

滨海平原农田土壤含盐量空间变异分析

张展羽,詹红丽,郭相平

(河海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 以江苏省射阳县为例,对该县节水灌溉条件下农田土壤含盐量、地下水含盐量进行取样检测,应用地质统计学方法对所取得的数据进行理论分析,结果表明:该地区土壤含盐量服从正态分布,半变差函数符合五次球状函数;地下水含盐量服从对数正态分布,半变差函数符合三次球状函数.利用 GSLIB 软件,绘制了该县土壤含盐量和地下水含盐量等值线图,为该地区水土管理、防止土壤盐渍化提供了决策依据.

关键词 土壤含盐量 地质统计学 空间变量

中图分类号 S156.4+6 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2002)04-0061-05

我国含低质地下水(主要是咸水或微咸水)的面积为 2 700 万 hm^2 ,主要分布在北方内陆干旱和半干旱地区以及东部滨海地带.我国还有 1 100 万 hm^2 受盐碱危害的耕地.这些区域,淡水资源比较紧缺,而当地咸水、微咸水资源往往比较丰富,因而一些地区农田采用微咸水灌溉或咸淡水混灌的节水灌溉方式^[1,2].节水灌溉条件下土壤盐分的变化受到灌水量、降水量、地下水埋深、土质等多种因素影响,监测预报土壤含盐量的分布及变化规律,对区域水土资源的利用、保护和管理十分重要.

地质统计学方法——Kriging 法是一种最佳空间估计法,该理论 60 年代起源于地质矿产储量预测研究^[3,4],近年来,人们将该理论应用于水资源、水环境问题的相关研究领域,如土壤物理特性参数、地下水埋深分布、地下水水质估值、水域污染空间模式、区域降水量估值等^[5,6],显示了地质统计学方法的广泛应用前景.本文以江苏省射阳县为例,运用地质统计学的方法研究滨海滩涂地区实施节水灌溉(节约淡水)条件下,地下水含盐量和土壤含盐量的空间分布特征,对于定量评价该地区水土资源环境、预测农田盐分的分布和空间变异规律,有效地控制、防治土壤盐碱化,并指导微咸水的灌溉利用都具有重要的指导意义.

1 资料采集方法

1.1 研究区概况

研究区位于江苏省东部射阳县,地处黄海之滨,面积 2 715 km^2 .该县地处北亚热带和暖温带的过渡地带,气候温和,年平均气温 13.9℃,年平均日照总时数为 2 353 h,年平均降水量 1 035 mm,降水量时空分布不均,降水主要集中在 7~9 月,占全年降水量的 50%,年平均蒸发量是降水量的 1.5 倍.地下水埋深一般在 2 m 左右.射阳县系黄(河)淮(河)合流冲积海相沉积作用形成的滨海平原的一部分,地势相对平缓,最大高差 1.4 m 左右,由于在成陆过程中受海水作用,土壤中普遍含有较多的可溶性盐分,同时地下水矿化度较高,平均矿化度为 6.53 g/L,最高达 21.4 g/L.由于当地无蓄水工程,汛期过境水量丰富但不能调蓄,非汛期淡水资源紧缺,农田灌溉一般采用上游灌溉回归水(微咸水)和当地微咸水,农田土壤含盐量总体上呈现“积盐-淋溶”动态变化趋势.

受土质、气候等条件影响,射阳县的作物种植模式主要为小麦-棉花,小麦-大豆,绿肥-水稻等,部分地区实行稻麦、棉绿水旱轮作制,农作物复种指数为 149%.由于淡水资源紧缺,灌区内大力推广渠道防渗、低压管道灌溉等先进技术,水稻采用微咸水“浅、湿、控”节水灌溉技术.

1.2 资料采集方案

在全县定点布设观测点,观测点位置、数量根据当地土质、作物种类等因素确定,共取土样 150 个,取样

深度统一选为田面以下 10 cm 处,打地下水观测孔 130 个,各观测点位置以相对坐标(x,y)表示.采样、观测时间选为水稻插秧前的 5 月份.

1.3 资料项目及采集方法

a. 土壤含盐量 制取 1/5 土样水浸提液,测定其电导率后换算成土壤全盐含量.试验表明,该地区土壤水浸提液电导率与土壤全盐含量之间的关系为

$$Y = 0.0282x + 0.0025 \quad (r = 0.9240) \tag{1}$$

式中: Y ——土样全盐含量,%; x ——土样 1/5 水浸提液的电导率,ms/cm. r ——相关系数.电导率采用 SYC—3 型数字电导仪测定.

b. 地下水含盐量 从地下水观测孔中提取水量,用 SYC—3 型数字电导仪及时测定.

2 结果及分析

2.1 观测资料的统计特征值

将观测资料进行正态和对数正态统计分析,计算其累积概率与参数值之间的关系,可知土壤含盐量与其累积概率在正态概率图中呈直线分布,地下水含盐量与其累积概率在对数正态概率图中呈直线分布.有关统计特征值见表 1.

表 1 土壤含盐量及地下水含盐量统计特征值
Table 1 Statistical characteristics of soil salinity and groundwater salinity

观测项目	样点数	最小值	最大值	均值	标准差	变异系数	分布类型
浸提液电导率/(ms·cm ⁻¹)	150	3.067	23.670				
土壤含盐量/%	150	0.089	0.670	0.1609	0.073	0.473	正态
地下水含盐量/(g·L ⁻¹)	130	1.860	21.40	6.53	2.650	0.458	对数正态

从表 1 可以看出,本地区表层土壤含盐量呈正态分布,而地下水含盐量呈对数正态分布,满足地质统计学理论中有关本征假设^[4].

本地区农田土壤含盐量在 0.089% ~ 0.67% 之间,平均为 0.1609%,总体上属脱盐土和轻盐土,其中脱盐土样本(含盐量小于 0.1%)占 62%,轻盐土样本(含盐量 0.1% ~ 0.2%)占 31%,重盐土样本(含盐量大于 0.4%)占 2.3%,表明轻盐土和盐土耕地面积大,仍是制约当地农业生产的重要因素.

地下水含盐量在 1.86 ~ 21.40 g/L 之间,平均为 6.53 g/L,总体上属微咸水型.地下水含盐量大于 9 g/L 的咸水样本占 18%,表明当地地下水含盐量高,不适宜作为灌溉水源.

土壤含盐量和地下水含盐量的变异系数分别为 0.473 和 0.458,属中等变异强度.

常规统计分析给出了如表 1 所示的统计特征参数,对当地农田土壤含盐量和地下水含盐量进行了整体估计,但上述两种变量除表现为随机性外,还表现为空间的结构性,研究其空间分布必须采用地质统计学中半变差理论.

2.2 半变差函数

2.2.1 特征参数估值函数

根据地质统计学理论,半变差函数为

$$r(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [y(x_i) - y(x_i + h)]^2 \tag{2}$$

式中: $r(h)$ ——半变差值; N ——样本点数; $y(x_i)$ —— x_i 处的特征参数值; $y(x_i + h)$ —— $x_i + h$ 处的特征参数值; h ——步长.

x_0 处的特征参数估值函数为

$$\tilde{y}(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i y(x_i) \tag{3}$$

式中: $\tilde{y}(x_0)$ —— x_0 处的特征参数值; λ_i ——待定加权系数,满足:

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \tag{4}$$

普通克里格方程组的矩阵形式为

$$K\lambda = M$$

(5)

其中

$$K = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & \cdots & C_{1N} & 1 \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & \cdots & C_{2N} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ C_{N1} & C_{N2} & C_{N3} & \cdots & C_{NN} & 1 \\ 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\lambda^T = [\lambda_1 \quad \lambda_2 \quad \cdots \quad -\mu] \qquad M^T = [C_{01} \quad C_{02} \quad \cdots \quad C_{0N} \quad 1]$$

根据 $C(h) = C_0 - r(h)$,可求得 K 和 M ,将结果代入方程(5)得 λ ,再根据式(3),可求得 x_0 处的参数估值.

2.2.2 半变差函数拟合及参数选择

采用高斯函数、三次球状函数、五次球状函数为实验半变差函数. 根据样本资料,统计分析 $r(h) \sim h$ 关系,用最小二乘法对不同半变差函数进行拟合,并计算相应的 Akaike 判别参数:

$$AIC = n\ln(R_m/n) + 2P$$

(6)

式中: AIC ——Akaike 判别参数; n ——经验半变差图中样本点数; R_m ——经验点和拟合值差的平方和; P ——拟合函数中除块金效应以外的参数个数. 选取 AIC 最小的拟合函数为最优半变差函数,采用 GSLIB 软件中 Sfit 软件进行分析,结果见表 2 和图 1、图 2.

表 2 土壤含盐量和地下水含盐量半变差函数拟合参数

Table 2 Semi-variational fitting of soil salinity and groundwater salinity

观测项目	函数类型	C_0	C	a	AIC	最优函数
土壤含盐量	高斯	0.32	1.32	2.45	-72.40	五次球状
	三次球状	0.50	1.56	2.63	-107.65	
	五次球状	0.54	1.52	2.77	-113.21	
地下水含盐量	高斯	0.84	2.63	6.16	-64.27	三次球状
	三次球状	0.62	3.74	5.85	-70.75	
	五次球状	0.66	3.70	5.32	-69.43	

注: C_0 表示块金常数, C 表示半变差函数的取值区间, a 表示观测点之间的最大影响范围.

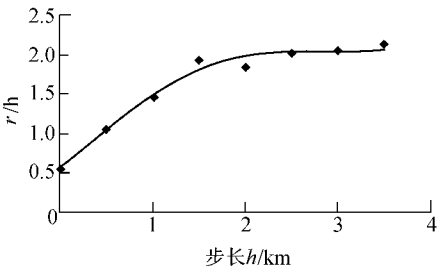


图 1 土壤含盐量 $r(h)$ 曲线
Fig.1 $r(h)$ curve for soil salinity

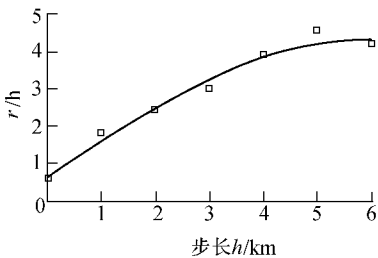


图 2 地下水含盐量 $r(h)$ 曲线
Fig.2 $r(h)$ curve for groundwater salinity

从表 2 和图 1、图 2 可知,土壤含盐量的最优空间半变差函数为五次球状函数:

$$r(h) = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ 0.54 + 1.52(0.6769h - 0.0588h^3 + 0.0022h^5) & 0 < h \leq 2.77 \\ 2.06 & h > 2.77 \end{cases}$$

地下水含盐量的最优空间半变差函数为三次球状函数:

$$r(h) = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ 0.62 + 3.74(0.2564h - 0.0025h^3) & 0 < h \leq 5.85 \\ 4.36 & h > 5.85 \end{cases}$$

2.3 Kriging 图

根据上述半变差函数,解方程(3)和(5),则可对区域内任意点处的土壤含盐量和地下水含盐量进行估值.为了准确、直观地描述该地区土壤含盐量、地下水含盐量的空间分布情况,利用 GSLIB 软件,绘制了 Kriging 最优插值等值线图及剩余误差等值线图.该地区土壤含盐量等值线图和剩余误差等值线图见图 3 和图 4,地下水含盐量等值线图和剩余误差等值线图见图 5 和图 6.

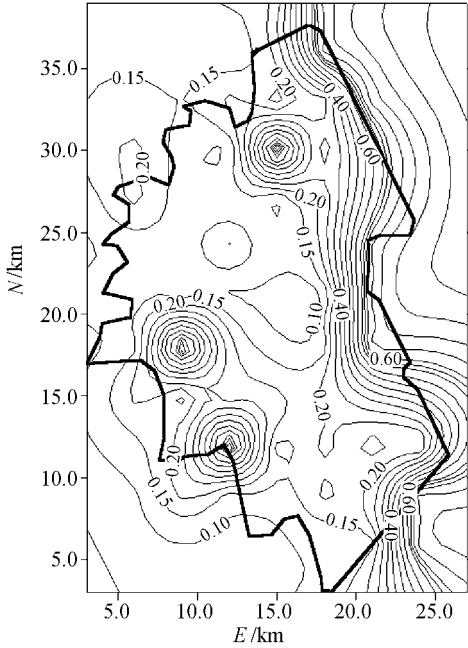


图 3 土壤含盐量等值线
Fig.3 Contour of soil salinity

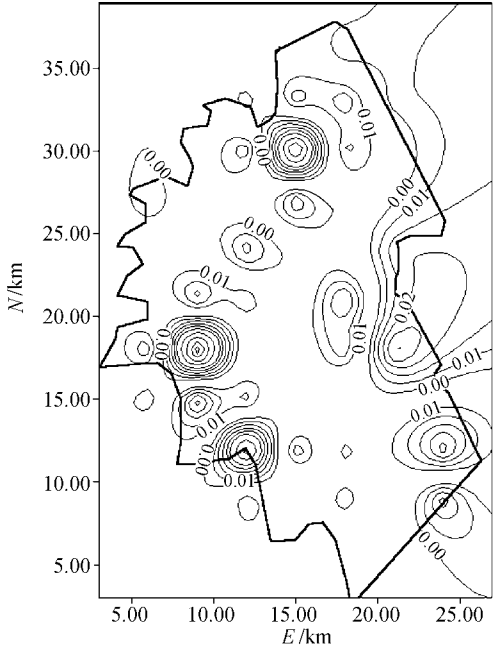


图 4 土壤含盐量剩余误差等值线
Fig.4 Residual error contour of soil salinity

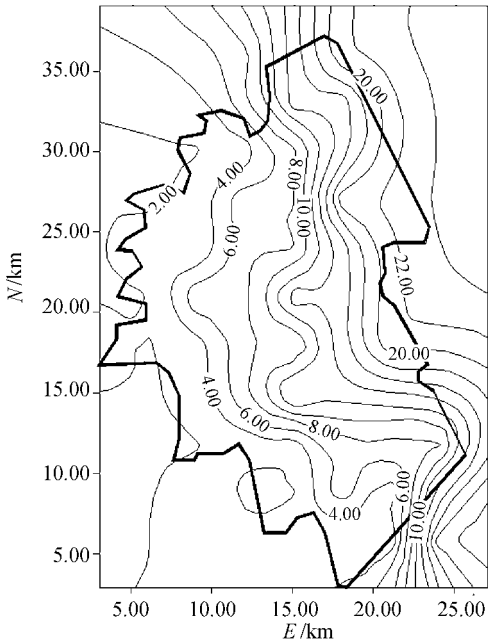


图 5 地下水含盐量等值线
Fig.5 Contour of groundwater salinity

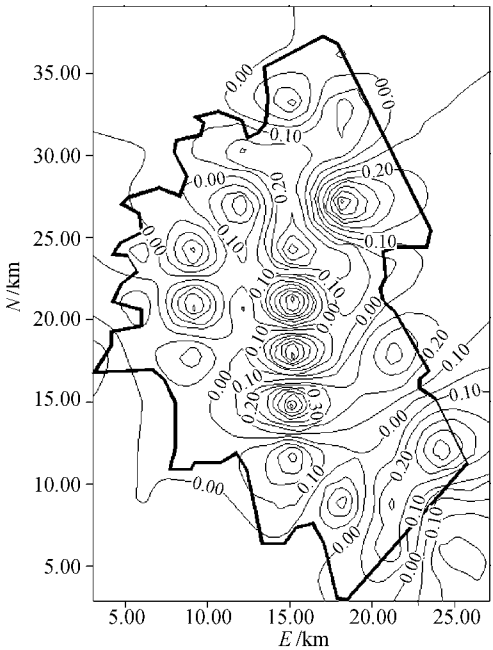


图 6 地下水含盐量剩余误差等值线
Fig.6 Residual error contour of groundwater salinity

3 结 论

a. 从图 3 和图 4 可看出,该地区土壤含盐量总体上西低东高,以县城为界,西部大部分为含盐量小于 0.15% 的脱盐土,但沿黄沙港中游两岸有局部盐土分布,主要原因是该区域以微咸水灌溉为主,加上地下水

位较高,地下水含盐量也较高,造成了‘埋头盐’抬头的现象。全县东部沿海地区土壤含盐量总体较高,沿海堤线含盐量 0.4%,等值线呈‘弓’形分布。东部地区含盐量高主要是滩涂围垦时间短,土壤熟化程度低,加上海水影响等诸多原因造成的。因此,加强该地区的水盐管理,改造盐碱田是促进农业生产发展的重要任务。从图 4 可看出,土壤含盐量剩余误差介于 0~0.04% 之间,Kriging 分析是合理的。

b. 根据图 5 和图 6 可看出,该地区地下水含盐量总体较高,小于 2 g/L 的面积约占 1/5,与土壤含盐量分布类似,地下水含盐量分布总的特点是东高西低,其等值线从东向西,可大致划分为 5 个分布区,即地下水含盐量大于 20 g/L 的东部沿海地区,地下水含盐量介于 10~20 g/L 的第 2 区,地下水含盐量介于 6~10 g/L 的第 3 区,地下水含盐量介于 2~6 g/L 的第 4 区,地下水含盐量小于 2 g/L 的第 5 区。东部地区地下水含盐量高与海水入侵、海潮影响等因素密切相关,因此,加强该区域灌溉排水管理,完善排盐降渍工程十分重要。从图 6 可看出,地下水含盐量剩余误差介于 0~0.5 g/L 之间,相对误差仅为 3%,表明 Kriging 图是可信的。

c. 综合分析图 3 和图 5 可见,两者等值线图具有相似性,表明该地区土壤含盐量和地下水是相互影响的。沿黄沙港两岸,地下水明显有盐水入侵现象,反映在土壤含盐量等值线图上,则相应地区有局部盐地。表明该地区在利用微咸水的同时,要重视控制地下水位,要灌溉、降渍工程并举,改土和治盐工程结合,尤其要重视控制地下水位。

d. 地质统计学理论为具有随机性和空间结构性两重特征的变量提供了强有力的分析方法,GSLIB 软件为计算机计算分析提供了便利手段。根据 Kriging 等值线图,可准确、直观地了解当地盐土分布、农田土壤质量状况、地下水含盐量空间分布等情况,并分析土壤盐碱化的成因及变化趋势,这为该地区合理利用微咸水、防止土壤次生盐碱化提供了依据。

参考文献:

- [1] 刘亚传,常厚春.干旱区咸水资源利用与环境[M].兰州:甘肃科技出版社,1992.75~80.
- [2] 张展羽,郭相平,汤建熙.节水控盐灌溉制度的优化设计[J].水利学报,2001(4):89~94.
- [3] 孙洪泉.地质统计学及其应用[M].徐州:中国矿业大学出版社,1990.1~5.
- [4] 侯景儒,尹镇南,李维明,等.实用地质统计学[M].北京:地质出版社,1998.9~12.
- [5] 秦耀东,李保国.应用折取克里格法估计区域地下水埋深分布[J].水利学报,1998(8):28~33.
- [6] Marnette E C L, Stein A. Spatial variability of chemical compounds related to S-Cycling in two moorland pools [J]. Water Research, 1993,27(6):1003~1012.

Spatial variability analysis of soil salinity for Binhai Plain

ZHANG Zhan-yu, ZHAN Hong-li, GUO Xiang-ping

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract: Geostatistics is applied to the theoretical analysis of sampling data of salt contents of soil and groundwater in Sheyang County, Jiangsu Province. The results show that the soil salinity obeys the normal distribution and its semi-variogram is a penta-spherical function, and that the groundwater salinity obeys the log-normal distribution and its semi-variogram is a cubic-spherical function. By use of GSLIB software, a contour map is drawn, which can be used for irrigation management and prevention of salinization of soil.

Key words: soil salinity; geostatistics; spatial variable