

# 吐鲁番盆地平原区盐渍化特征分析<sup>\*</sup>

魏青军, 李白业, 李雪妮

(新疆地矿局第一水文工程地质大队, 乌鲁木齐 830091)

**提 要:** 吐鲁番盆地处于我国西部的极端干旱区, 土壤盐渍化严重, 影响当地工农业生产与生态环境保护。为研究盆地的土壤盐渍化现状及其驱动因素, 文章在采集 783 个易溶盐样品分析理化结果的基础上, 借助 Excel、Spss 软件对盐渍土的分布及类型、盐分特征、总碱度与盐离子含量的关系、盐离子的相关性进行了分析。分析表明: (1) 土壤盐渍化类型主要是亚硫酸型和氯化型盐渍土, 未出现碱土类型; (2) 土壤的 pH 平均值为 7.32, 属弱碱性; (3) 土壤的总碱度与重碳酸根离子线性相关显著; (4) 表层土壤盐分中  $K^+$  与  $Mg^{2+}$  显著正相关,  $Na^+$  与  $Cl^-$  达极显著正相关,  $Mg^{2+}$  与  $SO_4^{2-}$ 、 $CO_3^{2-}$  显著正相关。上述分析结果表明, 盆地内盐渍化主要受干旱的气候以及地下水运移的影响, 研究结果对土壤盐渍化防治、水资源管理、农业生产、生态环境保护具有一定的指导意义。

**关键词:** 盐渍化; 易溶盐; 相关分析; 吐鲁番盆地

**中图分类号:** S156.4<sup>+</sup>1

**文献标识码:** A

土壤盐渍化是土地荒漠化和土地退化的主要类型之一, 是世界性的资源问题和生态问题。许多国家、学者都十分重视该领域的研究, 特别是在干旱半干旱地区对此问题尤为重视。我国的干旱区占总国土面积的 1/3, 盐渍土总面积达到了  $36.93 \times 10^4 km^2$  [1]。

新疆是我国盐渍土集中分布的大区, 总面积约  $11 \times 10^4 km^2$ , 几乎占到了全国盐渍土总面积的 1/3。据新疆地矿局第一水文工程地质大队的研究结果: 2010 年, 新疆吐鲁番盆地的盐渍化土地总面积为 2 255  $km^2$ 。由于盐分的危害, 盆地内的土地生产力低下, 植被退化, 生态脆弱, 环境恶劣, 一直是区域经济发展和生态环境建设的瓶颈 [2]。在一定程度上, 盐渍化加剧, 生物多样性减少, 生态破坏等问题已经给吐鲁番盆地经济社会可持续发展构成了威胁 [3]。因此, 有必要研究盆地平原区的盐渍化特征。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

吐鲁番盆地是天山东部的大型山间盆地, 北、西、南三面为山地环绕, 东部以低矮丘陵与哈密盆地分开, 是一个全封闭的盆地。以周围山脊线为界, 盆地总面积为  $5.3 \times 10^4 km^2$ , 若除去山地, 盆地平原区东起七角井峡谷口, 西至阿拉沟, 长约 500 km, 南起觉罗塔格山北麓, 北至博格达山南麓, 宽约 75 km, 面积近  $2 \times 10^4 km^2$ 。行政区划范围包括吐鲁番地区的吐鲁番市、托克逊县、鄯善县。

盆地中部有横亘东西的火焰山和盐山。这一列雁行式低山丘陵将盆地分为两个单元, 即北部高盆地和南部低盆地。北部的大部分地区为冲洪积砾石层覆盖, 地表以大倾角向南倾斜, 南部主要为艾丁湖盆地, 地势低凹, 最低点海拔为 -154 m, 是盆地水流的归宿。艾丁湖一带是地表水和地下水的集中排泄地, 地下水作为易溶盐流的载体, 盐分也在此聚积, 使艾丁湖及其周缘广泛发育盐渍土。盆地内年平均气温  $13.3^\circ C \sim 13.9^\circ C$ , 极端最高气温达  $49.6^\circ C$ , 多出现在 7 月中旬, 极端低温  $-29.9^\circ C$ , 地面直射最高温度为  $76.6^\circ C$ , 沙丘表面实测最高温度  $82.3^\circ C$ 。按夏季的日最高气温分类, 夏季平均气温在  $30^\circ C$  以上的天数有

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2012-2-20; 修回日期: 2012-3-19。

基金项目: 新疆维吾尔自治区人民政府与国土资源部合作"三五八"项目(项目编号: 2010005)资助。

作者简介: 魏青军(1980-), 男, 陕西蒲城人, 工程师, 主要从事水文地质、工程地质、环境地质相关领域的生产工作。E-mail: xjdz001@sina.com

108d~161d,酷热的天数( $>35^{\circ}\text{C}$ )有44d~121d,极热的天数( $>40^{\circ}\text{C}$ )有2d~29d。盆地内风大,年平均达到8级的风有31次,最大风速可达到 $40\text{m/s}$ <sup>[4,5]</sup>。

### 1.2 样品采集与测试分析

在对研究区地形地貌、地质、水文地质、生态环境、土地总体利用及质量有所认识的基础上,伴随水文地质测绘在野外随机布点,尽可能使点位布置规则,能基本控制地下水对盐渍化影响的区域。采样层次为0.00~0.05m(以下使用"第一层"进行描述)、0.05~0.25m(第二层)、0.25~0.50m(第三层)、0.50~0.75m(第四层)、0.75~1.00m(第五层),每层次的采样数依次为183、164、158、142、136个。采样点基本覆盖了盆地平原区的地下水浅埋带(地下水埋深小于5m),但主要集中在盆地中心地带的艾丁湖区域。

样品测试分析测试执行标准为《土工试验标准方法》(GB/T50123-1999),检验项目为易溶盐。检测前先对样品进行粉碎、过筛、烘干,然后称取80g与400ml蒸馏水按照1:5的比例进行混合使易溶盐组分能够充分溶解,随后进行抽滤清液,最后进行测试。 $\text{pH}$ 值采用离子计测试, $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 使用原子吸收法测试, $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 滴定法测试。

## 2 结果分析

### 2.1 盐渍化程度及特征

依据土壤全盐量的分析研究并结合遥感影像得出:盐渍化土地主要分布于环艾丁湖区域,其它地区呈零星状分布,盆地平原区的重度盐渍化分布面积为 $1427\text{km}^2$ 、中度盐渍化分布面积 $204\text{km}^2$ 、轻度盐渍化分布面积 $616\text{km}^2$ 。盐渍化变化趋势从艾丁湖干湖区向外围逐渐减轻,零星状的盐渍化分布主要与耕地分布位置有关。

根据盆地水文地质调查的结果,环艾丁湖区域地下水埋藏浅,潜水矿化度较高,潜水蒸发或灌溉都会引起盐分在土壤表层累积。

### 2.2 盐渍土类型

依据《岩土工程勘察规范》(GB/T50021-2001)6.8.1和6.8.2条款所规定盐渍岩土的定义分类规则进行划分:盆地平原区第一层盐渍土的综合定名中,34.43%属于亚硫酸盐渍土,33.33%属于氯盐渍土,可知土壤中盐类主要为硫酸盐类,其次为氯化物类。

### 2.3 盐分特征

吐鲁番盆地的盐渍土,通过采样测试,土的 $\text{pH}$ 值平均值为7.32(表1),根据酸碱分级标准,呈弱碱性。盐分含量在第一层的平均值为16.07%,第二层为10.04%,第三层为5.02%,第四层为4.79%,第五层盐分含量平均值为4.46%,在含盐量上,第一层>第二层>第三层>第四层>第五层,总体上呈"Y"型分布(图1)。说明盐分在蒸发作用下表聚现象明显,而随着深度的增加盐分直接受土壤的毛细作用和潜水矿化度控制。从盐离子来看,盐渍土中阳离子以 $\text{Na}^+$ 为主,阴离子中以 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 为主, $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 分别占全盐量的27%~33%、28%~42%、22%~37%。说明易溶盐的成分主要是 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 和 $\text{NaCl}$ 。

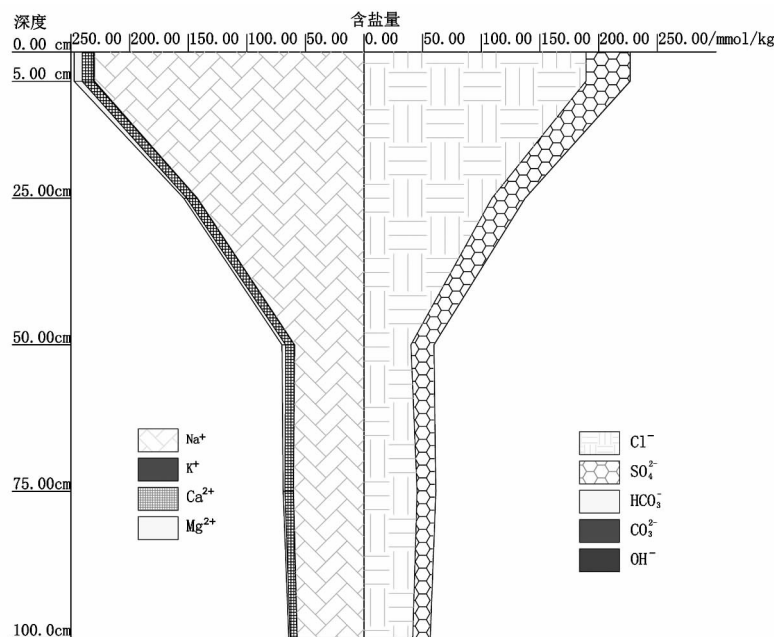


图1 土壤盐分剖面图

Fig.1 Soil salinity profile

变异系数能反映随机变量的离散程度,一般认为 $\text{CV} \leq 10\%$ 为弱变异性; $10\% < \text{CV} < 100\%$ 为中等变异性; $\text{CV} \geq 100\%$ 为强变异性<sup>[6]</sup>。盆地盐渍土中,以第二层中各离子的变异系数由大到小排序为 $\text{CO}_3^{2-} >$

$Mg^{2+} > Cl^{-} > Na^{+} > K^{+} > SO_4^{2-} > Ca^{2+} > HCO_3^{-}$ , 可见  $CO_3^{2-}$ 、 $Mg^{2+}$  在第二层属强变异性。pH 值在各层次中均有超强的变异性。说明盐分的运移受地形地貌以及气候条件影响很大。

表 1 吐鲁番盆地不同深度层次盐渍土理化特征统计表

Tab.1 Soil physicochemical characteristics in different depths of soil in the Turpan basin												
土层深度/m	统计值	含盐量/%	pH 值	离子组分含量/mg/kg								
				K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	OH <sup>-</sup>
0.00 ~ 0.05	平均值	16.07	7.36	377.13	52876.65	3861.77	1620.86	67199.24	35715.86	212.22	47.28	1.95
	最大值	75.42	9.56	4169.30	284794.50	13527.00	35842.50	443834.00	280975.50	1128.90	2010.00	170.10
	最小值	0.08	5.65	11.00	26.60	60.10	.00	63.80	2.50	0.00	0.00	0.00
	中 值	7.15	7.21	194.70	19042.90	3607.20	303.80	19852.00	17675.00	183.10	0.00	0.00
	标准偏差	19.67	0.71	549.42	71363.68	2999.98	3946.34	107747.23	46768.45	139.83	205.67	16.47
0.05 ~ 0.25	变异系数	1.22	0.10	1.46	1.35	0.78	2.43	1.60	1.31	0.66	4.35	8.44
	平均值	10.04	7.33	156.42	32649.39	3527.05	598.06	38700.04	26840.43	233.73	21.48	0.93
	最大值	90.07	9.07	1705.50	331868.10	13226.40	11421.00	553906.20	313395.80	1525.50	840.00	102.10
	最小值	0.08	2.56	5.80	0.00	0.00	0.00	99.30	172.90	0.00	0.00	0.00
	中 值	2.79	7.30	60.20	4211.60	2084.20	145.80	3098.35	11287.05	183.10	0.00	0.00
0.25 ~ 0.50	标准偏差	18.52	1.05	403.54	68212.21	3654.02	3172.35	98090.49	47403.24	194.28	197.36	15.13
	变异系数	1.84	0.14	2.58	2.09	1.04	5.30	2.53	1.77	0.83	9.19	16.20
	平均值	5.02	7.32	118.74	13601.32	2955.09	758.62	14204.68	18462.95	246.67	14.89	0.11
	最大值	69.72	8.77	3183.00	261248.00	12525.00	25211.20	388177.50	363827.20	854.30	1500.00	17.00
	最小值	0.05	6.12	7.70	99.50	0.00	0.00	88.60	96.10	0.00	0.00	0.00
0.50	中 值	1.31	7.30	38.85	1820.35	1152.30	97.20	1719.30	5163.25	189.20	0.00	0.00
	标准偏差	11.07	0.55	326.99	37812.76	3516.40	3103.23	47396.45	39642.01	153.22	122.60	1.35
	变异系数	2.20	0.07	2.75	2.78	1.19	4.09	3.34	2.15	0.62	8.24	12.57

2.4 土壤总碱度与盐离子的关系

土壤的总碱度主要与其中弱酸根离子含量有关,即  $CO_3^{2-} + HCO_3^{-}$  的含量代表土壤的总碱度<sup>[7]</sup>。分析

表 2 不同深度层次土中易溶盐离子相关系数表

Tab.2 Correlation coefficient among soil soluble saltion for different depth										
深度层次/m	项 目	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	pH 值
0.00 ~ 0.05	K <sup>+</sup>	1.00								
	Na <sup>+</sup>	0.31	1.00							
	Ca <sup>2+</sup>	0.37	0.36	1.00						
	Mg <sup>2+</sup>	0.57	0.18	0.16	1.00					
	Cl <sup>-</sup>	0.30	0.95	0.30	0.17	1.00				
0.05 ~ 0.25	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.34	0.35	0.44	0.50	0.15	1.00			
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.05	-0.29	-0.23	-0.07	-0.29	-0.10	1.00		
	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.19	0.02	-0.05	0.46	0.04	0.19	0.24	1.00	
	pH 值	0.08	0.20	0.04	0.37	0.17	0.32	0.13	0.53	1.00
	K <sup>+</sup>	1.00								
0.25 ~ 0.50	Na <sup>+</sup>	0.60	1.00							
	Ca <sup>2+</sup>	0.23	0.18	1.00						
	Mg <sup>2+</sup>	0.60	0.35	0.20	1.00					
	Cl <sup>-</sup>	0.50	0.96	0.13	0.23	1.00				
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.57	0.56	0.41	0.60	0.32	1.00			
0.50	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.20	-0.26	-0.37	-0.17	-0.21	-0.32	1.00		
	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.49	0.22	0.12	0.56	0.10	0.50	-0.24	1.00	
	pH 值	0.38	0.30	0.03	0.35	0.22	0.38	-0.04	0.43	1.00
	K <sup>+</sup>	1.00								
	Na <sup>+</sup>	0.60	1.00							
0.25 ~ 0.50	Ca <sup>2+</sup>	0.21	0.22	1.00						
	Mg <sup>2+</sup>	0.86	0.36	0.17	1.00					
	Cl <sup>-</sup>	0.68	0.89	0.19	0.43	1.00				
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.40	0.67	0.37	0.39	0.31	1.00			
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.14	-0.22	-0.49	-0.07	-0.20	-0.23	1.00		
0.50	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.28	0.11	0.12	0.32	0.11	0.16	-0.15	1.00	
	pH 值	0.23	0.29	-0.25	0.20	0.28	0.11	0.23	0.31	1.00

结果中:  $HCO_3^{-}$  普遍检出,而  $CO_3^{2-}$  只有个别样品检出,说明在盆地内土壤的总碱度与重碳酸根离子之间存在非常显著的线性相关关系,但是碳酸根离子检出率极低,对于总碱度几乎没有任何影响。而又由于高

盐分的存在,影响了盐基的交换,对土壤碱化起到了一定的抑制,使土的酸碱性表现为弱碱性。

### 2.5 盐离子间的相关性

对各离子之间进行相关性分析,可以揭示盐分在土体中的存在形态,在一定程度上能反映出盐分的运动趋势<sup>[7]</sup>。本研究以表层土壤中的盐离子为例进行分析(表2):第一层  $K^+$  与  $Mg^{2+}$  显著正相关,  $Na^+$  与  $Cl^-$  达极显著正相关,  $Mg^{2+}$  与  $SO_4^{2-}$ 、 $CO_3^{2-}$  显著正相关。而在第二层  $K^+$  与  $Mg^{2+}$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $Cl^-$  显著正相关,  $Na^+$  与  $Cl^-$  极显著正相关,  $Ca^{2+}$  与  $SO_4^{2-}$  显著正相关。尤其是在不同深度的土层,  $Na^+$  与  $Cl^-$  的相关系数都达到了 0.95 以上,说明氯化物在表层土中积聚强烈,盐分以向上运行为主。

## 3 讨论

土壤盐渍化的形成一般有两个过程:一是地质历史时期古土壤的残余积盐;二是现代的次生盐渍化。前者与过去干旱的气候条件相关;后者在地表水和地下水的影响下,随着蒸发的进行,盐分在地表聚积。而盐渍化的危害主要是破坏了土壤的生产能力。过多的盐分,使土壤中代换性钠离子增多,改变了土壤的物理和化学性状,破坏了土壤的结构、透水性、透气性,使土壤可耕性变差;过多的盐分加大了土壤溶液的渗透压,影响植物根系吸收水分和养分。当土壤中盐分高、土壤含水量少时,土壤溶液渗透压甚至可超出根毛胞液的渗透压,引起根毛细胞脱水使作物不能正常生长,甚至死亡。

(1) 吐鲁番盆地处于极端干旱的内陆地区,降雨稀少,蒸发强烈,是盐渍土形成的有利条件。盆地的地形地貌决定了水分的运移方向,使得盐分随着水流向盆地中心汇合。潜水的矿化度以及地下水化学类型决定了盐渍土的类型。盆地内盐渍土的类型与艾丁湖的浅层卤水有着明显的相似性。据研究(丁成立,2003)结果:吐鲁番盆地的艾丁湖卤水属于硫酸钠亚型卤水,主要成分是氯化钠、硫酸钠、硫酸镁及少量的钾盐<sup>[8]</sup>。这也从另一个方面说明了盆地盐渍土的类型。

(2) 吐鲁番盆地土壤总碱度中的重碳酸根离子普遍检出,说明在蒸发的过程中,重碳酸根离子被带到了表层土壤中,在干旱的环境下得以存留。从水文地球化学的观点看,而重碳酸根离子是地下水循环速度快慢的重要特征,盆地地下水的补给来源主要是第四系水,年龄较轻,循环较快。此外,从侧面也说明了吐鲁番盆地的土壤盐渍化与地下水运移有着密不可分的联系,受地下水运移控制作用明显。

(3) 吐鲁番盆地内可溶性盐分在土壤剖面中自上而下的地球化学存在垂直分异特点,表层的含盐量明显高于下部的含盐量。据此可初步得出,盆地盐分离子的运动趋势以聚积为主,很少淋洗脱盐。在野外调查中,土壤表面也可明显观察到一层约 0.5 ~ 1.0 cm 的盐霜,甚至有 2 ~ 15 cm 的花菜式盐壳。这与该地特殊的气候如降水稀少和蒸发强烈等条件有密切的关系。

## 4 结论与建议

(1) 盆地平原区的盐渍土呈表聚型,归因于气候干旱,蒸发作用强烈。盐分随着水分的运移从盆地四周向盆地中心运移,使得盆地环艾丁湖一带成为盐渍化程度最为严重的地区。

(2) 盆地内的盐渍土类型主要是亚硫酸盐渍土和氯盐渍土,占比分别为 34%、33%,盐渍化的危害主要是  $Na_2SO_4$  和  $NaCl$  的危害。

(3) 土壤的总碱度与重碳酸根的相关性好,而重碳酸根的含量普遍低;盐离子在不同深度中  $Na^+$  与  $Cl^-$  呈显著的正相关,相关系数达到了 0.95 以上;盐渍化的盐分主要是氯化钠。

综上,吐鲁番盆地平原区的盐渍土形成归因于特殊的地形地貌和干旱的气候环境。盆地土壤中含有大量的氯化钠、硫酸钠,工程建设时需要对地基土进行溶陷性、盐胀性、腐蚀性评价。进行农业生产时,压盐排碱的同时,建议多施有机肥,使有机质腐败而产生的腐殖酸类物质参与并加速土壤中的土壤母质,以便其释放出更多的钙镁离子而抑制钠离子对农作物根系的不良影响或者采用膜下滴灌的方式进行灌溉;进行水资源管理时,对盐渍化区可以采用加大开采量,降低地下水位的方法防治盐渍化;进行生态环境建设时,种植诸如怪柳、白梭梭、盐节木等耐盐耐旱的物种,使生态环境朝良性化方向发展。

### 参考文献

- [1] 姜凌,李佩成,胡安炎,等.干旱区绿洲土壤盐渍化评价[J].干旱区地理,2009,32(2):234.
- [2] 郝金标,张福锁,毛达如,等.新疆盐渍土分布与盐生植物资源[J].土壤通报,2005,36(3):299.

- [3]陶江 杨德刚 苏小军 等. 新疆干旱区绿洲可持续发展水平及其空间分布特征[J]. 干旱区资源与环境 2007 21(6):12.
- [4]白云岗 张胜江 张江辉 等. 吐鲁番盆地水资源可持续利用与节水型社会建设规划[J]. 南水北调与水利科技 2007 5(2):43-44.
- [5]阿布都热合曼·哈力克 阿布都沙拉木 卞正富 等. 吐鲁番盆地的水资源及其合理开发利用探讨[J]. 农业系统科学与综合研究 2009, 25(3):354-357.
- [6]姚荣江 杨劲松 刘广明 等. 黄河三角洲地区典型地块土壤盐分空间变异特征研究[J]. 农业工程学报 2006 22(6):61-66.
- [7]牛东玲 彭红春 王启基 等. 柴达木盆地弃耕地盐渍状态的主分量分析[J]. 草业学报 2001(2):39-46.
- [8]丁成立. 艾丁湖无水芒硝的研究[J]. 无机盐工业 2003 35(4):36.

## Analysis on the characters of soil salinization in the Turpan Basin

WEI Qingjun, LI Baiye, LI Xueni

(No.1 Hydrogeology & Engineering Geology Exploration Team of XinJiang Geology & Mineral Bureau, Urumqi 830091, P. R. China)

**Abstract:** Turpan Basin is a extreme drought area in the western China. Serious soil salinization affects the local industrial and agricultural production and ecological environment protection. Based on the analysis of physical and chemical properties of 783 soluble salt samples, the salt ions content relationship of total alkalinity and salt ions, salt ions were analyzed. The results show that: (1) Soil salinization type is mainly the sulfurous acid and chlorine saline soil, alkaline type does not appear. (2) Soil pH average value is 7.32, belongs to weakly alkaline. (3) Total alkalinity of soil is associated with bicarbonate ions significant linear. (4) In the surface  $K^+$  and  $Mg^{2+}$  show significantly positive correlation,  $Na^+$  and  $Cl^-$  get up to extremely significant positive correlation,  $Mg^{2+}$  and  $SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$  show significant positive correlation. The results of the analysis indicate the salinization of basin mainly by dry climate and the influence of the groundwater migration, which has a certain guiding significance on soil salinization prevention, water resources management, agricultural production, ecological environment protection.

**Key words:** soil salinization; soluble salt component; correlation analysis; Turpan basin