

# 于田绿洲土壤含盐量的空间异质性研究<sup>①</sup>

胡佳楠<sup>1,2</sup>, 塔西甫拉提·特依拜<sup>1,2\*</sup>, 依力亚斯江·努尔麦麦提<sup>1,2</sup>,  
张 飞<sup>1,2</sup>, 买买提·沙吾提<sup>1,2</sup>

(1 新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2 新疆大学绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

**摘 要:** 在 GIS 背景之下, 利用地统计学, 结合于田绿洲 2014 年 5 月的土壤含盐量采样数据, 研究于田绿洲土壤含盐量的空间变异特征。分析结果显示: 各深度土壤含盐量的空间分布是不均匀的, 主要是以弧状、斑状以及条带状存在, 从总的空间分布的格局上来看, 有一定的聚集趋势; 研究区土壤含盐量主要受到荒漠化程度、植被覆盖度的影响。通过分析于田绿洲土壤含盐量的空间变异性, 有利于快速诊断土壤盐渍化, 也能够为提升土地的利用效率、保障区域的农田可持续利用提出决策依据。

**关键词:** 于田绿洲; 空间异质性; 地统计学; 土壤含盐量

中图分类号: K90 文献标识码: A

土壤质量的好坏会直接对人类正常的生活和发展产生影响<sup>[1]</sup>。新疆气候独特, 在自然和人为的共同影响之下, 有不同类型的耕地林地等变成了荒漠和盐渍地, 造成了成土因子的空间分布发生变化, 由此导致了土壤的性质发生了变化。其中, 土壤含盐量是土壤基本化学性质的一个重要的指示因子<sup>[2-3]</sup>。其能够对农作物的生长以及土地的生产力产生制约作用<sup>[4-5]</sup>。因此, 对新疆土壤质量的研究具有重要的科学意义。

自 20 世纪 70 年代以来, 土壤科学多运用地统计学的方法来进行研究, 随后运用定量的角度研究土壤的空间异质性成为一个热点问题<sup>[6-7]</sup>。Miyamoto 等<sup>[8]</sup>通过利用咸水来对土地进行浇灌, 分析了盐离子的空间变异系数的变化以及盐渍化土壤的变化水平; 熊亚兰等<sup>[9]</sup>应用地理信息系统与地质统计学原理相组合理论探讨了我国西南的丘陵区域坡面的土壤含水量时空异质性规则。结果发现, 较高的土壤含盐量, 表现出一定的碱性强度的变化趋势; 呈中等变异程度的是土壤水分和盐, pH 呈弱变异性; 罗家雄等<sup>[10]</sup>通过对天气干热水准与泥土盐渍化和撂荒地土地盐分转变之间的关系进行研究, 说明在气候干燥条件下, 土壤水盐以朝上活动较频繁。水分蒸发强烈区域主要在地下水较浅地带, 盐随水向上运动致使土壤几近终年是积盐状态。马文瑛等<sup>[11]</sup>分析了祁连山天老池小流域

土壤有机碳与环境因素的关系, 结果显示随海拔上升土壤有机碳含量增加, 土壤有机碳与土壤全氮和砂粒呈正相关, 与土壤体积质量、黏粒和粉粒呈负相关。本研究通过野外考查、采样以及将传统的统计学和地统计学方法同时结合地理信息系统(GIS)的方法, 定量地研究了于田绿洲土壤含盐量的空间异质性特征。于田绿洲土壤盐渍化情况严重影响了绿洲的生态安全, 了解绿洲土壤盐渍化在空间上的分布, 有利于对绿洲地区盐渍土的快速诊断、合理利用水资源以及改良绿洲土壤提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

于田绿洲位于 35°14′~39°29′N、81°09′~82°51′E, 地处塔里木盆地的克里雅河流域, 年均降水量为 47.3 mm, 年均蒸发量为 2 420.23 mm, 蒸降比为 51.2 : 1, 是非常典型的干旱区绿洲。绿洲外围植被覆盖度为 10%~40%, 而荒漠-绿洲交错带植被由于破坏严重, 相对稀少, 生态系统脆弱, 盐渍化问题比较突出。本文所研究的区域位于于田县的中部冲积、洪积平原, 天然生长的植被多数是干旱沙漠植被, 低洼湿地有芦苇等; 人工种植玉米、小麦、棉花等农作物和经济作物<sup>[12-14]</sup>。研究区如图 1 所示。

基金项目: 国家自然科学基金项目(U1138303、41561089) 和教育部长江学者和创新团队项目(IRT1180)资助。

\* 通讯作者(Tash@xju.edu.cn)

作者简介: 胡佳楠(1990—), 男, 新疆哈密人, 硕士研究生, 主要从事干旱区资源与环境遥感监测研究。E-mail: steven00862@163.com

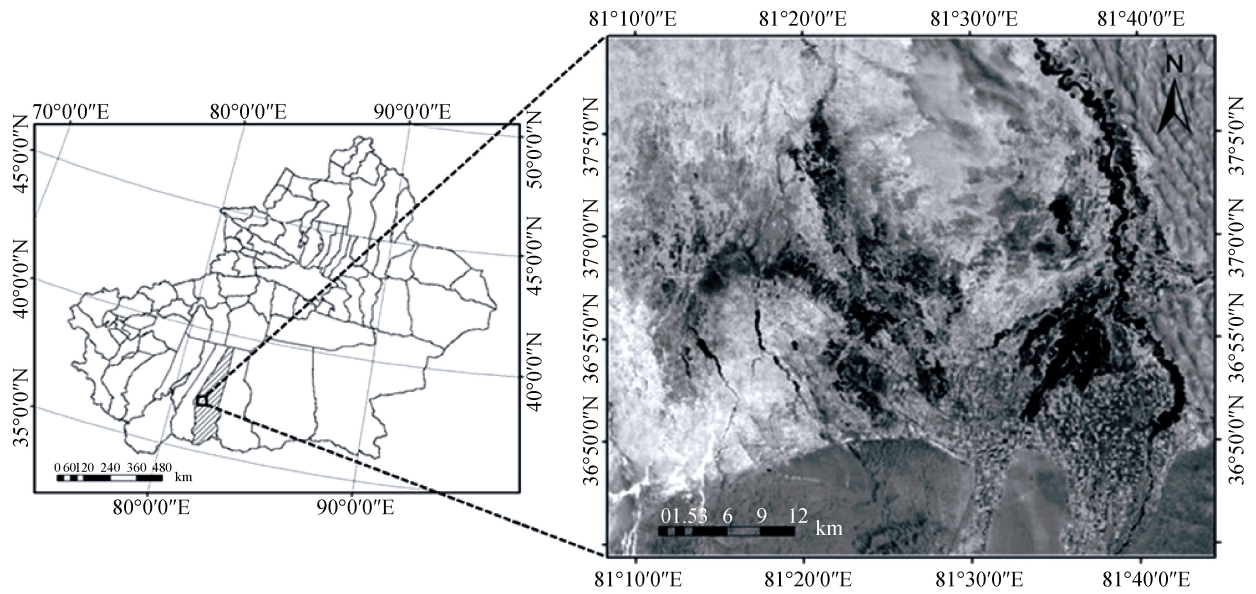


图 1 研究区示意图

Fig. 1 Sketch map of studied area

### 1.2 数据来源及研究方法

**1.2.1 数据来源及预处理** 依据研究的需要及考虑了遥感数据的可利用性等,获得了以下资料: 研究区 2014 年 5 月美国陆地卫星 Landsat TM 影像,其分辨率均为 30 m; 研究区区划图、地形图等; 2006 年新疆人民出版社出版的《于田县志》、2013 年和田地区水资源公报、2001—2014 年于田绿洲实地野外调查景观照片等资料。

图像预处理过程主要包括辐射定标、大气校正、几何精纠正、图像裁剪、空间配准和矢量化等。

**1.2.2 样点选取与实地监测** 本文研究内容依据 2014 年 5 月的 TM(30 m 分辨率)卫星遥感数据为参考,考虑到于田绿洲实际的地表植被类型、土质及盐渍化程度及其空间分布和流域情况,利用 GPS 在研究区尽可能地选取具有较好代表性的采样点,并记录其精确的经纬度、地表状况、土壤质地和植被类型,并且在采样点拍摄景观照。最终得到图 2 所示的实际采样点共 35 个,210 个样本。依据实地盐渍化程度的不同,选取五点梅花状进行采样,求其均值作为该样点的代表值。每个样本取土壤剖面,量测 0~10、

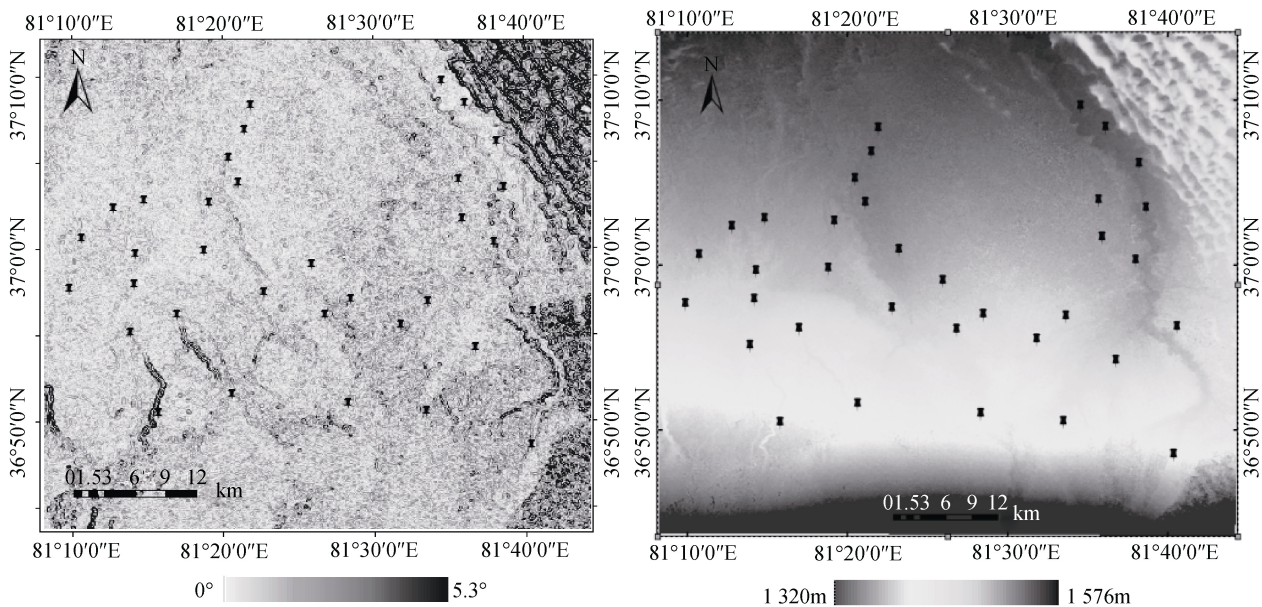


图 2 研究区土壤样点布设

Fig. 2 Soil sampling sites within studied area

10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 土层的土壤深度,选取 500 g 并去除杂质(石块、植物根系等)封袋带回实验室进行处理。同时,选 30~50 g 装入铝盒,并现场称重。

为了能够比较系统地研究于田绿洲的水盐运移状况,在研究区布设了 24 口井(部分采样点也分布在其周围),同时在其中安装了 HOBO 探测仪,对同时段的地下水埋深情况进行记录。利用记录的地下水位数据,采用克里格空间插值的方法,得到研究区 5 月份的地下水位空间分布图。同时利用在样点周围所安装的地下水位仪,对同时段研究区的地下水埋深情况进行记录。

采集的土壤样本带回实验室经过自然风干,研磨,过 1 mm 孔径筛用于土壤含盐量、土壤电导率和 pH 的测定。所有水土浸滴液均按照 v(去离子蒸馏水):m(土样)=5:1 的比例进行配置,同时参考《土壤农业化学分析方法》一书,进行相关数据的测定。其中电导率数据和含盐量数据采用 EC200 电导仪进行测定;pH 使用 pH7310 进行测定;所取铝盒土壤样本使用烘干称重法测定土壤含水量。

采用 GS+9.0 进行数据半方差函数模型分析,使用 ArcGIS10.0 中 kriging 方法进行差值分析,最后使用 SPSS18.0 软件进行相关分析。

### 1.3 数据处理

**1.3.1 植被盖度估算模型** 植被盖度可认为是研究区内植被垂直投影的面积占地表面积的百分比,是反映地表植被覆盖情况的一个重要指数,同时也是衡量生态环境是否发生变化的重要指标之一<sup>[15-17]</sup>。

本研究采取像元分解模型<sup>[18]</sup>进行估算,其模型的公式为:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

$$VC = (NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min}) \quad (2)$$

式中:NDVI 代表归一化植被指数;NIR 代表的是近红外波段的反照率;R 代表的是红光波段反射率;FVC 代表植被覆盖度。

**1.3.2 基于 RS 的荒漠化信息提取** 干旱区荒漠化信息提取精度由所选择的荒漠化信息所决定,参考研究区现有资料以及相关研究<sup>[19-20]</sup>,选用构造“植被指数(NDVI)-反照率(Albedo)特征空间”的方法来进行

荒漠化信息遥感提取:

$$DDI = k \times NDVI - Albedo \quad (3)$$

式中:DDI 为荒漠化分级指数;k 由特征空间中拟合的曲线率确定。

$$Albedo = 0.356_{\rho_{TM1}} + 0.130_{\rho_{TM3}} + 0.373_{\rho_{TM3}} + 0.085_{\rho_{TM5}} + 0.072_{\rho_{TM7}} - 0.0018 \quad (5)$$

式中:Albedo 为地表反照率;Albedo<sub>max</sub>、Albedo<sub>min</sub> 分别表示研究区地表反照率的最大值和最小值。

本研究基于 ArcGIS10.0 及 ENVI5.0 处理平台,参照公式(3)、(4)、(5)中所利用的荒漠化信息提取方法以及荒漠化制定的标准,将研究区划分为无明显荒漠化、轻度荒漠化、中度荒漠化、重度荒漠化。

**1.3.3 地统计学分析方法** 地统计学的方法是以区域化变量理论为中心和基础,以样本的变异函数及空间相关为工具的一种描述地质问题的数学方法,其中最为经典的方法有半方差函数和 kriging 插值法<sup>[21]</sup>。此方法可以有效描述土壤要素在空间上的分布变异特征<sup>[22]</sup>,半方差函数的通式为:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (6)$$

式中:(h)为半方差函数;h 为步长,描述分隔两样点的矢量。N(h)代表相距 h 的样点对数目。Z(x<sub>i</sub>) 和 Z(x<sub>i+h</sub>) 分别描述区域化变量 Z(x) 在 x<sub>i</sub> 和 x<sub>i+h</sub> 处所取的实际测量值。

本研究利用地统计学软件 GS+9.0 来模拟不同深度土壤含盐量的半方差函数,所得到的模型参数结合 ArcGIS10.0 的地统计学模块,得出不同深度土壤含盐量的空间分布格局。同时将研究区坡度、高程、植被覆盖率和荒漠化程度进行空间叠加,通过此方法来计算研究区在不同的环境背景值下土壤含盐量的均值。利用 SPSS 18.0 方差分析模块来完成不同环境背景值对土壤含盐量空间分异造成影响的贡献率排序。

## 2 结果与分析

### 2.1 植被覆盖度和荒漠化程度遥感解译结果

利用公式 (1)~(4) 在 ENVI 5.0 软件下得到研究区 2013 年 5 月的植被盖度图和荒漠化程度的解译结果,如表 1、表 2 和图 3、图 4 所示。同时利用 ArcGIS10.0 软件下利用克里格空间插值方法得到研究区地下水位空间分布结果,如表 3、图 5 所示。

表 1 植被覆盖度 TM 影像解译统计  
Table 1 Statistics of vegetation coverage of TM image

植被覆盖度 (%)	<20	20~40	40~60	60~80	>80
面积 (km <sup>2</sup> )	988.80	723.33	317.23	311.31	309.83
比重 (%)	37.31	26.79	12.47	11.75	11.68



表 2 研究区各类荒漠化等级面积  
Table 2 Areas of desertification of different grades

荒漠化等级	无明显荒漠化	轻度荒漠化	中度荒漠化	重度荒漠化
面积(km <sup>2</sup> )	637.81	485.79	1 423.84	103.06
比重(%)	24.06	18.32	53.71	3.91

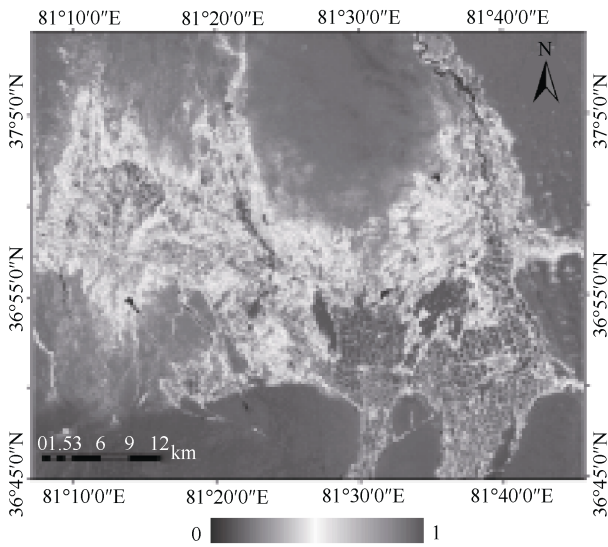


图 3 研究区植被盖度图  
Fig. 3 Vegetation coverage of studied area

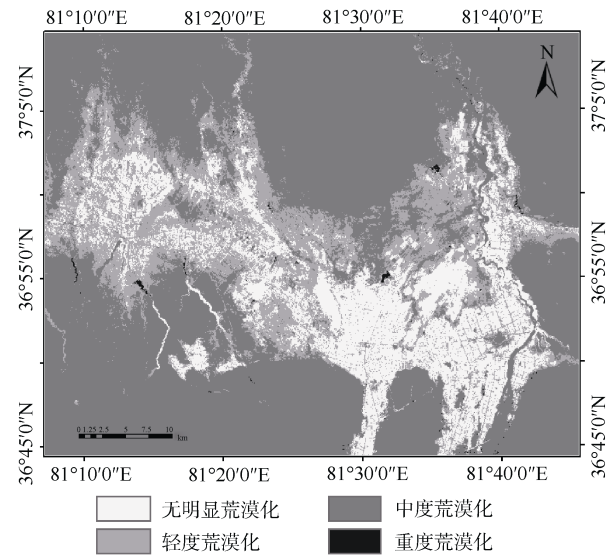


图 4 研究区荒漠化程度分布图  
Fig. 4 desertification extent of studied area

表 3 研究区不同地下水埋深面积  
Table 3 Areas of groundwater of different grades

地下水埋深(m)	<1	1~3	3~5	>5
面积(km <sup>2</sup> )	1340.36	786.72	355.92	167.5
比重(%)	50.57	29.68	13.42	6.33

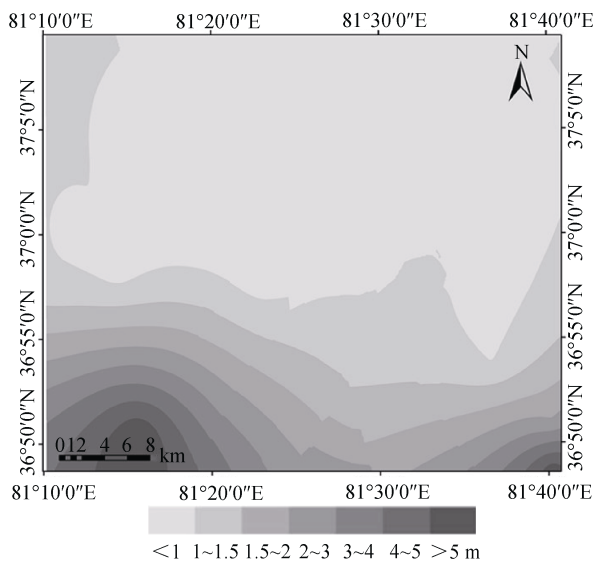


图 5 研究区地下水位空间分布图  
Fig. 5 Spatial variation of groundwater depth of studied area

## 2.2 土壤含盐量的空间结构

利用地统计学方法对研究区盐渍土要素进行描述性统计分析时,需要让所研究的变量都能够基本满足正态分布或者近似满足于正态分布,否则可能会有

比例效应的产生<sup>[23]</sup>。与此同时对研究区的样本选择柯尔莫哥洛夫-斯米诺夫(K-S 检验)方法进行检验,对于不符合要求的样本进行对数变换最终使其呈现正态分布即可使用<sup>[24]</sup>。表中的变异系数是样本的标准差和均值的百分数,其表示样本的离散程度,  $CV > 100\%$ , 说明其为强变异性;  $10\% \leq CV \leq 100\%$ , 表示其为中等变异性;  $CV < 10\%$ , 表明其为弱变异性<sup>[25]</sup>。

对于田绿洲表层盐渍土的主要参数进行描述性统计分析,结果如表 4 所示。前 5 层含盐量的变异系数均  $> 100\%$ , 属于强变异性。由于受不同因素的影响,包括从事农业活动中不合理的水资源利用以及天气炎热导致水分的蒸发,使得发生水盐运移的现象,溶解于水中的盐随着水分的蒸发迁移到土壤表层,导致于田绿洲盐分表聚强烈,土壤盐渍化现象严重。

为了更清晰地发现土壤盐渍化主要参数在空间上的分布关系,参考了相关文献<sup>[25-26]</sup>利用 GS+9.0 地统计学软件选择并确定了半方差函数理论模型和参数。土壤盐渍化主要参数的决定系数主要在 0.278 ~ 0.653 之间,表明拟合程度较好,残差较小,得到具体的参数如表 5 所示,半方差函数模型如图 6 所示。

表 4 于田绿洲土壤含盐量描述性统计  
Table 4 Statistical parameters of salt contents in different soil depths in Yutian Oasis

土层 (cm)	最小值 (g/kg)	最大值 (g/kg)	均值 (g/kg)	中值 (g/kg)	标准差	方差	变异系数 (%)	偏度系数	峰度系数	K-SP
0~10	0.18	31.50	8.88	4.61	9.168	84.063	103.24	0.999	0.094	1.146
10~20	0.00	7.20	1.17	0.70	1.475	2.177	126.06	2.334	7.318	1.264
20~40	0.00	2.50	0.67	0.50	0.669	0.448	100.05	0.861	0.126	1.105
40~60	0.00	2.10	0.54	0.50	0.551	0.304	102.04	1.073	0.908	0.969
60~80	0.00	1.70	0.47	0.20	0.504	0.254	107.23	1.087	0.332	1.308
80~100	0.00	1.40	0.43	0.40	0.386	0.149	89.77	0.644	-0.381	0.897

表 5 于田绿洲土壤含盐量的半方差函数类型和模型参数  
Table 5 Semivariance function types and model parameters of salt contents in different soil depths in Yutian Oasis

土层 (cm)	理论模型	块金值 $C_0$	基台值 $(C_0+C)$	变程 $a$	基底效应 $(C/C_0+C)$	决定系数 $R^2$	分维度 $D$
0~10	指数模型	24.582	29.230	0.09	0.841	0.653	1.925
10~20	线性模型	1.506	1.855	0.53	0.812	0.549	1.685
20~40	高斯模型	0.378	0.442	0.09	0.855	0.353	1.944
40~60	指数模型	0.237	0.286	0.06	0.829	0.426	1.960
60~80	指数模型	0.174	0.243	0.05	0.716	0.605	1.952
80~100	线性模型	0.117	0.156	0.53	0.749	0.408	1.990

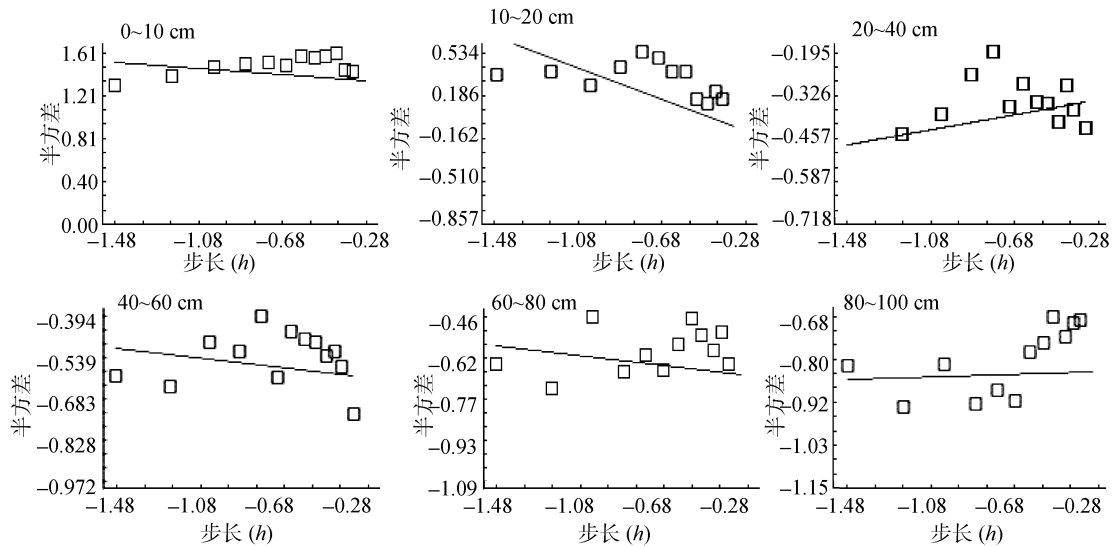


图 6 于田绿洲各深度土壤含盐量的半方差函数图  
Fig. 6 Semivariance function of salt content in each soil depth in Yutian Oasis

表 5 中，块金值  $C_0$  表示由随机因素所造成的变异；基台值  $C_0+C$  表示系统总的变异，较大的基台值说明系统变量拥有较大的空间变异性<sup>[27]</sup>。 $a$  代表变程，表示区域变化量空间的自相关范围的大小<sup>[28]</sup>。结构性因子  $(C/(C_0+C))$  表示空间的异质性程度，按照区域变化量的空间相关性程度的分级标准：比值  $>75\%$ 、 $25\% \sim 75\%$ 、 $<25\%$  分别表示区域变化量的空间相关性较弱、中等、较强<sup>[29]</sup>。

由表 5 可以看出，不同深度土壤含盐量的块金值  $C_0$  都是正值，说明有短距离差异、采样的误差、固有和随机变异引起的多种正基底效应的存在<sup>[30]</sup>。本

研究中 4 种土壤要素的基底效应均  $>75\%$ ，表明 4 种土壤要素的空间分布表现为强相关性，说明该研究区各土壤要素的空间异质性多是由随机的因素和结构性因素引起的，地形、气候和土壤类型等结构性的因素和历史上的人类活动等随机因素共同作用的结果。

### 2.3 土壤含盐量的空间格局

为了更加直观地展现于田绿洲含盐量的空间分布情况，根据地统计学方法得到的半方差函数模型，选择 Kriging 插值方法，对于田绿洲含盐量的空间分布情况进行插值分析。

如图 7 所示,于田绿洲土壤含盐量的空间分布情况主要表现为:各个深度土壤含盐量的空间分布是不均匀的,主要以弧状、条带状以及斑状分布。与此同时,在空间中的分布上呈现出一定聚集的趋势,其高值区域主要集中在阿热勒乡东南部、先拜巴扎镇南部以及喀尔克乡周围;低值区向斯也克乡周围的较高值区域移动,且移动趋势明显,移动的梯度大,不同梯度间土壤含盐量的相差较大。随土壤深度的增加,于田绿洲土壤含盐量的低值区向高值区移动结果显示

出:以斯也克乡为主要的聚集中心,周围以层状分布且向斯也克乡为中心呈递增的变化,且土壤含盐量的空间递进结构较好。以不同深度土壤含盐量的聚集中心的角度来分析,0~10 cm 深度土壤含盐量的高值形状多呈现出聚集无完整的几何聚集中心,而低值区集中在阿热勒乡周围。随土壤深度的增加,10~60 cm 深度的土壤含盐量主要以弧状以及条带状的分布为主,同时空间集聚的梯度有所减小。而 60~100 cm 土壤含盐量的空间梯度明显减小,同时,多以层状、

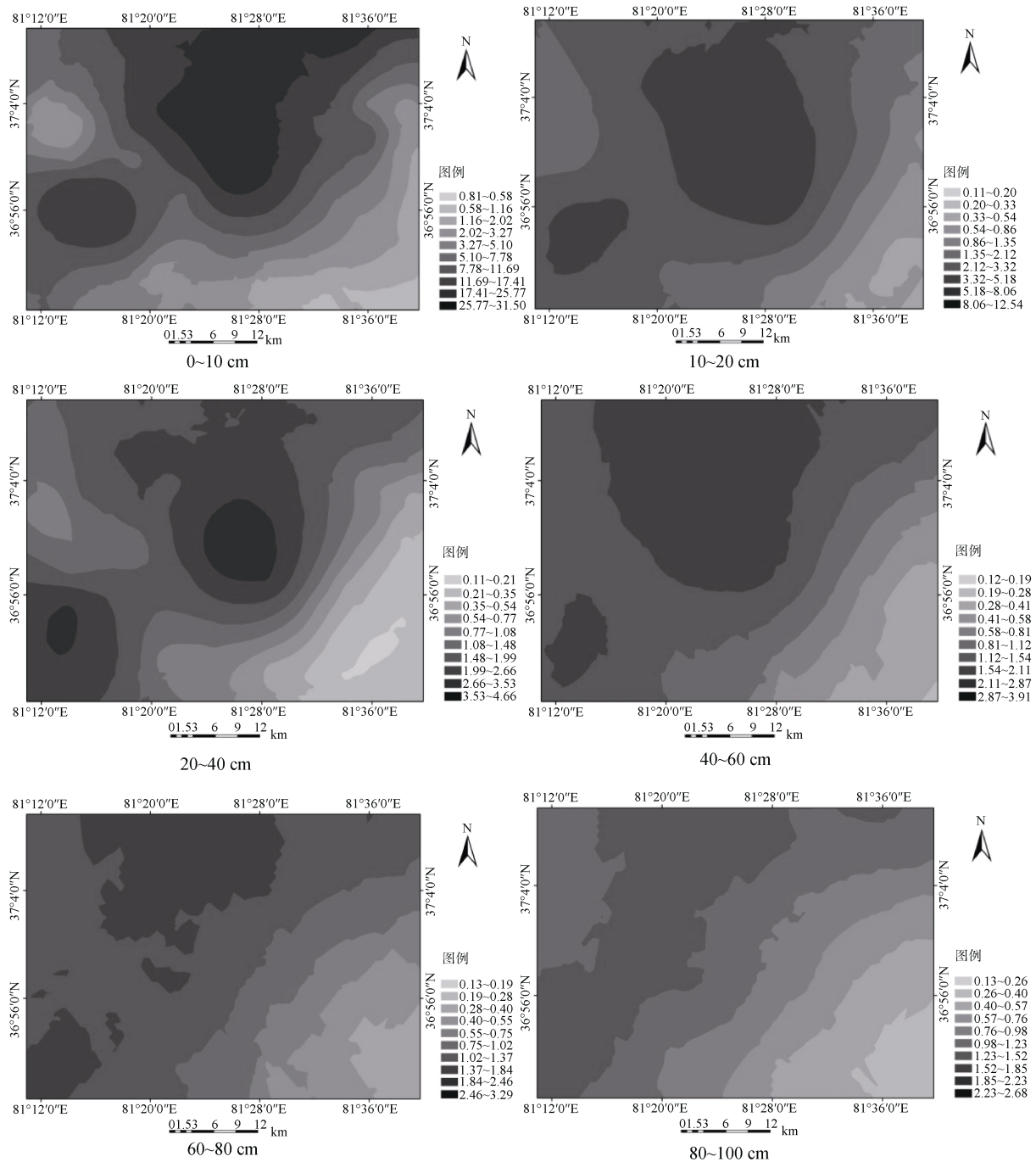


图 7 不同深度土壤含盐量的空间插值分布  
Fig. 7 Spatial interpolation distribution of salt content in each depth

条带状的分布,其高值的聚集区域发生了变化和迁移。从于田绿洲整体能够清晰地看出,绿洲外围的土壤含盐量值都远高于绿洲内部。绿洲外围的植被稀疏,同时有沙漠的存在而导致绿洲外围土壤的下渗率较高,蒸发相对于绿洲的内部来看是更为强烈的,由此导致了地下水位的抬升,从而使得绿洲外围的土壤含盐量较高,逐渐发展成了重度盐渍化的空间分布。

## 2.4 土壤含盐量空间变异的影响因素

### 2.4.1 环境背景对土壤含盐量的影响 从表 6 可

以看出,环境背景的不同导致对于田绿洲土壤含盐量的影响不同。高程和坡度对不同深度的土壤含盐量的影响不大。土壤含盐量均值从总体上来看,随着土壤深度的增加有减小的趋势。在不同植被覆盖下的土壤含盐量的均值差异较大,同时随植被覆盖度的增加,土壤含盐量呈现出上升的趋势。从荒漠化程度来看,土壤含盐量的均值随荒漠化程度的增加而呈现增加的趋势。地下水埋深对土壤含盐量的影响是最大的,土壤含盐量的均值随着地下水埋深的增加而减小。

表 6 不同环境背景下的土壤含盐量均值(g/kg)  
Table 6 Soil salt content of different environmental background

影响因素		0~10 cm	10~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	60~80 cm	80~100cm
坡度(°)	0~0.5	5.03	1.23	0.67	0.49	0.37	0.32
	0.5~1.0	4.61	1.07	0.71	0.42	0.26	0.27
	1.0~1.5	7.21	1.02	0.60	0.37	0.25	0.24
	1.5~2.0	8.01	0.67	0.42	0.32	0.19	0.19
	2.0~2.5	5.68	0.66	0.41	0.31	0.14	0.18
海拔(m)	1 331~1 361	7.69	1.55	0.89	0.60	0.42	0.41
	1 361~1 391	5.2	1.61	0.67	0.51	0.35	0.31
	1 391~1 421	3.78	1.45	0.54	0.43	0.36	0.28
	1 421~1 451	2.04	0.61	0.41	0.36	0.33	0.22
	1 451~1 481	2.84	0.91	0.86	0.50	0.41	0.32
植被覆盖度(%)	0~20	2.15	0.75	0.85	0.55	0.38	0.36
	20~40	3.48	0.95	0.87	0.57	0.41	0.37
	40~60	3.96	1.12	0.54	0.47	0.36	0.31
	60~80	5.62	1.48	0.45	0.44	0.37	0.30
	80~100	7.17	1.36	0.27	0.29	0.26	0.19
荒漠化程度	无明显荒漠化	3.11	2.34	1.84	1.31	0.96	0.63
	轻度荒漠化	4.36	1.67	1.25	0.96	0.72	0.36
	中度荒漠化	6.31	0.98	0.60	0.53	0.41	0.27
	重度荒漠化	8.23	0.72	0.43	0.37	0.29	0.16
地下水埋深(m)	<1	8.48	5.87	2.13	1.85	1.64	1.27
	1~3	6.17	3.48	2.01	1.53	1.03	0.96
	3~5	2.33	1.05	0.87	0.72	0.41	0.22
	>5	0.73	0.42	0.36	0.28	0.17	0.09

2.4.2 影响土壤含盐量的主要环境因子 通过 SPSS 18.0 软件,对影响土壤含盐量的不同因素进行分析,利用此方法判定各环境因子对土壤含盐量空间变异的贡献率排名,同时找出影响土壤含盐量的主要因子。从表 7 所示的统计值可以看出,土壤含盐量主要受地下水埋深、植被盖度、荒漠化程度等的影响。

地下水埋深对于土壤积盐程度影响很大,它关系着土壤中的毛细水是否能够到达地表,从而使得土壤积盐。在地下水埋深小于 1 m 的时候,由于研究区地下水的矿化度很高,在地下水中的盐分通过毛细管的作用上升到地表,同时在蒸发的作用下,最终导致土

壤中积累了大量的盐分。地下水矿化度对于土壤含盐量的影响伴随着地下水埋深的增加而减小,因此于田绿洲的土壤盐渍化与地下水埋深联系非常密切,地下水埋深越浅,土壤盐渍化程度越严重,土壤含盐量也越高。

植被盖度较大的区域,呈现出较大的土壤含盐量。从于田绿洲植被盖度图(图 3)和土壤含盐量空间插值分布图(图 7)来看,土壤含盐量较大的区域,有大部分都是分布在植被覆盖度较高且离耕地较为接近的区域。于田绿洲主要种植以棉花、玉米和小麦为主的农作物,根据实地的考察调研资料能够发现,于

表 7 不同环境因子影响下的各层土壤含盐量均值的方差统计  
Table 7 Variance statistical value of different depth soil salt content under different influence factors

土层(cm)	坡度	海拔	植被	荒漠化	地下水埋深
0~10	9.798	15.626	19.838	17.236	22.165
10~20	0.214	0.421	0.365	0.483	0.694
20~40	0.054	0.033	0.117	0.092	0.153
40~60	0.022	0.057	0.072	0.055	0.098
60~80	0.013	0.029	0.073	0.038	0.101
80~100	0.007	0.019	0.047	0.023	0.053
方差均值	1.685	2.697	3.418	2.987	3.877
均值排名	5	4	2	3	1

田绿洲的农耕人民,在对作物进行种植和管理时,有配套管理不完善以及种植与管理脱节的特点。从耕种的角度来看,于田绿洲农耕地每年都大面积地种植棉花和小麦、玉米等作物;但是在管理方面,由于较为落后,缺少现代化的耕作手段和管理机制,对离自己较近的耕作区较为重视,但是对于距离较远的耕作区,对其管理较为疏忽,这在某些方面导致了耕作区的农作物生长状况出现了一些区域性的差异。

于田绿洲荒漠化处于无明显荒漠化和轻度荒漠化时,土壤厚度大,可溶性盐易在土壤中富集;而当荒漠化处于中度荒漠化和重度荒漠化时,土壤浅薄,土壤中可溶性盐却由于缺乏载体而易受大风的侵蚀。从人为角度来考虑,荒漠化程度较轻同时距离人较近的区域多数是其耕作区,一系列的耕作活动包括施肥、耕种等也会造成土壤盐基离子的增加,从而使得该区域的土壤含盐量增大。

### 3 结论与讨论

本文利用野外实地考察与应用经典统计学、应用地统计学和 GIS 相结合的方法,研究了于田绿洲土壤含盐量的空间变异性和周围环境之间的相互关系。

研究区 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 深度土壤含盐量的半方差函数理论模型分别符合线性模型、指数模型和高斯模型;于田绿洲的各深度土壤含盐量总的空间分布上呈现出不均匀且主要以条弧状、斑状和条带状分布,同时其在总的空间分布上有一定的聚集趋势。

于田绿洲土壤含盐量主要受地下水埋深、植被覆盖度和荒漠化程度的影响。地下水埋深越浅的区域,土壤含盐量相对较高,这主要是由于地下水埋深较浅的区域地下水中的盐分通过毛细管的作用上升到地表,同时在蒸发的作用下,最终导致土壤中积累了大量的盐分。植被覆盖度较大的区域,其土壤含盐量相对较高,这主要是因为当地居民对其附近耕作区进行

了一系列的人为活动,使耕作区附近的土壤含盐离子高。同时,荒漠化程度对于田绿洲土壤含盐量也有一定的影响,荒漠化程度越高,越容易受大风的侵蚀,使得盐基离子不容易存在于载体中,使得土壤含盐量增大。

从上述分析来看,于田绿洲盐渍化问题较为严重,土壤盐渍化主要分布于绿洲的边缘,同时绿洲内部也有被侵蚀的趋势,需要全面采取一些积极有效的措施来提高水资源的利用率,改良土壤盐渍化。土壤盐渍化是一个复杂的问题,其主要参数的空间异质性是存在于空间和时间上的,如要更加深刻地去认识这一问题,还需通过连续的取样去分析在不同时间段上的异质性。

### 参考文献:

- [1] 赵振亮,塔西甫拉提·特依拜,丁建丽,等.新疆典型绿洲土壤电导率和 pH 值的光谱响应特征[J].中国沙漠,2013,33(5):1413-1419
- [2] 郑田,李建贵,李卫红,等.塔里木河下游绿洲荒漠过渡带土壤异质性及对植物群落的影响[J].中国沙漠,2010,30(1):128-134
- [3] 邱扬,傅伯杰,王军.土壤水分时空变异及其与环境因子的关系[J].生态学杂志,2007,26(1):100-107
- [4] 毛明海.杭州湾萧山围垦区环境变化和土地集约利用研究[J].经济地理,2002,22:91-95
- [5] 慎佳泓,胡仁勇,李铭红,等.杭州湾和乐清湾滩涂围垦对湿地植物多样性的影响[J].浙江大学学报,2006,33:324-329
- [6] 姚荣江,杨劲松,刘广明,等.黄河三角洲地区典型地块地下水特征的空间变异性研究[J].土壤通报,2006,37(6):1071-1075
- [7] 宋新山,邓伟,何岩,等.土壤盐分空间分异研究方法及其展望[J].土壤通报,2001,32(6):250-254
- [8] Miyamoto S, Chacon A, Hossain M, et al. Soil salinity of urban turf areas irrigated with saline water[J]. Landscape and Urban Planning, 2005, 71: 233-241
- [9] 熊亚兰,魏朝富.西南丘陵区坡地土壤水分的时空变异[J].土壤通报,2006,37(1):22-26



- [10] 罗家雄. 新疆垦区盐碱地改良[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985
- [11] 马文瑛, 赵传燕, 王超. 祁连山天老池小流域土壤有机碳空间异质性及其影响因素[J]. 土壤, 2015, 46(3): 426-432
- [12] 宋玉, 塔西甫拉提·特依拜, 吴雪梅, 等. 于田绿洲不同季节表层土壤盐渍化程度的空间变异特征[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(6): 171-176
- [13] 瓦哈甫·哈力克, 塔西甫拉提·特依拜, 海米提·依米提, 等. 新疆于田绿洲土地利用变化的人文驱动力分析[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(6): 1-6
- [14] 满苏尔·沙比提, 玉苏甫·买买提, 娜斯曼·那斯尔丁. 1991—2011 年新疆于田绿洲土地利用/覆被时空变化特征分析[J]. 冰川冻土, 2014, 36(3): 582-589
- [15] 周婷, 张寅生, 高海峰, 等. 青藏高原高寒草地植被指数变化与地表温度的相互关系[J]. 冰川冻土, 2015, 37(1): 58-69
- [16] 李奇虎, 陈亚宁. 1981—2006 年西北干旱区 NDVI 时空变化分布对水热条件的影响[J]. 冰川冻土, 2014, 36(2): 327-334
- [17] 牛宝茹, 刘俊荣, 王政伟. 干旱区植被盖度提取模型的建立[J]. 地球信息科学, 2005, 7(1): 84-86
- [18] 雷磊, 塔西甫拉提·特依拜, 李金香, 等. 干旱区典型绿洲地表温度与植被盖度相关性研究[J]. 中国沙漠, 2011, 31(4): 1001-1007
- [19] 潘竟虎, 秦晓娟. 基于植被指数-反照率特征空间的沙漠化信息遥感提取[J]. 测绘科学, 2010, 35(3): 193-195
- [20] 曾永年, 向南平, 冯兆东, 等. Albedo-NDVI 特征空间及沙漠化遥感监测指数研究[J]. 地理科学, 2006, 26(1): 75-81
- [21] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 37-121
- [22] 于洋, 赵业婷, 常庆瑞, 等. 渭北台塬耕地土壤速效养分时空变异特征[J]. 土壤学报, 2015, 52(6): 55-65
- [23] 姚荣江, 杨劲松, 姜龙, 等. 基于聚类分析的土壤盐渍坡面特征及其空间分布研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(1): 56-65
- [24] 杨玉建, 杨劲松. 典型潮土区土壤耕层盐分含量的趋势效应研究[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(6): 10-13
- [25] 胡克林, 张凤荣, 吕贻忠, 等. 北京市大兴区土壤重金属含量的空间分布特征[J]. 环境科学学报, 2004(24): 463-468
- [26] 宋新山, 何岩, 汪永辉. 水土化学场理论在松嫩平原盐渍土研究中的应用[J]. 地理科学, 2003, 23(1): 72-76
- [27] 高婷婷, 丁建丽, 张飞, 等. 基于流域尺度的土壤盐分空间变异特征[J]. 生态学报, 2010, 30(10): 2695-2705
- [28] 杨帆, 章光新, 等. 松嫩平原西部土壤盐碱化空间变异与微地形关系研究[J]. 地理科学, 2009, 29(6): 869-873
- [29] Robertson G P, Klingensmith K M, Klug M J, et al. Soil resources, microbial activity and primary production across an agricultural ecosystem[J]. Ecological Applications, 1997, 7(1): 158-170
- [30] 王政权. 地统计学及其在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 31-72

## Spatial Variability of Soil Salt Content in Yutian Oasis

HU Jianan<sup>1,2</sup>, Tashpolat TIYIP<sup>1,2\*</sup>, Ilyas NURMEMET<sup>1,2</sup>, ZHANG Fei<sup>1,2</sup>, Mamat SAWUT<sup>1,2</sup>

(1 College of Resource and Environment Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

2 Key Laboratory of Oasis Ecology (Xinjiang University), Ministry of Education, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** By using GIS and geostatistics, combining with field monitoring of soil salt content in May of 2014, the spatial variability characteristics of soil salt content in Yutian Oasis was investigated. The results indicated that the soil salt content was distributed unevenly, mainly in arc, patchy and stripped shapes, showed a certain spatial agglomeration in general. Soil salt content was mainly influenced by desertification and vegetation coverage. The study was beneficial to the rapid diagnosis of soil salinization and to provide the basis of decision-making for improving the efficiency of land use and ensuring the sustainable development of regional farmland.

**Key words:** Yutian Oasis; Spatial variability; Geostatistics; Soil salt content