

# 新疆玛纳斯河流域土壤盐分特征研究\*

吕真真 刘广明<sup>†</sup> 杨劲松

(土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

**摘要** 以新疆玛纳斯河流域为研究区, 结合面域土壤性状调研, 利用相关分析和主成分分析方法对区域土壤盐分特征进行研究。结果表明, 研究区域土壤盐渍化类型以硫酸盐为主, 剖面土壤盐分含量呈现底聚分布特征; 土壤盐分含量与  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  离子含量呈极显著正相关; 各层土壤盐分阴离子以  $\text{SO}_4^{2-}$  为主, 阳离子以  $\text{Ca}^{2+}$  为主;  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  及土壤盐分含量( $S_1$ )是表征玛纳斯河流域土壤盐渍化的主要特征因子。本研究将为新疆玛纳斯河流域土壤资源可持续利用提供重要的理论依据。

**关键词** 玛纳斯河流域; 土壤盐渍化; 主成分分析; 盐分特征

**中图分类号** S159.2

**文献标识码** A

我国盐渍土面积之大, 分布之广, 是世界之最<sup>[1]</sup>。据统计, 全国约有  $3.7 \times 10^7 \text{ hm}^2$  现代(活化)盐渍土<sup>[2]</sup>。我国新疆是盐渍化大区, 盐碱土面积达  $2.18 \times 10^7 \text{ hm}^2$ , 现有耕地中 31.1% 的面积受到盐碱危害。土壤的盐渍化问题和灌溉引起的土壤次生盐渍化问题是新疆农业发展的主要障碍, 也是影响新疆绿洲生态环境稳定的重要因素<sup>[3]</sup>。玛纳斯河流域内部分灌区由于地形平坦, 气候干旱, 有利于盐碱物质积累, 加之渠系渗漏以及多灌少排或无排等原因, 导致部分地区地下水位上升, 土地次生盐渍化面积扩大, 良田被迫弃耕, 甚至居民迁居<sup>[4]</sup>。盐渍土的发生受区域性因素的影响和制约, 其盐分组成及离子比例呈现地域性特点, 积盐、脱盐过程存在差异<sup>[5]</sup>。盐渍化土壤积盐强度以及占优势盐类的组成随生物、气候、地带性土壤的发生过程不同差异很大<sup>[6]</sup>。不同地区的气候特点, 成土母质的差异致使土壤盐渍化成因不同, 因而土壤总体盐分状况、盐基离子组成, 及盐基离子之间的相关性不同<sup>[7]</sup>。目前, 已有学者利用不同的研究方法在不同地区分析了土壤盐分含量、土壤电导率与土壤盐基离子的关系<sup>[8-10]</sup>, 但是在区域土壤盐渍化主导特征因子确定等方面尚显不足。本研究以新疆玛纳斯河流域为研究区域, 应用相关分析和主成分分析方法对玛纳斯河流域土壤盐分特征进行研究, 分析了研究区各盐基离子之间及与土壤盐分含量的相关关系和该区土壤盐渍

化的主要特征因子。本研究及其成果将为研究区域土壤资源可持续利用提供重要的理论依据, 并对类似区域土壤盐渍化问题提供重要的参考价值。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区域为新疆玛纳斯河流域, 地理位置为东经  $85^\circ 30' \sim 86^\circ 26'$ , 北纬  $44^\circ 03' \sim 45^\circ 8.4'$ 。玛纳斯河流域成为新疆开垦面积最大的人工绿洲, 同时也是我国第四大灌溉农业区, 是自治区最重要的粮、棉、糖生产基地之一<sup>[11]</sup>。该流域多年干旱少雨, 南部中高山带年均降水量为  $400 \sim 600 \text{ mm}$ , 低山丘陵地区为  $344 \sim 428 \text{ mm}$ , 山前倾斜平原为  $197.2 \text{ mm}$ , 靠近沙漠边缘的干三角洲仅为  $107.9 \text{ mm}$ 。流域内年均蒸发量为  $1\ 500 \sim 2\ 100 \text{ mm}$ ; 年均气温为  $4.7 \sim 5.7^\circ\text{C}$ , 光热资源丰富, 属典型的温带大陆性干旱半干旱气候<sup>[12]</sup>。土壤受地貌、气候、水文条件、成土母质、植被等的影响, 类型复杂多样, 空间分布不均匀。主要农作物有小麦、棉花、玉米、甜菜、油料作物和瓜果、蔬菜。在自然条件下, 土壤淋溶和脱盐过程十分微弱, 土壤中的可溶盐强烈积聚, 形成大面积不同程度盐渍化土壤。流域内土壤荒漠化严重, 绿洲土壤盐渍化主要发生在洪积冲积扇扇缘、冲积平原、干三角洲等部位, 尤以地下水位较高、地

\* 公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001)和公益性行业(海洋)科研专项经费项目(201105020)资助

<sup>†</sup> 通讯作者, E-mail: gmliu@issas.ac.cn

作者简介: 吕真真(1987—), 女, 汉族, 博士研究生, 主要从事土壤盐渍化防控管理与盐渍土资源利用方面的研究。E-mail: zlzlv@issas.ac.cn

收稿日期: 2012-06-15; 收到修改稿日期: 2012-10-17

下水量较丰富,且流动不畅的洪积冲积扇扇缘及冲积平原上部更为严重<sup>[13]</sup>。

### 1.2 样品采集与分析

**1.2.1 样品采集** 本研究采用 GPS 定位技术,以研究区域土壤类型图及灌区图作为参考图,综合考虑土壤质地、植被类型和土地利用方式等因素尽可能地进规则布点,获取采样点坐标输入 GPS 进行野外采样导航。采样时间为 2010 年 9 月,采样时根据现场情况进行采样点位置的适当调整,共进行

了 164 个有效采样点位的土壤样品采集,采样点分布图见图 1。

在每个采样点用土钻法进行 5 层分层取样,土壤层次设计为 0~10 cm、>10~30 cm、>30~60 cm、>60~80 cm、>80~100 cm,其中对于 0~10 cm 和 >10~30 cm 两个层次进行梅花状五点混合采样。同时对采样点周围的地形地貌、植被类型、植被覆盖度等要素进行描述,并收集当地的灌溉方式、灌溉制度、管理模式等信息。

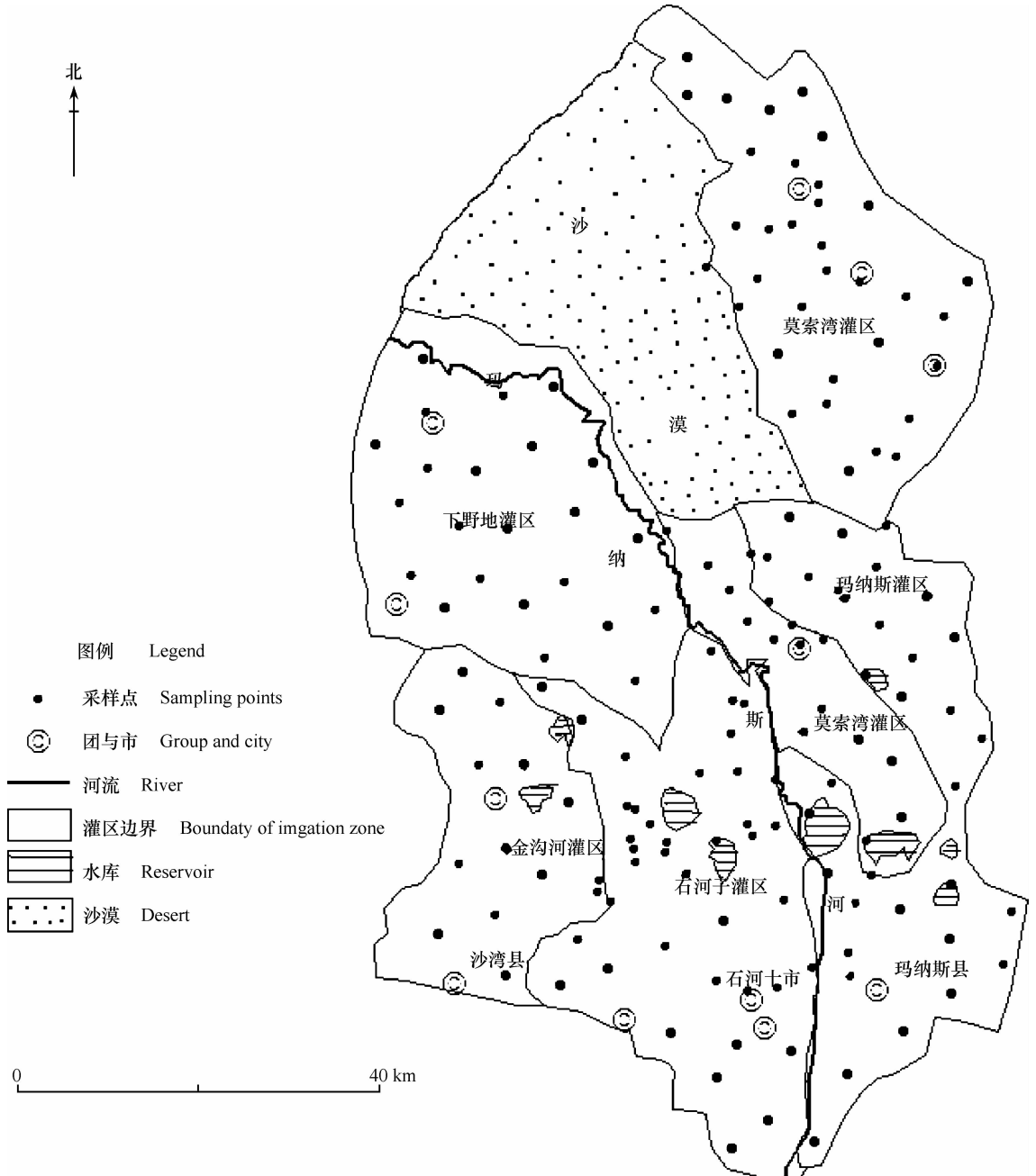


图 1 采样点位分布图

Fig. 1 Distribution of soil sampling sites

**1.2.2 样品处理与分析** 采集的土壤样品带回实验室内自然风干、磨碎、过 2 mm 筛后备用。所有样品均制备 1:5 土水比浸提液,参照《土壤农业化学分析方法》<sup>[14]</sup> 进行土壤 pH、钠、钾、钙、镁、氯、硫酸根、碳酸根、碳酸氢根等盐分离子含量的测定,其中:Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 用 EDTA 络合滴定法测定;K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 用火焰光度法测定;HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 用双指示剂滴定法测定;Cl<sup>-</sup> 用标准 AgNO<sub>3</sub> 滴定法测定;SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 用 EDTA 络合滴定法测定;pH 用酸度计测定;土壤盐分含量采用离子总和法计算。

### 1.3 数据处理

数据经 Excel 整理后,采用 SPSS16.0 软件进行统计和主成分分析。

## 2 结果

### 2.1 土壤盐分垂直分布特征

对 0~10 cm、>10~30 cm、>30~60 cm、>60~80 cm、>80~100 cm 深度的土壤盐分含量进行比较,可以清楚地显示出研究区土壤盐分总体的垂直分布状况,总体上研究区土壤盐渍化以非盐化和轻

度盐化为主<sup>[15]</sup>,剖面土壤盐分含量呈现显著的底聚分布特征。由表 1 中各土层土壤盐分含量平均值可知,0~10 cm 土层,土壤盐分含量最低,随土层深度的增加土壤盐分含量呈现逐渐增加的趋势;80~100 cm 土层,土壤盐分含量最高;0~60 cm 深度各土层间土壤盐分含量的变化在土壤剖面中较为剧烈,而 60~100 cm 深度各土层间土壤盐分含量的变化趋于缓和。降雨及灌溉致使土壤表层盐分离子随水分运动向下层淋洗,从而使土壤盐分含量在整个土壤剖面呈现随土层深度增加而逐渐增加的趋势。分析原因可能是由于降雨及灌溉水在土壤中渗透深度的影响,土壤水分在 0~60 cm 土层中运移强烈,盐随水移,因此土壤盐分含量在该深度范围内变化剧烈。

变异系数 CV 值反映样点的离散程度,CV < 0.1 为弱变异性;0.1 ≤ CV ≤ 1 为中等变异性;CV > 1 为强变异性<sup>[16]</sup>。由表 1 可知,不同深度土壤盐分含量的变异程度不同,表层(0~10 cm)变异最大,随土壤深度的增加,变异系数 CV 值逐渐减小,说明不同土层土壤盐分含量的变异随深度增加而逐渐减弱;除 80~100 cm 土壤属于中等变异程度外,其他深度土壤盐分含量均属于强度变异程度。

表 1 土壤盐分含量统计特征值

Table 1 Descriptive statistics of soil total salt contents in soil layers different in depth

土层 Soil layer (cm)	最小值 Minimum (g kg <sup>-1</sup> )	最大值 Maximum (g kg <sup>-1</sup> )	平均值 Mean (g kg <sup>-1</sup> )	标准差 Standard deviation (g kg <sup>-1</sup> )	偏度系数 Skewness	峰度系数 Kurtosis	变异系数 Coefficient of variation
0~10	0.528	8.048	1.657	2.189	2.659	6.025	1.321
>10~30	0.589	9.842	2.160	2.636	2.115	3.691	1.221
>30~60	0.591	12.62	3.152	3.382	1.571	1.997	1.073
>60~80	0.543	12.62	3.454	3.675	1.550	1.429	1.064
>80~100	0.659	11.35	3.640	3.394	1.163	0.183	0.933

### 2.2 土壤盐基离子垂直分布特征

土壤中的盐分是由多种可溶性盐基离子组成的。不同类型盐碱土其土壤盐基离子组成差异显著,通常每种类型盐碱土均由 1~2 种主要盐分组成。土壤盐基离子组成影响土壤理化性质,进而决定盐碱土壤脱盐的难易程度。此外,不同种类盐基离子及其含量的高低对植物的毒害作用亦有明显差异。

由表 2 可知,各深度土层土壤阴离子以 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 为主,占相应深度土层土壤盐分含量的 45%~54%;阳离子以 Ca<sup>2+</sup> 为主,占相应深度土层土壤盐分含量的 12%~19%。且土壤中的 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 与土壤盐分含量在土

壤剖面中的分布规律相同,说明土壤盐分含量与土壤中的 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 具有密切的相关性。可见,研究区土壤盐分组成以硫酸盐为主。

各深度土壤的盐基离子组成大致相同,不同深度土壤的离子组成比例略有差异。各土层中的 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 含量均较低,大部分土壤样品中未能检测出,平均含量约占离子总量的 0.5%;随着土壤深度逐渐增加各盐基离子含量占土壤盐分总量的百分比呈现不同的分布规律:HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、K<sup>+</sup> 呈现逐渐降低趋势;Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup> 呈现先升高后降低趋势;SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 呈现逐渐升高趋势;Ca<sup>2+</sup> 呈现波浪式变化;Mg<sup>2+</sup> 在整个土壤剖面中变化不大,基本稳定在 5% 左右。

表 2 不同深度土壤各盐基离子平均含量及所占离子总量的百分比

Table 2 Mean content and percentage of the total of various salt ions in different soil layers

土层 Soil layer (cm)	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		Cl <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
	平均含量 <sup>①</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	浓度 <sup>②</sup> (%)	平均含量 <sup>①</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	浓度 <sup>②</sup> (%)	平均含量 <sup>①</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	浓度 <sup>②</sup> (%)	平均含量 <sup>①</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	浓度 <sup>②</sup> (%)
0~10	0.009	0.57	0.210	12.65	0.094	5.70	0.757	45.68
>10~30	0.013	0.59	0.228	10.57	0.254	11.75	0.997	46.14
>30~60	0.019	0.60	0.228	7.24	0.411	13.02	1.519	48.20
>60~80	0.019	0.54	0.207	6.00	0.426	12.35	1.687	48.85
>80~100	0.015	0.41	0.198	5.430	0.318	8.74	1.946	53.45

土层 Soil layer (cm)	Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>		K <sup>+</sup>		Na <sup>+</sup>	
	平均含量 <sup>①</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	浓度 <sup>②</sup> (%)	平均含量 <sup>①</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	浓度 <sup>②</sup> (%)	平均含量 <sup>①</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	浓度 <sup>②</sup> (%)	平均含量 <sup>①</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	浓度 <sup>②</sup> (%)
0~10	0.310	18.71	0.068	4.09	0.060	3.62	0.148	8.94
>10~30	0.258	11.95	0.106	4.90	0.058	2.70	0.246	11.38
>30~60	0.491	15.57	0.129	4.08	0.049	1.55	0.307	9.73
>60~80	0.464	13.44	0.180	5.20	0.029	0.85	0.441	12.78
>80~100	0.636	17.46	0.185	5.07	0.029	0.79	0.315	8.65

① Average content ② Concentration

### 2.3 盐分含量与盐基离子的关系

由于化学元素的离子半径、化合价、存在形态等的相似性，它们在植物、土壤、沉积物等生命和非生命体中的存在往往具有一定的相关性<sup>[17]</sup>。在盐渍化土壤中，不同盐分离子之间及与土壤盐分含量的关联性不同，为了解土壤盐分在土壤中的存在形态和积累的特点，本研究分析了土壤盐分含量、pH 与主要可溶性盐基离子间的内在关联性。以 0~10cm 深度为例，通过 Pearson 相关分析，结果表明土壤盐分含量 ( $S_i$ ) 与  $SO_4^{2-}$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Na^+$ 、 $K^+$ 、 $Cl^-$ 、 $Mg^{2+}$  呈极显著正相关（见表 3），

其中  $S_i$  与  $SO_4^{2-}$  的相关性最高，相关系数为 0.992，其次是  $Ca^{2+}$ ，相关系数为 0.950； $SO_4^{2-}$  与  $Cl^-$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $K^+$ 、 $Na^+$  呈极显著正相关，其中  $SO_4^{2-}$  与  $Ca^{2+}$  的相关性最高，相关系数为 0.959； $Cl^-$  与  $K^+$ 、 $Na^+$  呈极显著正相关，尤其是与  $Na^+$ ，相关系数为 0.987； $Ca^{2+}$  与  $Mg^{2+}$ 、 $K^+$  呈极显著正相关，与  $Na^+$  呈显著正相关； $K^+$  与  $Na^+$  也呈显著正相关； $HCO_3^-$  离子与其他盐基离子及土壤盐分含量之间呈负相关；土壤 pH 与土壤可溶性离子之间均未达到显著性相关，但与  $SO_4^{2-}$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  负相关，与  $CO_3^{2-}$ 、 $HCO_3^-$ 、 $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Cl^-$  正相关。

表 3 0~10 cm 深度土壤各盐基离子相关分析矩阵

Table 3 Matrix of the correlation coefficients of salt ions in the 0~10 cm soil layer

	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	$S_i$	pH
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	1									
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.340	1								
Cl <sup>-</sup>	0.223	-0.220	1							
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0.078	-0.278	0.593 **	1						
Ca <sup>2+</sup>	-0.084	-0.198	0.431	0.959 **	1					
Mg <sup>2+</sup>	-0.255	-0.064	-0.099	0.712 **	0.814 **	1				
K <sup>+</sup>	0.176	-0.152	0.585 **	0.640 **	0.629 **	0.287	1			
Na <sup>+</sup>	0.178	-0.192	0.987 **	0.641 **	0.463 *	-0.042	0.567 *	1		
$S_i$	-0.033	-0.234	0.670 **	0.992 **	0.950 **	0.651 **	0.683 **	0.707 **	1	
pH	0.369	0.063	0.441	-0.06	-0.136	-0.437	0.24	0.431	0.015	1

注：\* 在  $p < 0.05$  水平下显著相关，\*\* 在  $p < 0.01$  水平下极显著相关 Note: \* Significant at  $p < 0.05$  level, \*\* extremely significant at  $p < 0.01$  level

## 2.4 土壤盐渍化的主导因子

土壤盐分含量和土壤各种可溶性离子含量的空间变异性强,难以精确定量描述土壤盐分及各离子含量的分布特征,因此本研究采取主成分分析的方法,获取具有代表性和限制性的土壤盐渍化特征因子,用于合理评价研究区土壤盐渍化状况,以便

为该区域土壤盐渍化改良和利用提供有针对性的理论依据。在求算主成分因子时,采用方差最大正交旋转法进行转轴,通过此方法可使得每个因子最高载荷的变量数最少,每个因子可独立表达各自的含义,但每个变量的共同性不会改变,这样易于对因子载荷量进行解释。

表 4 土壤盐渍化主成分的特征根与方差贡献率

Table 4 Eigenvalues and variance contributions of the principal components of soil salinization

主成分 Component	相关矩阵的特征值 Initial eigenvalues			提取因子载荷的平方和 Extraction sums of squared loadings			旋转后提取因子载荷的平方和 Rotation sums of squared loadings		
	特征值 Eigenvalues	各成分解释 方差占总方差 的百分比% of Variance	累计方差 百分比 Cumulative %	特征值 Eigenvalues	贡献率 Rate of variance (%)	累计贡献率 Cumulative rate (%)	特征值 Eigenvalues	贡献率 Rate of variance (%)	累计贡献率 Cumulative rate (%)
1	4.84	48.37	48.37	4.84	48.37	48.37	3.60	35.98	35.98
2	2.34	23.44	71.82	2.344	23.44	71.82	2.90	28.98	64.96
3	1.15	11.50	83.31	1.15	11.50	83.31	1.84	18.35	83.31
4	0.94	9.35	92.66						
5	0.32	3.16	95.83						
6	0.26	2.58	98.40						
7	0.14	1.40	99.80						
8	0.02	0.18	99.98						
9	0.002	0.02	100						
10	2.52E-08	2.52E-07	100						

对土壤盐分含量、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、pH 进行主成分分析,获得各主成分特征值及贡献率(见表 4)。分析结果表明,按照特征值  $>1$  确定出主成分个数为 3。第一、二、三主成分的贡献率分别为 48.37%、23.44% 和 11.50%。前三个主成分的累计贡献率为 83.31%,特征值之和为 8.31,表明原来 10 个指标所反映信息可由前三个主成分表征。

主成分因子载荷是主成分因子与原始变量因子之间的相关系数<sup>[18]</sup>。由表 5 可以看出, $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  及  $\text{S}_1$  在第一主成分上的载荷值较大,且均为正向负荷,载荷值分别为 0.970、0.966、0.823 和 0.748,说明  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  及  $\text{S}_1$  与第一主成分之间相关性高,即这四个指标与土壤盐渍化关系密切,在实际意义上代表了土壤盐渍化状况,也进一步说明影响该区土壤盐渍化的盐分主要是硫酸盐,可能是由于成土母质及水源盐离子组成所致,已有研究表明该区井水中阴离子以  $\text{SO}_4^{2-}$  为主<sup>[19]</sup>;  $\text{Cl}^-$  和  $\text{Na}^+$  在第二主成分的载荷较大且均呈正相关,分别

表 5 旋转后主成分因子载荷

Table 5 Rotated principal component factor matrix

指标 Index	主成分 Principal component		
	PC-1	PC-2	PC-3
$\text{Mg}^{2+}$	0.970	0.136	-0.028
$\text{Ca}^{2+}$	0.966	0.131	0.034
$\text{SO}_4^{2-}$	0.823	0.440	-0.137
$\text{S}_1$	0.748	0.652	0.032
$\text{Cl}^-$	0.154	0.949	0.188
$\text{Na}^+$	0.171	0.944	0.192
$\text{CO}_3^{2-}$	-0.280	-0.478	-0.025
$\text{HCO}_3^-$	-0.107	0.014	0.832
$\text{K}^+$	0.466	0.166	0.759
pH	-0.359	0.443	0.687

高达 0.949 和 0.944,说明该主成分在第一主成分的基础上进一步反映出该区土壤盐渍化在一定程度上也受到 NaCl 的影响。 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{K}^+$  和 pH 在第三主成分的载荷相对较高,说明  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{K}^+$  和 pH 也在

一定程度上影响玛纳斯河流域土壤盐渍化,主要是影响土壤的碱度。

### 3 结论

本研究结合面域土壤性状调研,利用相关分析和主成分分析方法对新疆玛纳斯河流域土壤盐分特征进行研究,主要获得了以下研究结论:

剖面土壤盐分呈现底聚分布特征,0~60 cm 深度土壤盐分含量在土壤剖面中的变化最为剧烈,60~100 cm 深度土壤盐分含量的变化呈现减缓趋势。水平方向上土壤盐分含量的变异性随深度增加而逐渐减弱;除 80~100 cm 土壤属于中等变异程度外,其他深度土壤盐分含量均属于强度变异。

土壤阳离子以  $\text{Ca}^{2+}$  为主,盐分阴离子以  $\text{SO}_4^{2-}$  为主,土壤中的盐分以硫酸盐为主。土壤盐分含量与  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  呈极显著正相关,其中与  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  的相关性尤为显著。 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  及  $S_i$  是表征玛纳斯河流域土壤盐渍化的主要特征因子。

玛纳斯河流域土壤盐渍化主要受到硫酸盐的影响,其次受到氯化物的影响; $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{K}^+$  和 pH 通过影响土壤碱度进而在一定程度上影响土壤盐渍化。

### 参考文献

- [ 1 ] 俞仁培. 对盐渍土资源开发利用的思考. 土壤通报, 2001, 32(Z1):138—140. Yu R P. Ideas about exploitation and utilization of saline soil resources (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2001, 32(Z1):138—140
- [ 2 ] 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培, 等. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社, 1993. Wang Z Q, Zhu S Q, Yu R P, et al. Saline soil in China (In Chinese). Beijing: Science Press, 1993
- [ 3 ] 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. 干旱区地理, 2000, 23(2):178—181. Tian C Y, Zhou H F, Liu G Q. The prosal on control of soil salinizing and agricultural tural sustaining development in 21st centuries in Xinjiang (In Chinese). Arid Land Geography, 2000, 23(2):178—181
- [ 4 ] 杨发相. 新疆玛纳斯河流域的土地利用与退化问题. 新疆环境保护, 2002, 24(1):8—12. Yang F X. Some problems on the land use and degradation in Manas River Watershed, Xinjiang (In Chinese). Environmental Protection of Xinjiang, 2002, 24(1):8—12
- [ 5 ] 毛任钊, 田魁祥, 松本聪, 等. 盐渍土盐分指标及其与化学组成的关系. 土壤, 1997, 29(6):326—330. Mao R D, Tian K X, Song B C, et al. The relationship of soil salinity indicators and

- their chemical composition (In Chinese). Soils, 1997, 29(6):326—330
- [ 6 ] 新疆维吾尔自治区农业厅, 新疆维吾尔自治区土壤普查办公室. 新疆土壤. 北京: 科学出版社, 1996: 304—332. Department of Agriculture of Xinjiang Uygur Autonomous Region, The Soil Survey's Office of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Xinjiang soil (In Chinese). Beijing: Science Press, 1996: 304—332
- [ 7 ] 付秋萍, 张江辉, 王全九, 等. 塔里木盆地土壤盐分变化特征分析. 自然科学进展, 2007, 17(8):1091—1097. Fu Q P, Zhang J H, Wang Q J, et al. Soil salinity variation in Tarim Basin (In Chinese). Progress in Natural Science, 2007, 17(8):1091—1097
- [ 8 ] 古丽格娜·哈力木拉提, 木合塔尔·吐尔洪, 于坤, 等. 喀什葛尔河流域盐渍化土壤盐分特征分析. 干旱区资源与环境, 2012, 26(1):169—173. Guline H, Muhtar T, Yu K, et al. Analysis on the characteristics of saline soil on Kashghar River Valley (In Chinese). Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26(1):169—173
- [ 9 ] 李新国, 樊自立, 李会志, 等. 开都河下游灌区土壤盐渍化特征分析. 干旱地区农业研究, 2011, 29(2):147—151. Li X G, Fan Z L, Li H Z, et al. Analysis on the characteristics of soil salinization in the downstream of Kaidu River irrigation areas, Xinjiang (In Chinese). Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 29(2):147—151
- [ 10 ] 张飞, 塔西甫拉提·特依拜, 丁建丽. 渭干河—库车河三角洲绿洲盐渍化土壤特征研究. 干旱地区农业研究, 2007, 25(2):146—150. Zhang F, Tashpolat T, Ding J L. Analysis on characteristics of soil salinization in the delta oasis of Weigan and Kuqa Rivers (In Chinese). Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(2):146—150
- [ 11 ] 禹朴家, 徐海量, 乔木, 等. 玛纳斯河流域土壤类型空间分布格局分析. 土壤学报, 2010, 47(6):1050—1059. Yu P J, Xu H L, Qiao M, et al. Spatial distribution of the soil types in the Manas River Basin (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2010, 47(6):1050—1059
- [ 12 ] 樊自立, 马英杰, 马映军. 中国西部地区的盐渍土及其改良利用. 干旱区研究, 2001, 18(3):1—6. Fan Z L, Ma Y J, Ma Y J. Salinized soils and their improvement and utilization in West China (In Chinese). Arid Zone Research, 2001, 18(3):1—6
- [ 13 ] 赖先齐. 绿洲盐渍化弃耕地生态重建研究. 北京: 中国农业出版社, 2007: 9—20. Lai X Q. Research on salinization of abandoned farmland ecological reconstruction in oasis (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2007: 9—20
- [ 14 ] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. Lu R K. Analytical methods for soil and agro-chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000
- [ 15 ] 刘广明, 吕真真, 杨劲松, 等. 典型绿洲区土壤盐分的空间变异特征. 农业工程学报, 2012, 28(16):100—107. Liu G M, Lü Z Z, Yang J S, et al. Spatial variation characteristics of soil salinity in typical oasis region (In Chinese), Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(16):

100—107

- [16] 雷志栋, 杨诗秀, 谢森传. 土壤水动力学. 北京: 清华大学出版社, 1988. Lei Z D, Yang S X, Xie S C. Soil water dynamics (In Chinese). Beijing: Tsinghua University Press, 1988
- [17] 刘景双, 朱颜明, 黄锡畴. 长白山岳桦林化学元素生物地球化学分析. 地理科学, 1998, 18(5): 457—462. Liu J S, Zhu Y M, Huang X C. Analysis of biological geochemistry of chemical elements in *Betula ermanii* forest, Changbai Mountains (In Chinese). Geographical Sciences, 1998, 18(5): 457—462
- [18] 郝黎仁, 樊元, 郝哲欧, 等. SPSS 使用统计与分析. 北京: 中国水利水电出版社, 2003. Hao L R, Fan Y, Hao Z O, et al. SPSS usage statistics and analysis (In Chinese). Beijing: China Water Power Press, 2003
- [19] 刘春卿, 杨劲松, 陈小兵, 等. 新疆玛纳斯河流域灌溉水质与土壤盐渍状况分析. 土壤, 2008, 40(2): 288—292. Liu C Q, Yang J S, Chen X B, et al. Quality of irrigation water and soil salinity of the Manas River Valley in Xinjiang (In Chinese). Soils, 2008, 40(2): 288—292

## SOIL SALINITY CHARACTERISTICS OF MANAS RIVER VALLEY IN XINJIANG

Lü Zhenzhen<sup>†</sup> Liu Guangming<sup>†</sup> Yang Jingsong

(State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract** Characteristics of the soil salinity of the Manas River Valley in Xinjiang was studied using correlation analysis and principal component analysis methods, in combination with regional investigation of soil properties. Results show that the soils in this region are of the type of soils salinized mainly with sulfate, and of the grades of severely and moderately salinized soils. Profile distribution of soil salinity of the soils is characterized by bottom accumulation. Soil salt content (St) is in significant positive correlation with content of  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{Ca}^{2+}$ .  $\text{SO}_4^{2-}$  is the dominant anion while  $\text{Ca}^{2+}$  the dominant cation of the salts distributed in all layers of the soil profile.  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and S<sub>1</sub> are the eigenfactors to characterize soil salinization of the Manas River Valley. This study will provide an important theoretical basis for sustainable utilization of the soil resources in the Manas River valley of Xinjiang.

**Key words** Manas River Valley; Soil salinization; Principle component analysis; Characteristics of soil salinity

(责任编辑: 檀满枝)