

新疆于田绿洲盐渍化土壤盐分动态变化特征研究^{*}

古丽格娜·哈力木拉提^{1,2}, 阿布都沙拉木·加拉力丁^{1,2,3},
海米提·依米提^{1,3}, 热比娅·吐尔逊^{1,2}, 胡小韦^{1,2}

(1. 绿洲生态安全教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 3. 干旱半干旱区可持续发展国际研究中心, 乌鲁木齐 830046)

摘 要: 土壤含盐量对作物的生长有较大影响, 分析土壤盐分动态变化对防止土壤次生盐渍化和提高农作物产量有较大意义。对塔里木盆地南缘克里雅河流域于田地区典型盐渍化地进行 4 次野外调研, 在 GPS 定点、土壤采样及室内分析的基础上, 借助 Excel、SPSS 等统计软件对研究区不同时期土壤含盐量及 pH 进行比较。结果表明: 土壤平均 pH 值为 9.1, 属于碱土, 盐分含量表聚强烈, 土壤可溶性盐及 pH 的变化趋势为 9 月 > 5 月 > 7 月 > 3 月。土壤阳离子主要以 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 为主。3 月、5 月、7 月中各阴离子在土体中的含量依次为 $\text{Cl}^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$, 在易溶性盐类上行过程中, 以氯化盐最为活跃, 硫酸盐次之, 碳酸盐较稳定。而 9 月各阴离子在土体中的含量依次为 $\text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ 。0 - 20 cm 土层中盐离子相关性分析表明: 3 月、5 月、7 月、9 月各离子之间及各离子与总可溶性盐之间的相关性不同。

关键词: 于田绿洲; 土壤剖面; 盐渍化土壤; 土壤可溶性盐; 土壤盐分动态特征

中图分类号: S156.41

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)03-0100-05

Study on the Dynamic Characteristics of Salt Content of Salinized Soil on Yutian Oasis in Xinjiang Autonomous Region

Gulguine · Halmurat^{1,2}, Abdusalam · Jalalidin^{1,2,3}, Hemit · Yimit^{1,3},
Rabiya · Tursun^{1,2}, HU Xiao-wei^{1,2}

(1. Key Laboratory of Oasis Ecology, Ministry of Education, Urumqi 830046, China; 2. College of Resources & Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 3. The International Center for Desert Affairs-Research for Sustainable Development in Semi-arid and Arid Land, Urumqi 830046, China)

Abstract: Soil salinity has a significant effect on crop growth. Analyzing the dynamic changes of soil salt content is very important in preventing the soil secondary salinization and increasing the crops outputs. Four times of field survey were conducted on typical salinized land in Yutian area, southern part of Tarim Basin and soil sampled. By means of SPSS statistical software, soil salt content and pH value were analyzed in different period in this region. Results showed that: average soil pH value is amount to 9.1, belongs to alkali soil, and large amounts of salt concentrated on topsoil; salt content and pH value of the changing trend were Sep. > May > July > March; Salt cation is mainly consisted of Na^+ , K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} . In March, May, July anion content in soil were $\text{Cl}^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$, and chloride is most active anion, then followed by sulfate, carbonate is quite stable anion. In September, anion content in soil were $\text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$. The correlation analysis results of salt ion in 0 - 20 cm soil depth indicated that there were different levels of correlations between total salt content and each salt ion in different research period (in March, May, July and Sep.).

Key words: Yutian oasis; soil profile; salinized soil; soil dissolve salt; soil salt dynamic characteristic

土壤盐渍化是目前世界农业面临的主要环境问题之一。因此, 世界各国都在积极研究土壤盐渍化的形成原因和改良

^{*} 收稿日期: 2007-10-23

基金项目: 新疆大学博士科研启动基金项目(XJEDU070283); 中国博士后科研资助金; 新疆教育厅自然科学基金重点项目(XJEDU2006109); 新疆绿洲生态教育部重点实验室开放课题(XJDX02060401)

作者简介: 古丽格娜·哈力木拉提(1982-), 女(维吾尔族), 新疆喀什人, 在读研究生, 主要从事干旱区资源与环境研究。E-mail: gulguine91@yahoo.com.cn

通信作者: 阿布都沙拉木·加拉力丁, 男(维吾尔族), 新疆伊犁人, 副教授, 主要从事水资源环境研究。E-mail: Abdusalam188@yahoo.com.cn

措施。我国盐渍土资源面积之大,分布之广,是世界之最^[1]。

于田绿洲是塔里木盆地水资源非常缺乏、水土资源开发力度较大的地区之一。由于气候干旱、生物多样性简单,生态环境相对其它地区脆弱,属人类活动影响下生态环境变化比较突出的区域。近年来由于人口的增加和农业的发展,降水量逐渐减少,导致地下水的需求量和开采量逐年增大,地下水位逐年下降,地下水资源减少,而农业的发展引水灌溉,又带来地下水位的升高导致次生盐渍化。不同的盐渍区土壤中的水溶性盐类,如 NaCl , Na_2SO_4 , $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$ 等,由 Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 和 K^+ 以不同形式组合而成,对植物和农作物生长发育的影响也不尽相同。

根据前期进行的实地踏勘、观测、采样研究,灌溉措施不当而引起的地下水位及土壤盐分动态变化是地表生态环境演变的主要驱动因子。该文在前期研究的基础上,研究分析该地区盐渍化地段土壤盐分动态特征,将为防止干旱区生态环境持续恶化、绿洲经济持续发展、人为调控人地关系提供理论依据。

1 研究区概况

新疆和田地区于田绿洲位于塔克拉玛干大沙漠南缘克里雅河流域,昆仑山北麓,南为昆仑山山地,北为塔克拉玛干大沙漠,中部是冲积平原地带。地理坐标为东经 $81^{\circ}09' - 82^{\circ}51'$,北纬 $35^{\circ}14' - 39^{\circ}29'$,地势南高北低,地形呈南北长带形。自南向北可分为中高山区、低山丘陵区、山前倾斜平原区、冲积平原区、沙漠区等5个地貌类型。南北长466 km,东西宽30~120 km,于田县面积4.03万 km^2 ^[19],绿洲面积约为2400 km^2 ,灌溉面积0.36万 hm^2 。于田县属于暖温带内陆干旱荒漠气候。由于受地形地貌的影响,气候南北变化大,可分为3个气候区。年平均气温11.6,最高温度36.6,最低温度-17.1。年平均降水量为48 mm,多年平均空气相对湿度为42%,年平均蒸发能力为2498 mm,年日照时数2770 h,无霜期为213 d,多年平均风速1.8 m/s,风速以春季最大,平均2.2 m/s,秋冬季最少,平均为1.41 m/s。由于地形影响风具有明显的地方特征,春季盛行东北风,夏季盛行偏西风,秋冬季盛行偏南风。多年平均风沙日16 d^[8]。

2 资料与方法

2.1 样地选择

与2007年3月23-28日,2007年4月28日-5月10日,2007年6月23日-7月10日,2007年9月20-30日分别在塔里木盆地南缘克里雅河流域于田绿洲之内典型的次生盐渍化地段(弃耕地)设置13个样点,而且尽可能使样点分布规则,利于进行统计分析,用GPS定位、在样点中做土壤剖面、根据人为分层采集土样(0,0-20,20-40,40-60 cm)。

2.2 室内测定方法

土壤湿度的测定:用烘干称重法(105 ± 2 烘至恒重时的失重)用计算公式求得^[4]。

可溶性盐的测定:采集的土壤样品放置于室内通风阴干。样品风干后研细,过100目筛,取出50 g风干土与250 ml去离子水(1:5水土比)经过浸泡和振动使土壤盐充分

溶解后,进行土壤盐分及其它组分pH等的测定^[4]。

土壤中可溶性盐包括 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} 。

Ca^{2+} , Mg^{2+} 用0.01 mol/L EDTA二钠盐滴定法来测定; HCO_3^- , CO_3^{2-} 用双指示剂滴定法;接着用滴定碳酸盐和重碳酸盐以后的溶0.025 mol/L AgNO_3 标准溶液来继续滴 Cl^- ; SO_4^{2-} 用EDTA间接络合滴定; Na^+ 和 K^+ 采用差减法;pH用酸度计法测定。导电率、TDS、总盐用150 Conductivity meter来测定^[4]。

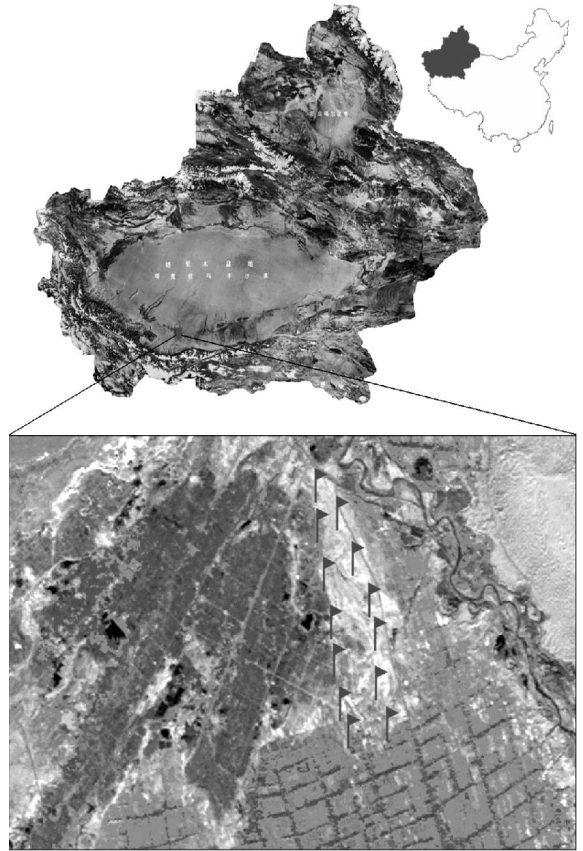


图1 采样点分布

2.3 数据处理

用SPSS统计软件及Excel对数据进行分析。

3 结果分析与讨论

3.1 土壤中总可溶性盐含量比较分析

由图2可知,0,0-20,20-40 cm土壤可溶性盐的含量9月最高,3月最低。9月可溶性盐含量占5月的80.9%,占7月的81%,占3月的82.4%。5月可溶性盐含量占7月的7.8%,占3月的5.4%,7月可溶性盐含量占3月的2.5%。3月、5月、7月土壤可溶性盐含量变化不大。9月变化很大。由于该层上界与大气相接触,受太阳辐射、降水、蒸发、灌溉的影响,层内水分、盐分的动态变化较大。3月周围农田灌溉时,该地地下水位高,平均地下水位为0.52 m,层内土壤水分含量急剧增大,最高可达30.5%。平均气温为9.6,蒸发不强烈,因而盐分垂直移动不强烈。4月下旬至5月中旬,平均气温为22.1,随着温度的升高,蒸发力强大,土壤

表层水分很快散失。由于直接受太阳的热辐射,白天地温升高,夜间土层散热地温降低。其温度日变化与空气的日温差接近。该土层的含盐量受温度变化、土壤水分运移变幅较大。根据野外调查,该地芦苇、骆驼刺生长良好,平均盖度可达 60%,当地农民在该地放牧,未被植物吸收利用的牲畜粪便残留于土壤中可能对土壤积盐有一定的影响。由于温度升高,牲畜粪便迅速分解后,一些无机盐则残留于土壤中,加重了土壤的盐化和板结。6 月下旬至 7 月中旬,平均气温为

27℃,随着温度的升高,蒸发量很大^[15],周围灌溉水量对该地土壤盐分的淋洗作用远不如强烈的蒸发把盐分带到地表的作用,因此盐分随水分向上移动。由于地下水位较低,平均水位为 1.5 m,土壤可溶性盐含量不如 5 月份高。9 月份,平均气温 19.9℃,平均地下水位 1.19 m,由于植被干枯,平均盖度 30%,地表被裸露,蒸发量突然增大,土壤下层盐分随水分的运动而逐向地表移动,这时上层盐分又开始升高,表层土壤表现为积盐。

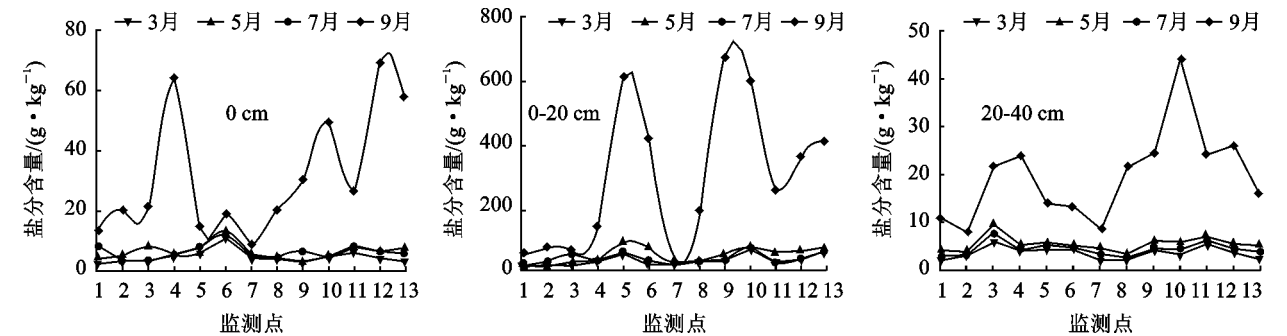


图 2 土壤总可溶性盐含量

3.2 盐离子含量分析

由表 1 可知,土壤 pH 值大于 8,根据酸碱分级标准^[7]呈碱性。盐分表聚强烈。温度升高,总蒸发量增大,地下水主要以蒸发蒸腾而消耗。强烈的蒸发作用导致了土壤中水分的亏损,造成土壤表面严重的积盐过程。同时稀少的降水又不足以淋溶地表的盐分。因此,土壤中以上升水流域占绝对优势,水分垂直运动比较强烈,地下水将土壤中的盐分带至地表,造成地表土层强烈积盐。3 月、5 月、7 月、9 月土壤剖面中的离子含量及 pH 表现出由下层逐步向上层升高的分布特点。3 月份、5 月份、7 月份 $[\text{Cl}^-]/[\text{SO}_4^{2-}]$ 浓度之比分别为 1.84、1.30、1.62。根据 $[\text{Cl}^-]/[\text{SO}_4^{2-}]$ 浓度之比在 1~4 范围内为硫酸盐-氯化物类盐土的分类方法^[5]可知,该地区土壤中盐类主要为硫酸盐-氯化物型。 $\text{HCO}_3^-/(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$ 比值均小于 1,说明碳酸盐和重碳酸盐是土壤盐分的次要成分。各阴离子在土体中的含量依次为 $\text{Cl}^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$,在易溶性盐类上行过程中,氯化物表聚最为强烈,碳酸盐次之。9 月份 $[\text{Cl}^-]/[\text{SO}_4^{2-}]$ 浓度之比为 4.92。根据 $[\text{Cl}^-]/[\text{SO}_4^{2-}]$ 浓度之比大于 4 为氯化物类盐土的分类方法^[5]可知土层中的盐类主

要为氯化物型。 $\text{HCO}_3^-/(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$ 比值大于 1,说明碳酸盐和重碳酸盐是土壤盐分的主要成分。各阴离子在土体中的含量依次为以 $\text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$,这是因为土壤表层在干旱气候条件下,重碳酸盐通过蒸发作用失去 CO_2 转变为碳酸盐,从而使表层土中碳酸盐类含量相对增高。在易溶性盐类上行过程中,碳酸盐表聚最为强烈,氯化物次之。总之,仅阴离子而言,由此可推出根据盐分上下运动的规律,以氯化物最为活跃,硫酸盐次之,碳酸盐较稳定。土壤溶液中高浓度的 Cl^- 、 SO_4^{2-} 是盐土的特征,而高含量的 HCO_3^- 则是碱土的特点。当土壤中含较高的盐浓度,在一定程度上也影响盐基交换,对土壤碱化起一定的抑制作用^[11]。3 月份、5 月份在样地的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 2~4 cm 左右的盐壳。而对于土壤脱盐过程,硫酸盐类较氯化物的淋溶速度慢。各类可溶性盐按其溶解度大小在土壤剖面中自上而下的地球化学垂直分异特点, Cl^- 明显高于 SO_4^{2-} 。可初步得出,该地盐分离子的运移趋势以聚积为主,很少有淋洗脱盐过程,这与该地特殊的气候如降水稀少、蒸发强烈等条件因子有密切的关系。

表 1 不同月份盐离子含量的平均值

		g/kg								
月份	土壤层次/cm	含盐量	pH	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$
3 月	0	35.3601	9.06	8.5169	2.2515	2.0739	4.8337	1.1154	2.1455	14.4191
	0-20	5.7531	9.06	1.0231	0.7108	0.6830	0.4596	0.5231	0.4674	1.8920
	20-40	4.3472	9.02	0.6476	0.6148	0.6909	0.2203	0.4082	0.5231	1.2423
5 月	0	42.2411	9.99	9.4403	2.9963	2.9956	7.6884	2.5692	2.4994	15.4696
	0-20	6.0781	9.97	1.6480	0.7772	0.4023	0.2116	0.9538	0.9572	1.0763
	20-40	4.5195	8.9	0.9623	0.2863	0.4759	0.1853	1.0923	0.7742	1.0923
7 月	0	35.6552	9.1	2.6	0.528	2.8727	5.7587	5.7589	1.56	15.1941
	0-20	5.8844	9.1	1.008	0.1532	1.1815	0.4308	0.2543	0.3569	2.0583
	20-40	4.3632	8.9	1.5969	0.0935	0.6572	0.5754	0.1482	0.3008	0.9912
9 月	0	298.7832	9.73	19.278	1.7383	74.240	53.636	1.5415	3.9190	144.431
	0-20	39.6124	9.24	1.6855	0.5627	15.0937	7.6535	0.5321	1.5123	22.8088
	20-40	19.8556	9.08	0.3695	0.6713	7.1858	1.7012	0.6831	0.9234	8.3213

3.3 盐离子间相关性分析

在盐渍化土壤中,不同离子与总可溶性盐的内在关联性不同,了解这一点有助于辨析不同时期土壤盐分积累的特点,从而可为次生盐渍化土壤的治理提供必要的技术支持。由表 2 可知 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 与其它离子、总可溶性盐及碱度之间的相关性不显著。 CO_3^{2-} 与总可溶性盐 Cl^- 、 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 、 HCO_3^- 之间的相关性极显著 ($P < 0.01$),与碱度之间的相关

性显著 ($P < 0.05$)。 HCO_3^- 与总可溶性盐、 Cl^- 、 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 之间的相关性极显著 ($P < 0.01$),与碱度之间的相关性显著 ($P < 0.05$)。 Cl^- 与总可溶性盐、 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 之间的相关性极显著 ($P < 0.01$)。 SO_4^{2-} 与其它离子、总可溶性盐及碱度之间的相关性不显著。 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 与碱度、总可溶性盐之间的相关性极显著 ($P < 0.01$)。总可溶性盐与碱度之间的相关性显著 ($P < 0.05$)。

表 2 3 月 0 - 20 cm 土层盐离子相关分析矩阵

离子	Ca^{2+}	Mg^{2+}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	总可溶性盐	pH
Ca^{2+}	1								
Mg^{2+}	- 0.245	1							
CO_3^{2-}	0.368	0.116	1						
HCO_3^-	0.317	0.299	0.891 **	1					
Cl^-	0.292	0.169	0.720 **	0.825 **	1				
SO_4^{2-}	0.250	0.490	0.035	0.260	0.128	1			
$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	0.354	0.081	0.889 **	0.928 **	0.933 **	0.164	1		
总可溶性盐	0.374	0.251	0.887 **	0.953 **	0.932 **	0.269	0.982 **	1	
pH	0.097	- 0.178	0.682 *	0.611 *	0.537	- 0.077	0.685 **	0.615 *	1

** $P < 0.01$ 相关系数的显著性概率水平为 0.01; * $P < 0.05$ 相关系数的显著性概率水平为 0.05,下表同。

由表 3 可知, Ca^{2+} 与其它离子、总可溶性盐及碱度之间的相关性不显著。 Mg^{2+} 与 Cl^- 之间的相关性极显著 ($P < 0.01$),与总可溶性盐之间的相关性显著 ($P < 0.05$)。 CO_3^{2-} 与碱度之间的相关性显著 ($P < 0.05$)。 HCO_3^- 和 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$

与碱度之间的相关性显著 ($P < 0.05$)。 Cl^- 与总可溶性盐之间的相关性极显著 ($P < 0.01$)。 SO_4^{2-} 与总可溶性盐之间的相关性显著 ($P < 0.05$)。 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 与总可溶性盐之间的相关性显著 ($P < 0.05$)。

表 3 5 月 0 - 20 cm 土层盐离子相关分析矩阵

离子	Ca^{2+}	Mg^{2+}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	总可溶性盐	pH
Ca^{2+}	1								
Mg^{2+}	- 0.438	1							
CO_3^{2-}	0.453	- 0.414	1						
HCO_3^-	0.287	- 0.256	0.141	1					
Cl^-	- 0.392	0.776 **	- 0.173	- 0.498	1				
SO_4^{2-}	0.470	0.141	0.146	- 0.367	0.112	1			
$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	- 0.115	0.187	0.268	- 0.561 *	0.505	0.430	1		
总可溶性盐	0.013	0.672 *	0.039	- 0.472	0.832 **	0.622 *	0.615 *	1	
pH	- 0.018	- 0.422	0.644 *	0.682 *	- 0.358	- 0.544	- 0.123	- 0.468	1

由表 2、3 可知土壤中的总可溶性盐与阴离子 Cl^- 之间的相关系数分别为 0.932、0.832,具有很好的正相关关系。与阳离子 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 之间的相关性系数分别为 0.982、0.615,具有好的正相关关系。这一现象揭示了该地区土壤盐分主要与 Cl^- 、 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 含量水平的高低有关。 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 与碱度之间的相关性系数分别为 0.682、0.644、0.611、0.682,具有很好的正相关关系。土壤的总碱度主要与其中弱酸根离子含量有关,即 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 的含量代表土壤的总碱度^[10],在本次分析中主要涉及碳酸根离子 (CO_3^{2-}) 和重碳酸根离子 (HCO_3^-)。造成这种情况的主要原因可能是重碳酸根离子在地下水中的稳定性较好,而碳酸根离子的稳定性较差,与水中氢离子结合形成了重碳酸根离子,这就增加了地下水中氢氧根离子的含量,从而增加了地下水的碱性。在蒸发的过程中,离子就被带到了土壤中,所以重碳酸根离子含量与土壤总碱度之间有很好的相关关系。

4 结 语

通过以上分析可知,土壤平均 pH 值为 9.1,属于碱土,

盐分含量表聚强烈,土壤可溶性盐的含量 9 月最高,3 月最低。9 月可溶性盐含量占 5 月的 80.9%,占 7 月的 81%,占 3 月的 82.4%。5 月可溶性盐含量占 7 月的 7.8%,占 3 月的 5.4%,7 月可溶性盐含量占 3 月的 2.5%。3 月、5 月、7 月土壤可溶性盐含量变化不大,9 月变化很大。3 月、5 月、7 月、9 月土壤剖面离子含量及 pH 值表现出由下层逐步向上层升高的分布特点,而土壤湿度变化恰好相反。

土壤阳离子主要以 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 为主,仅对阴离子而言,3 月、5 月、7 月各阴离子在土体中的含量依次为 $\text{Cl}^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$,在易溶性盐类上行过程中,以氯化盐最为活跃,硫酸盐次之,碳酸盐较稳定。而 9 月份各阴离子在土体中的含量依次为 $\text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ 。该地区土壤中盐类主要为硫酸盐-氯化物型及氯化物型。土壤中盐分随土壤中水分的强烈蒸发而向上积聚,表层中氯化物占优势。而对于土壤脱盐过程,硫酸盐类较氯化物的淋溶速度慢。各类可溶性盐按其溶解度大小在土壤剖面中自上而下的地球化学垂直分异特点, Cl^- 明显高于

SO_4^{2-} 。该地区盐离子的运移趋势以聚积为主,很少有淋洗脱盐过程,这与该地土壤质地,特殊的气候,如降水稀少、蒸发强烈等条件因子有密切的关系。

以 3 月及 5 月 0 - 20 cm 为例对盐离子进行相关性分析可知,土壤中的总可溶性盐与阴离子 Cl^- 及阳离子 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 之间具有很好的正相关关系。这一现象揭示了该地区土壤盐分主要与 Cl^- , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 含量水平的高低有关。 CO_3^{2-} , HCO_3^- 与碱度之间具有很好的正相关关系。这表明了土壤的总碱度主要与其中弱酸根离子含量有关。

参考文献:

- [1] 俞仁培. 对盐渍土资源开发利用的思考[J]. 土壤通报, 2001, 32(专辑): 138-140.
- [2] 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[J]. 土壤, 1997(6): 326-330.
- [3] 罗廷彬, 任崑, 李彦, 等. 咸水灌溉条件下干旱区盐渍土壤盐分变化研究[J]. 土壤, 2006, 38(2): 166-170.
- [4] 鲍士旦. 土壤农化分析(3 版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [5] 余郭和. 灌区土壤盐渍化现状及改良, 防治措施建议[J]. 甘肃农业, 2004(11): 65-66.
- [6] 中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所. 新疆土壤与改良利用[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1980: 166-170.
- [7] 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: 458-464.
- [8] 新疆于田县克里雅河流域规划总报告[R]. 新疆维吾尔自治区水利水电科学研究所, 1999: 7.
- [9] 牛博, 倪萍, 塔西铺拉提·特依拜. 遥感技术在盐渍化动态变化分析中的应用[J]. 地质灾害与环境保护, 2004, 15(4): 78-82.
- [10] 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, 10(2): 39-46.
- [11] Huang D, Wang K, Wu W L. Dynamics of soil physical and chemical properties and vegetation succession characteristics during grassland desertification under sheep grazing in an agro-pastoral transition zone in Northern China[J]. Journal of Arid Environment, 2007, 70: 120-136.
- [12] Applied geography. Irrigation expansion and dynamics of desertification in the Circum-Aral region of central Asia. 2000, 20: 349-367.
- [13] 海米提·依米提. 塔里木盆地绿洲水资源利用与环境可持续发展研究[D]. 北京: 中国科学院, .
- [14] 姚春霞, 陈振楼, 许世远. 上海市郊保护地土壤盐分研究[J]. 环境科学, 2007, (6): 1373-1376.
- [15] 余海英, 李延轩, 周建民. 典型设施栽培土壤盐分变化规律及潜在的环境效应研究[J]. 土壤学报, 2006, 43(4): 571-576.

(上接第 99 页)

致谢: 本次研究的实验数据由中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室土力学专业实验室提供, 同时土力学实验室的多位老师在数据处理方面给予了大力支持和帮助, 在此一并致以深切的谢意。

参考文献:

- [1] 中国科学院成都山地灾害与环境研究所. 泥石流研究与防治[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1989: 64-67.
- [2] 吴积善, 康志成, 田连权, 等. 云南蒋家沟泥石流观测与研究[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 243-244.
- [3] 张有富. 蒋家沟流域的森林植被与泥石流[J]. 山地学报, 1987, 5(4): 213-217.
- [4] 李树德, 岳升阳, 徐海鹏. 森林植被与泥石流活动[J]. 水土保持研究, 2001, 8(2): 30-31.
- [5] 谢洪, 韦方强, 李泳, 等. 1999 年委内瑞拉阿维拉山北坡入海型泥石流[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(1): 117-122.
- [6] 马东涛, 冯自立, 张金山, 等. 7. 19 云南腾冲滑坡泥石流灾害调查报告[J]. 水土保持通报, 2004, 24(6): 67-71.
- [7] 马东涛, 张金山, 冯自立, 等. 2004. 7. 20 云南盈江滑坡泥石流山洪灾害成因及减灾对策[J]. 灾害学, 2005, 20(1): 67-71.
- [8] 高克昌, 孟国才, 韦方强, 等. 德宏“7. 5”特大滑坡泥石流灾害分析及其对策[J]. 防灾减灾工程学报, 2005, 25(3): 251-257.
- [9] 陈宁生, 崔鹏, 刘中港, 等. 基于黏土颗粒含量的泥石流流容重计算[J]. 中国科学(E 辑): 技术科学, 2003(46): 163-174.
- [10] 何杰, 陈宁生. 粘性泥石流弯道超高在流速计算中的应用[J]. 成都理工学院学报, 2001, 28(4): 425-428.
- [11] 陈晓清, 崔鹏, 韦方强. 良好植被区泥石流防治初探[J]. 山地学报, 2006, 24(3): 333-339.
- [12] 崔鹏, 柳素清, 唐邦兴, 等. 风景区泥石流研究与防治[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 9-10.
- [13] 孙吉定, 张金香, 王振亮, 等. 河北太行山区“96. 8”暴雨泥石流灾害考察报告[J]. 北京林业大学学报, 1997, 19(3): 104-110.
- [14] 顾俊周. 改变滇东北生态环境关键在森林植被的恢复[J]. 水土保持研究, 2003, 10(4): 187-189.
- [15] 吕态能. 东川严重水土流失区植被恢复对策[J]. 水土保持研究, 2000, 7(3): 134-137.
- [16] 李改堂. 森林植被在涉县 96. 8 特大洪灾中抗洪减灾作用的调查报告[J]. 河北林业科技, 1997(3): 34-36, 38.