

西北地区农村水窖 集雨场表面土壤离子释放特征研究

张建锋, 谢 薇, 雷占琴

(西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055)

摘 要: 基于提升窖水水质的目标, 实验研究了渭北旱塬区窖水集雨过程中, 集雨场表面土壤离子释放的过程和速度变化。结果表明土壤离子释放主要集中在遇水 30~60 s 时间范围, 离子释放总量与接触的土壤总量成正比关系, 随着降水酸度的增加, 离子释放总量增大, 但释放速度与降水 pH 值相关性不明显。根据研究结果提出了水窖收水口改进的措施, 以期提升西北农村饮用型窖水水质提供参考。

关键词: 窖水; 水质; 离子释放

中图分类号: P 342⁺. 4

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2012)06-0888-04

在西北半干旱地区, 地表水资源极度匮乏、地下水大多埋藏较深, 农村分散村落依靠积蓄大气降水来满足人畜饮用的用水模式由来已久。就当地农村目前的发展水平而言, 以截蓄大气降水为主的“窖水”利用, 仍是解决分散村落人畜饮水问题的有效方式。国内现有关于窖水的水质安全的研究大多关注于微生物学指标的控制^[1-6], 较少涉及到窖水中离子浓度、总溶解性固体等水质参数。长期的医学统计结果显示, 饮用水中总溶解性固体、硬度、pH 值等特征参数与心血管疾病发病率具有一定的相关性^[7], 因此针对窖水收集过程中的离子浓度变化情况进行研究, 对提高农村饮水水质具有积极意义。

本文结合在陕西渭北旱塬农村的实地调研, 采集具有代表性的集雨场天然土地面, 以土壤在水中溶解过程模拟研究降水过程土样离子的释放规律, 以期集雨过程中初期雨水排放、集雨场坡度设计提供参考。

1 实验材料及方法

实验地点在陕西省渭南市临渭区赵家村, 土壤样品取自农户庭院水窖周边 1.0 cm 厚度自然地面, 土壤晾干并研碎, 使土壤颗粒保持均匀无结块。

通过溶解过程电导率变化测定, 研究土样的离子释放特征。除特殊说明, 实验中水样体积均为 200 mL, 实验水温 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 。电导率仪采用 DDS-308A 电导率仪, RS232 串口输出至计算机。其他相关指标的监测方法见《生活饮用水标准检验方法》。

2 实验结果及分析

2.1 土壤及沉降物颗粒分析

土样颗粒分析结果见图 1。粒径分析表明, 土样颗粒粒径大致在 $0.3 \sim 300 \mu\text{m}$ 范围内, 其中粒径平均值为 $17.27 \mu\text{m}$, 中值粒径 $21.69 \mu\text{m}$, 实验土壤与自然地面表层清扫物粒径组成基本一致。

2.2 雨水与窖水的水质情况

于 2011 年 11 月在陕西省渭南市临渭区赵家村收集雨水和窖水, 对其进行试验检测, 结果见表 1。

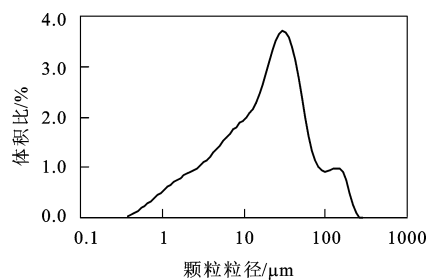


图 1 土样颗粒粒径分布曲线

Fig. 1 The particle diameter distribution

收稿日期: 2012-06-26 修改稿日期: 2012-11-25

基金项目: 陕西省教育厅专项科研计划资助项目(11JK0757)

作者简介: 张建锋(1970-), 男, 陕西武功人, 博士, 副教授, 主要研究方向: 水处理与节水技术、水资源保护。

表 1 雨水与窖水的主要水质指标
Tab. 1 Quality index of rainwater and tank-water

水质指标		窖水	雨水	《GB5749—2006》小型集中式供水和分散式供水限值
指标	单位			
总 氮	mg/L	2.68~10.53	3.14~4.97	
氨 氮	mg/L	0.056~0.136	2.43	
总 磷	mg/L(以 P 计)	0.014	0.048	
高锰酸盐指数	mg/L(以 O ₂ 计)	9.52	3.58	5
UV254	cm ⁻¹	0.143	0.064	
pH		7.89~8.32	6.32~7.67	6.5~9.5
总硬度	mg/L(以 CaCO ₃ 计)	105~174.3	22~24	550
浊 度	NTU	0.58~21	3.75~15.2	3(特殊 5)
溶解性总固体	mg/L	144.60~316.59	31.11~47.58	1 500
细菌总数	CFU/mL	800~2 800	—	500
粪大肠杆菌	CFU/100 mL	30~390	—	不得检出

雨水经过集雨场进入水窖的过程中,由于集雨场面层土壤的离子释放和水流的挟带作用,在窖水监测的水质项目中,表征有机污染程度的高锰酸盐指数和 UV254 指标均有增加,总氮、总硬度的增加主要源于离子释放和化肥等含氮污染物溶解.与雨水相比,窖水总磷降低可能源于土壤的表面吸附,但具体原因有待于进一步分析探明.表 1 的监测结果表明,窖水的微生物参数严重超标,因此消毒处理是窖水安全饮用的关键,应引起足够的重视.

根据文献[7]研究,适合于人体饮用的水应符合“硬度(理想的指标是 170 mg/L 左右)、总溶解固体 TDS(理想的指标是 300 mg/L 左右)和 pH(偏碱性,对于井水和市政给水在 7.0 以上)”等特征.对于实验收集的雨水,对应的检测结果分别为总硬度=22~24 mg/L(以 CaCO₃ 计)、TDS=31.11~47.58 mg/L,因此单从水的品质而言,雨水作为惟一的饮用水源,长期饮用会对人体健康带来负面影响.

2.3 集雨过程中的集雨场表层土壤的离子释放

在窖水收集过程中,雨水在流进水窖之前会浸没集雨场,集雨场面材的离子释放是提升窖水硬度和溶解性固体的主要途径之一.

(1)集雨场表层土壤离子释放的总体情况

集雨场表层土壤在雨水中浸出后,水质检测结果见表 2.

表 2 土壤在雨水中浸出后的水质变化
Tab. 2 Water quality variation of soil extracted with rainwater

水 样		高锰酸盐指数 /mg·L ⁻¹	总磷 /mg·L ⁻¹	总氮 /mg·L ⁻¹	pH	UV254 /cm ⁻¹	总硬度 /mg·L ⁻¹
序号	组成						
EXP-1	雨水	3.577 1	0.047 5	4.972 8	6.62	0.064	22.22
EXP-2	雨水+1 g 土样	3.967 4	0.095 0	5.464 3	7.90	0.103	30.30
EXP-3	雨水+5 g 土样	5.008 0	0.142 6	5.940 3	7.99	0.155	38.38
EXP-4	雨水+10 g 土样	6.178 7	0.218 6	7.022 4	8.14	0.207	52.52
EXP-5	蒸馏水+10 g 土样	4.162 3	0.166 3	1.774 5	8.10	0.168	34.34

注:①以上实验组中雨水和蒸馏水均为 200 mL;②总硬度以 CaCO₃ 计

以上的实验数据表明,土壤的离子释放可以显著提升窖水的 pH 值,但同时也增加了窖水的污染物浓度.表 2 中的数据大致存在以下的这样的规律:即针对总磷、总氮和总硬度三个指标,窖水中浓度约等于雨水和土壤释放量之和;窖水中浓度与接触土壤量成正比例关系.

(2)土壤离子释放速度规律

采用电导率连续测定,实验研究土样的离子释放规律,结果见图 2、图 3.图中实验序号的实验条件同见表 2.

图2为间歇式实验结果,所测的电导率为累计值,为讨论离子释放的速度变化,对图2中的数据进行处理,给出逐时释放量曲线见图3。

按照电导率和离子释放速率变化情况,大约在30~60 s以后离子释放速度显著降低,因此在窖水收集过程中,形成地表径流以前,大致已经完成了集雨场面层的离子释放过程。

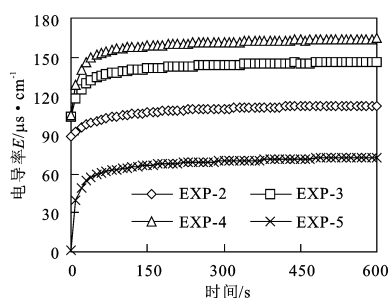


图2 土样释放累积曲线

Fig. 2 Conductivity variation with leaching time

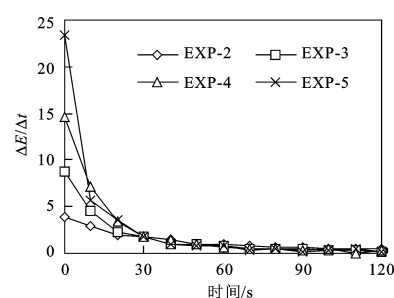


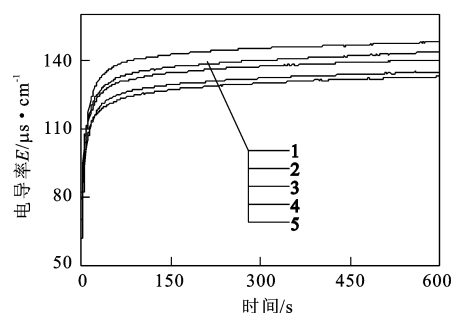
图3 土样释放速率曲线

Fig. 3 Leaching velocity of local soil

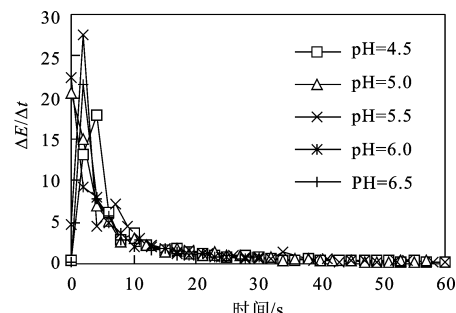
(3) 降水 pH 值对表层土壤离子释放的影响

根据监测,陕西关中降水平均 pH 值的范围为 4.6~5.0,其中渭南地区降水 pH 值在 5.0 左右,采用稀硫酸调配收集的雨水,研究降水 pH 值至对离子释放的影响,见图 4。

图 4 揭示离子释放总量随着降雨的酸度增加而增大,但电导率变化平均速率的差异不大。在不同 pH 值条件下,离子释放速度大约 5 s 以后显著减小,在 30 s 以后趋于零值。



(a) Conductivity vary curve



(b) Average leaching velocity of local soil

图4 降水 pH 值对土样离子释放速度的影响

Fig. 4 Effect of rainwater pH on leaching velocity of local soil

3 讨论与建议

在现场调查中发现,渭北地区农村水窖集雨场大多采用自然土壤地面和水泥地面,按照当地窖水收集的常用方法,降雨时村民在收集雨水前会进行集雨场院的清扫,因此大气降尘颗粒的离子影响有限,土壤地面的离子释放可能是影响水窖水离子浓度的主要因素。

根据实验结果,土壤地面的离子释放速度在触水大约 30~60 s 后显著减小。在实际的窖水收集过程中,为避免浑浊度较高的雨水进入水窖,往往要摒弃初期雨水,因此为提升窖水离子浓度,必须对初期雨水进行相应的降浊处理,这或许是提高农村饮用型窖水品质的必由之路。

为满足初期雨水除浊和提升窖水离子浓度两方面的要求,可以对目前的窖水收集方法进行改进,即可以考虑在水窖收水口附近布设一层砂滤层,具体构造如图 5 所示。

砂滤层可以采用 $d_{10}=1.0$ mm 的石英砂或碎石料,砂滤层内窖壁采用透水砖,通过人工淘沙清洗砂滤层,即在每次集雨完成后视滤砂堵塞状况,人工将砂滤层取出至容器内,取窖水分多次清洗滤砂,晒干混匀后重新装填待用。收水口的结构尺寸按照用水习惯和结构强度要求具体确定。

渭北旱半塬区窖水利用是目前解决分散村落人畜饮水问题的主要方式,基于提升用水水质目标的窖水集水技术改进,在水资源极度匮乏的西北地区具有重要的实用价值,有关这一方面的研究还将继续深入。

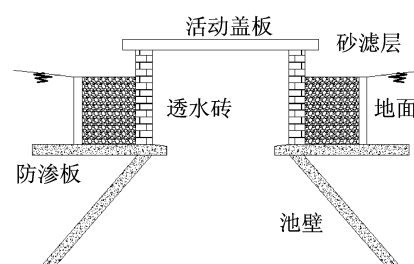


图5 改进型水窖收水口示意图

Fig. 5 Construction of innovational rainwater tank intake

参考文献 References

- [1] ZHU Kun, ZHANG Linus, WILLIAM Hart, et al. Quality issues in harvested rainwater in arid and semi-arid Loess Plateau of northern China [J]. *Journal of Arid Environments*, 2004, 57: 487-505.
- [2] 马永林, 崔继元, 韩伟. 甘肃省定西县农村窖水水质的卫生学调查[J]. *广西预防医学*, 2000, 6(1): 23-24.
MA Yong-lin, CUI Ji-yuan, HAN Wei. Cistern water quality hygiene investigation in Dingxi rural areas of Gansu province[J]. *Guangxi Journal of Preventive Medicine*, [J]. 2000, 6(1): 23-24.
- [3] 董玉英, 冉亚莉, 李怡, 等. 昆明地区窖水水质检测结果分析[J]. *中国卫生检验杂志*, 2003, 13(4): 478.
DONG Yu-ying, RAN Ya-li, LI Yi, et al. Cistern water quality test results analysis of Kunming district[J]. *Chinese Journal of Health Laboratory Technology*, 2003, 13(4): 478.
- [4] 冯士礼, 彭安忠, 张德清, 等. 对21口水窖水丰水期与枯水期的水质监测结果分析[J]. *湖北预防医学杂志*, 2004, 15(3): 65-66.
FENG Shi-li, PENG An-zhong, ZHANG De-qing, et al. The analysis of water quality monitoring data of 21 cisterns in wet season and dry season[J]. *Hubei Journal of Preventive Medicine*, 2004, 15(3): 65-66.
- [5] 王永胜, 李培红, 姜玉刚, 等. 农村地窖水处理方法[J]. *水处理技术*, 1999, 25(4): 23-24.
WANG Yong-sheng, LI Pei-hong, JIANG Yu-gang, et al. The treatment of cistern water in countryside[J]. *Technology of Water Treatment*, 1999, 25(4): 23-24.
- [6] 凌波, 韩关根, 施南峰. 窖水(水柜水)消毒的研究[J]. *卫生研究*, 2001, 30(2): 74-76.
LING Bo, HAN Guan-gen, SHI Nan-feng, et al. Disinfection for cistern water[J]. *Journal of Hygiene Research*, 2001, 30(2): 74-76.
- [7] MARTIN Fox. 健康的水[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
MARTIN Fox. *Healthy Water*[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2001.

Characteristics of ion release from soil during runoff process in northwest China's semi-arid areas

ZHANG Jian-feng, XIE Wei, LEI Zhan-qin

(School of Envi. & Muni. Eng., Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: Focused on improving the quality of cistern water, experiments were conducted to study the efficiency and kinetic characteristic of soil ion release during runoff process in Weibei semi-arid loss plateau. Results revealed that the most release strength was arriving at 30-60s following startup, the solutions total dissolved solid (TDS) was proportional to the contacting soil mass. TDS increased with the storm water pH declining. However, the release strength was irrelevant with the runoff pH. Based on the research results, a detailed suggestion was provided to renovate the intake construction of cistern for improving the drinking water quality in the remote rural areas of Northwest China's Semi-arid areas.

Key words: *cistern water; water quality; ion release*