

不同阈值下土壤盐分的空间变异特征研究*

杨奇勇 杨劲松[†] 李晓明

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘 要 指示克里格法(Indicator Kriging, IK)应用的关键是阈值的合理选择。本文以黄淮海平原盐渍土改良区典型县域禹城市为研究区域,在 1.0 g kg^{-1} 、 2.0 g kg^{-1} 、 3.0 g kg^{-1} 等3个盐分阈值下,对0~20 cm耕地土壤盐分的变异函数、预测概率、预测概率空间分布的变化规律进行了研究。结果表明,(1)不同阈值下土壤盐分含量均具有中等强度的自相关性,随着阈值的减小,土壤盐分的空间结构性增强,变异函数的模型精度增大,因此从指示变异函数模型精度考虑, 1.0 g kg^{-1} 盐分含量为研究区域盐渍化风险评价的最佳阈值;(2)土壤盐分的预测概率最大值和预测概率均值随盐分阈值的减小而增大,可为不同土壤盐渍化风险评价目标下的阈值选择提供参考;(3)不同阈值下土壤盐分的概率预测分布存在空间上的规律性与相似性,高概率区域主要集中在研究区域的西部,低概率区域主要集中在研究区域的东部。研究区域土壤盐分含量的概率分布与地形地貌特征和河流的分布状况有着密切的关系。

关键词 土壤盐分; 阈值; 指示克里格法; 空间变异

中图分类号 S156.4

文献标识码 A

黄淮海平原存在的盐碱、瘠薄等障碍,严重地制约了区域农业的可持续发展,是我国中低产田治理的重点区域。因此,获取区域土壤盐分障碍因子的空间分布规律对盐碱改良、中低产田治理有着重要的意义。对于盐渍土改良区而言,虽然部分地区盐渍土已经改良,土壤盐分含量低,但是部分尚未改良好的盐渍土区土壤盐分含量仍然较高,呈“插花状”分布其中。这使得盐渍土改良区土壤盐分存在较大的特异值(Outlier),数据往往不成正态分布,影响变异函数的稳健性^[1],从而影响克里格估计结果。指示克里格法(Indicator Kriging, IK)法可以在不剔除重要而又实际存在的特异值的条件下处理各种不同的现象,并能抑制特异值对变异函数稳健性的影响,因此成为目前解决这类有偏数据的有力工具^[2]。

IK法自创立以来,国内外学者应用IK法在地质^[3-4]、水文^[5-6]、土壤^[7-8]、生态环境^[9-10]等领域取得了一定的进展,但是这些研究多为单一阈值下IK法局部估计在应用上的尝试,而对不同阈值下土壤属性空间变异性的研究鲜有报道。本文以禹城市0~20 cm耕层土壤盐分空间变异性为例,综合运用ArcGIS9.2和GS+7.0,从变异函数、预测概率和预测概率空间分布等方面,考察 1.0 g kg^{-1} 、 2.0 g kg^{-1} 、 3.0 g kg^{-1} 等3个盐分阈值下土壤盐分的空间异质性的变化规律,为IK法的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

禹城市位于山东省西北部,属冲积平原区的徒骇河、马颊河的二级冲积平原区,素有“小黄河”之称^[11]。地理位置处于东经 $116^{\circ}22' \sim 116^{\circ}45'$;北纬 $36^{\circ}40' \sim 37^{\circ}12'$ 之间,全市土地总面积 990 km^2 ,微地貌比较复杂,共有河滩高地、高坡地、平坡地、洼坡地、浅平洼地、决口扇形地和砂质河槽地等7种类型(图1)。禹城市属于暖温带半湿润季风气候,年均气温 13.1°C ,年均降雨量 616 mm ,约76.4%

* 公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001)、中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW-09)、国家自然科学基金项目(40771097)、国家“863”计划重点项目课题(2007AA091702)资助

[†] 通讯作者, E-mail: jsyang@issas.ac.cn

作者简介: 杨奇勇(1976-),男,湖南邵阳人,博士,主要从事土壤和水资源利用与管理及GIS应用研究。E-mail: qyyang@issas.ac.cn

收稿日期: 2010-04-25; 收到修改稿日期: 2010-07-14

的降水集中在6~9月份。禹城市内皆平原，受地形、地貌、母质、气候等因素的影响，全市形成了潮土和盐土两大土类。潮土面积967.9 km²，占土壤面积的97.77%，在全市广泛分布。全市辖11个乡镇（图2），主要农作物为小麦、玉米、棉花。在第二次土壤普查时，研究区域有机质平均含量仅7.36 g kg⁻¹，盐分平均含量高达3.13 g kg⁻¹；2003年有机质平均含量增加至12.47 g kg⁻¹，盐分平均含量下降为0.96 g kg⁻¹，但是尚未改良好的区域有机质含量很低，盐分含量较高，农作物生长受到限制。

1.2 实验设计与土壤样品采集

以ArcMap9.2为操作平台，通过屏幕数字化获取了禹城市的土壤图、地形地貌图、行政区划图和第二次土壤普查时盐渍土分布成果图等矢量图件。由于研究区域盐渍化呈“插花状分布”，因此，常规的网格采样需要加大采样密度才能反映盐分分布的实际情况，但是工作量非常大。为了对研究区域盐渍化状况进行有效评价，同时降低实验成本，采用网格-随机嵌套布点的方法进行调查[12]，即在常规网格布点的基础上，针对历史上的盐渍化严重区域通过随机布点进行加密采样。共计网格样点102个，随机样点103个，将样点坐标输入GPS进行野外采样导航。样品采集于2009年7月初，此时正是玉米生长苗期，表层土壤含盐量对玉米的生长有着重要的影响。样品采集前一段时间和样品采集时天气晴朗，部分样点处由于积盐严重形成盐斑，农作物生长受限较为严重。取样土层为0~20 cm，共采集大豆地样点5个，花生地样点2个，玉米地152个，棉花地44个，前期作物为小麦的空地样点2个（图2）。样品采集时对农户进行调查访问，并记录样点附近的地形地貌、作物长势等有关情况，并进行有关照片的拍摄。

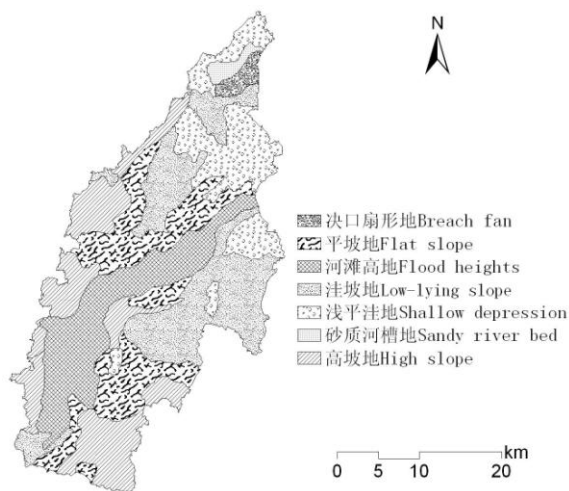


图1 研究区域地形地貌分布

Fig.1 Distribution of the landforms in the Yucheng City

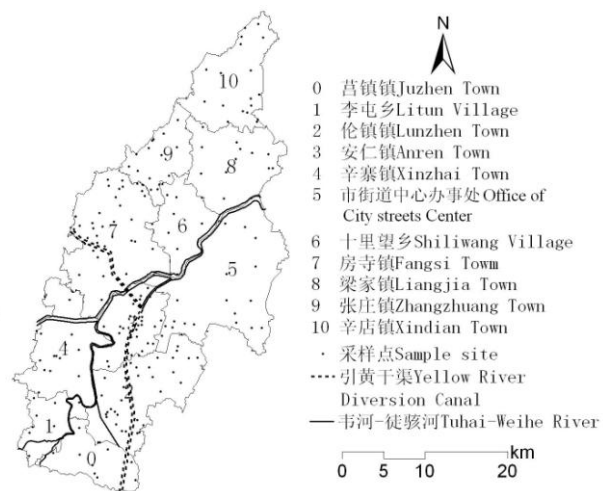


图2 研究区土壤盐分样点布设

Fig.2 Distribution of soil salinity sampling sites

1.3 样品分析

土壤样品带回实验室，风干、研磨、过2 mm筛后备用。所有土样均制备1:5土水比浸提液，并测定其电导率EC_{1:5}；从采集的土样中选取有代表性的部分土壤样品，用于测定其离子组成。测定方法参考文献[13]，采用常规分析法（土水比1:5）确定土壤各离子组成含量，计算出相应的土壤全盐含量，进一步可以得出该区土壤全盐含量与浸提液电导率之间的换算关系。

1.3.1 土壤浸提液 EC_{1:5} 准确称取10.0 g的土壤置于离心管中，加入50 ml去CO₂蒸馏水，将离心管置于振荡器上振荡5 min后，再经过4 500~5 000 r min⁻¹转速离心10 min，将获得的上清液倒入烧杯中，并立即测量其电导率EC_{1:5}。

1.3.2 土壤全盐含量 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}经换算得到。禹城市土壤全盐含量和浸提液电导率之间的换算关系为：

$$S_t = 2.420 1EC_{1:5} + 0.257 9 \quad (r = 0.981 2^{**}, p < 0.000 1, n = 40)$$

式中, S_t 表示土壤全盐含量 (g kg^{-1}); $\text{EC}_{1:5}$ 表示 1:5 土水比土壤浸提液电导率 (dS m^{-1})。

1.4 研究方法与数据处理

单元指示克里格法在文献[14-16]中已有详细论述, 本研究主要从不同阈值下土壤盐分含量的变异函数、预测概率和预测概率空间分布等方面进行对比分析。变异函数模型精度主要用决定系数 (R^2)、残差平方和 (Residual Sums of Squares, RSS) 来表征, 其中 R^2 等于变异函数模型的回归平方和在总平方和中所占的比率, 即变异函数模型所能解释的因变量变异性的百分比, 从正面判定变异函数模型拟合的优劣, 其值在 0~1 之间, 该值越大说明拟合得越好; RSS 表示剩余误差, 从反面来判定线性模型的拟合优度, 值越小模型模拟效果越好, 但是 RSS 的取值没有范围, 因此在模型精度方面优先考虑 R^2 。下面简单介绍综合运用 GS+ 和 GIS 进行单元指示克里格法分析的一般步骤:

①初步选取研究区域土壤盐分阈值。阈值原则上是可任选的, 可以是一个临界值, 也可以是一个区间范围;

②确定不同阈值下土壤盐分的指示函数。由于盐渍土改良区人们感兴趣的是盐分大于某一阈值的概率分布, 因此, 根据指示函数阈值将相应的采样点盐分数据进行二态指示变换时, 盐分大于阈值的采样点指示变换值为 1, 否则为 0。指示变换值可以用来评价不同阈值下相应采样点上土壤盐分的高低状况;

③在 GS+7.0 中分别利用不同阈值下的指示变换值进行变异函数模拟计算, 拟合得到不同盐分阈值下的最佳变异函数模型及其参数;

④将变异函数模型及其参数输入 GIS, 进行 IK 插值, 绘制不同阈值下土壤盐分含量概率分布图。计算相应阈值下盐分含量预测概率均值。

2 结果与分析

2.1 研究区域土壤盐分的统计特征

表 1、图 3 为研究区域土壤盐分的统计特征, 可以看出研究区域土壤盐分具有较大的变幅, 两极差达到 5.60 g kg^{-1} , 约有 70.73% 的样点集中在 $0.42 \sim 1.06$ 区间, 其中约有 36.59% 的样点处在 $0.71 \sim 1.01$ 区间内。说明研究区总体来看盐渍土改良取得很好的效果, 大部分地区基本消除了盐渍化, 但是土壤盐分变异系数高达 0.763, 具有中等强度的变异性, 部分样点盐分含量仍然很高, 存在盐渍化现象。正由于这一部分高值盐分样点的存在使频率图明显向左偏倚, 右边出现长尾现象。研究区域土壤盐分数据不成正态分布, 且有特异质存在, 适合用 IK 法。

表 1 土壤盐分数据统计特征

Table 1 Statistical characteristics for soil salinity data

样本数量	平均值	标准差	最小值	最大值	变异系数	偏度	峰度
Sample number	Mean(g kg^{-1})	SD	Min.(g kg^{-1})	Max.(g kg^{-1})	CV	Skewness	Kurtosis
205	1.35	1.03	0.42	6.02	0.763	1.80	3.40

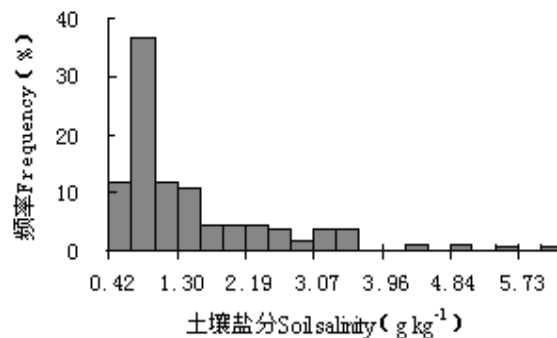


图3 盐分频率分布图

Fig.3 Frequency distribution of soil salinity

2.2 不同阈值下土壤盐分空间变异性的比较

IK法应用的关键是阈值的选择。盐分阈值可采用FAO推荐的作物全生育期平均土壤浓度临界值、作物能容忍的土壤最大盐分值等^[17]，或者根据盐渍土改良的需要选择盐渍土划分的等级阈值确定。本研究根据盐渍土改良区盐分数据的分布特征，考虑盐渍化状况，选取1.0 g kg⁻¹、2.0 g kg⁻¹、3.0 g kg⁻¹等3个盐分阈值，从变异函数、预测概率、预测概率空间分布等方面，对不同阈值下土壤盐分的空间变异性进行探讨。

3.2.1 不同阈值下土壤盐分指示变异函数特征 取两样点间最大距离的 1/2 作为最大步长，将盐分指示变换值在 GS+7.0 中进行反复模拟，遵照决定系数最大，残差最小的原则选取不同阈值下土壤盐分的指示变异函数模型及其参数（表 2）。

表 2 不同阈值下土壤盐分的指示变异函数模型

Table 2 Indicator variogram model for prediction of soil salinity using different thresholds

阈值 Threshold (g kg ⁻¹)	理论模型 Theory model	块金值 C ₀ (g kg ⁻¹)	基台值 C ₀ +C (g kg ⁻¹)	块金值/基台值 C ₀ / (C ₀ +C)	变程 Range (m)	残差 RSS	决定系数 R ²
3.0	Gaussian	0.083	0.112	0.741	48 000	1.32E-03	0.346
2.0	Gaussian	0.145	0.198	0.732	50 200	1.49E-03	0.662
1.0	Gaussian	0.186	0.282	0.660	21 500	1.77E-03	0.934

从表2中可以看出，不同盐分阈值下，土壤盐分指示变异函数均符合高斯模型。块金值C₀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些过程不容忽视^[1]。总体而言，各不同阈值下盐分的块金效应均较小，但是随着盐分阈值的减小，块金效应有增大趋势。土壤盐分块金值/基台值的变化范围在0.660~0.741之间，可见，在当前3个盐分阈值下土壤盐分均体现为中等强度的空间相关性^[18-19]。说明土壤盐分含量预测的空间分布是由结构性因素(如气候、地形地貌、土壤类型等)和随机性因素(如盐渍土改良、施肥、耕作措施等各种人为活动)共同作用的结果。随着盐分阈值的减小，土壤盐分含量的空间结构性增强。从决定系数来看，随着盐分阈值的减小，指示变异函数的模拟精度呈增大趋势，在1.0 g kg⁻¹阈值下盐分指示变异函数的拟合精度最高，R²为0.934。因此，从提高模型模拟的精度考虑，对研究区域盐渍化风险进行评价时，阈值选1.0 g kg⁻¹的低盐分阈值最佳。

3.2.2 不同阈值下土壤盐分含量预测概率比较 利用表2中的模型参数在GIS中进行IK插值，并计算出3个盐分阈值下的预测概率均值和预测概率最大值，对主要概率分布区间的分布面积信息统计如表3。

表 3 不同阈值下盐分含量概率预测变化

Fig.3 Variability of probability prediction of salt content using different thresholds

阈值 Threshold (g kg ⁻¹)	主要概率分布区间 Main interval of probability distribution	主要概率分布区间面积比 Proportion of main interval (%)	预测概率最大值 Maximum prediction probability	预测概率均值 Average prediction probability
3.0	0~0.4	99.80	0.545	0.098
2.0	0~0.4	94.57	0.706	0.170
1.0	0~0.4	77.56	1.000	0.371

从表 3 中可以看出，不同阈值下，盐分含量概率预测特征有着明显的变化规律。随着盐分阈值的减小，主要概率分布区间的面积逐渐减小，而预测概率的最大值和预测概率均值呈现增大趋势。

因此,对研究区域盐渍化风险进行评价时,可以根据实际要求的风险大小选择适合的盐分阈值。

3.2.1 不同阈值下土壤盐分含量概率预测图比较 为了探讨不同阈值下盐分含量概率预测空间分布变化规律,将不同阈值下盐分含量预测空间分布图用相同等级划分标准进行等级划分(图4)。

从图4中可以看出,不同阈值下盐分含量预测高概率和低概率在空间上总的分布规律是一致的:

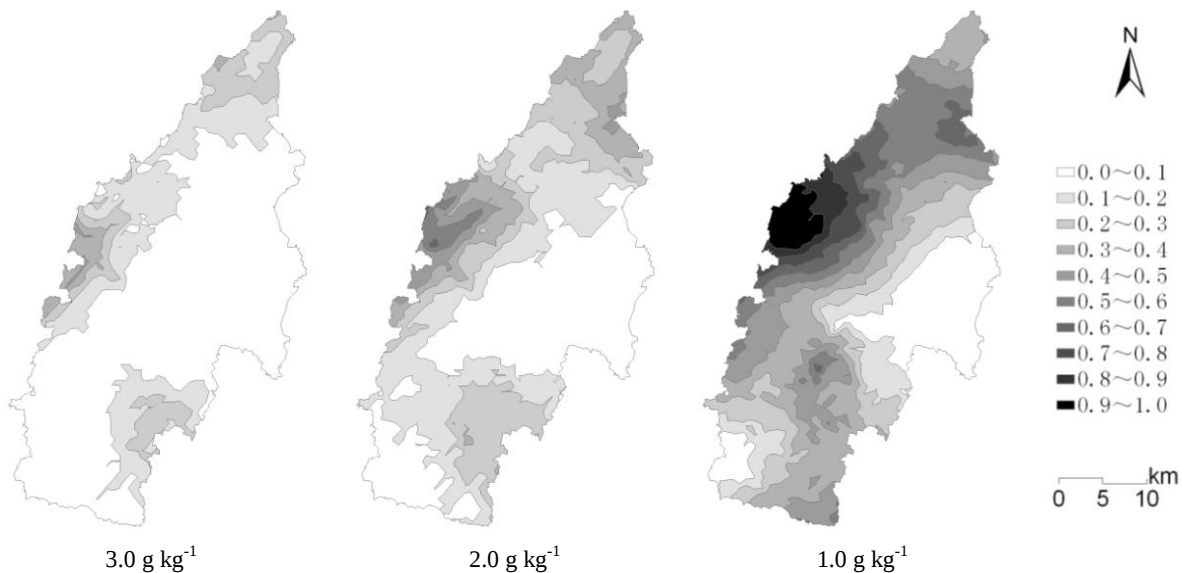


图4 不同阈值下禹城市土壤盐分指示概率预测图

Fig.4 Probability maps of soil salt content in Yucheng City using different thresholds

高概率均分布在研究区域的西部,低概率主要分布在研究区域的东部。结合表3分析后,发现高阈值的大概率区包含在低阈值的大概率内,其分布的位置(面积)随阈值的增加而逐渐较少和集中,因此,随着盐分阈值的减小,高概率分布面积越来越大,预测概率最大值和预测概率均值均增大;低阈值的小概率区包含在高阈值的小概率范围内,其分布的位置(面积)随阈值的增加而逐渐增大,因此随着盐分阈值的增大,低概率分布面积越来越大,预测概率最大值和预测概率均值越来越小。

研究区域土壤盐分的这种空间格局与禹城市地形地貌特征、土壤类型和河流的分布状况有着密切的联系。韦河-徒骇河流经区域的地形地貌以河滩高地为主,地势较高,地下水埋深多在3 m以下,土壤多为褐土化潮土,土体构型良好,土壤肥力较高,是全市著名的高产区,基本没有盐渍化威胁,在图4中以0.0~0.1的低概率分布为主,土壤含盐量低;研究区域西部是发育于高坡地上的轻质土壤,地下水埋深较浅,多在2 m左右,次生盐渍化威胁大,是全市低肥力土壤的集中带,土壤盐分含量以高概率分布为主;研究区域中南部(安仁镇、伦镇镇和房寺镇西南的禹石街道办事处结合处)是禹城市著名的盐碱土改良实验区,属盐化潮土区,地貌以微斜平地为主,多为轻壤,土壤贫瘠,地势低洼,内外排水不畅,是盐化潮土的集中分布带,有一定的次生盐渍化风险。经过多年的井灌井排治理,土壤盐分明显下降。引黄干渠莒镇镇的东部往北穿过伦镇镇和安仁镇,在安仁镇的北部折向西北流经房寺镇的南部。对照图2和图4可以看出,高概率分布区域基本在引黄干渠流经的区域。这与近年来大量地引用黄河水,导致地下水位回升,土壤次生盐渍化面积增大^[20]有关。

3 结 论

禹城市土壤盐分呈明显的左偏倚的偏态分布,利用指示IK原理,对不同阈值下,土壤盐分指示变异函数进行比较研究。不同的盐分指示阈值直接影响了指示变异函数的结构特征、模型的精度与

预测概率的大小及其空间分布。

1) 在 3 个不同的盐分阈值下, 土壤盐分含量均具有中等强度的空间相关性, 随着盐分阈值的增大, 块金值变小, 空间结构性减弱, 变异函数模型的精度减小; 土壤盐分含量预测概率最大值和预测概率均值均随盐分阈值的减小而增大; 不同阈值下盐分含量概率空间分布上具有相似性, 并且存在着规律性: 某一盐分阈值的高概率分布区域均包含在小于它的前一个盐分阈值的高概率分布范围内, 而低概率分布区域均包含在大于它的后一个盐分阈值的低概率分布范围内。

2) 在盐分阈值的选择上, 可以从盐渍土改良区的实际出发, 根据不同阈值目标的概率大小选定盐分阈值进行盐渍化风险评价; 从变异函数的模拟精度考虑, 禹城市耕地土壤盐分指示阈值选择偏小的 1.0 g kg^{-1} 盐分阈值最好。

3) 土壤盐分含量高概率区域主要集中在研究区域的西部, 低概率区域主要集中在研究区域的东部。土壤盐分含量的概率分布与研究区域的地形地貌特征和引黄灌溉等有着密切的关系。

参 考 文 献

- [1] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999: 65-132. Wang Z Q. Application of geostatistics on ecology(In Chinese). Beijing: Science Press, 1999: 65-132
- [2] 姚荣江, 杨劲松. 黄河三角洲典型地区地下水位与土壤盐分空间分布的指示克立格评价. 农业环境科学学报, 2007, 26 (6): 2 118-2 124. Yao R J, Yang J S. Evaluation on spatial distribution of groundwater depth and soil salinity by indicator kriging in a typical area of Yellow River Delta (In Chinese). Journal of Agro-Environment Science, 2007, 26 (6): 2 118-2 124
- [3] Fytas K, Chaouai N E, Lavigne M. Gold deposits estimation using indicator kriging. CIM Bull, 1990 (80): 77-83
- [4] 肖斌, 潘懋, 赵鹏大, 等. 山东归来庄金矿区 $g(\text{Au/Ag})$ 的空间信息统计学特征. 地质科学, 2001, 36 (4): 500-509. Xiao B, Pan M, Zhao P D, et al. Statistical features of spatial information to $g(\text{Au/Ag})$ —Anomaly in Guilaizhuang gold ore area, Shandong Province(In Chinese). Chinese Journal of Geology, 2001, 36 (4): 500-509
- [5] 李保国, 胡克林, 黄元仿, 等. 区域浅层地下水硝酸盐含量评价的指示克立格法. 水利学报, 2001 (3): 1-5. Li B G, Hu K L, Huang Y F, et al. Application of indicator Kriging method for assessing nitrate content of regional shallow groundwater(In Chinese). Journal of Hydraulic Engineering, 2001 (3): 1-5
- [6] 徐英, 陈亚新, 王俊生, 等. 农田土壤水分和盐分空间分布的指示克立格分析评价. 水科学进展, 2006, 17(4): 477-482. Xu Y, Chen Y X, Wang J S, et al. Using indicator Kriging to analyze and evaluate spatial distributions of soil water and salt in field(In Chinese). Advances in Water Science, 2006, 17(4): 477-482
- [7] 杨劲松, 姚荣江, 刘广明. 电磁感应仪用于土壤盐分空间变异性的指示克立格分析评价. 土壤学报, 2008, 45(4): 585-593. Yang J S, Yao R J, Liu G M. Analysis and evaluation on spatial variability of soil salinity by indicator Kriging with an electromagnetic induction gauge (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2008, 45 (4): 585-593
- [8] Larka R M, Ferguson R B. Mapping risk of soil nutrient deficiency or excess by disjunctive and indicator Kriging. Geoderma, 2004 (118): 39-53
- [9] Goovaerts P, Webster R, Dubois J P. Assessing the risk of soil contamination in the Swiss Jura using indicator geostatistics. Environmental and Ecological Statistics, 1997, 4: 31-48
- [10] James R C, Raymond E B. An indicator Kriging model for investigation of seismic hazard. Mathematical Geology, 1986, 18 (4): 409-428
- [11] 逢春浩. 黄淮海冲积平原盐碱低洼地的治理模式——以禹城县北丘洼为例. 地理研究, 1990, 9(1): 47-54. Pang C H. Model of harnessing saline-alkali in depression in the Huang-Huai-Hai Plain——Take Bei Qiuwa in Yucheng County, for example(In Chinese). Geographical Research, 1990, 9 (1): 47-54
- [12] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996: 1-3. Liu G S. Soil physical and chemical analysis and description of soil profiles (In Chinese). Beijing: Standards Press of China, 1996: 1-3
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999, 90-99. Lu R K. Analytical methods of soil and agricultural chemistry

- (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999
- [14] Raimon T D, Vera P G, Juan J E. Indicator Kriging without order relation violations. *Math Geosci*, 2008 (40): 327-347
- [15] Suro-Pérez V, Journel A G. Indicator principal component kriging. *Mathematical Geology*, 1991, 33 (5): 759-788
- [16] 侯景儒. 指示克立格法的理论及方法. *地质与勘探*, 1990, 26 (3): 28-38. Hou J R. Theory and practice for indicator kriging(In Chinese). *Geology and Prospecting*, 1990, 26 (3): 28-38
- [17] 刘全明, 陈亚新, 魏占民, 等. 土壤水盐空间变异性指示克立格阈值及其与有关函数的关系. *水利学报*, 2009, 40 (9): 1 127-1 134. Liu Q M, Chen Y X, Wei Z M, et al. Cutoff value of indicator Kriging method and the relationships between cutoff value and relative functions in expressing spatial variability of soil and salt(In Chinese). *Journal of Hydraulic Engineering*, 2009, 40 (9): 1 127-1 134
- [18] 张伟, 陈洪松, 王克林, 等. 喀斯特地区典型峰丛洼地旱季表层土壤水分空间变异性初探. *土壤学报*, 2006, 43 (4): 554-562. Zhang W, Chen H S, Wang K L, et al. Spatial variability of surface soil water in typical depressions between hills in Karst region in dry season (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43 (4): 554-562
- [19] 姚荣江, 杨劲松, 刘广明, 等. 黄河三角洲地区典型地块土壤盐分空间变异特征研究. *农业工程学报*, 2006, 22 (6): 61-66. Yao R J, Yang J S, Liu G M, et al. Spatial variability of soil salinity in characteristic field of the Yellow River Delta(In Chinese). *Transactions of the CSAE*, 2006, 22 (6): 61-66
- [20] 李志杰, 谢承陶, 林治安. 禹城引黄灌区土壤次生盐渍化的发生与防治. *土壤肥料*, 1992 (5): 36-39. Li Z J, Xie C T, Lin Z A. Yucheng soil salinization in irrigated areas and prevention of the occurrence (In Chinese). *Soils and Fertilizers*, 1992(5): 36-39

SPATIAL VARIABILITY OF SOIL SALINITY RESEARCH UNDER DIFFERENT THRESHOLDS

Yang Qiyong Yang Jingsong[†] Li Xiaoming

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract The key to application of the Indicator Kriging method is the choice of an appropriate threshold. Three soil salinity thresholds, i.e. 1.0 g kg^{-1} , 2.0 g kg^{-1} and 3.0 g kg^{-1} were set for the study on variograms, prediction probability and spatial distribution of the prediction probability of soil salinity in the top layer (0~20 cm) of a farmland in relation to soil salinity threshold in Yucheng, typical of the salt-affected soil amelioration zone in the Huang-Huai-Hai Plain. Results show (1) regardless of threshold values, salt contents in all soils are all moderate in spatial autocorrelation; however, with threshold declining, soil salinity intensifies in spatial structure and its model of variation function increases in accuracy; therefore, taking into account the accuracy of the indicator variogram model, the soil salt content of 1.0 g kg^{-1} is the optimal threshold for assessment of the risk of salinization of the studied region; (2) both the maximum value and the mean value of prediction probability increase with rising salinity threshold, which may serve as reference for selecting thresholds for different objects of soil salinization risk assessment; and (3) predictive distribution of probability prediction of soil salinity using different thresholds demonstrates certain spatial regularity and similarity; high probability is concentrated mainly in the west part of the studied region, while low probability in the east. Distribution of the prediction probability of soil salt content is closely related to landform and topography and distribution of rivers in the study area.

Key words Soils salinity; Threshold; Indicator Kriging; Spatial variability