

秦王川灌区农田土壤盐分离子特征分析^①

侯倩倩, 韩致文, 屈建军, 孙家欢, 肖建华

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙漠与沙漠化重点实验室, 兰州 730000)

摘要: 引大入秦工程实施以来, 秦王川灌区土壤次生盐渍化问题日益成为人们关注的焦点。对秦王川灌区不同时空下的农田土壤可溶性盐分离子特征进行了统计分析以及对比分析, 结果表明: 秦王川盆地农田土壤八大离子中, 阴离子以 SO_4^{2-} 浓度最高, CO_3^{2-} 浓度最低, 几乎为零, 阳离子以 Na^+ 浓度最高, K^+ 浓度最低, 主要盐分包括 Na_2SO_4 、 CaSO_4 、 NaHCO_3 和 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 等; 土壤中不同盐分离子之间存在着一定程度的相关性, 体现了盐分的沉积学特征以及其在土壤剖面上的分化关系; 土壤的盐分含量在各种因素(灌溉、蒸发、降水以及人为耕作等)影响下, 是一个时刻变化的动态过程, 这种动态过程可能会在某一时间点达到某种平衡, 但这种平衡会被新的因素的加入而打破。

关键词: 秦王川灌区; 农田土壤; 盐分离子; 次生盐渍化; 特征分析

中图分类号: S153.6

土壤盐渍化通常出现在气候干旱、土壤蒸发强度大、地下水位高且含有较多可溶性盐类的地区, 它是特定的气候、地形、水文地质等自然条件以及不合理人为灌溉共同对水盐运动作用的结果^[1-4], 同时也是不合理的人类活动和脆弱的生态环境共同作用引起的土地退化^[5-7]。目前, 盐渍化土壤广泛分布于世界 100 多个国家和地区, 面积达 $10 \times 10^8 \text{ hm}^2$ ^[8-10], 我国盐渍土耕地面积约为 $920.9 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占全国耕地面积的 6.62%^[11-12]。全球约有 $7\,700 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的盐渍化土壤是由于人类活动所造成的, 其中 58% 集中于灌区^[13]。由于盐渍化对社会经济和农业生态系统破坏严重而越来越受到人们关注^[14-16]。目前, 对于灌区盐渍化的研究主要集中在盐渍土的发生和演化、改良利用及综合治理方面^[17]。宋长春等^[18]研究了潜水埋深、矿化度、组成、径流条件等对内陆盐渍化土壤形成的影响, 并给出了潜水埋深及矿化度与土壤盐渍化程度的定量关系。王学全等^[19]对内蒙古河套灌区水盐平衡与干排水脱盐进行了分析, 指出河套灌区整体处于积盐过程, 同时强调调整河套灌区种植结构, 选择耐盐作物品种。赵可夫等^[20]研究了生物学措施改良盐渍土, 发现在盐碱地种植碱蓬有明显的脱盐作用, 怪柳等 8 种盐生和耐盐植物能使土壤肥力状况得以改善, 还提出了 8 种有种植价值的经济盐生植物。

秦王川灌区是引大入秦工程的主灌区, 受大水漫

灌的影响, 土壤次生盐渍化问题突出。前人对该地区的土壤盐渍化问题已有不少研究。早在引大入秦工程建设过程中, 张明泉等^[21-22]就对秦王川灌区土壤次生盐渍化进行了预测: 灌溉实施后, 地下水位将普遍升高并导致该灌区土壤盐渍化; 张新民等^[23]以土壤饱和与非饱和流的水动力学方法为依据, 采用一维流与二维流数值模拟相耦合的方法, 建立起秦王川灌区水盐动态模拟模型, 预测了灌区通水后设计运行方式下未来 20 年的水盐动态, 得出结论为: 受灌溉入渗补给增加的影响, 地下水位将逐年上升, 并在 20 年后达到新的动态平衡, 受地下水位上升影响, 秦王川灌区土壤盐渍化速度将加快。王文焰等^[24]对秦王川地区双层土壤结构的入渗特性进行了研究, 指出该双层类型土壤结构对提高土壤蓄水能力有明显作用。肖洪浪^[25]对秦王川大规模农垦中土壤盐分变化进行了研究, 认为旱地改水地使得清砂后土壤盐分富集层相应上移, 盐分淋溶影响到地下水质。苏建德^[26]对秦王川盆地地下水基本特征进行了研究, 指出秦王川盆地地下水主要接受沟谷潜流水及灌溉入渗水的补给, 径流滞缓, 排泄条件较差, 矿化度高, 水化学类型主要为 $\text{Cl}\text{-SO}_4\text{-Na}$ 和 $\text{Cl}\text{-SO}_4\text{-Na}\cdot\text{Mg}$ 型水。近年来又有学者对秦王川灌区盐渍化土壤的改良及其防治进行了研究^[27-28]。

纵观已有关于秦王川灌区土壤盐渍化的研究, 学

^①基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2011CB403306)和国家科技支撑计划项目(2012BAC08B07)资助。

作者简介: 侯倩倩(1987—), 女, 山东齐河人, 博士研究生, 研究方向为沙漠化及其治理与风沙工程。E-mail: gqqqianqian@163.com

者们都没有涉及对不同时间秦王川灌区农田土壤各可溶性盐分离子的分析研究, 本文通过对不同季节该地区土壤的可溶性盐分进行整体研究以及对比分析, 以期对秦王川乃至整个干旱区灌溉区的盐渍化问题和可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

秦王川盆地位于甘肃省中部永登县境内, 地理坐标为 $103^{\circ}30' \sim 103^{\circ}45'E$, $36^{\circ}20' \sim 36^{\circ}50' N^{[27]}$, 海拔 $1\ 800 \sim 2\ 300\ m$, 北高南低, 相对高差 $420\ m$, 地面坡降 $1/80 \sim 1/100$ 。盆地属甘肃中部寒温带亚干旱区, 日照充足, 年均温 $5^{\circ}C \sim 6^{\circ}C$, 年蒸发量 $1\ 888 \sim 2\ 000\ mm$, 相对湿度 56% 。降水量 $284.8\ mm$, 全年降水多集中在 7、8、9 三个月, 补给地下水的有效降雨量为 $15\ mm$, 为典型的干旱大陆性气候^[23, 28]。盆地内无常年地表径流, 大暴雨可形成暂时性洪流聚集在低洼沟槽中或向盆地外泄流。在盆地南部, 地下水潜流溢出, 形成沟谷溪流。在盆地北部有 3 条进入盆地的沙河, 在盆地南部及东南部有 4 条通向盆地之外的大型沟道, 使秦王川盆地成为一个相对独立, 但又有排泄地下水、地表水通道的水文地质单元^[26]。具有地带性土壤灰钙土, 局部有黄绵土及盐土等。一般北部土壤质地较轻, 南部较为黏重; 干密度一般在 $1.29 \sim 1.47\ g/cm^3$ 间。引大工程实施以来, 秦王川灌区地下水位一直处于上升趋势, 并随灌溉面积的逐步增大, 升高的速度加快。随着秦王川灌区地下水位的逐步升高, 土壤盐渍化程度不断加剧, 次生盐渍化面积不断扩大^[28]。

1.2 土样采集

由于秦王川盆地地势起伏, 在选取采样点时尽量选择地势平坦的大片农田地区, 在甘肃省兰州市引大入秦工程主灌区秦王川盆地农田土壤中选取具有代表性的 4 个采样点, 分季节(即春季 2011 年 4 月初、夏季 7 月末以及秋季 10 月末)进行采样, 从南向北依次为: 树屏镇刘家湾村、中川镇北坪村、秦川镇陇西村、上川镇达家梁村(分别用样地一、样地二、样地三与样地四表示)的片状农田, 每个采样点深度为 $100\ cm$, 用土钻(钻头长 $20\ cm$, 钻身总长 $100\ cm$)取样, 每个采样点根据蛇形采样法取 4 个重复, 用 GPS 测定经纬度与海拔高度并做好记录, 同时用数码相机对样点区域进行景观拍照。采样点经纬度与海拔高度如表 1 所示, 每个重复之间的距离在 $100\ m$ 范围内, 自土壤表层往下按照 A($0 \sim 20\ cm$)、B($20 \sim 40\ cm$)、C($40 \sim 60\ cm$)、D($60 \sim 80\ cm$)、E($80 \sim 100\ cm$)分 5 层进行柱状取样, 共取得 80 个土样。然后将每个采样点的 4 个重复土

样混合均匀成为一个混合土样, 多余土壤通过四分法去掉, 每次得到 20 个混合土样, 3 个季节共 60 个混合土样。

表 1 采样点经纬度与海拔高度
Table 1 Geographic locations and altitudes of sampling points

采样地点	重复采样点	地理坐标	海拔高度 (m)
样地一	①	$36^{\circ}24'00"N, 103^{\circ}35'54.76"E$	1 812
	②	$36^{\circ}24'1.93"N, 103^{\circ}35'56.33"E$	1 815
	③	$36^{\circ}24'4.18"N, 103^{\circ}35'57.75"E$	1 817
	④	$36^{\circ}23'58.05"N, 103^{\circ}35'52.20"E$	1 819
样地二	①	$36^{\circ}30'15.70"N, 103^{\circ}39'35.91"E$	1 940
	②	$36^{\circ}30'17.15"N, 103^{\circ}39'42.65"E$	1 927
	③	$36^{\circ}30'17.24"N, 103^{\circ}39'50.48"E$	1 923
	④	$36^{\circ}30'14.62"N, 103^{\circ}39'52.85"E$	1 926
样地三	①	$36^{\circ}39'4.22"N, 103^{\circ}33'39.80"E$	2 086
	②	$36^{\circ}39'2.43"N, 103^{\circ}33'35.41"E$	2 094
	③	$36^{\circ}38'48.30"N, 103^{\circ}33'38.36"E$	2 091
	④	$36^{\circ}38'47.37"N, 103^{\circ}33'34.23"E$	2 090
样地四	①	$36^{\circ}45'36.04"N, 103^{\circ}37'21.36"E$	2 236
	②	$36^{\circ}45'32.79"N, 103^{\circ}37'20.16"E$	2 231
	③	$36^{\circ}45'30.88"N, 103^{\circ}37'18.08"E$	2 237
	④	$36^{\circ}45'28.71"N, 103^{\circ}37'13.20"E$	2 227

1.3 测定方法

1.3.1 土壤化学分析 土样在实验室自然风干后, 剔出土壤以外的侵入体(如植物残茬、石粒、砖块等杂质), 将风干磨碎土壤过 $1\ mm$ 筛, 取 $10\ g$ 土样与 $25\ g$ 蒸馏水(水土比 $2.5:1$)混合, 经过振荡和离心, 取上清液进行 pH、土壤盐分及其各组分的测定。pH 采用 LP-115 pH Meter 酸度计测定; CO_3^{2-} 和 HCO_3^{-} 采用双指示剂中和法测定; Cl^{-} 采用 $AgNO_3$ 滴定法测定; SO_4^{2-} 采用 EDTA 间接滴定法测定; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 采用 EDTA 络合滴定法测定; K^{+} 和 Na^{+} 采用差减法测定。

1.3.2 土壤可溶盐总量 首先测定土壤浸提液中 K^{+} 、 Na^{+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^{-} 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^{-} 的含量, 再将这八大离子含量相加即为土壤可溶盐总量。

2 结果与讨论

2.1 土壤盐分组成与类型

土壤样品的易溶盐的组成主要是由 HCO_3^{-} 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 、 Na^{+} 组成。在理论上 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 、 Na^{+} 等阳离子的总摩尔量和 HCO_3^{-} 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 等阴离子的总摩尔量应处于平衡状态, 但在实际测定中对于传统容量法测定钙、镁、硫酸盐, 对于较高和较低含量的样品测定误差较大, 因

此样品的阴阳离子平衡困难，造成较大的误差^[29]。秦王川灌区土壤中八大离子占总盐的比例如图 1 所示，从图 1 可知，整个秦王川灌区农田土壤阳离子以 Na^+ 含量最高， K^+ 最低；阴离子以 SO_4^{2-} 最高， CO_3^{2-} 最低，在实验中没有检测出。组成秦王川灌区农田土壤的盐分类型共有 12 种，根据溶解度大小可分为易溶盐(NaCl 、 Na_2SO_4 、 MgSO_4 、 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 、 MgCl_2 、 CaCl_2)、中溶盐(CaSO_4)、微溶盐($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 、 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$)和难溶盐(CaCO_3 、 MgCO_3)，主要以钠盐、钙盐为主，主要盐分包括 Na_2SO_4 、 CaSO_4 、 NaHCO_3 和 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 等。

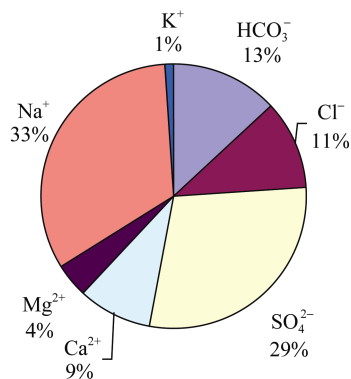


图 1 各盐分离离子占总盐量的比例
Fig. 1 Ratio of eight ions in total salt content

2.2 土壤盐分离离子频数分布统计分析

土壤中各类盐分离离子彼此之间既存在着发生学上的关系，也存在着化学上的基本关系，频数分布能反映样本在总体中的分布情况^[30]。对灌区农田土壤可溶性盐分离离子进行了频数分布统计分析(表 2，图 2)。

从表 2 可以看出各盐分离离子的统计结果，包括有

效样本数与缺失值、均值、标准差、方差偏度以及峰态等，从图 2 各盐分离离子的频数分布图可以看出，虽然各盐分离离子之间存在着一定差异，但它们的频数分布大致都呈对称或不完全对称的单峰分布。其中 HCO_3^- 的含量比较接近正态分布， Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 的含量是正偏(不对称，右偏)，且具有比正态分布曲线更尖锐的峰态。同时，从图 2 中每个盐分离离子平均值的大小可以看出秦王川灌区农田土壤的盐分离离子组成，阴离子主要是 SO_4^{2-} ，含量为 1.22 cmol/kg，占阴离子总量的 51.32%，其次是 HCO_3^- ，含量为 0.54 cmol/kg，占阴离子总量的 28.63%；阳离子主要是 Na^+ ，含量为 1.18 cmol/kg，占阳离子总量的 52.78%。该地区土壤盐分中这种离子组成的差别，主要是受土壤母质和地下水中盐分离离子组成的影响。

2.3 土壤盐分离离子之间的相关性分析

土壤中各类盐分离离子彼此之间既存在着发生学上的关系，也存在着化学上的基本关系，研究土壤盐分中离子与离子之间相互关系，可以为盐渍化土壤的预防和改良提供科学依据^[30]。基于此，本文对秦王川灌区的土壤盐分离离子浓度进行了相关性分析(表 3)。

从分析结果可以看出， HCO_3^- 与 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 之间存在着极显著的负相关；与 Cl^- 之间存在着显著的负相关，说明土壤中 HCO_3^- 的含量随着 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 以及 Cl^- 含量的升高而降低，这是因为它们在土壤剖面空间分布上存在着错位问题，很有可能不在同一土层沉积和累积。 Cl^- 与 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 之间存在着极显著的正相关， SO_4^{2-} 与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 之间存在着极显著的正相关关系，与 K^+ 之

表 2 各盐离子频数分布统计分析结果
Table 2 Statistical results of different salt ions frequency distribution

统计项目		HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+
样本数(个)	有效值	60	60	60	60	60	60	60
	缺失值	0	0	0	0	0	0	0
均值(cmol/kg)		0.539 7	0.650 5	1.224 8	0.804 0	0.529 0	0.039 2	1.176 5
标准误(cmol/kg)		0.016 28	0.138 63	0.137 73	0.155 10	0.050 14	0.004 52	0.140 33
中值(cmol/kg)		0.540 0	0.340 0	0.970 0	0.440 0	0.350 0	0.020 0	0.840 0
众数(cmol/kg)		0.41(a)	0.12	0.33	0.41	0.37	0.02	0.24(a)
标准差(cmol/kg)		0.126 07	1.073 85	1.066 83	1.201 37	0.388 35	0.035 00	1.086 96
方差(cmol ² /kg ²)		0.016	1.153	1.138	1.443	0.151	0.001	1.181
偏度		0.326	3.069	1.664	5.856	1.859	1.466	1.781
峰态		-0.404	8.849	2.980	39.345	3.514	1.200	3.400
最小值(cmol/kg)		0.32	0.04	0.11	0.23	0.14	0.01	0.16
最大值(cmol/kg)		0.82	4.84	4.91	9.08	2.06	0.14	5.17
总和(cmol/kg)		32.38	39.03	73.49	48.24	31.74	2.35	70.59

注：表中括号内字母 a 代表众数值存在多个，取其中的最小值。

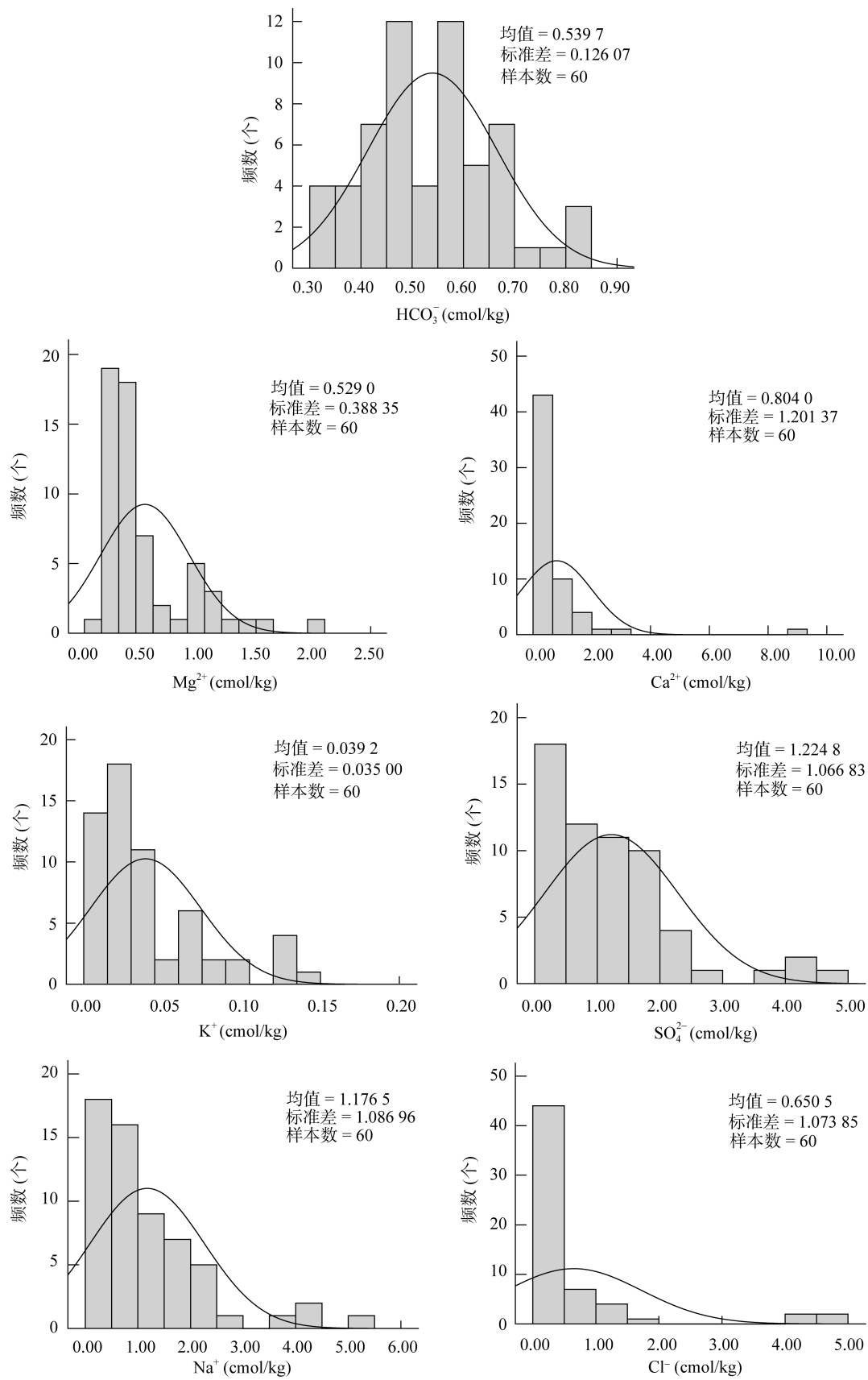


图 2 各盐分离子的频数分布
Fig. 2 Frequency distributions of salt ions

表 3 各盐分离子的相关矩阵($n = 60$)
Table 3 Correlation coefficients between various salt ions

	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+
HCO_3^-	1						
Cl^-	-0.316*	1					
SO_4^{2-}	-0.381**	0.220	1				
Ca^{2+}	-0.367**	0.185	0.938**	1			
Mg^{2+}	-0.531**	0.600**	0.836**	0.791**	1		
K^+	-0.342**	0.780**	0.282*	0.197	0.622**	1	
Na^+	-0.187	0.896**	0.340**	0.174	0.584**	0.750**	1

注：* 表示相关性达到 $P<0.05$ 显著水平，** 表示相关性达到 $P<0.01$ 显著水平(2-tailed)。

间存在着显著的正相关关系，这说明在土壤剖面 SO_4^{2-} 聚集的下部各土层，伴随着 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 之间形成中性盐土特征。 Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 之间存在着极显著的正相关关系， Mg^{2+} 与 K^+ 、 Na^+ 之间存在着极显著的正相关关系， K^+ 与 Na^+ 之间存在着极显著的正相关关系。因此，这些结果提供的信息反映了土壤中不同盐分离子之间确实存在着一定程度的相关性，与人们的普遍认识基本一致，体现着盐分的沉积学特征以及其在土壤剖面上的分化关系。

2.4 土壤盐分离子的聚类分析

反映同一事物特点的变量有很多，我们往往根据所研究的问题选择部分变量对事物的某一方面进行研究。由于人类对客观事物的认识是有限的，往往难以找出彼此独立的有代表性的变量而影响对问题的进一步认识和研究。

R 型聚类可以根据变量间关系的亲疏程度对研究对象的观测变量进行聚类，使得具有共同特征的变量作为一类^[31]。为此，本研究依据最短距离法对秦王川灌区农田土壤盐分离子的 7 个(无 CO_3^{2-})量化指标之间的关系进行了聚类分析(图 3)。

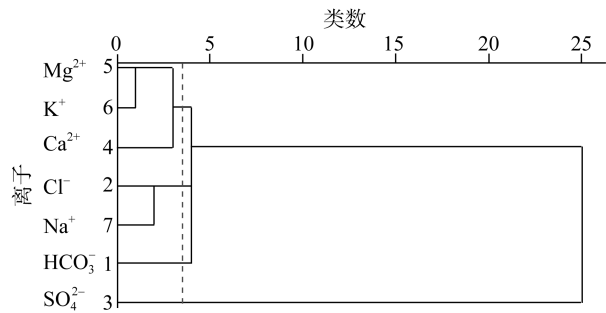


图 3 聚类分析龙骨图
Fig. 3 Dendrogram of clustering analysis

从图 3 可以看出，按照距离系数阈值为 3.5 作为分类标准，7 种盐分离子可以分为 3 类，分别为 I 类： Mg^{2+} 、 K^+ 和 Ca^{2+} ；II 类： HCO_3^- 、 Cl^- 和 Na^+ ；III 类： SO_4^{2-} 。因此，根据聚类分析的结果，在样本数较大的

情况下，为了减少工作量而又不失去有用的信息，通常可以对其中 3 种离子进行分析，就能反映该区农田土壤各盐分离子的变化情况，即取 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 SO_4^{2-} 这 3 种盐分离子测定即可。

2.5 灌区农田土壤盐分时空变化

对秦王川灌区 3 个不同采样时间的土壤全盐量对比(图 4)表明，不同时间点，灌区农田土壤的盐分空间分布所呈现的趋势大不相同。关于秦王川灌区土壤盐渍化空间分布特征，过去有许多学者进行过相关研究，比较一致的观点是：由于秦王川盆地地势北高南低，所以造成盆地盐渍化程度也呈现出由北向南逐渐加重的趋势^[26-28]。通过本次研究，发现即使是同一样地，在不同时间其盐分分布也是不相同的，春季与夏季含盐量总体分布除样地四外基本呈现出由南向北逐渐降低的趋势，而对于刚刚灌溉完的秋季 4 个样地盐分分布，却完全没有呈现前人所得出的分布规律。由此可见，秦王川灌区农田土壤的盐分含量在各种因素(灌溉、蒸发、降水以及人为耕作等)影响下，是一个时刻变化的动态过程，这种动态过程可能会在某一时间点达到某种平衡，但这种平衡会被新的因素的加入而打破。

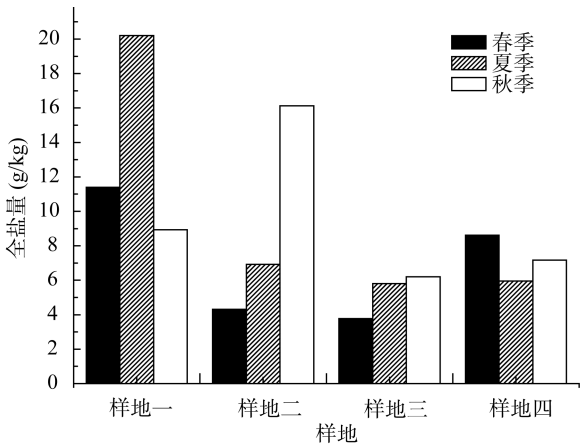


图 4 不同季节不同样地全盐量对比
Fig. 4 Salt distributions in soil profiles in different seasons in different seasons

3 结论

(1) 秦王川盆地农田土壤八大离子中, 阴离子主要为 SO_4^{2-} 、 Cl^- 和 HCO_3^- , CO_3^{2-} 含量极小, 阳离子主要为 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 K^+ ; 阴离子中 SO_4^{2-} 浓度最高, CO_3^{2-} 浓度最低, 阳离子中 Na^+ 浓度最高, K^+ 浓度最低, 主要以钠盐、钙盐为主, 主要盐分包括 Na_2SO_4 、 CaSO_4 、 NaHCO_3 和 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 等。

(2) 对秦王川灌区农田土壤盐分离子之间的相关性分析发现, 土壤中不同盐分离子之间存在着一定程度的相关性, 体现了盐分的沉积学特征以及其在土壤剖面上的分化关系; 对土壤盐分离子的聚类分析可知, 为了减少工作量而又不失去有用的信息, 可以只对其中 3 种离子(Ca^{2+} 、 Na^+ 、 SO_4^{2-})进行分析, 就能反映秦王川灌区农田土壤各盐分离子的变化情况。

(3) 在以往的研究中, 许多学者认为, 秦王川盆地由于地势北高南低, 所以造成盆地中的盐渍化程度也呈现出由北向南逐渐加重的趋势, 而本次研究发现, 秦王川灌区农田土壤的盐分含量在各种因素(灌溉、蒸发、降水以及人为耕作等)影响下, 是一个时刻变化的动态过程, 这种动态过程可能会在某一时间点达到某种平衡, 但这种平衡会被新的因素的加入而打破。

参考文献:

- [1] Sreenivas K, Venkataratnam L, Narasimha RPV. Dielectric properties of salt-affected soils[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1995, 16(4): 641–649
- [2] 翁永玲, 宫鹏. 土壤盐渍化遥感应用研究进展[J]. *地理科学*, 2006, 26(3): 369–375
- [3] 管孝艳, 王少丽, 高占义, 吕焱, 付小军. 盐渍化灌区土壤盐分的时空变异特征及其与地下水埋深的关系[J]. *生态学报*, 2012, 32(4): 1 202–1 210
- [4] 鱼腾飞, 冯起, 刘蔚, 司建华, 席海洋, 陈丽娟. 黑河下游土壤水盐对生态输水的响应及其与植被生长的关系[J]. *生态学报*, 2012, 32(22): 7 009–7 017
- [5] 李凤全, 吴樟荣. 半干旱地区土地盐碱化预警研究——以吉林省西部土地盐碱化预警为例[J]. *水土保持通报*, 2002, 22(1): 57–59
- [6] 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: 178–181
- [7] 侯倩倩, 韩致文, 王国华. 中国西北干旱区灌区土壤盐渍化问题研究进展[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(29): 246–250
- [8] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 400–515
- [9] Verma KS, Saxena RK, Barthwal AK, Deshmukh SN. Remote sensing technique for mapping salt affected soils[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 15(9): 1 901–1 914
- [10] 海米提·依米提, 米日姑·买买提, 古丽娜尔·托合提, 黄志方, 曹静静. 伊犁河谷盐渍化区土壤盐分离子的空间变异特征[J]. *干旱地区农业研究*, 2011, 29(1): 64–69
- [11] 石玉林. 《中国 1 : 100 万土地资源图》土地资源数据集[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1991: 3–7
- [12] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 1 092–1 110
- [13] Mettemicht GI, Zinck JA. Remote sensing of soil salinity: Potentials and constraints[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 85: 1–20
- [14] 王雪梅, 柴仲平, 塔西甫拉提·特依拜, 龚爱谨. 干旱区土壤盐渍化及其影响因子分析——以渭干河-库车河三角洲绿洲为例[J]. *土壤*, 2009, 41(3): 477–482
- [15] 张金锦, 段增强. 设施菜地土壤次生盐渍化的成因、危害及其分类与分级标准的研究进展[J]. *土壤*, 2011, 43(3): 361–366
- [16] 韩建均, 杨劲松, 姚荣江, 陈效民. 苏北滩涂区水盐调控措施对土壤盐渍化的影响研究[J]. *土壤*, 2012, 44 (3): 658–664
- [17] Jordán MM. Spatial dynamics of soil salinity under arid and semiarid conditions: Geological and environmental implications[J]. *Environmental Geology*, 2004, 45: 448–456
- [18] 宋长春, 邓伟. 吉林西部地下水特征及其与土壤盐渍化的关系[J]. *地理科学*, 2000, 20(3): 246–250
- [19] 王学全, 高前兆, 卢琦, 李彬. 内蒙古河套灌区水盐平衡与干排水脱盐分析[J]. *地理科学*, 2006, 26(4): 455–460
- [20] 赵可夫, 张万钧, 范海, 宋杰, 江行玉. 改良和开发利用盐渍化土壤的生物学措施[J]. *土壤通报*, 2001, 32(s0): 115–119
- [21] 张明泉, 曾正中. 甘肃秦王川灌区土壤盐分特征及次生盐渍化预测[J]. *干旱区资源与环境*, 1993, 7(2): 17–26
- [22] 魏林森. 秦王川灌区土壤次生盐渍化预测及防治[J]. *干旱区资源与环境*, 1996, 10(3): 31–35
- [23] 张新民, 沈冰, 吕贤弼. 秦王川灌区水盐动态模拟预测研究[J]. *中国农村水利水电*, 2000, 3: 10–13
- [24] 王文焰, 王全九, 沈冰, 张建丰. 甘肃秦王川地区双层土壤结构的入渗特性[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1998, 4(2): 36–40
- [25] 肖洪浪. 甘肃秦王川大规模农垦中土壤风蚀与养分、盐分变化[J]. *土壤通报*, 1998, 29(4): 148–150
- [26] 苏建德. 秦王川盆地地下水基本特征[J]. *地下水*, 2001, 23(2): 74–75
- [27] 罗星光. 秦王川灌区排水和盐渍化防治问题的探讨与分析[J]. *甘肃农业*, 2003(12): 89
- [28] 周拓. 引大秦王川灌区土壤盐渍化及其改良治理[J]. *甘肃农业*, 2003(5): 55–56
- [29] 丁晓妹. 甘肃省秦王川灌区土壤盐分特征变化分析(硕士学位论文)[D]. 兰州: 兰州大学, 2011
- [30] 郭全恩, 王益权, 郭天文, 刘军, 南丽丽. 半干旱盐渍化地区果园土壤盐分离子相关性研究[J]. *土壤*, 2009, 41(4): 664–669
- [31] 章文波, 陈红艳. 实用数据统计分析及 SPSS12.0 应用[J]. 人民邮电出版社, 2006: 179–182

Analysis of Farmland Soil Salinity Ions in Qinwangchuan Irrigated Regions

GOU Qian-qian, HAN Zhi-wen, QU Jian-jun, SUN Jia-huan, XIAO Jian-hua

(Key Laboratory of Desert and Desertification, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Secondary salinization problem of soil in Qinwangchuan irrigated regions has increasingly become the focus of attention since the Yindaruqin irrigation project was completed. In this paper, statistical and comparative analyses were used to study the farmland soil ions under different time and spaces in Qinwangchuan irrigated regions. The results showed that, among the eight ions of farmland soil, the highest concentration of anion was SO_4^{2-} , the lowest concentration of anion was CO_3^{2-} , which reaching almost zero, and the highest concentration of cation was Na^+ , the lowest concentration of cation was K^+ . The main soil salts included sodium sulfate, calcium sulfate, sodium bicarbonate and sodium bicarbonate and so on. There were some correlation between different soil ions, which reflected sedimentology characteristics of soil salts and their differentiation relationship in different soil profiles. Under the influence of the various factors (irrigation, evaporation, precipitation, cultivation, and so on), soil salt content was a dynamic process with time, and this process would reach a balance at some point in time which could be broken up if some new factors joined in.

Key words: Qinwangchuan irrigation, Farmland soil, Salt ions, Secondary salinization, Feature analysis