文章编号:1000-7601(2020)01-0209-08

doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2020.01.27

塔里木河下游灌区春季土壤盐分空间变异特征

-----以新疆第二师三十一团灌区为例

丁邦新¹,白云岗²,刘雪艳¹,陈星星²,刘洪波²,肖 军²

(1.新疆农业大学草业与环境科学学院,新疆乌鲁木齐 830052;2.新疆水利水电科学研究院,新疆乌鲁木齐 830049)

摘 要:应用地统计学的半方差分析和 Kriging 空间插值,以新疆第二师三十一团灌区为例,分析了塔里木河下游绿洲灌区不同深度土壤全盐及盐基离子的空间变异特征与分布规律。结果表明:研究区春季土壤总体呈碱性,各 土层阴离子均以 SO₄²⁺为主,阳离子均以 K⁺和 Na⁺为主,灌区内根域层(0~60 cm)土壤盐分、Ca²⁺、Cl⁻的半方差函数模 型符合高斯模型,Mg²⁺、K⁺+Na⁺符合球状模型,深层(60~100 cm)土壤盐分、HCO₃、SO₄²⁺符合指数模型,各变量空间自 相关范围差异较大。盐分分布特征受人类活动和地势、水源的影响较大,根域层(0~60 cm)土壤盐分含量呈现由西 北部向东南部逐渐升高的趋势,变化范围在 2.28~3.27 g·kg⁻¹之间,深层(60~100 cm)土壤盐分含量呈现由西北部 向东南部逐渐降低的趋势,变化范围在 2.31~4.63 g·kg⁻¹之间。HCO₃在整体上与根域层(0~60 cm)土壤盐分含量 分布特征相同,其它各离子含量无明显变化规律。灌区内土壤盐分垂直分布的总趋势大致相同,根域层(0~60 cm) 土壤含盐量与深层(60~100 cm)土壤含盐量差异不大,变化范围在 2.28~4.63 g·kg⁻¹之间。

关键词:土壤盐分;盐基离子;空间变异;GIS; 塔里木河

中图分类号:S156.4 文献标志码:A

Spatial variation characteristics of soil salinity in the lower reaches of the Tarim River in spring — A Case study on 31th regiment of Xinjiang Second Division

DING Bangxin¹, BAI Yungang², LIU Xueyan¹, CHEN Xingxing², LIU Hongbo², XIAO Jun²

College of Pratacultural and Environmental Science, Xinjiang Agriculture University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;
Xinjian Research Institute of Water Resources and Hydropower, Urumqi, Xinjiang 830049, China)

Abstract: Soil salinization is one of the main factors restricting the development of agriculture in the lower reaches of the Tarim River. The spatial variability and distribution of total salt and base ions in different depths of the oasis irrigation area in the lower reaches of the Tarim River (31th regiment of Xinjiang Second Division) were analyzed by using Semi-Variogram and Kriging spatial interpolation of geostatistics. The results showed that the soil in the study area was alkaline in spring, and the anions in all soil layer were mainly SO_4^{2-} , and the cations were mainly K^+ and Na^+ . The semi-variance function model of soil salinity, Ca^{2+} and Cl^- , in the root zone (0~60 cm) of the soil profile in the region accords with the Gaussian model, The soil salinity in deep layer (60~100 cm), HCO₃⁻, SO_4^{2-} conformed to the exponential model. Mg^{2+} and K^++Na^+ conformed to the spherical model. The spatial autocorrelation range of each variable was quite different. Salt distribution characteristics are greatly affected by human activities and topography and water sources. The soil salinity content in the root zoon layer soil gradually increased from northwest to southeast, and the range of variation was 2.28~3.27 g \cdot kg⁻¹. The salinity of deep soil gradually decreased from northwest to southeast, and the range of variation was 2.31 and 4.63 g \cdot kg⁻¹. The HCO₃⁻ had the same characteristics as that in the root zone layer, no obvious change in the content of other ions. The general trend of vertical distribution of soil salinity was approximately the same. There was no significant difference in soil salinity

基金项目:国家"十三五"重点研发计划(2017YFC0403305;2016YFC0400208)

作者简介:丁邦新(1995-),男,新疆乌鲁木齐人,硕士研究生,主要从事农业资源高效利用方面的研究。Email: dovebx@163.com

通信作者:白云岗(1974-),男,新疆奇台人,博士,教授级高工,主要从事农业节水方面的研究。Email: xjbaiyg@ sina.com

收稿日期:2019-04-12 修回日期:2019-05-28

between root layer and deep layer. Mastering the degree of soil salinization is of great significance for the improvement and utilization of saline soil.

Keywords: soil salinity; base ion; spatial variation; GIS; Tarim River

土壤盐渍化是世界各国普遍存在的问题,尤其 在低降雨量和高蒸发量的干旱、半干旱地区盐渍化 问题更为严重^[1]。新疆地处中国的西北部,极端干 旱的气候使得新疆成为了土壤盐渍化大区,盐碱土 种类繁多,被称为世界盐碱土的博物馆^[2]。盐碱危 害造成新疆部分土地退化,植被衰退,形成大量中、 低产田,使大面积土壤资源难以利用,农业综合生 产能力下降,严重影响了农业的可持续发展。新疆 盐碱化耕地约133.33万hm²,近1/3耕地盐碱化,其 中80%以上为土壤次生盐碱化,除伊犁河谷、阿勒 泰地区和塔城部分地区土壤盐碱化较轻之外,其他 地区土壤均有不同程度盐碱化,天山南麓、塔里木 盆地西部各灌区最为严重,一些耕地由于次生盐碱 化加重而被弃耕^[3]。

塔里木河下游段位于塔克拉玛干沙漠东北部, 包括恰拉水库以下至台特马湖的区域^[4]。由于地 处典型的极端干旱区,生态环境十分脆弱,加之长 期以来人类对中、上游流域自然资源的不合理利 用,导致地处流域尾闾的下游沿岸灌区生态环境急 剧恶化[5-6],土壤次生盐渍化问题十分突出。近年 来,关于塔里木河下游流域的研究主要集中在输水 工程后地下水特征分析[7]、生态恢复等方面[8],已 有的土壤盐渍化相关研究也主要是针对塔里木河 下游流域尺度来开展的[9-11],对沿岸灌区尺度土壤 盐分空间变异特征的研究较少,并且春季是作物播 种出苗的季节,棉花易受盐害,影响出苗和生长,对 农业生产造成较大的影响,掌握灌区春季土壤的盐 渍化程度对农业生产调控具有重大意义。因此,本 研究采用地统计学与 GIS 技术相结合,对塔里木河 下游新疆第二师三十一团绿洲灌区春季土壤盐分 空间变异特征进行研究,以期为合理的管理和调控 土壤水盐提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

新疆第二师三十一团位于塔克拉玛干沙漠东 北边缘的塔里木河与孔雀河下游冲积平原,地处新 疆巴州尉犁县境内,地理坐标为 85°24′E~88°30′E, 39°30′N~42°20′N。西与尉犁县塔里木乡接壤,东 与三十三团相邻,北以孔雀河南岸的沙包起伏区为 界,南以塔里木河为界。海拔高度 820~1 100 m,属 暖温带大陆性荒漠气候,光热资源丰富,降雨稀少 且四季分布不均,昼夜温差大,多风沙和浮尘天气。 夏季炎热而干燥,降雨量年际变化大,多年平均降 雨量 53.3~62.7 mm, 多年平均蒸发量 2 273~2 788 mm,日照时数3036.2 h,≥10℃的年积温4121℃, 无霜期 191 d。三十一团现有灌溉面积0.75万 hm², 大部分耕地处于卡拉水库下游,以种植棉花和香梨 为主,灌区内土壤质地较轻,以壤土、沙壤土为主, 土壤类型主要为风沙土、盐土和碱土。灌区内的土 地构成呈耕地和荒地相间分布格局,塔里木河原支 流卡拉河曾蜿蜒穿过团场中部,把场区切割成南北 两半,形成许多"半岛"。并且卡拉河周期性洪水冲 刷,使区内形成许多曲折的大小干沟和洼地,中部 分布着许多土包起伏区,地形复杂,土地利用率低, 不利于整体规划。另外三十一团地处塔克拉玛干 沙漠与库木塔格沙漠之间,塔里木河和孔雀河两河 下游河床历史上多次改道,使古河道在垦区蜿蜓分 布,荒漠植被稀少,风沙活动异常强烈,致使垦区广 泛分布着大小沙丘和成片垄岗洼地,地形起伏不 平,土壤盐渍化、次生盐渍化程度高。

1.2 样品采集与测定

依据研究区的地理环境特征,于 2018 年 3 月中 旬在三十一团范围内布设土壤取样点 45 处(图 1)。 土壤取样点总体按从水库出口沿水渠流向布设,同 时考虑土壤类型以及在作物种植集中区域加密布 点原则。土样的采集采用人工挖掘的方式,每个位 置土壤采样层次分为 0~20,20~40,40~60,60~80, 80~100 cm。将采集的土样分别装入袋中并做好标 记,挑出杂物后,风干,研磨,过筛备用。

土样的测定方法:总盐采用残渣烘干质量法; SO₄⁻采用 EDTA 间接滴定法测定;Cl⁻采用 AgNO₃滴 定法测定;CO₃²⁻,HCO₃⁻采用双指示剂中和法测定; Ca²⁺,Mg²⁺采用 EDTA 络合滴定法测定;K⁺+Na⁺采用 阴阳离子平衡法计算而得。

1.3 研究方法

试验数据使用 SPSS 17.0 进行描述性统计分 析,并对数据进行 Kolmogorov-Smirnov(K-S)检验, 判断数据是否符合正态分布。半方差函数拟合采 用地统计学软件 GS⁺9.0 进行,并根据拟合的模型及

211

其参数,在 Arcgis 地理信息系统软件的 Geostatistical analyst 模块进行 Kriging 插值,生成二维空间分布 图。土壤盐分的垂直分布图使用 Surfer 11 进行处 理及分析。

2 结果与分析

2.1 土壤盐分及离子的统计特征分析

研究区种植的主要作物为棉花,采用膜下滴灌的方式。棉花根系的生长深度在 0~60 cm 之间,且 膜下滴灌的最大湿润范围也在 60 cm 左右,故本研究的分析以根域层土壤(0~60 cm)和深层土壤(60~100 cm)进行特征值的统计。从本次样品测定值 来看,0~60 cm 土层及 60~100 cm 土层内土壤盐分含



Fig.1 Location and distribution map of soil samples in the study area

量差异较小,因此使用 0~20、20~40、40~60 cm 土壤 盐分含量的均值表示根域层土壤盐分含量,60~80、80 ~100 cm 土壤盐分含量的均值来表示深层土壤(60~ 100 cm)盐分含量。根据经典统计学方法,不同层次 土壤盐分、离子含量的统计特征值列于表 1。

变异系数(CV)反映的是相对变异,即随机变量 的离散程度。雷志栋等^[12]研究表明, CV<0.1 呈弱 变异性,0.1≤CV≤1呈中等变异性,CV≥1呈强变 异性;研究区不同深度土层土壤含盐量及盐分离子 含量多属于中等变异性,变异系数介于 0.229~ 0.757之间, 仅 Ca²⁺离子在 0~60 cm 土层中表现出强 变异性;从离子来看,0~60 cm 土层的 HCO3、Cl-、 SO²⁻含量分别占阴离子总量的 19.5%、23.9%、 56.5%, Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺+Na⁺含量分别占阳离子总量 的 24.8%、7.6%、67.5%; 60~100 cm 土层的 HCO₃、 Cl⁻、SO²⁻含量分别占阴离子总量的 18.9%、23.9%、 57.2%, Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺+Na⁺含量分别占阳离子总量 的 9.9%、24.7%、65.3%;各土层中阴离子均以 SO²⁻ 为主,阳离子均以 K⁺和 Na⁺为主。从偏度和峰度两 项指标可以看出,研究区不同深度土层土壤盐分含 量、离子含量的正偏差值较大,均呈现右偏态和尖 顶峰。不同深度土层的土壤盐分、盐分离子变异系 数差别不大,主要阴、阳离子也相同。土壤 pH 值范 围在8.02~8.51之间,总体上呈微碱性;土壤理化性 质数据的正态分布检验是进行半方差函数计算和 Kriging 插值的前提,根据 K-S 非参数检验的 P 值可 知,HCO₃、K⁺+Na⁺服从正态分布,土壤盐分、Ca²⁺、 Mg^{2+} 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 符合经过对数转换后的正态分布。

表 1	研到	究⊵	≤不	同	丟入	欠二	上壤盐	分统	计特	寺征	E值	ī(N = 4	45)	
G						. •	c	1	• 1	1	.1		.1		

Table 1 Statistical characteristics for each soil depth in the study area												
土壤卦分	土层深度	分布类型	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数	偏宦	修审	D		
Soil salt	Soil layer	Distribution	Minimum	Maximum	Average	Standard	Coefficient	開及	Vt.			
	/ cm	type	$/(g \cdot kg^{-1})$	$/(g \cdot kg^{-1})$	$/(g \cdot kg^{-1})$	deviation	of variation	Skewness	Kurtosis	(K-S)		
总盐	0~60	正态* Normal distribution*	1.35	7.84	2.433	1.239	0.509	1.20*	1.58 *	0.340*		
Salt content	60~100	正态* Normal distribution*	1.35	7.91	2.413	1.321	0.547	1.41 *	2.21 *	0.272*		
HCO ₃	0~60	正态 Normal distribution	0.21	0.62	0.328	0.083	0.253	1.06	1.66	0.634		
	60~100	正态 Normal distribution	0.17	0.52	0.315	0.072	0.229	0.37	0.48	0.617		
Ca ²⁺	0~60	正态* Normal distribution*	0.04	1.07	0.139	0.156	1.122	2.04 *	6.33 *	0.133*		
	60~100	正态* Normal distribution*	0.06	0.41	0.110	0.063	0.573	1.88 *	4.84 *	0.296*		
Mg ²⁺	0~60	正态* Normal distribution*	0.02	0.25	0.075	0.048	0.640	0.82*	1.73 *	0.300*		
	60~100	正态* Normal distribution*	0.02	0.32	0.074	0.056	0.757	0.78 *	1.41 *	0.647*		
01-	0~60	正态* Normal distribution*	0.14	1.45	0.403	0.293	0.727	0.77 *	0.18*	0.413*		
CI	60~100	正态* Normal distribution*	0.16	1.34	0.398	0.273	0.686	0.92*	0.55 *	0.449*		
s02-	0~60	正态* Normal distribution*	0.47	3.66	0.949	0.577	0.608	1.38*	2.14 *	0.094*		
50_{4}	60~100	正态* Normal distribution*	0.46	3.76	0.947	0.659	0.696	1.59*	2.87 *	0.272*		
CO_{3}^{2-}	0~100	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
K ⁺ +Na ⁺	0~60	正态 Normal distribution	0.21	1.12	0.424	0.199	0.469	1.65	2.86	0.168		
	$60 \sim 100$	正态 Normal distribution	0.21	1.04	0.413	0.185	0.448	2.08	4.81	0.115		
	0~60	-	8.05	8.51	8.23	-	-	0.37	0.15	_		
pН	60~100	-	8.02	8.43	8.20	-	-	0.23	0.84	-		

注:*为对数转换后的结果。

Note: * Indicates the result after logarithmic conversion.

2.2 土壤盐分及离子的空间变异特征

使用 SPSS 19.0 软件进行分析,用 K-S 检验对数据的正态分布进行了检验,并将不符合正态分布的数据在 GS⁺地统计学软件中进行了对数转换,转换后的数据均符合正态分布,土壤盐分的空间变异分析选取根域层和深层进行分析,盐基离子的空间变异分析只选择根域层来进行分析。经过选择不同步长进行拟

合,比较不同模型下的决定系数与残差平方和,选出 了 R²最大且 RSS 最小的最佳理论模型,不同层次土 壤的盐分含量、根域层离子含量的半方差模拟模型及 拟合参数见表 2,地统计学分析的半方差函数见图 2。 深层土壤盐分含量、HCO₃、SO₄²⁻ 含量符合指数模型, 根域层土壤盐分含量、Ca²⁺、Cl⁻含量符合高斯模型, Mg²⁺、K⁺+Na⁺含量符合球状模型。

表 2 不同层次土壤的盐分和根域层离子含量的半方差函数模型及相关参数

Table 2 Semi	-variance function	model and i	related	parameters	of	different	levels	of	soil	salt	and	root	zone	ion	conter	nt
--------------	--------------------	-------------	---------	------------	----	-----------	--------	----	-----------------------	------	-----	------	------	----------------------	--------	----

土壤盐分 Soil salt	土层/cm Soil depth	理论模型 Theoretical model	块金值 Nugget C ₀	基台值 Sill value C ₀ +C	C ₀ / (C ₀ +C)/%	变程 Range A/km	决定系数 <i>R</i> ²	残差平方和 RSS
总盐 Total sa	alt 0~60	高斯模型 Gaussian model	0.1437	0.4264	34	11.23	0.591	0.0419
总盐 Total sa	alt 60~100	指数模型 Exponential model	0.1168	0.4176	28	31.10	0.393	0.0186
HCO_{3}^{-}	0~60	指数模型 Exponential model	0.0193	0.0674	29	9.29	0.631	0.0009
Ca ²⁺	0~60	高斯模型 Gaussian model	0.1400	0.5160	27	6.92	0.534	0.2040
Mg ²⁺	0~60	球状模型 Spherical model	0.1142	0.2474	46	8.86	0.414	0.0354
Cl-	0~60	高斯模型 Gaussian model	0.1112	0.3294	34	1.83	0.337	0.1000
SO_{4}^{2-}	0~60	指数模型 Exponential model	0.1510	0.4540	33	31.10	0.198	0.0504
K ⁺ +Na ⁺	0~60	球状模型 Spherical model	0.0050	0.0406	12	1.21	0.556	0.0036





4.08

٥

12.24

8.16

变程 Separation distance/km



在半方差函数模型中,块金值 Co是由最小取样 距离内土地利用、灌溉、施肥、管理水平等随机因素 共同引起的变异[13]。C为结构方差,由土壤母质、 地形、地貌、气候等非人为的结构性因素引起的变 异。C₀+C 为基台值,是半方差函数随间距递增到一 定程度后出现的平稳值,表示系统内总的变异^[7]。 由表2可知,土壤盐分含量及各离子含量的块金值、 基台值均为正值,范围分别在 0.005~0.151、0.0406 ~0.5160之间,说明存在着由采样误差或最小取样 距离内土壤特性变异或固有变异引起的各种正基 底效应。但总盐及各离子 C_{0} 均较小,说明研究区由 随机变异、采样误差及距离误差所引起的变量变异 程度不大。块金方差与基台值的比 C₀/(C₀+C)表 示空间变异性的程度,是指由随机性因素引起的空 间变异占系统总变异的比例,该值越高,说明由随 机分布引起的空间变异性程度较大,相反则说明由 结构性因素引起的空间变异性程度较大,如果该比 值接近1.则说明该变量在整个尺度上具有恒定的 变异[14]。当块金方差与基台值的比值小于 25% 时,表现为强空间相关性;若在25%~75%时则表现 为中等程度空间相关性;比值大于75%时则表现为 弱空间相关性^[15]。仅 K⁺和 Na⁺在整体上表现出较 强的空间相关性,盐分含量及其它各离子含量块金 方差与基台值的比在 27%~46%之间,表现出中等 程度的空间相关性。各变量的变程值 A 在 1.21~ 31.1 km 之间,除根域层盐分和 SO_4^{2-} 外,其它离子的 变程彼此间相差较小,各变量的空间自相关范围具 有很大的相似性。根域层土壤盐分和 SO₄⁻ 的变程 值为31.1 km,相比其它离子具有更大范围的空间自 相关性。

2.3 土壤总盐及离子的空间分布特征

2.3.1 土壤盐分及离子含量的水平分布 为准确 直观地描述各土层土壤含盐量在空间上的分布特 征,根据半方差函数的拟合模型及其参数绘制了盐 分含量及各离子含量的空间分布图,如图 3 所示。

研究区内根域层(0~60 cm)的土壤盐分在西北 部的含量较低,东南部的含量较高,变化范围在 2.28 ~3.27 g·kg⁻¹。灌区的西北部处于恰拉水库正下 方,且离研究区西南部的边界塔里木河较近。深层 (60~100 cm)土壤盐分含量的分布特征与根域层土 壤盐分含量刚好相反,西北部的含量较高,而东南 部的含量较低,变化范围在 2.31~4.63 g·kg⁻¹。研 究区东北部土壤盐分含量在根域层和深层的差异 不大,东北部靠近荒漠,远离河道,呈现荒地与耕地 相间分布的布局,人为干扰相对较少。

Cl⁻含量在整个研究区内普遍较高,呈现从东北 部到西南部逐渐增加的趋势。HCO;含量在整体上 表现为东南部含量较高,西北部含量较低,与根域层 的土壤盐分含量分布特征有一定的相似性, Ca²⁺、 SO²⁻含量无明显变化规律。Mg²⁺的高值区主要出现 研究区西南边界,总体上呈不规则的"斑块"状分布。 K^{\dagger} 和 Na⁺的高值区也出现在灌区的西南边界处,总体 上表现为西北部的含量较高,东南部的含量较低。 2.3.2 土壤盐分含量的垂直分布 依据研究区地 理特征,选取了从西北至东南大致一条直线上的11 个采样点,绘制了土壤盐分含量在垂直方向的等值 线图,如图4所示。由图4可知,研究区春季土壤盐 分垂直分布的总趋势大致相同,根域层土壤含盐量 与深层土壤含盐量差异不大。受土壤母质、地形、 地貌和人为因素的影响,不同土壤剖面间各层土壤 盐分含量有所不同。

3 讨 论

本研究对库尔勒三十一团绿洲灌区土壤盐分 和各离子进行了经典统计分析和地统计分析,结果 表明 0~60 cm 土层土壤含盐量范围在 1.35~7.84 g ・kg⁻¹之间,60~100 cm 土层土壤含盐量范围在1.35 ~7.91g·kg⁻¹之间,不同深度土层盐分含量和各离 子含量的变化范围差异不大,与王丹丹 [16]、赵锐 峰[14]、吕娜娜等[17]的研究结果有所差异,盐分及各 离子并没有随着土层深度的变化出现升高或降低 的趋势。这主要是因为本研究是以春季土壤盐分 的空间变异特征为研究目标,土样的采集是在春季 3月中旬进行。盐分运动受水分运动影响明显,周 年盐分动态可以分为春季强烈蒸发—积盐阶段、灌 溉淋洗--稳定阶段、雨季淋溶---脱盐阶段、秋季蒸 发—积盐阶段和冬季相对稳定阶段五个阶段[18]。 研究区土壤盐渍化问题严重,当地普遍会在入冬时 进行冬灌或者第二年春季进行春灌来压盐洗盐,朱 延凯等[19]研究表明,春灌对绿洲棉田有较强的淋洗 作用,能起到保水压盐效果。春灌、冬灌的冰层融 化以及冰雪融化对土壤产生了较强的淋洗作用,因 此不同深度土层的盐分和各离子的变化范围差异 不大,这也与图4土壤盐分的垂直分布相印证。在 人工挖掘采样的过程中,发现研究区的春季地下水 埋深大致在 1.2~1.6 m 之间, 沈丽娜^[20]等研究表明 塔河下游土壤盐分含量与地下水存在明显的函数 关系,地下水埋深越深,土壤盐分含量越小,地下水 埋深越浅,土壤盐分含量越大。这也说明了为什么 在冬灌和春灌的淋洗作用下,研究区土壤盐分含量



图 3 土壤全盐和各离子含量的 Kriging 插值分布

Fig.3 Kriging interpolation distribution map of salinity and ions content

范围仍在1.35~7.91g·kg⁻¹之间,土壤处于轻、中度 盐渍化状态^[21]。研究区内不同深度土层土壤盐分、 离子的变异系数多属于中等变异性,Ca²⁺离子在0~ 60 cm 土层中表现出强变异性,主要是因为频繁的 人为农业活动加快盐分的积累^[22],农业活动改变了 土壤盐分原有的分布格局,在一定程度上促进了其

空间分布的复杂性^[23],并且研究区处于典型的荒漠 地带,气候干旱,降雨稀少,蒸发强烈,北与孔雀河 南岸的沙包起伏区相邻,南与塔克拉玛干沙漠相 邻,灌区内部分地区耕地与荒地相间分布。

三十一团灌区根域层土壤盐分含量呈现由西 北部向东南部逐渐升高的趋势。深层土壤盐分含



图 4 研究区土壤盐分含量等值线图/(g・kg⁻¹)

Fig.4 Contour map of soil sample salt content in study area

量分布与根域层土壤盐分含量的分布特征刚好相 反,土壤盐分含量呈现由西北部向东南部逐渐降低 的趋势。盐分含量随塔里木河和恰拉水库下游输 水干渠的走向表现出区域性的变化,这可能是由于 研究区的西北部靠近水库和塔里木河,水源充足, 盐分随水分向土壤深层运动,深层土壤盐分较高, 而研究区东南部水量相对较少,且上游的部分灌溉 水、冬闲水和废弃水经各干渠、支渠、斗渠流向下 游,导致研究区东南部根域层的盐分含量相对于西 北部较高。各盐分离子除 HCO; 含量在整体上与根 域层的土壤盐分含量分布特征有一定的相似性,其 余离子均呈现不同的分布特征,这还是因为盐分空 间分布的复杂性所导致的。总盐和各离子的空间 变异性程度大多表现为中等程度的空间相关性, C₀/(C₀+C)的范围在 27%~46%之间,仅K⁺和 Na⁺ 在整体上表现出强烈的空间相关性,这与巩玉 红^[24]、胡佳楠^[25]等的研究结果干旱区土壤盐分离 子会表现出强烈空间相关性有所不同,除了最小取 样距离内土地利用、灌溉、施肥、管理水平等随机因 素和土壤母质、地形、地貌、气候等非人为的结构性 因素以外,选取的土层深度也会对空间变异程度造 成一定的影响。

4 结 论

1)灌区内土壤总体呈碱性,各土层阴离子均以 SO₄²⁻为主,阳离子均以 K⁺和 Na⁺为主;土壤盐分、离 子的变异多属于中等变异,变异系数介于 0.229~ 0.757之间,仅 Ca²⁺离子在 0~60 cm 土层中表现出强 变异性。

2)灌区内深层土壤盐分、HCO₃、SO₄²⁻含量的半 方差函数模型符合指数模型,根域层土壤盐分、 Ca²⁺、Cl⁻符合高斯模型, Mg²⁺、K⁺+Na⁺符合球状模型。除 K⁺和 Na⁺在整体上表现为强烈的空间相关性,其余各离子和总盐表现为中等程度的空间相关性,自相关范围在 1.21~31.1 km 之间,各变量的空间自相关范围差异较大。

3) 土壤盐分及离子的水平分布表明,研究区根 域层(0~60 cm) 土壤盐分含量呈现由西北部向东南 部逐渐升高的趋势,变化范围在 2.28~3.27 g·kg⁻¹ 之间。深层(60~100 cm) 土壤盐分含量呈现由西北 部向东南部逐渐降低的趋势,变化范围在 2.31~ 4.63 g·kg⁻¹之间。HCO₃ 含量在整体上与根域层(0 ~60 cm) 土壤盐分含量分布特征相同,其它各离子 含量无明显变化规律,Mg²⁺的高值区主要出现研究 区西南边界,总体上呈不规则的"斑块"状分布,K⁺ 和 Na⁺的高值区也出现在灌区的西南边界处,总体 上表现为西北部的含量较高,东南部的含量较低。

4)研究区土壤盐分垂直分布的总趋势大致相 同,表层土壤含盐量与深层土壤含盐量差异不大, 不同土壤剖面间各层土壤盐分含量有所不同。

参考文献:

- Wichelns D, Qadir M. Achieving sustainable irrigation requires effective management of salts, soil salinity, and shallow groundwater [J]. Agricultural Water Management, 2015, 157:31-38.
- [2] 田长彦,周宏飞,刘国庆.21 世纪新疆土壤盐渍化调控与农业持续 发展研究建议[J]. 干旱区地理,2000,23(2):177-181.
- [3] 周和平,张立新,禹锋,等.我国盐碱地改良技术综述及展望[J]. 现 代农业科技, 2007,35(11): 159-161,164.
- [4] 许英勤.塔里木河下游垦区绿洲景观格局研究[D].乌鲁木齐:新疆 农业大学, 2004.
- [5] 陈亚宁,李卫红,陈亚鹏,等.科技支撑新疆塔里木河流域生态修复 及可持续管理[J].干旱区地理,2018,41(5):901-907.
- [6] 董楠.塔里木河流域水质演变规律及生态需水研究[D].西安:西安 理工大学,2018.
- [7] 郑丹,陈亚宁,薛燕.新疆塔里木河下游断流河道输水对地下水变化

的影响分析[J].干旱区地理,2004,27(2):216-220.

- [8] 唐晓岚,杜瑶.干旱区生态治理及绿色基础设施构建——以新疆塔 里木河下游为例[J].干旱区研究,2011,28(3):413-420.
- [9] 杨红梅,徐海量,樊自立,等.塔里木河下游表层土壤盐分空间变异 和格局分析[J].中国沙漠,2010,30(3):564-570.
- [10] 沈丽娜,吴巍,周孝德,等塔里木河下游土壤盐分空间变异规律研究[J].水资源与水工程学报,2016,27(2):231-236+240.
- [11] 莫治新,尹林克,文启凯.塔里木河中下游表层土壤盐分空间变异 性研究[J].干旱区研究,2004,21(3):250-253.
- [12] 雷志栋,杨诗秀,许志荣,等.土壤特性空间变异性初步研究[J].水 利学报,1985,30(9):10-21.
- [13] 胡顺军,康绍忠,宋郁东,等.渭干河灌区土壤水盐空间变异性研究[J].水土保持学报,2004,18(2):10-12+20.
- [14] 赵锐锋,陈亚宁,洪传勋,等.塔里木河源流区绿洲土壤含盐量空间 变异和格局分析——以岳普湖绿洲为例[J].地理研究,2008,27 (1):135-144.
- [15] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58:1501-1511.
- [16] 王丹丹.新疆渭干河绿洲土壤盐分时空变化特征[D].乌鲁木齐: 新疆农业大学,2013.
- (上接第199页)
- [13] Reij C., Maulder P, Begemannn L. Water harvesting for plant production [C] // Technical Report. Washington, DC, USA: World Bank, 1988.
- [14] Wang Q, Ren X, Song X Y, et al. The optimum ridge-furrow ratio and suitable ridge-covering material in rainwater harvesting for oats production in semiarid regions of China [J]. Field Crops Research, 2015, 172;106-118.
- [15] Deng X P, Shan L, Zhang H P, et al. Improving agricultural water use efficiency in arid and semiarid areas of China [J]. Agric Water Manage, 2006,80(1-3):23-40.
- [16] 马雄德.毛乌素沙漠裸土蒸发的动力学过程[D].西安:长安大学, 2018:8-10.
- [17] 苏凤梅,贾志峰,王智.地布-地膜覆盖对渭北旱塬区土壤水分的影响[J].水土保持通报,2018,38(5):97-102.
- [18] 王佳琪,徐莎莎.新疆棉田白色污染现状、问题及治理对策研究[J].农村经济与科技,2016,27(9):32-33.
- [19] 王玉才.陕西地区参考作物蒸发蒸腾量空间分布特征[J].甘肃科 技,2015,31(8):138-140+46.
- [20] 盛文林.极易混淆的地理知识[M].北京:北京工业大学出版社, 2014:93-94.
- [21] 姜会飞.农业气象学[M].北京:科学出版社, 2008:64.
- [22] 冯秀藻,陶炳炎.农业气象学[M].北京:科学出版社, 1990:95-101.
- [23] 阿米娜·麦图尔迪,张弥,于贵瑞,等. 1990-2010 年长白山温带 针阔叶混交林生长季及积温的变化[J]. 沙漠与绿洲气象, 2013, 7(5):44-50.
- [24] 李茂善,马耀明, Hirohiko Ishikaw.珠穆朗玛峰北坡地区近地层及 土壤微气象要素分析[J].高原气象, 2007, 26(6): 1263- 1267.
- [25] 王澄海,尚大成.藏北高原土壤温、湿度变化在高原干湿季转换中的作用[J].高原气象, 2007, 26(4): 677-685.
- [26] Sun T, Li G, Ning T Y, et al. Suitability of mulching with biodegradable film to moderate soil temperature and moisture and to increase photosynthesis and yield in peanut [J]. Agricultural Water Management, 2018, 208;214-223.

- [17] 吕娜娜,罗格平,丁建丽,等.滴灌背景下玛纳斯流域绿洲内外荒地 土壤盐分时空变化趋势分析[J].自然资源学报,2017,32(9): 1542-1553.
- [18] 窦超银,康跃虎,万书勤.地下水浅埋区重度盐碱地覆膜咸水滴灌 水盐动态试验研究[J].土壤学报,2011,48(3):524-532.
- [19] 朱延凯,王振华,李文昊.春灌对绿洲区棉田水盐分布及产量的影响[J].中国农村水利水电,2018,60(2):1-6+10.
- [20] 沈丽娜,吴巍,周孝德,等.塔里木河下游土壤盐分空间变异规律研 究[J].水资源与水工程学报,2016,27(2):231-236+240.
- [21] 新疆农业厅,新疆土壤普查办公室.新疆土壤[M].北京:科学出版 社,1996,51-52.
- [22] 王全九,毕磊,张继红.新疆包头湖灌区农田土壤水盐热特性空间 变异特征[J].农业工程学报,2018,34(18):138-145+316.
- [23] 李会亚,冯起,陈丽娟,等.民勤绿洲灌区表层土壤盐分空间变异性研究[J].干旱区资源与环境,2017,31(4):136-141.
- [24] 巩玉红.西北干旱区金塔绿洲土壤盐分离子分布特征及原因分析 [D].济南:山东师范大学,2010.
- [25] 胡佳楠,塔西甫拉提·特依拜,依力亚斯江·努尔麦麦提,等.于田 绿洲土壤含盐量的空间异质性研究[J].土壤,2017,49(1): 162-170.
- [27] Li R, Hou X Q, Jia Z K, et al. Effects on soil temperature, moisture, and maize yield of cultivation with ridge and furrow mulching in the rainfed area of the Loess Plateau China[J]. Agricultural Water Management, 2013, 116:101-109.
- [28] 韩璐.柴达木盆地土壤温湿特征及其与植被覆盖变化的关系研究 [D].石家庄:河北师范大学,2016:10-13.
- [29] 权晨,周秉荣,朱生翠,等.青藏高原高寒湿地冻融过程土壤温湿变 化特征[J].干旱气象,2018,36(2):219-225.
- [30] 赵逸舟,马耀明,马伟强,等.藏北高原土壤温湿变化特征分析[J]. 冰川冻土,2007,29(4):578-583.
- [31] 赵维俊,刘贤德,金铭,等.祁连山林草复合流域土壤温湿度时空变 化特征[J].土壤,2018,50(4):795-802.
- [32] 涂钢,刘辉志,董文杰,东北半干旱区退化草地土壤温度的日、季变 化特征[J].高原气象,2008,27(4):741-748.
- [33] 吴贤忠,李毅,高志永,等.白膜、黑膜全年覆盖下的土壤水、热、盐 变化[J].中国生态农业学报,2018,26(11):1701-1709.
- [34] 杜宏娟,赵斯文,魏月娥,等.红寺堡酿酒葡萄根系层冬季土壤温度 变化特征[J].中国农学通报,2018,34(34):103-107.
- [35] Gu X B, Li Y N, Du Y D. Biodegradable film mulching improves soil temperature, moisture and seed yield of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) [J]. Soil and Tillage Research, 2017, 171:42-50.
- [36] Cuello J P, Hwang H Y, Gutierrez J, et al. Impact of plastic film mulching on increasing greenhouse gas emissions in temperate upland soil during maize cultivation [J]. Applied Soil Ecology, 2015, 91: 48-57.
- [37] 侯慧芝,王娟,张绪成,等.半干旱区全膜覆盖垄上微沟种植对土壤 水热及马铃薯产量的影响[J].作物学报,2015,41(10):1582-1590.
- [38] 王绍令,丁永建,赵林. 青藏高原局地因素对近地表层地温的影响 [J]. 高原气象, 2001, 21(1): 85-89.
- [39] 罗凤敏,高君亮,辛智鸣,等.乌兰布和沙漠东北缘地温变化特征及 其影响因子[J].中国沙漠,2019,39(01):1-8.
- [40] 安可栋. 旱区土气界面水热传输机理及对包气带水热运移的影响 [D].西安:长安大学,2016:53.