

黄河三角洲农田灌溉前后土壤盐分时空变异特征研究

吴向东¹, 陈小兵^{2*}, 吕真真³, 郭建青⁴, 于君宝²

(1. 安徽淮河水资源科技有限公司, 安徽 蚌埠 233001; 2. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003;
3. 中国科学院南京土壤研究所, 江苏 南京 210008; 4. 长安大学, 陕西 西安 710064)

摘要: 分别采用传统统计学和地统计学方法, 定量分析了灌溉前、后黄河三角洲田块尺度下不同深度土层含盐量的空间变异性并分析空间分布特征。结果表明: 除灌溉前 0~10 cm 土层土壤含盐量呈强变异性外, 其余各土层含盐量均表现为中等变异强度; 灌溉前土壤盐分主要积聚在 0~10 cm 和 40~60 cm 土层, 灌溉后主要积聚在 40~60 cm 土层; 灌溉使得 0~10 cm 和 10~20 cm 土层土壤含盐量降低, 脱盐效果较好; 除灌溉后 0~10 cm 土层的土壤盐分含量呈现弱空间相关性之外, 其它土层均呈现强空间相关性; 灌溉后与灌溉前相比, 除 40~60 cm 层土壤含盐量外, 其余各土层土壤含盐量明显降低、土壤含盐量的等值线密集程度减弱、空间分布趋势明显变平缓; 灌溉前各土层土壤含盐量高值区均分布在试验区中部偏北, 而低值区则分布在试验区西北角, 灌溉后除 0~10 cm 土层土壤含盐量高值中心分布在试验区中北部外, 其余各土层均分布在试验田块的中南部或中部, 而低值中心的空间分布规律相似, 主要分布在试验田的北部。

关键词: 土壤含盐量; 灌溉; 时空变异特征; 半方差函数; 田块尺度; 盐碱地

中图分类号: S151+.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2013)03-0194-06

Spatial-temporal variability of soil salt content before and after irrigation in the Yellow River Delta

WU Xiang-dong¹, CHEN Xiao-bing^{2*}, LV Zhen-zhen³, GUO Jian-qing⁴, YU Jun-bao²

(1. Anhui Huaihe Water Resources Technology Co., Ltd., Bengbu, Anhui 233001, China;
2. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai, Shandong 264003, China;
3. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China;
4. Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710064, China)

Abstract: In attempt to study spatial and temporal variability of soil salt content before and after irrigation, the descriptive statistics and geostatistics were used to quantitatively analyze soil salt content of field scale in vertical and horizontal directions in the Yellow River Delta. The result showed that soil salt content was gathered in 0~10 cm layer and 40~60 cm layer before the irrigation, and gathered in 40~60 cm layer after the irrigation. Irrigation reduced salinity of 0~10 cm and 10~20 cm soil layer and gained better desalination. Except soil salt content of 0~10 cm layer had a weak spatial correlation after irrigation, all other layers of soil showed a strong spatial correlation. Compared salt content of soil before irrigation with after irrigation, salt content of 40~60 cm layer was significantly reduced after irrigation, soil salinity contour intensity was weakened, and spatial distribution trend clearly turned to flat. Before irrigation, high soil salinities of all soil layers were detected in the northern part of the study area, while low soil salinities were detected in the northwest corner; After irrigation, except high soil salinity of 0~10 cm layer was detected in north-central area, high soil salinities of the rest layers(10~20 cm, 20~40 cm and 40~60 cm) were discovered in south-central or central area. Low soil salinity of each layer of soil showed same distribution pattern, and they were mostly observed in the northern part of the experimental field.

Keywords: soil salt; irrigation; spatial-temporal variability; semi-variance; field scale; saline-alkali soil

收稿日期: 2012-12-20

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001); 黄河三角洲生态环境重点实验室(2008KFJ03); 海洋公益性行业科研专项(201105020); 国家科技支撑计划项目(2009BADA3B04)

作者简介: 吴向东(1984-), 男, 硕士, 主要从事土壤盐渍化及其水环境研究。E-mail: wxd880926@163.com.

* 通信作者: 陈小兵, E-mail: xbchen@yic.ac.cn.

土壤特性是一个空间变异的连续体, 田间实测结果表明, 土壤特性存在明显的空间变异性^[1]。土壤特性空间变异性是土壤重要的自然属性之一^[2-3]。起初人们对土壤特性空间变异的研究主要限于定性描述, 但随着研究的深入, 发现描述土壤特性的一些物理参数并非完全独立, 而是在一定的范围内存在空间相关性^[4]。鉴于土壤特性既有结构性又有随机性的特点, 引入区域化变量理论的地统计学成为研究土壤特性空间变异或其它农田特征空间变异定量化的有效工具之一^[5]。

土壤盐渍化问题与人类活动, 特别是与农业灌溉密切相关。黄河三角洲地区土地资源丰富, 开发前景广阔, 但因淡水资源匮乏及不合理灌溉、地下水埋深浅及矿化度高等因素造成土壤积盐严重, 导致土壤盐渍化危害严重^[6]。因此对灌溉农田土壤含盐量动态进行定位试验研究, 探索农田土壤含盐量动态变化规律是确定合理的灌排制度、实现易盐区灌溉农业可持续发展的基础, 同时也可以为次生盐渍化的防治提供科学依据。目前国内外利用地统计学理论对区域土壤含盐量空间分布动态变化的研究已有较多的成果^[7-9]; 然而, 大部分研究仍以区域尺度为主, 在田间尺度上的研究较少。为此本文分别采用传统统计学与地统计学方法, 以黄河三角洲典型易盐区农田为例, 对土壤含盐量在田间尺度上受灌溉影响后的空间变异特征进行分析与讨论, 为该区建立科学的灌溉制度及防控土壤次生盐渍化提供参考。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

试验点设在中国科学院黄河三角洲滨海湿地生态试验站(118°58'40.1"E, 37°45'58.7"N, 如图 1 所示)。该区域地处北温带大陆性季风型气候带, 四季气候变化明显, 降水多集中在 6—8 月, 约占全年平均降水量的 70%, 年均蒸降比约 3.22。由于土壤主要发育于海相沉积物上, 同时受海水侧渗浸渍等作用, 抬高了地下水位并增加了土壤含盐量, 该区地下水埋深多介于 1.6~2.4 m 之间, 平均矿化度为 24.63 g·L⁻¹, 最高可达 167.53 g·L⁻¹。由于黄河多次改道导致沉积物多次交叠, 试验区内土壤容重在 1.39~1.42 g·cm⁻³ 之间, 土壤剖面呈砂黏相隔层次, 土壤直接发育于冲积沉积物, 且成陆过程中受海水强烈的浸渍侧渗作用, 使得研究区内土壤中含有较多的可溶性盐分。滨海潮盐土是该区最主要的盐土类型, 土壤盐分以氯化钠为主, 研究区地势低平, 常年种植棉花, 本实验布置在棉花种植前。该区不

合理的农业用水方式和灌溉技术, 导致水资源浪费以及地下水位季节性动态变化显著。

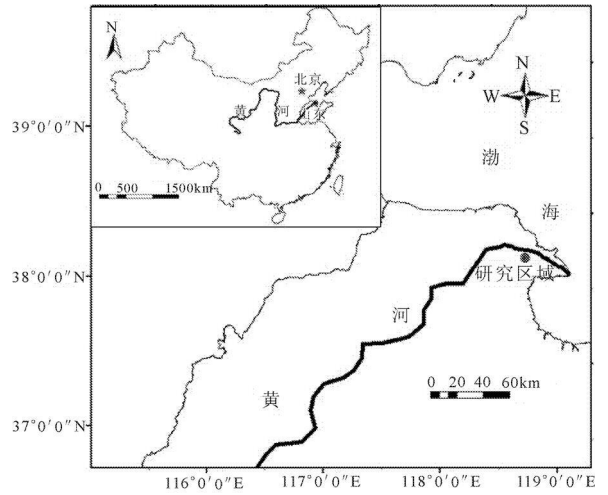


图 1 研究区地理位置图

Fig. 1 The location map of study area

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集 本研究工作以中国科学院黄河三角洲滨海湿地生态试验站为依托, 在该试验站西北角选取一块面积为 60 m × 300 m 的试验田, 采用 10 m × 20 m 的均匀网格法采集土壤样品, 即沿南北方向每隔 10 m 依次选取 30 条 300 m 长的纵向线, 沿东西方向每隔 20 m 依次选取 10、30、50 m 三条横向线, 由此交叉形成的 10 m × 20 m 网格共 90 个, 在这些均匀网格中共设采样点 83 个, 如图 2 所示。在每个采样点用土钻法进行四层分层取样, 取样层次设计为 0~10、10~20、20~40、40~60 cm。2011 年 4 月 23 日, 对试验区进行了翻耕和灌溉, 灌溉量为 6 300 m³, 即 3 500 m³·hm⁻², 分别于灌溉前(2011 年 4 月 23 日)及灌溉后 1 周(2011 年 4 月 30 日)进行了 83 个采样点位的土壤样品采集, 共采集 664 个土壤样品。

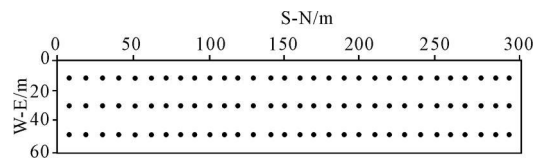


图 2 田间采样点平面位置图

Fig. 2 The plane location map of field sampling points

1.2.2 样品处理与分析 采集的土样带回实验室自然风干, 磨碎、过 2 mm 筛后备用。所有的土样均制备 1:5 土水比浸提液, 测定其电导率 EC_{1:5} (EC215 Conductivity Meter)^[10]。从以上采集的土样中随即选取 30 个土壤剖面, 共计 120 个土壤样品, 测定其离

子组成;采用甲基橙-酚酞双指示剂滴定法测定土壤中 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 离子含量(土水比 1:5 浸提液于测定当天制备并滴定), K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 离子含量上机测定(DIONEX IC3000), 计算出相应的土壤全盐含量, 进一步可以得出试验区农田土壤全盐含量与浸提液电导率之间的换算关系式:

$$S_t = 3.0467EC_{1:5} - 0.4932 \quad (r = 0.981^{**}, \\ P < 0.0001, n = 120)$$

式中, S_t 为土壤全盐含量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$); $EC_{1:5}$ 为 1:5 土水比土壤浸提液电导率($\text{ms} \cdot \text{cm}^{-1}$)。对于未测定离子组成的土样, 其土壤全盐含量可由浸提液电导率 $EC_{1:5}$ 经上式换算得到。

1.2.3 数据处理 本研究在数据分析时应用 SPSS18.0 软件中描述统计功能进行土壤含盐量的描述性分析, 并用非参数检验功能进行单样本 Kolmogorov-Smirnov(K-S) 检验数据是否服从或近似服从正态分布, 采用地学统计软件 GS+ 7.0 for Windows

中半方差函数分析模块进行半方差函数计算及其理论模型拟合, 利用 Surfer 9 进行插值分析并绘制土壤盐分含量的空间分布图。

2 结果与分析

2.1 灌溉前后土壤含盐量的描述性统计分析

由于离群值的存在会影响土壤含盐量的分布特征, 并造成其连续表面的突变, 因此, 在进行传统统计分析之前, 首先要识别离群值。本研究采用域法^[11]对离群值进行修正, 域法区间为 $[u - 3s, u + 3s]$, 其中, u 为样本均值, s 为样本标准差, 在区间以外的数据均定义为离群值, 离群值分别用正常的最大值和最小值代替。通过离群值检验后发现, 除灌溉前 40~60 cm 土层及灌溉后 0~10、10~20 cm 土层外, 其余各层土壤含盐量均存在离群值, 经修正后对土壤含盐量实测值进行统计分析及正态分布特征检验, 其统计特征参数如表 1 所示。

表 1 灌溉前、后各土层土壤含盐量的统计参数

Table 1 The statistical parameters of soil salt contents of different layers of soils before and after the irrigation

项目 Item	土层 Soil layer / cm	最小值 Min. /($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	最大值 Max. /($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	平均值 Mean /($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	标准差 SD	变异系数 CV /($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	偏度 Skew.	峰度 Kurt.	分布类型 Distribution types	K-S 检验 K-S test
灌溉前 Before irrigation	0~10	0.61	15.65	5.26	7.60	144.45	0.85	0.19	N	0.25
	10~20	0.31	11.69	3.34	2.51	75.04	1.30*	2.46*	LgN	0.03
	20~40	0.37	12.47	3.88	2.71	69.94	1.01	0.87	N	0.39
	40~60	0.39	14.10	5.04	3.31	65.78	0.81	0.05	N	0.38
灌溉后 After irrigation	0~10	0.30	10.63	2.69	1.63	60.55	1.91*	2.86*	LgN	0.03
	10~20	0.15	9.13	2.20	1.62	73.60	1.07*	3.69*	LgN	0.01
	20~40	0.36	9.68	3.74	2.18	58.34	0.71	0.25	N	0.38
	40~60	0.43	14.31	6.07	2.98	49.03	0.31	0.01	N	0.41

注: N 代表正态分布; LgN 代表对数正态分布; * 偏度和峰度系数均为对数转换后的值。

Note: N represents the normal distribution; LgN represents the lognormal distribution; skewness and kurtosis are logarithmically transformed values.

从表 1 中最小值与最大值来看, 灌溉前各层土壤含盐量变化范围均较大, 分别相差达 15.04、11.38、12.10 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 及 13.71 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; 整个采样剖面最小值出现在 10~20 cm 土层, 最大值出现在 0~10 cm 土层。从平均值来看, 各层土壤含盐量均值的变化范围为 3.34~5.26 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 含盐量整体水平较高, 按照山东省滨海盐碱土盐化等级标准^[12], 研究区土壤表层属于中度盐碱土, 说明土壤盐碱化是制约该地区农业生产的重要限制因素; 其中 0~10 cm 层与 40~60 cm 层土壤含盐量相差较小, 仅为 0.22 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 而 10~20 cm 层与 20~40 cm 层土壤含盐量相差也不大, 为 0.54 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。不同深度层土壤含盐量平均值存在一定的差异, 0~10 cm 层土壤含盐量

要明显高于其它层, 随着采样深度的加深, 土壤含盐量呈现减小后增加的趋势, 说明各层土壤平均含盐量在垂直方向上的变化较大, 盐分分布总体上呈现较强的表聚性, 这主要是与黄河下游三角洲地区特定的气候、地形、水文等条件导致的季节性积盐特征密切相关。

变异系数 CV 值反映样点的离散程度, $CV < 10\%$ 为弱变异性; $10\% \leq CV \leq 100\%$ 为中等变异性; $CV > 100\%$ 为强变异性^[13], 从标准差及变异系数来看, 除表层土壤含盐量呈强变异性外, 其余各层土壤含盐量均呈中等变异性特征, 变化范围在 65.78%~144.45% 之间, 其中 0~10 cm 层变异性最强, 变异系数达 144.45%, 40~60 cm 层土壤含盐量变异系

数则相对最低, 为 65.78%, 10~ 60 cm 各采样层土壤变异系数相差不大。造成这种现象的原因可能是由灌溉之前试验田微地形起伏、耕作方式、种植制度等因素引起的, 随着土壤深度加深, 这些因素对土壤含盐量的影响逐渐变弱, 致使土壤含盐量在垂直方向上的变异强度相对变弱。

由灌溉后各层土壤含盐量的统计参数的计算结果可以看出, 灌溉后最小值与最大值分别出现在 10~ 20 cm 及 40~ 60 cm 土层, 相差达 $14.16 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。除 40~ 60 cm 层土壤含盐量均值增加外, 其余各层土壤含盐量较灌溉前均明显下降, 0~ 40 cm 各层土壤含盐量分别下降了 48.75%、34.14%、3.65%, 而 40~ 60 cm 层土壤含盐量则上升了 20.85%, 说明灌溉后土壤表层脱盐现象明显。随着采样深度加深, 土壤含盐量总体呈现出逐渐增加的趋势, 40~ 60 cm 土层土壤含盐量最高, 说明在种植作物之前灌溉能够明显降低耕层土壤含盐量, 有助于提高作物出苗率及苗期的生长。从变异系数来看, 灌溉后各层土壤含盐量变异程度相差不大, 变化范围在 49.03%~ 73.60% 之间, 均表现为中等变异性特征, 较灌溉前变异性有所降低, 说明大水漫灌可以有效地降低土壤盐分含量在水平方向的变异性, 以保证后期作物均匀生长。

从峰度和偏度系数可以得出, 除灌溉前 10~ 20 cm 土层及灌溉后 0~ 10 cm 土层和 10~ 20 cm 土层之外, 其它土层的土壤盐分含量均呈现正态分布, 而灌溉前 10~ 20 cm 土层及灌溉后 0~ 10 cm 土层和 10~ 20 cm 土层经对数转换后也呈现正态分布。

2.2 土壤含盐量的空间变异特征分析

半方差函数理论模型及参数的确定可参考有关文献^[14-15], 根据半方差函数理论及计算模型得表

2。灌溉前 0~ 10 cm 及 40~ 60 cm 土层含盐量拟合最优半方差函数模型为球状模型, 而 10~ 20 cm 及 20~ 40 cm 土层含盐量则比较符合高斯模型, 相关系数在 0.86~ 0.95 之间, F 检验结果均达到 0.01 显著水平; 灌溉后则可用指数(0~ 10 cm、10~ 20 cm)和高斯(20~ 40 cm、40~ 60 cm)模型拟合, 相关系数(R^2) 在 0.75~ 0.95 之间, F 检验结果达到 0.05 或 0.01 显著水平, 说明拟合效果良好。

块金值 C_0 代表随机变异量, 是由实验误差和小于取样尺度上土地利用方式、施肥、灌溉等随机因素引起的变异, 较大的块金值表明较小尺度上的某种过程不容忽视^[16]。Cambardella 等^[15]运用 $C_0/(C_0 + C)$ 比值的大小判定系统内随机变量的空间相关程度, 它反映了土壤属性的空间依赖性, 常被用作研究变量空间相关的分类依据。当比值小于 25% 时, 表现为强空间相关性; 若在 25%~ 75% 之间则表现为中等空间相关性; 比值大于 75% 则表现为弱空间相关性^[17]。

从表 2 中可以看出, 灌溉前各层土壤含盐量的块金值较小, 其变化范围为 0.02~ 0.11, 说明灌溉前试验区农田各层土壤含盐量由实验误差或随机因素带来的空间变异不大; 而基台值的变化范围较大, 为 0.11~ 1.26, 说明灌溉前试验区农田各层土壤含盐量总空间变异性变化较为明显; 其中 10~ 20 cm 层的值最小, 40~ 60 cm 层的值最大, 说明试验区农田土壤含盐量在 10~ 20 cm 层的空间变异性最小, 0~ 10 cm 空间变异性最大, 不同深度土壤含盐量基台值的变化趋势与块金值相似, 即随着采样深度加深呈先减小后增加的变化趋势。从 $C_0/(C_0 + C)$ 比值来看, 其变化范围较小, 为 0.09~ 0.15, 属于强空间相关性, 其中 40~ 60 cm 层的值最小, 10~ 20 cm 层

表 2 灌溉前、后各土层土壤含盐量半方差函数理论模型参数

Table 2 The parameters of the semi-variance theory model of soil salt contents in different layers of soils before and after the irrigation

项目 Item	土层 Soil layer/cm	理论模型 Theoretical model	块金值 C_0	基台值 $C_0 + C$	块基比/% $C_0/(C_0 + C)$	变程/m a	相关系数 R^2	F 检验 F test
灌溉前 Before irrigation	0~ 10	球状 Spherical	0.08	1.18	11	10.0	0.91	187.39**
	10~ 20	高斯 Gaussian	0.02	0.11	15	7.4	0.86	133.02**
	20~ 40	高斯 Gaussian	0.02	0.13	14	9.4	0.88	136.12**
	40~ 60	球状 Spherical	0.11	1.26	9	12.1	0.95	195.63**
灌溉后 After irrigation	0~ 10	指数 Exponential	0.22	0.25	86	25.5	0.75	155.31*
	10~ 20	指数 Exponential	0.03	0.29	10	17.4	0.92	190.52*
	20~ 40	高斯 Gaussian	0.05	0.50	11	10.1	0.89	137.66**
	40~ 60	高斯 Gaussian	0.07	0.93	8	13.5	0.95	146.94**

注: * 表示在 $P < 0.05$ 水平下显著相关, ** 表示在 $P < 0.01$ 水平下极显著相关。

Note: * means significant at $P < 0.05$ level, ** means extremely significant at $P < 0.01$ level.

的值最大,随着采样深度加深呈先增加后减小的变化趋势,说明试验区农田土壤含盐量由空间自相关部分引起的空间异质性程度较大。从变程来看,各层土壤含盐量自相关范围变化较小,为 7.4~12.1 m;相对而言,40~60 cm 土层土壤含盐量的自相关范围大于表层,说明表层土壤含盐量受到外界因子的影响较大,如气象因子、人类活动因子等,导致其自相关范围较小,而 40~60 cm 土层则间接受到上述因子的影响,影响较小。

相对于灌溉前,灌溉后各层土壤含盐量块金值变化显著,变化范围为 0.03~0.22,其中 0~10 cm 层土壤含盐量块金值明显增加,达 63%,说明灌溉后试验区农田表层土壤含盐量由随机因素带来的空间变异性变大,这主要是由土地翻耕平整及灌溉等因素引起的;从基台值来看,变化范围为 0.25~0.93,说明灌溉后试验区农田各层土壤含盐量总空间变异性相对变弱;最小值出现在 0~10 cm 土层,最大值则出现在 40~60 cm 土层,说明试验区农田土壤含盐量在 0~10 cm 土层的空间变异性最小,40~60 cm 土层空间变异性最大;灌溉后 $C_0/(C_0+C)$ 比值的变化范围为 0.08~0.86,最小值出现在 40~60 cm 土层,而最大值则出现在 20~40 cm 土层,说明灌溉后试验区农田土壤含盐量由空间自相关部分

引起的空间异质性程度同样较大;从变程来看,不同土层土壤含盐量自相关范围为 10.1~25.5 m;40~60 cm 土层土壤含盐量的自相关范围小于表层,说明灌溉后表层土壤含盐量受到外界因子的影响相对减弱,这主要是由于灌溉后试验区表层盐分向下层淋洗,而淋洗至 20~40 cm 土层和 40~60 cm 土层的盐分量受到土壤渗透系数等结构性因素的影响,从而使 20~40 cm 土层和 40~60 cm 土层空间自相关距离较表层小。

2.3 灌溉前后土壤含盐量的空间分布特征

2.3.1 灌溉前土壤含盐量空间分布 从不同深度土壤含盐量等直线图(见图 3)可以看出,0~10 cm 层存在一个高值中心及一个低值中心,其中高值中心出现在试验区中部偏北地区,低值中心出现在试验区的北角,试验区中南部空间变异性最大,北部的变化相对平缓;10~20 cm 层土壤含盐量除中南部变化相对平缓外,其它部位变化趋势与 0~10 cm 土层相似。20~40 cm 土层存在两个高值中心及一个低值中心,其高值中心与低值中心均分别出现在试验区南部及中北部,除中部及南部外其它部位的变化相对平缓;40~60 cm 土层中部存在多个高值中心,空间变异性最大,一个低值中心则出现在试验区的北部田块。

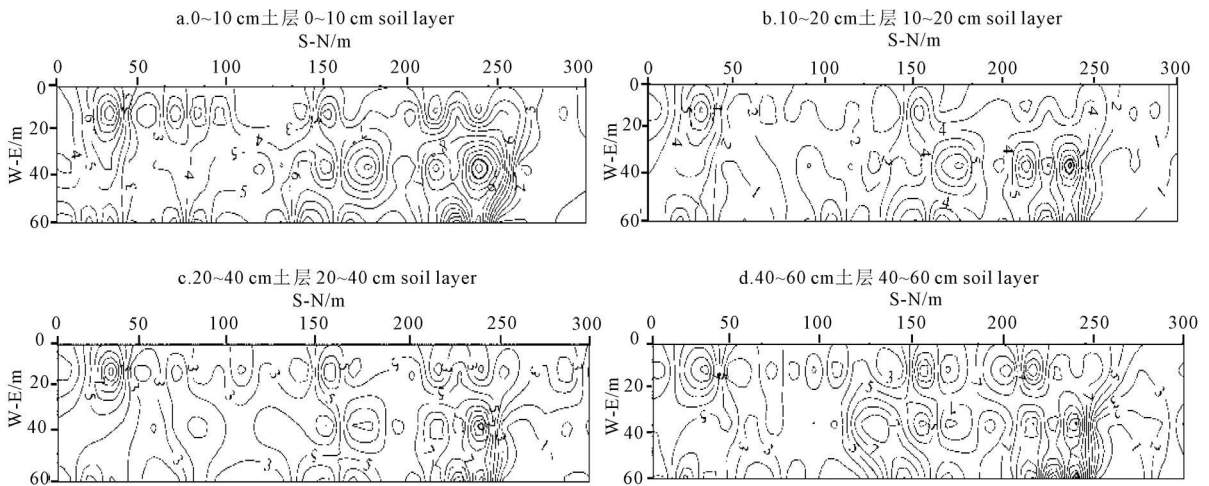


图 3 灌溉前各深度土层土壤含盐量等值线图

Fig. 3 Counter of soil contents at different soil layers before irrigation/($g\ kg^{-1}$)

由上述分析可知,各层土壤含盐量高值区均分布在试验区中部偏北田块,而低值区则均分布在试验区北角,说明田块中北部变异性大,而南部则相对平缓;0~10 cm 层与 40~60 cm 层土壤含盐量等值线密集程度较高,表明其变化梯度很大。造成这种变异性的原因主要是受土壤微地形及土壤含水量空

间分布的影响。

2.3.2 灌溉后土壤含盐量空间分布 从下图不同深度层土壤含盐量等值线图可以看出,0~10 cm 土层存在一个高值中心与一个低值中心,其高值中心与低值中心分别出现在试验区北部和南部,中北部等值线变化梯度较大,其它部位变化则相对平缓;10

~ 20 cm 土层土壤含盐量高值中心则移动到试验区中西部偏南田块, 该处等值线较密, 变化梯度相对其它部位大; 20~ 40 cm 层土壤含盐量存在一个高值中心与一个低值中心, 与 10~ 20 cm 层相比, 其高值中

心往南部移动了约 20 m, 低值中心位于试验区北部田块; 40~ 60 cm 土层土壤含水量同样存在一个高值中心与低值中心, 其高值中心与低值中心分别位于试验区中部及北部田块。

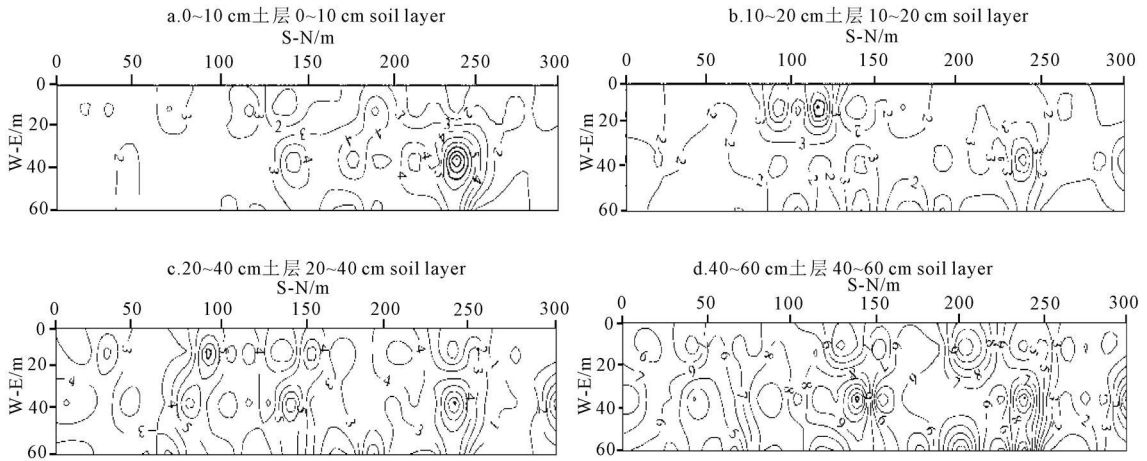


图 4 灌溉后各深度土层土壤含盐量等值线图

Fig. 4 Counter of soil contents at different soil layers after irrigation/ ($g \cdot kg^{-1}$)

通过上述分析发现, 除 0~ 10 cm 土层土壤含盐量高值中心位于试验区中北部外, 其余各土层均位于试验田块的中南部或中部, 而低值中心的空间分布相似, 均位于田块的北部。与灌溉前相比, 灌溉后除 40~ 60 cm 土层土壤含盐量外, 其余各土层土壤含盐量明显降低且空间分布趋势明显变平缓, 尤其是 0~ 10 cm 土层土壤含盐量; 造成这种现象的主要原因是灌溉后表层土壤盐分随着水分向下淋洗所致, 而灌溉后田块中间的灌水沟中蓄水影响到试验区田块周围地下水水位, 当地高矿化度地下水可能间接影响到 40~ 60 cm 土层土壤含盐量, 致使灌溉后该土层土壤含盐量较灌溉前的土壤含盐量高。

3 结 论

本研究应用土壤样品采集, 结合地理统计与空间克里格插值等数值分析方法, 对灌溉前、后试验区农田不同深度土层土壤含盐量空间变异性进行初步分析和讨论。可以得出如下的初步认识: 除灌溉前 0~ 10 cm 土层土壤含盐量呈强变异性外, 其余各土层含盐量均表现为中等变异强度; 从平均值看, 灌溉前、后土壤含盐量在垂直方向上均随采样深度加深呈先减小后增大的趋势; 灌溉前土壤含盐量呈表聚型, 灌溉后则呈底聚型特征, 灌溉使得 0~ 10 cm 和 10~ 20 cm 土层土壤含盐量降低, 脱盐效果较好; 除灌溉后 0~ 10 cm 土层的土壤盐分含量呈现弱空间

相关性之外, 其他土层均呈现强空间相关性; 与灌溉前相比, 灌溉后除 40~ 60 cm 土层土壤含盐量外, 其余各土层土壤含盐量明显降低, 土壤含盐量的等值线密集程度减弱, 空间分布趋势明显变平缓; 灌溉前各土层土壤含盐量高值区均分布在试验区中部偏北田块, 而低值区则均分布在试验区北角, 灌溉后除 0~ 10 cm 土层土壤含盐量高值中心位于试验区中北部外, 其余各土层均位于试验田块的中南部或中部, 而低值中心的空间分布相似, 均位于田块的北部。

参 考 文 献:

- [1] 秦耀东. 土壤物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [2] 杨艳丽, 史学正, 于东升, 等. 区域尺度土壤养分空间变异及其影响因素研究[J]. 地理科学, 2009, 28(6): 788-792.
- [3] 李亮亮, 依艳丽, 凌国鑫, 等. 地统计学在土壤空间变异研究中的应用[J]. 土壤通报, 2005, 36(2): 265-268.
- [4] 姚荣江, 杨劲松, 刘广明. 土壤盐分和含水量的空间变异性及其 CoKriging 估值——以黄河三角洲地区典型地块为例[J]. 水土保持学报, 2006, 20(5): 133-138.
- [5] Goovaerts P. Geostatistics in soil science: state of the-art and perspectives[J]. Geoderma, 1999, 89(1): 1-45.
- [6] 梁珍海, 刘德辉, 卢义山, 等. 泥质海岸防护林对滩涂土壤盐分的影响及机制[J]. 南京大学学报(数学半年刊), 2004, (2): 139-143.
- [7] Brocca L, Morbidelli R, Melone F, et al. Soil salt spatial variability in experimental areas of central Italy[J]. Journal of Hydrology, 2007, 333(2): 356-373.

(下转第 243 页)

2) 提前播种, 苗期适当干旱有利于油葵根系吸取土壤深层水分, 但籽粒灌浆期恰遇降水高峰, 雨水冲刷影响授粉; 随播期推迟, 水热条件适宜, 干物质积累速率加快, 千粒重和产量明显增加。但若推迟到5月下旬后播种, 油葵灌浆期气温较高, 蒸腾加剧, 水分利用效率不高, 生育后期又遇低温, 干物质有效积累时间不足, 茎秆和叶片中光合产物无法及时转移到花盘中, 籽粒空瘪, 产量不高。

3) 从光热水资源 80% 保证率分析, 综合考虑农牧交错带油葵生育特点、水分利用效率和产量等因素, 建议在品种和年型一致的情况下, 将油葵适宜播种期安排在5月中旬, 进一步研究应与作物生长模型相结合, 分析农牧交错带油葵在不同年型和品种条件下的最佳播期。

参考文献:

- [1] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会. 北方农牧交错带的地理界定及其生态问题[J]. 地球科学进展, 2002, 17(5): 739-747.
- [2] 李广, 黄高宝. 北方农牧交错带气候变化及草地生产力的响应——以甘肃省定西县为例[J]. 中国草地, 2005, 27(1): 7-11.
- [3] 王燕飞, 胡启林, 贾作忱. 气候因素对油用向日葵籽实含油率的影响[J]. 西北农业学报, 1996, 5(1): 63-66.
- [4] 张立华. 内蒙古向日葵生产的现状及发展对策[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2006.
- [5] 郭富国, 安玉麟, 门果桃. 内蒙古中西部地区向日葵发展优势及对策[J]. 内蒙古农业科技, 2003, (5): 4-6.
- [6] 杨泽龙, 李长生, 杨晶. 内蒙古武川县主要作物种植对气候变化的响应分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(3): 306-310.
- [7] 妥德宝, 安昊, 张君. 国内外向日葵施肥栽培技术发展现状与发展趋势[J]. 内蒙古农业科技, 2010, (6): 1-2.
- [8] 孔东, 史海滨, 魏占民. 干旱区不同水盐处理对向日葵生理性状的影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(1): 44-46.
- [9] Khalifa F M. Some factors influencing the development of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under dry-farming systems in Sudan[J]. The Journal of Agricultural Science, 1981, 97(1): 45-53.
- [10] 吴承杰. 向日葵适时晚播的气象条件[J]. 气象, 1992, 18(2): 50-51.
- [11] 杨松, 刘俊林, 卢淑贤. 河套灌区向日葵适宜播种农业气象指标研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(11): 176-179.
- [12] 崔良基, 董钻, 梁国战. 不同播期和不同肥力条件下向日葵干物质形成和物质分配对杂交种产量的影响[J]. 杂粮作物, 2002, 22(5): 280-284.
- [13] 赵文德, 刘乡林. 提高向日葵结实率的研究[J]. 中国油料作物学报, 1981, (2): 30-34, 5.
- [14] Jos F C B, M rio D C, Gottlieb B. Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to sowing date and plant density under Mediterranean conditions[J]. European Journal of Agronomy, 2004, 21(3): 347-356.
- [15] Unger, P W. Planting date effects on growth, yield, and oil of irrigated sunflower[J]. Agronomy Journal, 1980, 72(6): 914-916.
- [16] Gksoy A T, Demirb A O, Turana Z M, et al. Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages[J]. Field Crops Research, 2004, 87(2-3): 167-178.
- [17] 沈姣姣, 王靖, 陈辰. 播种期对农牧交错带铃麦生长发育和产量形成的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(15): 52-56.
- [18] 单玉芬, 王立坤, 马永胜. 不同水分亏缺对向日葵产量、水分利用效率及经济效益的影响[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(7): 70-73.
- [19] Flagella Z, Rotunno T, Tarantino E, et al. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime [J]. European Journal of Agronomy, 2002, 17(3): 221-230.
- [20] 沈姣姣, 王靖, 潘学标. 播种期对农牧交错带马铃薯生长发育和产量形成及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(2): 137-144.
- [21] 巴特尔·巴克, 郑大玮, 段树强. 灌水模式对油葵耗水量产量及经济效益的影响[J]. 节水灌溉, 2006, (3): 1-3.

(上接第199页)

- [8] 雷志栋, 杨诗秀, 许志荣. 土壤特性空间变异性初步研究[J]. 水利学报, 1985, (9): 10-21.
- [9] 胡克林, 陈德立. 农田土壤水分和盐分的空间变异性及其协同克立格估值[J]. 水科学进展, 2001, 12(4): 460-466.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [11] 甘海华, 彭凌. 云江门市新会区耕地土壤养分空间变异特征[J]. 应用生态学报, 2005, 16(8): 1437-1442.
- [12] 朱庭芸, 何守成. 滨海盐渍土的改良和利用[M]. 北京: 中国农业出版社, 1985: 1-11.
- [13] 雷志栋, 杨诗秀, 谢森传. 土壤水动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988.
- [14] 王政权. 地质统计学及在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [15] Cambardella C, Moorman T, Novak J, et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58(5): 1501-1511.
- [16] Trangmar B B, Yost R S, Uehara G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties[J]. Advances in Agronomy, 1986, 38: 45-94.
- [17] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, et al. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils[J]. Soil Sci Soc Am, 1994, 58(5): 1501-1511.