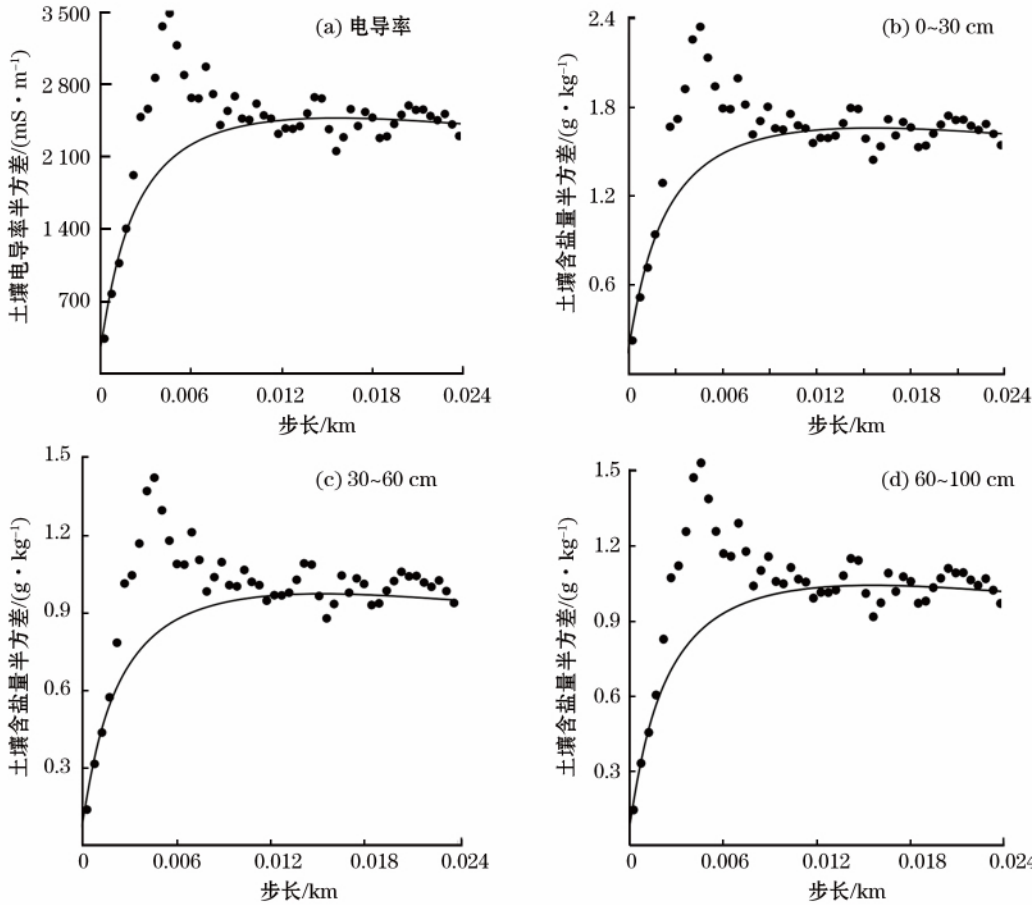

图 2 伊犁河谷察南灌区土壤电导率及其各土层含盐量半方差图

Fig. 2 Semi-variogram of soil *EC* and soil salinity at depths of soils in the Chanan Irrigated Area in the Ili River Valley

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

空间分布上样本具有尺度效应，满足地统计分析要求，可对各盐分因子进行半方差分析。

3.2　土壤盐分空间变异特征分析

本研究根据高斯模型拟合得出半方差函数，根据公式(1)～(3)计算得到对应的参数值及离差平方和。半方差函数是地质统计学解释土壤特性空间变异结构的理论基础，拟合精度较高的半方差函数模型，对于进行精确克里格插值具有重要意义，是进行空间变异插值研究可行性的先决条件[17]。由半方差函数拟合得出的半方差图，集中体现了作为尺度函数的变量与尺度之间的依赖变化情况。如图 2 所示，土壤电导率及土壤各土层盐分含量半方差图总体呈现指数分布，表现出典型的空间依赖关系。各盐分因子步长与半方差的拟合结果均为先增加，在步长约为 0.006 km 的位置达到最高值，然后减小，随后在步长约为 0.010 6 km 处达到一个相对稳定的水平，半方差值以步长为 0.010 6 km 时计算所得，拟合结果较好。

通过对土壤各盐分因子半方差函数拟合结果统计分析，得出决定系数、空间相关度以及变程范围等特征参数(表 3)。

决定系数(R^2)用来判断模型拟合的好坏，空间相关度表示样点之间的空间相关关系。空间相关度用结构比表示，即 C_0/C_0+C，其中 C_0 为块金值，C_0+C为基台值。如果比值 < 25%，表明系统具有强烈的空间相关性，样本空间变异更多是由结构性因素引起; 如果比值在 25% ～75%，表明系统具有中等的空间相关性，样本空间变异是结构性因素和随机性因素共同作用的结果; 如果比值 >75%，表明系统空间相关性很弱，样本空间变异更多的是由随机性因素引起[18]。由表 3 半方差函数拟合结果可知，模型的决定系数 R^2 分别为 0.91、0.91、0.93、0.90，表明基于高斯模型的半方差函数拟合性较好，模型满足空间变异插值的半方差函数要求; 土壤电导率及土壤各土层盐分含量结构比例值均 <25%，分别为 14.46%、13.50%、14.14%、14.42%，表明样本在空间分布上具有强烈的空间相关性，其空间变异格局主要是由结构性因素引起的。

表 3　土壤电导率及各土层土壤盐分含量半方差函数拟合结果

Tab. 3　Fitted results of soil EC and the semi-variogram of soil salt content

土壤特性	模型	块金值(C_0)	变程/km	基台值(C_0+C)	结构比(C_0/C_0+C)/%	决定系数(R^2)
土壤电导率	高斯模型	350	1.06×10^{-2}	2 420	14.46	0.91
0～30 cm	高斯模型	0.22	1.06×10^{-2}	1.63	13.50	0.91
30～60 cm	高斯模型	0.14	1.06×10^{-2}	0.99	14.14	0.93
60～100 cm	高斯模型	0.15	1.06×10^{-2}	1.04	14.42	0.90

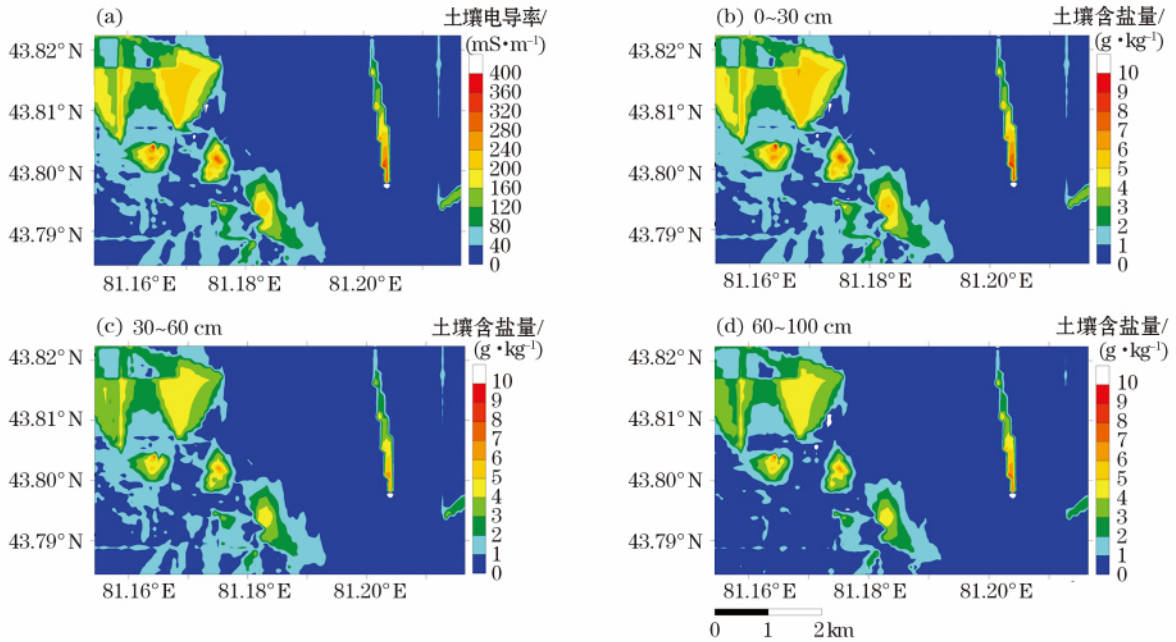

图 3　伊犁河谷察南灌区土壤电导率及其各土层土壤含盐量空间变异

Fig. 3　Spatial variation of soil EC and soil salinity at depths of soils in the Chanan Irrigated Area in the Ili River Valley

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

为了直观反映出土壤电导率及各土层土壤盐分含量空间变化特征，对察南灌区各盐分因子进行克里格插值分析，得到土壤盐分空间变异图(图3)。

多样点反映出的土壤盐分特征因子空间渐变性较好，使变异图能较好反映盐分空间分布规律。由0～100 cm土层土壤电导率值变异图分析可知，其变异系数为1.31，呈现强变异；自西北至东南方向上，电导率值呈现减小的趋势，西部区域及东北部分区域内电导率值有突变的趋势，突变区域内均有河流经过，可知该灌区内河流在一定程度上影响土壤电导率值。

另外，由土壤盐分含量空间变异图(图3)可知，在垂直方向上各层土壤盐分空间渐变趋势基本一致，其中60～100 cm土层土壤盐分含量空间变异性最强，30～60 cm土层变异性最弱；各土层非盐化土比重较大，但是盐化土壤影响不可忽视，各土层盐化土所占比例分别为25.37%、21.79%、12.11%，表现为比较明显的土壤盐化特征。在水平空间尺度上，对于0～30 cm、30～60 cm和60～100 cm土层，自灌区西北至东南方向上，盐分含量总体呈现减小的趋势；盐化土壤主要分布在西部区域及东北部分区域内。结合图1研究区图中河流分布状况，对盐化土壤分布区域研究可知，土壤盐分含量较高区域内有河流分布，而距离河流较远的区域，土壤盐分含量总体趋于较低水平，可知引河水灌溉是灌区盐分累积的主要来源。

4 结 论

(1) 察南灌区土壤盐分空间变异半方差函数拟合性较好，土壤各土层盐分含量及土壤电导率在各自系统内具有强烈的空间相关性；土壤各土层盐分含量及土壤电导率空间变异上均呈现强变异性，结构性因素是察南灌区土壤盐分空间变异格局产生的主要原因。

(2) 对土壤电导率研究表明，其空间变化范围较大，自西北至东南方向，土壤电导率值空间分布总体上逐渐减小，在西部及东北部小范围区域内土壤电导率值有突变的趋势，与察南灌区内河流的影响有关。

(3) 土壤各土层盐分含量整体上呈现出条带状空间分布特征，在局部地区表现为斑块状分布特征，从灌区西北至东南方向土壤盐分特征空间上总体呈现减小的趋势，盐化土壤主要分布在西部及东北部分区域内；灌区内土壤盐化程度较明显，其中引河水灌溉是该灌区盐分累积的主要来源。

(4) 基于EM38电导率仪测定法进行多样点盐分变异研究，能较好地反映出研究区盐分因子空间变异特征。一方面采样点数据量大，另一方面在数据处理方面利用除扰模型，很大程度上提高了察南灌区土壤盐分特征因子空间变异研究精度，对于察南灌区及相关灌溉区土壤盐分空间变异及土壤盐渍化状况研究具有较高的理论意义和实践价值。

参考文献(References)：

〔1〕 冯娜娜，李廷轩，张锡洲，等. 不同尺度下低山茶园土壤有机质含量的空间变异〔J〕. 生态学报，2006，26(2)：349－356.〔Feng Nana，Li Tingxuan，Zhang Xizhou，et al. The spatial variability of the content of organic matter in hilly tea plantation soils with different sampling scales〔J〕. Acta Ecologica Sinica，2006，26(2)：349－356.〕

〔2〕 陈亚新，史海滨，魏占民，等. 土壤水盐信息空间变异的预测理论与条件模拟〔M〕. 北京：科学出版社，2005：3－13.〔Chen Yaxin，Shi Haibin，Wei Zhanmin，et al. Prediction Theory and Spatial Variability of Soil Water and Salt Analog Information〔M〕. Beijing：Science Press，2005：3－13.〕

〔3〕 苏里坦，宋郁东，张展翔. 新疆三工河流域地下水矿化度的时空变异及其分形特征〔J〕. 地质科技情报，2005，24(1)：85－90.〔Su Litan，Song Yudong，Zhang Zhanxiang. Temporal and spatial variation and fractal dimension for mineralization degree of groundwater in Sangong River Basin，Xinjiang〔J〕. Geological Science and Technology Information，2005，24(1)：85－90.〕

〔4〕 连纲，郭旭东，傅伯杰，等. 基于环境相关法和地统计学的土壤属性空间分布预测〔J〕. 农业工程学报，2009，25(7)：237－242.〔Lian Gang，Guo Xudong，Fu Bojie，et al. Prediction of the spatial distribution of soil properties based on environmental correlation and geostatistics〔J〕. Transactions of the CASE，2009，25(7)：237－242.〕

〔5〕 李建国，濮励杰，朱明，等. 土壤盐渍化研究现状及未来研究热点〔J〕. 地理学报，2012，67(9)：1 233－1 245.〔Li Jianguo，Pu Lijie，Zhu Ming，et al. The present situation and hot issues in the salt-affected soil research〔J〕. Acta Geographica Sinica，2012，67(9)：1 233－1 245.〕

〔6〕 乔木，周生斌，卢磊，等. 新疆渭干河流域土壤盐渍化时空变化及成因分析〔J〕. 地理科学进展，2012，31(7)：904－910.〔Qiao Mu，Zhou Shengbin，Lu Lei，et al. Causes and spatial-temporal changes of soil salinizationin Weigan River Basin，Xinjiang〔J〕. Progress in Geography，2012，31(7)：904－910.〕

〔7〕 管孝艳，王少丽，高占义，等. 盐渍化灌区土壤盐分的时空变异特征及其与地下水埋深的关系〔J〕. 生态学报，2012，32(4)：198－206.〔Guan Xiaoyan，Wang Shaoli，Gao Zhanyi，et al. Spatio-temporal variability of soil salinity and its relationship with the depth to groundwater in salinization irrigation district〔J〕. Acta Ecologica Sinica，2012，32(4)：198－206.〕

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(8) 吴亚坤,刘广明,杨劲松,等. 基于多源数据的中原黄泛区土壤盐分空间变异分析(J). 农业工程学报,2015,31(5):115 - 120.(Wu Yakun,Liu Guangming,Yang Jinsong,et al. Spatial variability of soil salinity based on multi-source data for typical zone of flood area of the Yellow river in central China(J). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2015,31(5):115 - 120.)

(9) Nguyen L,Watanabe T. Spatio temporal variability in soil salinity and its effects on rice(*Oryza sativa* L.) production in the north central coastal region of Vietnam(J). Soil Science and Plant Nutrition,2014,60(6):874 - 885.

(10) Mikailsoy F,Pachepsky Y. Average concentration of soluble salts in leached soils inferred from the convective-dispersive equation(J). Irrigation Science,2010,28(5):431 - 434.

(11) 史舟,李艳. 地统计学在土壤学中的应用(M). 北京: 中国农业出版社,2006:109 - 112.(Shi Zhou,Li Yan. The Application of Geostatistics in Soil Science(M). Beijing: China Agriculture Press,2006:109 - 112.)

(12) 蒋志云,李小雁,张志华,等. 基于 EM38 电导率仪土壤水分探测研究(J). 干旱区研究,2015,32(1):48 - 55.(Jiang Zhiyun,Li Xiaoyan,Zhang Zhihua,et al. EM38 for soil moisture content estimate in the farming-pastoral ecotone in Inner Mongolia(J). Arid Zone Research,2015,32(1):48 - 55.)

(13) Journel A G. Mining Geostatistics(M). New York: Academic Press,1978.

(14) 辛厚文. 混沌、分形理论及其应用(M). 合肥: 中国科技大学出版社,1993:11 - 21.(Xin Houwen. Chaos,Fractal Theory and Its Application(M). Hefei: University of Science and Technology of China Press,1993:11 - 21.)

(15) 苏里坦,古丽美拉,宋郁东,等. 玉龙喀什河平原区地下水矿化度的时空变异研究(J). 干旱区研究,2005,22(4):26 - 31.(Su Litan,Guli Meila,Song Yudong,et al. Study on the temporal and spatial variation of groundwater mineralization beneath a plain in the Yurungkax River Watershed(J). Arid Zone Research,2005,22(4):26 - 31.)

(16) 王遵亲,祝寿泉,俞仁培,等. 中国盐渍土(M). 北京: 科学出版社,1993:93 - 97.(Wang Zunqin,Zhu Shouquan,Yu Renpei,et al. China Saline Soil(M). Beijing: Science Press,1993:93 - 97.)

(17) 张仁铎. 空间变异理论及应用(M). 北京: 科学出版社,2005:13 - 14.(Zhang Renduo. Spatial Variability Theory and Application(M). Beijing: Science Press,2005:13 - 14.)

(18) Cambardella C A,Moorman T B,Novak J M,et al. Field-scalevariability of soil properties in central Iowa soils(J). Soil Science Society of America Journal,1994,58(5):1 501 - 1 511.

Spatial Variation of Soil Salinity in the Chanan Irrigated Area in the Ili River Valley

LIU Qian-qian[1,2], SU Li-tan[1], LIU Guang-ming[3], Shawulan Kasim[4], ZHANG Yin[1,2]

(1. *State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology*,*Xinjiang Institute of Ecology and Geography*,*Chinese Academy of Sciences*, *Urumqi* 830011,*Xinjiang*,*China*;

2. *University of Chinese Academy of Sciences*,*Beijing* 100049,*China*;

3. *Nanjing Institute of Soil Science*,*Chinese Academy of Science*,*Nanjing* 210008,*Jiangsu*,*China*;

4. *Xinjiang Institute of Land and Resources Planning*,*Urumqi* 830011,*Xinjiang*,*China*)

Abstract: The study area is located in the Chanan Irrigated Area in the Ili River Valley,Xinjiang,China. EM38 conductivity meter was combined with laboratory analysis to get the values of soil EC and soil salt content at depths of 0 - 30 cm,30 - 60 cm and 60 - 100 cm. Simple statistical classification was conducted,and the semi-variogram analysis on soil salinity was carried out with geostatistics. The spatial variation of soil salinity was aimed at so as to provide the theoretical support for soil salt control and soil desalinization in the similar irrigated areas. Preliminary study indicated that the variation coefficient of soil EC in the study area was 1.31,and the variation coefficients of soil salt content at three depths mentioned above were 1.31,1.10 and 1.49 respectively. The proportion of non-salinized soil at each layer was high,but the influence of soil salinization could not be ignored. Salinized soil was mainly distributed in the northwest and southwest regions,the proportions of salinized soil at the three depths were 25.37%,21.79% and 12.11% respectively,and the trend of soil salinization in the study area was obvious. Spatially,soil EC and soil salt content were holistically decreased from the northwest to the southeast of the irrigated area. It was found that there were the high spatial correlations among the factors related to soil salt content,and the spatial variation pattern was closely related to the structural factors.

Key words: irrigated area; soil salinity; spatial variation; geostatistical analysis; soil electrolytic conductivity; Ili River Valley

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net