

盐碱化土壤处理含铬酸性废水研究

李绪谦¹, 郭丽莉¹, 李红艳², 吕峰³

1. 吉林大学地下水资源与环境教育部重点实验室, 长春 130021;
2. 吉林省环境地质监测总站, 长春 130021;
3. 沈阳航空航天大学辽宁省清洁能源联合重点实验室, 沈阳 110136

摘要 为研究含铬酸性废水和盐碱化土壤综合利用时土壤改良情况以及铬的形态变化, 采用土柱充压渗透装置模拟酸性污水渗透通过不同 pH 值的盐碱土进行实验, 对 pH 值、ORP 值(氧化还原电位)、ESP(碱化度)及土柱中钙镁离子之和, 铬的不同形态和有机质含量等指标进行测定分析, 结果表明: 含铬酸性废水渗透通过盐碱土, 使盐碱地趋于中性土壤, 酸性污水渗透通过盐碱土不会降低土壤本身有机质和钙镁的含量; 酸性污水中的铬在通过盐碱土后, 迁移能力总体较弱, 说明盐碱地对含铬酸性废水处理具有明显效果, 同时也能够改良盐碱土。

关键词 盐碱化土壤; 改良; 含铬酸性废水; 处理

中图分类号 X703.1

文献标识码 A

doi 10.3891/j.issn1000-7857.2011.33.002

Experimental Processing of Chromium-contented Acid Wastewater with the Saline-alkali Soil

LI Xuqian¹, GUO Lili¹, LI Hongyan², LU Feng³

1. Key Laboratory of Groundwater Resources and Environment, Ministry of Education, Jilin University, Changchun 130021, China
2. Geo-Environment Monitoring Station of Jilin Province, Changchun 130021, China,
3. LiaoNing Key Laboratory of clean energy, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China

Abstract In order to research the saline-alkali soil ameliorating status and species changes of chromium during comprehensive utilization of chromium-contented acid wastewater with saline-alkali soil, permeation and pressure equipments are adopted to simulate the process of chromium-contented acid wastewater permeating through different pH saline-alkali soils. By the assaying and analyzing some indicators of pH, ORP, ESP, sum of Ca^{2+} and Mg^{2+} , organic matter, and the different factions of Cr, test results show that the course of chromium-contented acid wastewater permeating through saline-alkali soil makes saline-alkali soil tend to be neutral. And it would not reduce soils autologous organic matter and the levels of Calcium and Magnesium. The overall migratory capacity of Cr in the acid waste water is weak. It states that the saline-alkali soil has an obvious effect on the chromium-contented acid wastewater treatment, and the saline-alkali soil is also ameliorated.

Keywords saline-alkali soil; amelioration; chromium-contented acid wastewater; treatment

0 引言

土地盐碱化是土地退化、土地资源短缺和生态环境恶化的主要原因之一。为此, 长期以来国内外学者对土地盐碱化进行了广泛深入的研究。据联合国教科文组织(UNESCO)和粮农组织(FAO)不完全统计, 全世界各种类型的盐碱土面积约

为 $9.55 \times 10^8 \text{hm}^2$, 约占地球陆地表面的 10%, 分布在各大洲干旱地区, 主要集中在欧亚大陆、非洲、美洲西部^[1]。由于所处地理位置不同, 气候条件差异, 盐碱土在不同国家和地区的分布也有很大差别。分布最多的是澳大利亚、前苏联和中国^[2]。我国盐碱土总面积约为 $9.913 \times 10^8 \text{hm}^2$, 主要分布在东北、华

收稿日期: 2011-9-30; 修回日期: 2011-10-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40872154)

作者简介: 李绪谦, 教授, 研究方向为环境地质和环境工程, 电子信箱: lixuqian1950@163.net

北、西北内陆地区及长江以北沿海地带。土地盐碱化研究的重要性已经成为全世界的共识。

含铬酸性废水的经济有效处理也是当前水污染治理中极为关注的热点问题。铬作为“五毒”之一,对生物、土壤、水体都有严重的危害。化合态的铬以 Cr(VI)和 Cr(III)最为常见。研究表明,Cr(VI)的毒性是 Cr(III)的 100 倍,且更易被人体吸收并积累,当其经消化道侵入可引起呕吐、腹痛,长期接触可引起肺癌、肠道疾病和肾中毒等^[1],过量的(>10ppm) Cr(VI)对水生物有致死作用。鉴于铬对人体及环境的严重危害,各国都对铬的排放做出了严格的规定。我国已把 Cr(VI)的排放规定为实施总量控制的指标之一。

利用盐碱化土地对含铬酸性废水进行有效处理,既使盐碱化土地得到改良,又消纳了有毒废水,是去害兴利的环境保护研究课题。本文采用实验室土柱淋滤试验的方法,以含铬酸性废水为例,淋渗不同 pH 值土壤,模拟含铬酸性废水渗

透通过碱性土壤的过程并与雨水淋滤交替渗透过程,研究铬元素的形态转化和土壤改良的效果,对其环境友好的机制进行探讨,为研究含铬酸性废水与盐碱化土地的综合利用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料和试验装置

供试土样选用 4 个 pH 值不同的土样,其中 1[#]土样采自吉林省松原市郊区稻田地附近,pH 为 6.5;4[#]土样采自吉林省松原市郊区的重度盐碱地,pH 值为 9.5;2[#]和 3[#]土样采自位于吉林省大安市境内的中国科学院东北地理与农业生态研究所大安碱地生态试验站站里和站外不同区域的土壤,pH 值为 7.3 和 8.5。采样深度为 20—50cm,将黏土平摊于塑料薄膜上自然风干后过 1mm 筛,去除根系等杂质后备用,相关指标数据值见表 1^[4-7]。含铬酸性废水用优级纯的 $K_2Cr_2O_7$ 和盐酸

表 1 土样相关化学成分指标值

Table 1 Related chemical composition indexes of soil samples

土样编号	pH 值	阳离子交换量(CEC) /(mmol·kg ⁻¹)	Ca+Mg/ (mg·kg ⁻¹)	Cl ⁻ / (mg·kg ⁻¹)	CO ₃ ²⁻ / (mg·kg ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ / (mg·kg ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ / (mg·kg ⁻¹)	有机质%	K/ (mg·kg ⁻¹)	Na/ (mg·kg ⁻¹)
1 [#]	6.50	9.61	376.32	411.80	0.00	125.71	1002.89	4.19	10.76	71.23
2 [#]	7.30	17.09	192.08	60.35	0.00	439.98	619.05	2.16	1.51	150.83
3 [#]	8.50	10.25	254.80	452.63	463.68	392.84	1303.95	3.22	56.21	181.90
4 [#]	9.50	8.90	333.20	1402.25	3091.20	785.68	1525.98	2.55	53.68	2156.30

配置,其中 Cr(VI)初始浓度为 5mg/L,pH 值为 6.5 左右。

试验装置如图 1 所示。由于碱性土渗透性差,渗透过程很慢,因而本试验采用充压条件下酸性污染水渗透通过碱性土柱进行试验。为获取试验进程中不同时间段的土样并保证试验过程不受影响,在大玻璃柱的两侧并联设置 10 个小玻璃柱作为采样土柱,试验过程中保证其压力和渗透条件与大

柱相同。在设定的采样时间段对小柱子进行顺序拆解以获取土样进行分析,取过土样的小柱子即从装置中除去,直到同一系列结束为止。试验过程中采用 V-0.17/8 型空压机对柱内废水进行加压。

1.2 试验流程

装柱:取自然风干土样用四分法装填玻璃柱,保证所有柱子中土样的颗粒大小分布均匀;按天然容重均匀压实土样,确保颗粒间无明显缝隙,避免个别柱子中土样容重发生较大偏差。不同 pH 值的土样装填高度均为(3±0.2)cm,容重为(1.68±0.2)g/m³。在试验土柱的上下装填厚度分别为 15cm 和 10cm 的砂层。

渗透:首先由试验装置下端的取样口向上对装置中的砂层和黏土层进行充分饱水;之后以少量多次的方式将事先配制好的含铬酸性废水由装置中部的进样口进样。在运行期间,保持总的水土比约为 5:1,从而保证单位时间内的渗透量为 200mL/d。用空压机以 1.25 倍的大气压进行加压,使含铬酸性废水在压力的作用下连续渗透通过土层。

清水淋滤:运行 12 天后,用清水代替污水淋滤土柱,运行条件和污水渗滤时相同。

1.3 取样及调试方法

每隔 24h 固定取样,取样后立即测定 pH 值和 ORP 值,尽

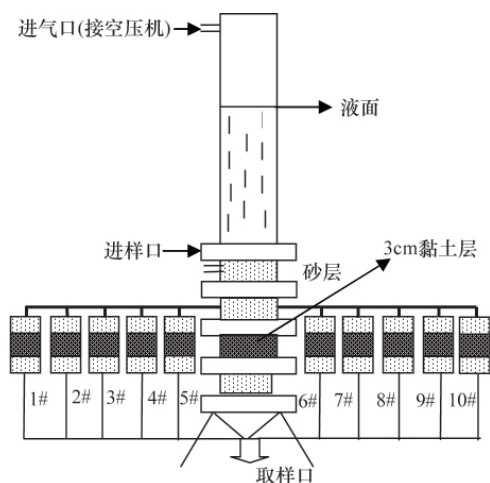


图 1 试验装置

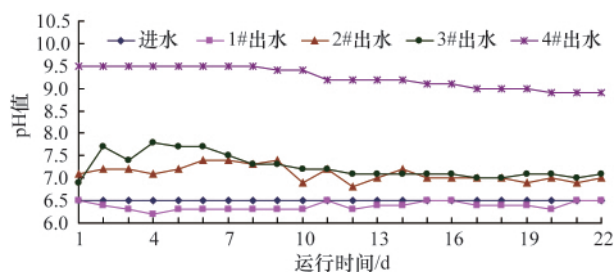
Fig. 1 Diagram of experiment equipment

量减小因与空气接触而造成的误差。pH 值用 pH 计(HI98107 型)和精密试纸测定,ORP 值用便携式 ORP 仪(ORP-401 型)测定,水样中 COD(化学需氧量)采用重铬酸钾法进行测定, HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 采用双指示剂法测定, Cl^- 采用硝酸银滴定法测定, SO_4^{2-} 采用铬酸钡分光光度法测定。渗滤水中铬交换土壤中钙镁离子的量用 EDTA 滴定法测定;对于土样中的不同形态铬用 Tessier 五步浸提法^[8-11]提取,之后用火焰原子吸收分光光度计测定,其他指标以水土比 5:1 进行水溶后测定。

2 结果与分析

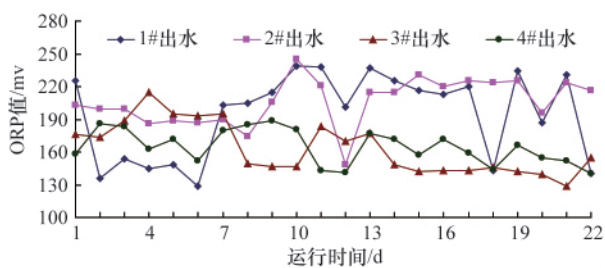
2.1 不同 pH 值土柱淋滤过程中水土环境变化

试验进水是酸性污水,pH 值为(6.5±0.2)。出水 pH 值及 ORP 值变化趋势见图 2。其中土样 pH 值接近中性值的 1 和 2 组的 pH 值变化比较小,在 pH=7 上下波动;而土样 pH 值较高的 3 和 4 组,总体上呈现降低趋势,逐渐向 pH=7 靠近。这种下降趋势会因 pH 值的上升而更加明显。而随着试验过程的进行,水土环境的 ORP 值只是微有波动,没有发生较大的改变,基本维持在原来的 ORP 值水平。



(a) 进出水 pH 值

(a) pH values in inflow and effluent water



(b) 出水 ORP 值

(b) ORP values in effluent water

图 2 进出水 pH 值和出水 ORP 值变化

Fig. 2 Changes of pH and ORP values in effluent water

分析认为,1 组土柱的出水与进水 pH 值偏差较小,是因为水土 pH 值接近,不发生明显中和作用,土样几乎不能缓冲进水的 pH 值。2 组土柱的 pH 值靠近中性水平,很轻微的缓冲了微酸性的进水,pH 值的变化很小。3 和 4 组土柱的 pH 值明显的高于进水的 pH 值,从而使进水的 pH 值得到明显中和;土柱 pH 值越高,这种中和作用就越加明显。ORP 值从 4 组出水的变化趋势来看,没有发生较大的改变,只是在原有

基础上进行小幅度的波动。说明含铬酸性污水渗透通过盐碱土时 pH 值条件明显改善,土壤本身的氧化还原环境(ORP 值)变化不大。

2.2 土柱淋滤过程中铬形态变化规律

土壤中铬主要以 Cr(III)和 Cr(VI)两种价态存在,Cr(III)比 Cr(VI)稳定。在土壤溶液中,Cr(VI)通常以 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 和 CrO_4^{2-} 形式存在,一般被土壤胶体吸附较弱,具有较高的活性,对植物的毒害作用强。而 Cr(III)主要以 $\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ 、 $\text{Cr}(\text{OH})_2$ 、 CrO_2 形式存在,极易被土壤胶体吸附或形成沉淀,其活性较差,对植物毒性相对较小。在一定 pH 值和 Eh(氧化还原)条件下,Cr(III)和 Cr(VI)可以相互转换,见图 3。

Tessier 将土壤中的重金属铬分成交换态铬、碳酸盐结合态铬、铁锰结合态铬、有机结合态铬和残渣态铬^[12]。水溶态和交换态铬容易被植物吸收,而其他形态的铬具有较低的生物有效性^[13-14],对环境的影响相对较小。

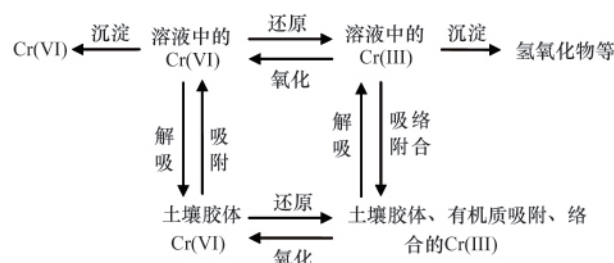
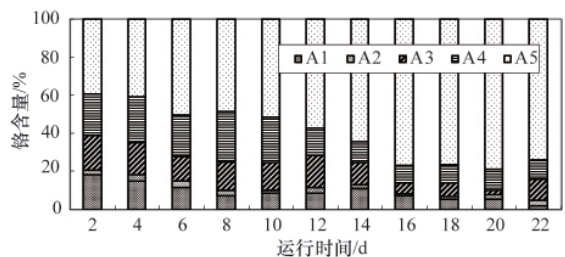


图 3 土壤中 Cr(III)和 Cr(VI)的转化

Fig. 3 Transformation of Cr(III) & Cr(VI) in the soil

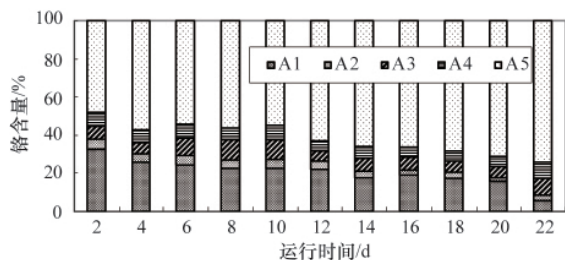
从图 4、图 5 可见,Cr(VI)进入土壤后,在土壤中有有机质等还原物质作用下,很容易被还原成 Cr(III),并转变为沉淀态和有机结合态固定下来,失去其活动性。而无机态 Cr(III)在开始进入土壤时,绝大部分立即转变为沉淀态,水溶态和交换态铬也随之略有增加,然后随着时间的延长,部分沉淀态铬有向有机结合态和残渣态铬转化的趋势。

据刘云惠等^[15]研究表明,在 pH2.0—6.5 范围内,土壤对 Cr(VI)的吸附量随 pH 值升高而增加,但增加量很小;当 pH>6.5 时,随 pH 值升高而急剧下降;至 pH 值为 8 时,基本上不吸附 Cr(VI)。而 Cr(III)的吸附和沉淀随 pH 值的升高而增大,在 pH<4.0 时,Cr(III)不会生成氢氧化物沉淀,土壤对 Cr(III)主要是吸附作用。在 pH4—6 范围内,溶液中 Cr(III)浓度随 pH 值升高而急剧下降。在 pH>4.0 时,Cr(III)开始形成 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 沉淀。在 $4.0 < \text{pH} < 5.0$ 时,土壤对 Cr(III)的吸附能力随 pH 值升高而减弱,但吸附仍占主导地位。在 $5.0 < \text{pH} < 6.0$ 时,开始以 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 沉淀形成为主,吸附已很弱。在 pH6.0—10.5 范围内,土壤对 Cr(III)几乎没有吸附作用,其中 pH 值为 8.5 时, $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 的溶度积是 2.9×10^{-29} 。Mertez 等^[16]认为这种沉淀可能是 Cr(III)和水或羟基形成的配位大分子。在 pH>10.5 的强碱性溶液中,由于 Cr(III)发生水解作用,生成 $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ 离子,已沉淀的 Cr(III)又部分转入溶液,此时土壤胶体也带



(a) 2号土样铬含量

(a) Percentage of Cr in No. 2 soil sample



(b) 4号土样铬含量

(b) Percentage of Cr in No. 2 soil sample

图4 土样中各形态铬含量变化

Fig. 4 Changes of percentage about different species Cr in soil samples

注:A1,可交换态;A2,碳酸盐结合态;A3,铁锰结合态;A4,有机结合态;A5,残渣态

Notes: A1, Exchangeable; A2, Carbonate; A3, Fe-Mn oxides; A4, Organic; A5, Residual

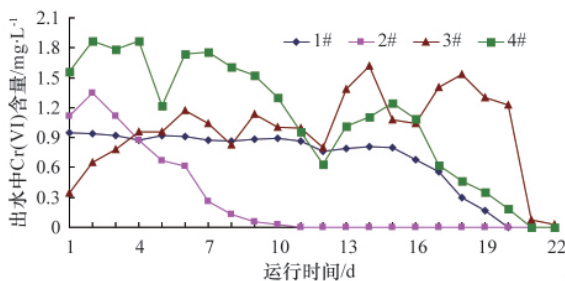


图5 水溶态铬含量变化趋势

Fig. 5 Changes tendency of water soluble Cr

有很强的负电荷, $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ 难以被土壤胶体吸附。

对 pH 值敏感的碳酸盐结合态含量和 pH 值成正相关性, 即随土壤 pH 值的降低, 碳酸盐结合态含量也在逐渐减小。高活性的铁锰氧化物依靠其较大的比表面积形成铁锰结合态, 同时土壤有机物依靠自身较大的螯合金属离子的能力以有机膜的形式吸附铬于其颗粒表面, 这在不同程度上增加了吸附铬的能力。另外硅酸盐物吸附大量的铬以残渣态含量增多来表现。

总体上, 不稳定的水溶态铬经过渗透及淋洗后几乎下降到了 0mg/L (图 4), 达到了杨文正等^[17]引用的国家地下水质量标准 (GB/T14848-93) I 类水对 Cr(VI) 的要求 ($<0.005\text{mg/L}$), 同时也小于灌溉水对铬的要求; 另外, 土壤中铬的总量

($7.3658\text{—}35.8842\text{mg/kg}$) 虽然在时间上出现了累积效果, 但是没有超出刘晓冰等^[18]引用的国家土壤环境质量标准 (GB15618-1995) I 类土壤的上限 90mg/kg 。在土壤中, 容易被植物吸收利用的可交换态和碳酸盐结合态的铬明显减小, 百分含量分别降到可交换态: $0.6054\%\text{—}8.5934\%$, 碳酸盐结合态: $3.0149\%\text{—}9.0570\%$, 对植物生长的危害作用也很小; 其他三种稳定态的含量都有所增加, 最稳定的残渣态增加幅度最大。说明含铬酸性废水渗透淋滤碱性土壤时, 铬的迁移率降低。

2.3 钙镁离子含量与铬离子衰减的变化关系

铬进入土壤后, 与土壤中金属元素、营养元素之间发生物理化学作用, 导致其存在形态和环境生态效应均有所变化。在水-土系统中铬与养分元素钙镁之间的交互作用, 对消除或降低铬对土壤、水乃至人类毒害具有重要影响^[19]。

本文对铬从土壤中交换出的钙镁做了研究, 发现土壤中钙镁离子含量很高时, 对铬的吸附具有抑制作用, 从土壤中交换出的钙镁量相应的较低, 即使经过长时间的渗透作用, 可交换出的钙镁量几乎不发生变化, 见图 6。从而说明, 土壤中钙镁含量只有在一定范围内时, 铬才能够与土壤中的钙镁发生交换吸附, 且这种交换吸附也会随着时间的推移慢慢降低逐渐达到“饱和状态”。说明含铬酸性废水渗透盐碱土时, 铬交换出的钙镁是有限的, 不会使土壤损失过多的钙镁。

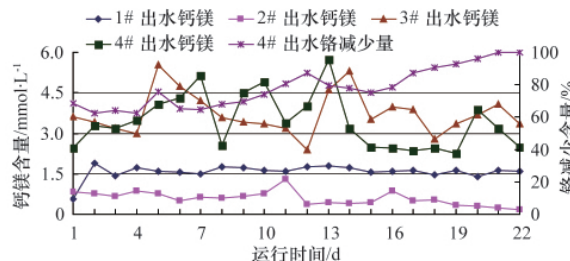


图6 出水钙镁总量及铬离子衰减变化

Fig. 6 Changes of calcium & magnesium total in effluent water and chromium ions reduction

2.4 含铬酸性废水对土壤碱度的影响

碱化度 (ESP), 是盐碱土中代换钠占阳离子代换总量中的百分率, 即 $\text{ESP}(\%) = \text{代换钠} / \text{代换量} \times 100\%$ 。一般土壤中, 代换钠量很低, 对土壤不构成什么影响。但在盐碱土中, 尤其是钠质土中, 代换钠达到一定水平后, pH 值升高, 土壤的物理性质和结构形态发生变化, 土壤碱化。因此代换钠与代换量的比 ESP 值是判断土壤是否碱化及碱化程度的一个重要指标。同时, ESP 值与 pH 值之间存在着一定的相关关系, 两者在盐碱土研究中均具有重要性^[20]。

从图 7 可以看出, 土壤 pH 值接近中性的 1、2 组, 碱化度在 $<10\%$ 的范围内基本不变, 只是低频的小幅度波动。而在 pH 值较高的 3、4 组里, 碱化度逐渐减低, 趋向利于植物生长的中性土壤方向发展。分析认为, 试验进水为微酸性水, 该水与土壤中的碱性物质发生了中和作用, 改变了土壤的 pH 值, 进

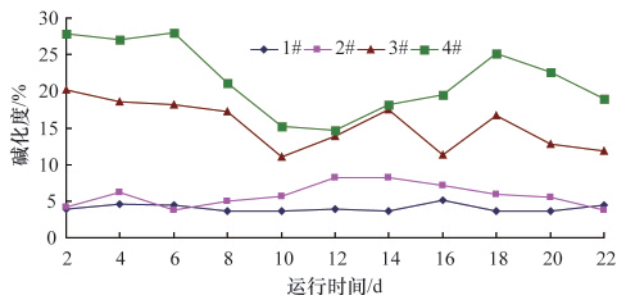


图7 土样碱化度变化趋势

Fig.7 Changes tendency of soil samples ESP

而影响了土壤的碱化度;另一方面进水与土壤接触后会淋洗出土壤胶体中的代换性钠,从而降低 ESP 值。与张凤荣^[21]引用的我国对碱化土壤的分级标准^[21](ESP 在 5%—10%为轻度碱化土壤;在 10%—15%为中度碱化土壤;15%—20%为强度碱化土壤;>30%为碱土)比较发现,在实验效果最为明显的 4# 试验中,通过渗透淋滤过程,土壤碱化度下降接近一个等级,由 27.871%降低到 18.90%。

2.5 含铬酸性废水对土壤有机质的影响

有机质是土壤的重要组成成分,是衡量土壤肥力的重要指标之一,在土壤发生、分类和农业土壤肥力等方面的研究中具有极为重要意义。土壤有机质累积情况不仅依赖于自然环境条件,更重要的是依赖于农田土壤中有有机物质的投入情况^[22]。从图 8 中的土壤有机质含量变化看,土壤有机质的含量只在本底的基础上进行波动,没有发生较大的变化,基本维持在原来的水平上。含铬酸性废水渗透通过盐碱土时,没有对土壤本身的有机质含量产生冲刷作用。由于进水本身的有机质含量不高,也没有增加土壤中有有机质的含量。同污灌作用一样,进水污染可以停留在灌溉的土壤中。因此建议在实际操作中,进水中可掺入含有机物污染物的生活污水,从而增加有机物质的投入、增强土壤中有有机质的累积、提高土壤的肥力。

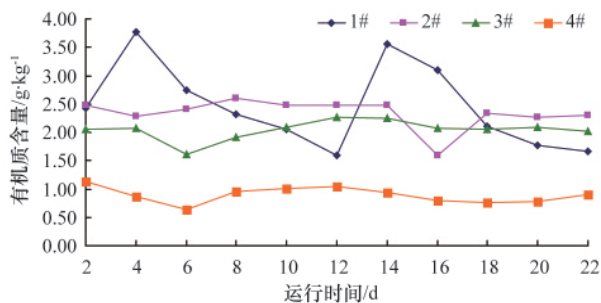


图8 土样有机质含量变化趋势

Fig.8 Changes tendency of organic matter content in soil samples

3 结论

(1)含铬酸性废水渗透通过盐碱土时,可以使土壤 pH

值、ORP 值、ESP 值等趋向中性土壤的指标,有利于盐碱地的改造,适合植物的生长。

(2)含铬酸性污水渗透通过盐碱土时,不会降低土壤本身有机质含量。

(3)酸性污水中的铬在通过盐碱土后,迁移能力总体减弱,以不同形态固定在土壤中。土壤中水溶态的铬达到国家地下水质量标准,土壤中铬的总含量也符合国家土壤环境质量标准,表明含铬酸性废水渗透通过盐碱土时不会对地下水环境和植物生长产生明显的危害作用。

(4)如何保持正常处理效果,不产生土壤环境恶化的水土比还需要进一步研究确定。

参考文献 (References)

- [1] 侯戈. 基于 LUCC 的吉林西部典型县域土地盐碱化空间分布规律研究 [D]. 吉林大学, 2008.
Hou Ge. Study on soil salinization spatial distribution based on the LUCC in typical county of western Jilin province [D]. Jilin University, 2008.
- [2] Malcolm E, Sumner R N. Sodid soils: Distribution properties, management, and environmental consequences[M]. New York: Oxford University Press, 1998.
- [3] Srivastava S, Thakur. I S. Evaluation of biosorption potency of *Acinetobacter sp.* for removal of hexavalent chromium from tannery effluent[J]. *Biodegradation*, 2007, 18(5): 637-646.
- [4] 李斌, 王志春, 迟春明. 吉林省大安市苏打盐碱土碱化参数与特征分析[J]. *生态与农村环境学报*, 2006, 22(1): 20-23.
Li Bin, Wang Zhichun, Chi Chunming. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2006, 22(1): 20-23
- [5] 褚龙, 贺斌. 土壤阳离子交换量的测定方法[J]. *黑龙江环境通报*, 2009, 33(1): 81-83.
Chu Long, He Bin. *Heilongjiang Environmental Journal*, 2009, 33(1): 81-83.
- [6] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第四版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 409-499.
State Environmental Protection Administration. *Water and Wastewater Monitoring Method (Fourth Edition)*[M]. Beijing: Chinese Environmental Science Press, 2002: 409-499.
- [7] 黄君礼. 水分析化学 (第二版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997: 117-120.
Huang Junli. *Water Analysis Chemistry (Second Edition)*[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1997: 117-120.
- [8] Usero J, Gamero M, Morillo J, et al. Comparative study of three sequential extraction procedures for metals in marine sediments[J]. *Environment International*, 1998, 24(4): 487-496.
- [9] Margui E, Salvado V, Queralt I, et al. Comparison of three-stage sequential extraction and toxicity characteristic leaching tests to evaluate metal mobility in mining wastes [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2004, 524 (1-2): 151-159.
- [10] Mester Z, Cremisini C, Ghiara E, et al. Comparison of two sequential extraction procedures for metal fractionation in sediment samples [J]. *Analytica Chimica Acta*, 1998, 359(1-2): 133-142.
- [11] Poulton S W, Canfield D E. Development of a sequential extraction procedure for iron: Implications for iron partitioning in continentally derived particulates[J]. *Chemical Geology*, 2005, 214(3-4): 209-221.

- [12] Tessier A, Campbell P G C, Bisson M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals[J]. *Analytical Chemistry*, 1979, 51(7): 844-850.
- [13] Koleli N. Speciation of chromium in 12 agricultural soils from Turkey [J]. *Chemosphere*, 2004, 57(10): 1473-1478.
- [14] Gomez V, Callao M P. Chromium determination and speciation since 2000 [J]. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2006, 25(10): 1006-1015.
- [15] 刘云惠, 魏显有. 土壤中铬的吸附与形态提取研究[J]. 河北农业大学学报, 2000, 23(1): 16-20.
Liu Yunhui, Wei Xianyou. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2000, 23(1): 16-20.
- [16] 李晶晶, 彭恩泽. 综述铬在土壤和植物中的赋存形式及迁移规律[J]. 工业安全与环保, 2005, 31(3): 31-33.
Li Jingjing, Peng Enze. *Industrial Safety and Environmental Protection*, 2005, 31(3): 31-33.
- [17] 杨正亮, 冯贵颖, 呼世斌, 等. 水体重金属污染研究现状及治理技术[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 219-222.
Yang Zhengliang, Feng Guiying, Hu Shibin, et al. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 23(1): 219-222.
- [18] 刘晓冰, 邢宝山. 土壤质量及其评价指标[J]. 农业系统科学与综合研究, 2002, 18(2): 109-112.
Liu Xiaobing, Xing Baoshan. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2002, 18(2): 109-112.
- [19] 易秀, 李五福. 黄土性土壤中铬(VI)神(V)交互作用及钙镁对其吸附的影响[J]. 西北农业学报, 2005, 14(3): 167-172.
Yi Xiu, Li Wufu. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2005, 14(3): 167-172.
- [20] 赵玺宏, 尤美云. 草甸化盐碱土 pH 值与碱化度的相关性探讨[J]. 内蒙古农业科技, 1993, 21(6): 17-18.
Zhao Xihong, You Meiyun. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 1993, 21(6): 17-18.
- [21] 张凤荣. 土壤地理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004, 96-123.
Zhang Fengrong. *Soil Geography*[M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2004, 96-123.
- [22] 胡海燕, 王益权, 张育林, 等. 污染的灌溉水对农田土壤养分平衡的作用与影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(5): 129-132.
Hu Haiyan, Wang Yiquan, Zhang Yulin, et al. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2010, 28(5): 129-132.

(责任编辑 马骁骁)

· 学术动态 ·

“第七届全国制冷空调新技术研讨会(2012)”征文



由中国制冷学会主办的“第七届全国制冷空调新技术研讨会”计划于 2012 年 8 月在西安市举行。
征文范围: 制冷空调中的节能新技术、能源利用新技术、新工质的使用、新的控制技术、新的空气洁净技术, 以及其他制冷、空调、低温系统的最新技术进展。

摘要截止日期: 2012 年 3 月 1 日。

全文截止日期: 2012 年 4 月 1 日。

电 话: 15829931743, 13519141974

电子信箱: suntiezhuzhu66@163.com

通信地址: 西安市金花南路 19 号西安工程大学

邮政编码: 710048

《科技导报》“卷首语”栏目征稿

“卷首语”栏目每期邀请 1 位中国科学院院士和中国工程院院士就重大科技现象、事件, 以及学科发展趋势、科学研究热点和前沿问题等, 撰文发表个人的见解、意见和评论。本栏目欢迎院士投稿, 每篇文章约 2000 字, 同时请提供作者学术简历、工作照和签名电子文档。投稿信箱: kjdbbjb@cast.org.cn。


 科技
导报
SCIENCE & TECHNOLOGY REVIEW