

土壤总盐、pH 及总碱度空间变异特征研究^①

盛建东^{1,3} 杨玉玲² 陈冰¹ 武红旗¹

(1 新疆农业大学资源环境学院 乌鲁木齐 830052; 2 中国科学院生态与地理研究所 乌鲁木齐 830011;

3 中国农业大学资源与环境学院 北京 100094)

摘要 在新垦土地以 15m×15m 的网格分 3 层采集土壤样品, 对不同层次土壤总盐、pH 及总碱度的空间变异性进行研究。结果表明: 研究区土壤总盐含量普遍较低, 土壤表层积盐作用不明显; 土壤 pH 及总碱度较高, 普遍达到碱化指标; 不同层次土壤总盐与总碱度为中等程度变异水平, pH 为弱变异水平; 不同层次土壤总盐、pH 及总碱度的空间变异特征具有一定的差异, 但结构性因素对三者的空间变异起主导作用。利用 Kriging 插值法绘制土壤盐分、pH 及总碱度的等值线图, 可以作为土壤盐碱改良的依据。

关键词 总盐; pH; 总碱度; 空间变异

中图分类号 S153.6

盐碱化是干旱区土壤的一个普遍特征, 盐碱土改良利用是土壤科学一个非常重要的研究内容。从 20 世纪 60 年代开始, 地统计学的区域化变量理论逐渐被应用于土壤科学的研究中^[1,2], 尤其是用在土壤水分特征及状态参数^[3]、物理性质^[4]、化学性质、重金属^[5]及其他元素的空间变异研究中。随着精准农业战略思想的提出, 利用地统计学理论对农田土壤养分的变异特征进行了许多研究^[6,7], 但对新垦农田的土壤特征空间变异性研究较少, 尤其土壤盐碱化程度的空间变异研究更少^[8]。为此本文依托克拉玛依干旱生态农业开发区, 选择一新垦条田, 进行了小尺度(15 m)下不同层次土壤总盐、pH 与总碱度空间变异特征的研究, 为该区盐碱土改良与培肥以及农业生产提供可借鉴的信息。

1 研究区基本概况与采样方法

1.1 研究区基本概况

研究区位于新疆准噶尔盆地西部边缘, 隶属于克拉玛依市, 西北向毗邻于加依尔山、成吉思汗山。研究区内地下水位 10m 以下, 地表植被是以梭梭、假木贼、柽柳为主的荒漠植被。

克拉玛依市属于温带大陆性气候, 夏季炎热, 冬季寒冷, 年均气温 8℃, 最冷月平均气温-16.7℃, 最热月平均气温 27.4℃, 全年日平均气温≥10℃积

温约 4000℃; 干旱少雨, 年降水量约 105 mm, 蒸发量 3545 mm; 春夏季多风, 每年 4~10 月≥5 级风日数为 119.7 天, ≥8 级风日数为 45.6 天, 最大风速可达 42.2 m/s, 主风向西北。

1.2 样点布置与采样分析

研究区总面积约 7200 m², 取样间距 15 m, 分别按 0~30、30~60、60~100 cm 分层取样, 采集土样 135 个, 样点分布见图 1。室内进行土壤总盐、pH 与总碱度分析测定, 分析方法采用常规方法^[9]。

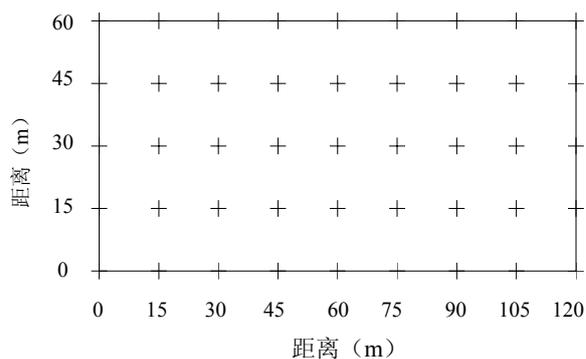


图 1 土壤样点分布图

Fig. 1 Distribution of soil sampling sites

2 基本理论和方法^[1]

2.1 基本理论

土壤是时空连续的变体, 具有高度的空间异

^①国家自然科学基金项目(40161006)和土壤学自治区重点学科基金项目资助。

质性, 而地统计学已经被证明是分析土壤特性空间分布特征及其变异规律最有效的方法之一。它以区域化变量理论为基础, 以半方差函数为基本工具, 研究那些在空间分布上既有随机性又有结构性, 或空间相关和依赖性的自然现象。半方差图是地统计学解释土壤空间变异性结构的基础, 其公式为:

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

式中 $N(h)$ 为采样点对观察值, h 为样本的位置间距矢量。本文所用的半方差模型公式为:

$$\begin{aligned} \text{指数模型: } \gamma(h) &= C_0 + C_1 [1 - \exp(-h/a)] & h > 0 \\ \gamma(0) &= 0 & h = 0 \\ \text{球状模型: } \gamma(h) &= C_0 + C_1 [1.5h/a - 0.5(h/a)^3] & 0 < h < a \\ \gamma(h) &= C_0 + C_1, & h > a \\ \gamma(0) &= 0, & h = 0 \end{aligned}$$

式中 h 表示分隔两点的矢量; $\gamma(h)$ 表示半方差函数; C_0 表示块金效应; C_1 表示基台值减去 C_0 的值; a 表示观测点之间的影响范围, 对于球状和线性模型则表示观测点之间的独立间距, 而指数模型的独立间

距为 $3a$ 。

2.3 分析软件

本研究在数据分析时采用 GS^+ FOR windows5.0 软件进行半方差模型拟合, Kriging 插值与等值线图利用 Surfer 软件分析制作。

3 结果分析

3.1 土壤总盐、pH 与总碱度常规统计分析

土壤特征的统计分析表明 (表 1), 各层土壤总盐平均含量表层略高于中层, 小于下层, 均未达到盐化指标 ($>5\text{g/kg}$)。从总盐最大值来分析, 表层与底层各只有 1 个样点达到轻度盐化指标。3 层土壤总盐的变异系数比较接近 ($34.8\% \sim 43.1\%$), 均属于中等变异水平。

各层土壤 pH 值非常接近, 自表层至下层分别为 $8.94 > 8.80 > 8.75$, 并且 pH 值最大值有 >9.0 的样点, 说明研究区土壤有碱化 ($\text{pH} > 8.7$) 的趋势。但各层变异系数变化很小, 且均 $< 10\%$, 属弱变异性, 说明在研究区 pH 值相对稳定。

表 1 土壤总盐、pH 与总碱度统计特征值

Table 1 Statistical characters of soil total salt, pH and total alkalinity

取样深度(cm)	项目	最小值	最大值	标准差	均值	变异系数
表层	总盐(g/kg)	0.82	5.35	1.0105	2.34	43.1
0 ~ 30	pH	7.77	9.85	0.6114	8.94	6.8
	总碱度(cmol/kg)	0.27	2.19	0.3976	0.95	41.8
	中层	总盐(g/kg)	1.02	4.79	0.7987	2.29
30 ~ 60	pH	7.81	9.68	0.5114	8.80	5.8
	总碱度(cmol/kg)	0.29	1.75	0.3768	0.91	41.5
	底层	总盐(g/kg)	1.21	5.99	1.0853	2.65
60 ~ 90	pH	7.74	9.60	0.4911	8.75	5.6
	总碱度(cmol/kg)	0.4	1.7	0.3366	0.89	37.9

土壤总碱度不论最大值、平均值及最小值均普遍大于非碱化指标 ($< 0.3\text{cmol/kg}$)^[10], 进一步说明了土壤碱化特征。总碱度的变异系数自表层至下层依次为 $41.8\% > 41.5\% > 37.9\%$, 均属于中等变异水平, 且各层之间变化很小。

土壤盐分含量低, 而总碱度与 pH 值较高, 说明土壤普遍存在碱化特征。但各指标在垂直方向上变异不明显, 说明土壤在干旱条件下, 土层分异特征不显著, 即土壤仍处于初级发育阶段。

3.2 土壤总盐、pH 与总碱度空间变异地统计学特性分析

利用地统计学软件 (GS^+ FOR windows5.0) 对不同层次土壤特征进行空间变异理论模型的拟合, 理论模型及模型参数结果见表 2, 从表 2 可知, 模型的决定系数 R^2 均达显著水平, 残差很小, 说明拟合模型有效。

基台值 (Sill) 表示区域化变量的最大变异, 其值越高表示总的空间变异性程度越高^[11], 总盐的基台值自表层至底层分别为: 表层 (1.026) $<$ 中层 (1.733) $<$ 底层 (2.898); pH 为: 表层 (0.496) $>$ 中层 (0.306) $>$ 底层 (0.269); 总碱度为: 表层 (0.515) $>$ 中层 (0.159) $>$ 底层 (0.130)。总盐的基台值自上

表 2 土壤总盐、pH 与总碱度的空间变异理论模型及模型参数

Table 2 Theoretical models and their parameters for spatial variations of soil total salt, pH and total alkalinity

取样深度 (cm)	项目	理论模型	块金值 (C ₀)	基台值 (C ₀ +C)	C ₀ /(C ₀ +C) (%)	变程 (m)	决定系数	残差
0~30	总盐 (g/kg)	指数	0.00095	1.026	0.1	31.5	0.819	8.5E-03
	pH	球状	0.034	0.496	6.9	87.3	0.995	3.9E-04
	总碱度 (cmol/kg)	球状	0.001	0.515	0.2	271	0.958	1.3E-03
30~60	总盐 (g/kg)	指数	0.457	1.733	26.4	932.9	0.651	0.0259
	pH	球状	0.0873	0.306	28.5	67	0.885	5.4E-04
	总碱度 (cmol/kg)	指数	0.0262	0.159	16.5	56.7	0.885	2.3E-04
60~90	总盐 (g/kg)	球状	0.468	2.898	16.1	310.9	0.900	0.0566
	pH	球状	0.0918	0.269	34.1	62.5	0.861	1.8E-03
	总碱度 (cmol/kg)	球状	0.0423	0.130	32.5	61.9	0.888	3.4E-04

而下逐渐增大, 其最大变异逐步增大; 而 pH 值与总碱度自上而下逐步减小, 其最大变异逐步减小。

块金值表示随机部分的空间变异性^[11], 总盐的块金值自上而下分别为: 表层(0.0009)<中层(0.457)<底层(0.468); pH: 表层(0.034)<中层(0.087)<底层(0.092); 总碱度: 表层(0.001)<中层(0.026)<底层(0.042), 3 者均是表层的块金值远远小于中层与底层。

块金值与基台值之比(C₀/(C₀+C))可以表明系统变量的空间相关性程度, 若比值<25%, 说明系统具有强烈的空间相关性; 若比值在 25%~75%之间, 表明系统具有中等的空间相关性; 若比值>75%说明系统空间相关性很弱^[11]。从 C₀/(C₀+C)比值可知, 表层的总盐、pH 及总碱度, 中层的总碱度与底层的总盐均<25%, 说明这些变量具有强烈的空间相关性; 其余各层不同变量的 C₀/(C₀+C)比值均属具有中等程度的空间相关性。具有强烈空间相关的变量说明其变异主要是由结构性因素引起, 如土壤质地、地形、土壤类型等; 具有中等程度空间相关性的变量说明其变异是由结构性因素和随机性因素(人为因素与土壤微变异等)共同作用的结果, 本试验研究区为新垦土地, 人为活动影响较弱, 故其变异主要是由较小尺度的微变异引起, 而长期耕种的农田土壤养分的变异性主要源自人为因素(耕作、施肥、灌溉等)^[7]。总体来看, 由于 C₀/(C₀+C)比值均<50%, 故结构性因素对研究区新垦荒地土壤特征的空间变异性起主导作用。

模型的范围值表示系统的相关范围, 变量在范围值内相关, 范围值外是独立的。各层次土壤特征半方差模型的范围值均大于本试验所采用的取样间

距 15m, 表明该取样尺度已满足本试验研究的要求。

3.3 土壤总盐、pH 与总碱度等值线分布图制作

利用 SUEFER 软件进行 Kriging 插值分析^[6], 插值结果见图 2。从图 2 中可以看出, 土壤总盐空间分布随着取样深度增加等值线趋于简单, 空间分布均一化; 土壤 pH 的等值线表层较中层及底层密集, 低值区面积在减小, 但出现的部位基本不变; 土壤总碱度等值线 3 层变化不明显。利用等值线分布图在实践中可以有针对性地进行土壤盐碱土改良与利用, 即变量投入。

4 结论

(1) 研究区新垦土地各层土壤总盐平均含量均未达到盐化指标 (>5g/kg), 从总盐最大值来分析, 只有两个样点达到轻度盐化指标。3 层总盐的变异系数比较接近 (34.8%~43.1%), 属于中等变异水平。各层土壤 pH 值非常接近, 但均值>8.7, 说明该研究区土壤有碱化的趋势; 且各层变异系数变化很小, 均<10%, 属弱变异性, 说明研究区 pH 值相对稳定。土壤总碱度不论最大值、平均值及最小值均普遍大于非碱化指标 (<0.3 cmol/kg), 进一步说明了土壤碱化特征, 不同层次均属于中等变异水平。土壤盐分含量低, 而总碱度与 pH 值含量较高, 说明土壤普遍存在碱化特征。但各指标在垂直方向上变异不明显, 说明土壤在干旱条件下, 土层分异特征不显著, 即土壤处于初级发育阶段。

(2) 土壤表层总盐、pH 及总碱度, 中层的总碱度及底层总盐的块金值与基台值比值均<25%, 说明这些变量具有强烈的空间相关性, 且主要由结构性因素引起, 如土壤质地、地形、土壤类型等。具

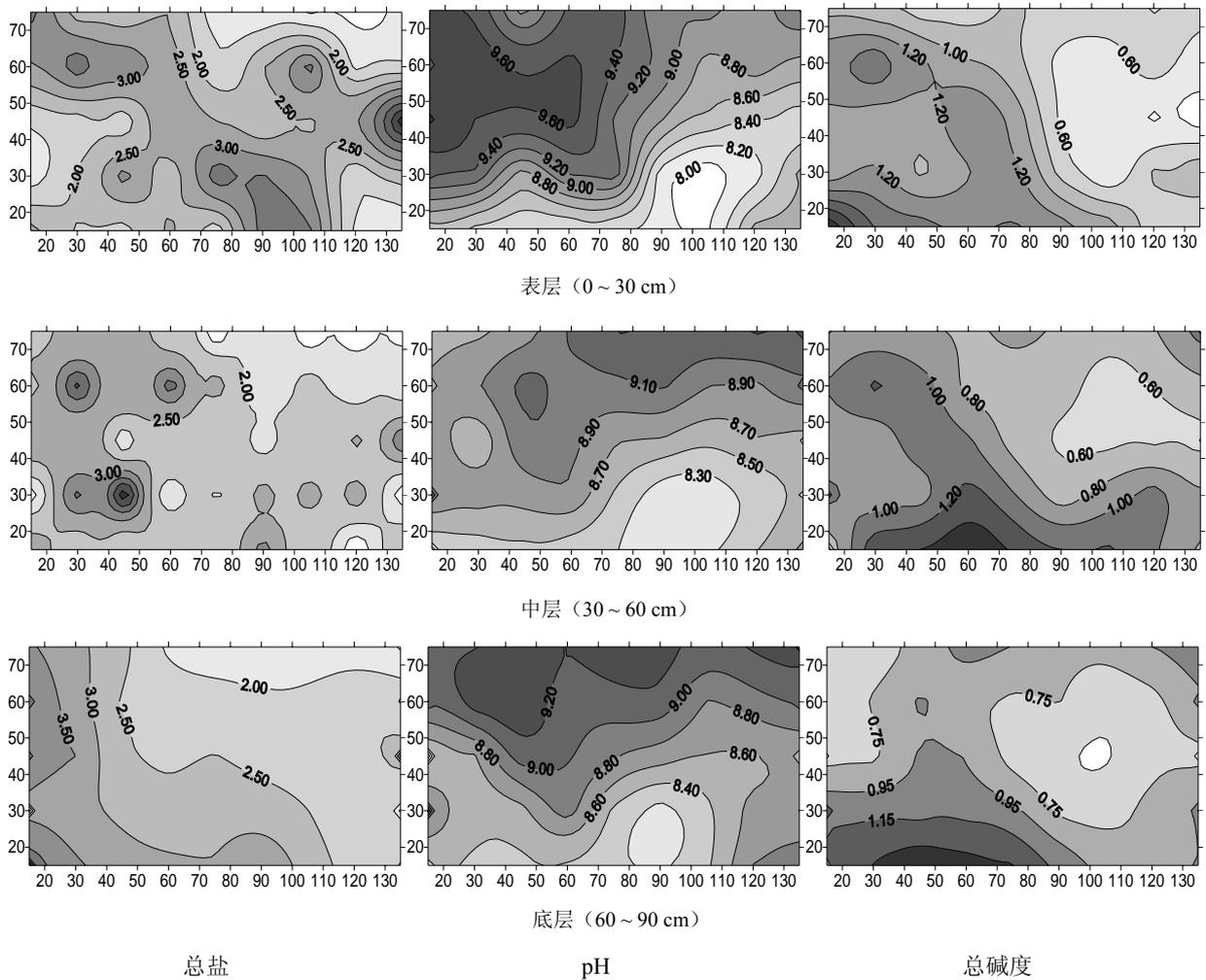


图 2 土壤总盐、pH 与总碱度含量等值线分布图

Fig. 2 Isoline maps of soil total salt, pH and total alkalinity

有中等程度空间相关性的变量说明其变异是由结构性因素和随机性因素（人为因素与土壤微变异等）共同作用的结果，而研究区为新垦荒地，人为活动影响较弱，故其变异主要是由随机因素中较小尺度的土壤微变异引起。总体来看，由于 $C_0/(C_0+C)$ 比值均 $< 50\%$ ，因此，结构性因素对新垦荒地土壤特征的空间变异性起主导作用。

(3) 根据样点数据与半方差模型进行 Kriging 插值分析，插值结果在实践中可以有针对性地进行土壤盐碱土改良与利用，即变量投入。

参考文献

- 1 沈思渊. 土壤空间变异研究中地统计学的应用及其展望. 土壤学进展, 1989, 17 (3): 11 ~ 25
- 2 区美美, 王建武. 土壤空间变异研究进展. 土壤, 2003, 35 (1): 30 ~ 33
- 3 龚元石, 廖超子, 李保国. 土壤含水量和容重的空间变异及其分形特征. 土壤学报, 1998, 35 (1): 10 ~ 15
- 4 李保国, 李卫东, 石元春. 冲积平原上区域土壤质地层次的某些分布特征. 土壤学报, 1998, 35 (4): 433 ~ 440
- 5 张乃明, 李保国, 胡克林. 太原污灌区土壤重金属与盐分含量的空间变异特征. 环境科学学报, 2001, 21 (3): 349 ~ 353
- 6 曹慧, 杨浩, 孙波, 赵其国, 臧波. 太湖流域丘陵地区土壤养分的空间变异. 土壤, 2002, 34 (4): 201 ~ 205
- 7 杨玉玲, 盛建东, 田长彦, 文启凯. 盐化灌淤土壤速效氮磷钾空间变异性与棉花生长关系初步研究. 中国农业科学, 2003, 36 (5): 542 ~ 547
- 8 杨玉玲, 田长彦, 盛建东, 文启凯. 灌淤土壤可溶性盐分空间变异性与棉花生长关系研究. 干旱区地理, 2002,

- 25 (4): 329 ~ 335
- 9 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978
- 10 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社, 1993, 335 ~ 339
- 11 王政权. 地质统计学及其在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999, 150 ~ 156

SPATIAL VARIABILITY OF SOIL TOTAL SALT, PH AND TOTAL ALKALINITY

SHENG Jian-dong^{1,3} YANG Yu-ling² CHEN Bing¹ WU Hong-qi¹

(1 College of Resource and Environmental Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052;

2 Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011;

3 College of Resource and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094)

Abstract Soil samples were taken from 3 layers of each of the profiles distributed in a pattern of 15m×15m grid over a newly-reclaimed field, and used to determine space variability of total salt, pH and total alkalinity from layer to layer. The results indicate that the total salt content of the research area is generally low, salt accumulation at the surface soil layer is not significant; Soil pH and the total alkalinity is high, generally enough to meet the criteria of soil alkalization; The variation between soil layers in total salt and total alkalinity is moderate, and rather minor in pH; Characteristics of the spatial variation of salt, pH and total alkalinity somewhat differ between the three soil layers, with structural factors playing a leading role. The isoline maps of soil salt content, pH and total alkalinity are obtained with Kriging's interpolation method, and can be used as the basis for amelioration of saline-alkali soils.

Key words Total salt, pH, Total alkalinity, Spatial variability