

# 秦陵陪葬坑土遗址安全含盐量探究

张晓英<sup>1</sup>, 夏寅<sup>2,3</sup>, 周莉莉<sup>1</sup>, 张尚欣<sup>3</sup>, 严淑梅<sup>3</sup>, 付倩丽<sup>3</sup>, 黄建华<sup>3</sup>, 李华<sup>3</sup>, 周铁<sup>3</sup>

(1. 西北大学, 陕西西安 710069; 2. 西安交通大学人居环境与建筑工程学院, 陕西西安 710049;

3. 陶质彩绘文物保护国家文物局重点科研基地(秦始皇帝陵博物院), 陕西西安 710600)

**摘要:** 易溶盐反复结晶产生的体积膨胀, 会对土遗址特别是土遗址表面迹象造成破坏, 因此, 以易溶盐的含量多少判断其干预时机就显得尤为重要。本研究就易溶盐含量对秦陵陪葬坑土遗址的影响, 开展安全含盐量问题的探究。将  $\text{Na}_2\text{SO}_4/\text{NaCl}$  质量比为 1:1 混合盐掺入重塑土样中, 经气候箱老化后, 利用超景深显微镜测定盐胀面积判断土样被破坏的程度, 结果表明含盐超过 0.1%, 就会导致盐胀面积突然增加, 这一指标的获得以及本次实验研究中提出的利用超景深显微镜测定土壤表面盐胀面积评估盐害的方法, 为土遗址开展进一步的预防性保护工作提出了初步依据和新的研究方法。

**关键词:** 土遗址; 秦陵陪葬坑; 易溶盐; 安全含盐量; 盐胀; 超景深显微镜

**中图分类号:** TU411 **文献标识码:** A

## 0 引言

秦陵兵马俑坑是一座巨大的古代地下军事宝库, 自 1974 年发掘至今已有 40 多年的历史, 由于地下盐分运移, 秦俑坑以及秦陵土遗址发生大面积开裂、酥碱剥落及片状剥离等病害, 导致许多珍贵的遗迹模糊不清甚至消失不见<sup>[1]</sup>。除了兵马俑坑土遗址, 近年来秦始皇帝陵还有一些新的遗址, 如 K9901 百戏俑坑、K9801 石铠甲坑和 K0006 文官俑坑等也出现了不同程度的盐析现象, 所以了解土遗址本体含盐量, 并及早判断干预时机就显得尤为重要。

研究表明易溶盐是导致土遗址表面出现酥碱、剥落、表面结皮等病害<sup>[2,3]</sup>的主要原因。秦俑坑以及汉阳陵等地土遗址可溶盐以  $\text{NaCl}$  和  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ <sup>[4,5]</sup> 为主, 其中  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  不仅穿透迁移能力强<sup>[6,7]</sup>, 而且会因水分蒸发、同离子效应<sup>[8]</sup> 甚至温度的变化<sup>[9,10]</sup> 形成  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (俗称“芒硝”), 体积膨胀产生巨大的结晶压力<sup>[11-13]</sup> 导致土遗址力学性能不断降低<sup>[14,15]</sup>。

土壤盐害的研究目前主要集中在公路、农业等方面。袁红<sup>[16]</sup>、高欢民<sup>[17]</sup> 等研究了硫酸盐氯化盐对公路的危害。高江平<sup>[18,19]</sup> 提出的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  膨胀五大因素关系式及  $\text{NaCl}$  对  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  膨胀性的影响研究

的盐含量较高。陈雨<sup>[20]</sup> 针对西北地区土遗址安全含盐量的研究实验时间短且含盐梯度大。

文物表面微观形貌的观察测定, 通常利用电子扫描显微镜<sup>[21]</sup>, 近年来超景深显微镜被逐渐应用<sup>[22]</sup>, 成为文物表面形态观察的重要仪器, 不仅能用于表面观察, 而且能测定距离及计算剖面面积。本研究通过气候老化箱将不同盐含量的重塑土样循环老化数次后, 再利用超景深显微镜测定不同含盐量土样盐胀面积均值评估盐胀破坏程度。研究易溶盐对秦陵陪葬坑土遗址的危害对其预防性保护具有重要意义, 同时该方法丰富了土遗址病害的评估手段。

## 1 实验与方法

### 1.1 实验材料及设备

实验所用土壤均来自于秦陵 K9901 百戏俑坑填土层(初始含盐量为 0.01%, 粒度分布及初始含水率分别见表 1),  $\text{NaCl}$  (分析纯),  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (分析纯)。

电导率仪(雷磁 DDBJ-350), 温湿度气候箱(BINDER KBWF240), 超景深显微镜(基恩士 VHX-5000, 镜头为 VH-Z20R/Z20T), 电子天平(MonoBloc MS204S)。

收稿日期: 2015-05-18; 修回日期: 2016-08-01

基金项目: 国家科技部科技支撑计划资助(2012BAK14B02)

作者简介: 张晓英(1991—), 女, 西北大学文化遗产学院在读硕士研究生, 文物保护方向, E-mail: 1456522179@qq.com

通讯作者: 夏寅(1974—), 男, 研究馆员, E-mail: xiayin2000@hotmail.com

## 1.2 制作重塑土样

选取 K9901 百戏俑坑内填土作为实验土壤,原始含盐量通过电导率仪测得电导率,测得土壤原始含盐量约为 0.01%。由于土壤颗粒粒径差异较大,将土壤过 0.5mm 粒径土壤筛后,根据 K9901 陪葬坑

成盐种类及含量<sup>[23]</sup>,添加  $\text{Na}_2\text{SO}_4/\text{NaCl}$  质量比为 1:1 的混合盐,用过筛土制作重塑土样,土样密度处于  $1.5 \times 10^3 \sim 1.7 \times 10^3 \text{kg/m}^3$  之间,含水率控制在 11% ~ 13%。制作重塑土样圆柱型模具直径为 7cm,高 5cm。

表 1 实验土壤粒度分布

Table 1 Distribution of experiment soil grain size

粒度范围/mm	0.500 ~ 0.250	0.250 ~ 0.075	0.075 ~ 0.025	< 0.025
百分比/%	27.32	26.92	24.82	20.94

## 1.3 循环实验

根据相关统计结果<sup>[24]</sup>,兵马俑所在的陕西关中地区年降水量在 500 ~ 700mm,夏季降水占全年 39% ~ 64%,平均相对湿度(RH)为 69.6%,最高平均气温 31℃。冬季降水占 1% ~ 4%,平均 RH 为 65%,最低平均气温 3.8 ~ 5.2℃。

由于俑坑除必要的遮阳和避雨外,并无其他环境保护措施,致使温湿度变化非常剧烈,日变化幅度小于外界,主要因为阳光可通过玻璃直接射到一号坑内,导致阳光直射处温湿度发生显著变化。2013 年至 2014 年对 K9901 陪葬坑进行温湿度环境监控,温度变化见图 1,湿度变化见图 2。结果表明:遗址保存温度(T)、相对湿度(RH)随外

界气候变化都存在较大波动。5 ~ 10 月环境温度在 18 ~ 25℃ 波动,RH 在 50% ~ 90% 间波动,T 变化小,RH 偏高且变化幅度较大,11 ~ 1 月在 10 ~ 15℃ 及 35% ~ 68% 波动,T 波动较小,RH 较低变化幅度稍小。一号坑遗址区内温度年变化主要分布在 0 ~ 35℃,温度波动为 35℃,年内湿度差较大,遗址区内湿度变化主要分布在 23.3% ~ 87.7%,波动为 64.4%。

由于 K9901 冬夏季使用空调控制,其展厅内温度变化主要分布在 10.1 ~ 27.1℃,温度波动为 17℃,远小于一号坑。相对湿度变化分布在 28.8% ~ 94%,波动为 65.2%,与一号坑相当,年内相对湿度差较大。

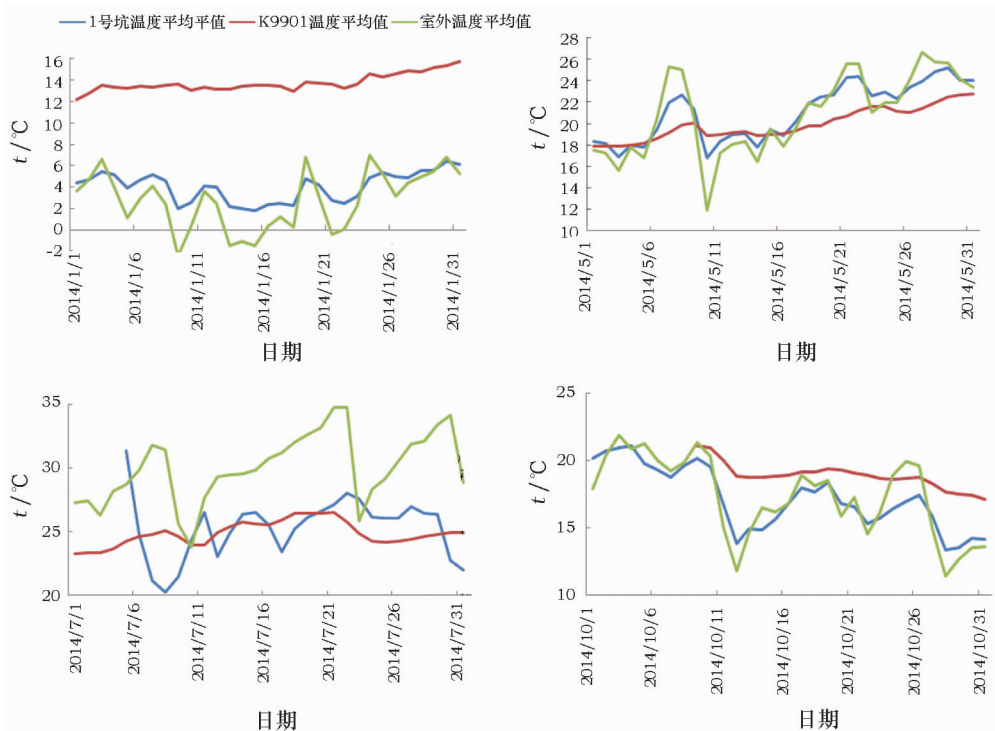


图 1 一号坑、K9901 及室外冬(左上)春(右上)夏(左下)秋(右下)四季温度变化

Fig. 1 The temperature variation of winter(upper left), spring(upper right), summer(lower left) and autumn(lower right) in Pit 1, K9901 and outdoor

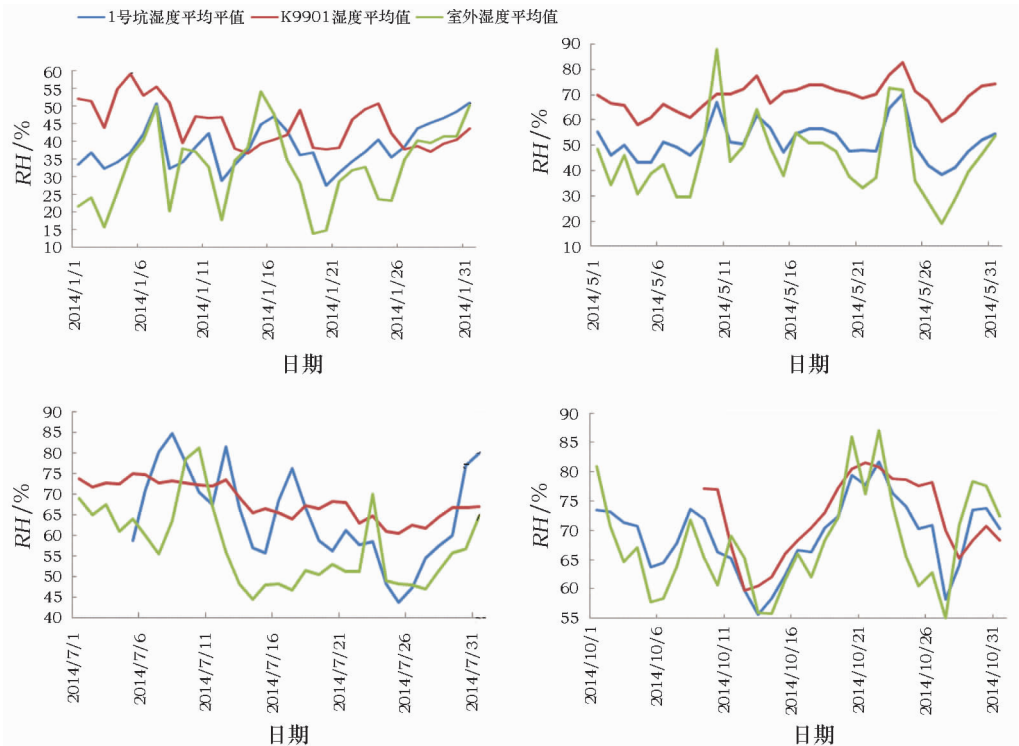


图 2 一号坑、K9901 及室外冬(左上)春(右上)夏(左下)秋(右下)四季湿度变化趋势  
 Fig. 2 The humidity variation of winter(upper left), spring(upper right), summer(lower left) and autumn(lower right) in Pit 1, K9901 and outdoor

表 2 一号坑、K9901 及室外温度及湿度日较差值

Table 2 Temperature and humidity difference of Pit 1, K9901 and outdoor

季节	地点	温度日差/°C			湿度日差/%		
		平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值
春	1 号坑	5.38	8	1.8	16.07	36.6	6.5
	K9901	1.15	2.6	0.3	20.47	36.7	6.6
	室外	11.19	17.3	2.5	44.94	76	21
夏	1 号坑	8.17	12.6	1.4	26.67	48.9	5.7
	K9901	1.96	3.9	0.8	15.88	30.1	4.9
	室外	11.71	19.6	3.0	29.93	52.3	19.9
秋	1 号坑	4.43	7.8	1.2	13.63	27.7	5.8
	K9901	0.58	2.1	0.1	6.69	23.9	2
	室外	12.15	26.2	1.1	38.19	61.1	12.2
冬	1 号坑	3.66	4.6	1.5	9.02	24.5	3.5
	K9901	2.16	9.1	0.2	39.62	60.4	4.7
	室外	9.58	13.9	3.0	25.68	58	12

温度日较差(表 2) K9901 < 一号坑 < 室外, 这是源于 K9901 采用空调进行室内温度调节, 但湿度日较差 K9901 与一号坑基本相当。

基于环境监测数据结果, 本次研究设计为三个阶段实验, 第一阶段: 探索重塑土样损坏的大致范围。设置空白土和含盐量 0.3% ~ 5.0% 的土样, 循环 20 天。第二阶段: 重新细化土壤含盐量的实验。

重新设梯度为 0.1% 从自然土到 1.9% 的重塑土样, 老化时间为 60 天。第三阶段: 进一步循环, 时间为 60 天。实验中气候箱设置条件相同, 均为高温高湿和低温低湿环境各持续两天后循环, 高温高湿  $t = 32^{\circ}\text{C}$ ,  $RH = 90\%$ , 低温低湿  $t = 5^{\circ}\text{C}$ ,  $RH = 5\%$ 。

### 1.4 重塑土样损坏评估

易溶盐溶解—结晶循环中出现盐胀后, 通过超

景深显微镜扫描土样局部轮廓测定盐胀面积评估土壤损坏情况。为得到较为准确的信息,在图像横轴与纵轴方向分别等距离取6条剖面数据。通过选取重塑土样最低点为基点,测出在长度约为6.35mm剖面上的土壤盐胀面积值,最后平均得到盐胀面积平均值。

图3表示含一定盐量的重塑土样测定图,左上角为扫描得到的三维图象,横向纵向表示其平面上的长和宽,竖向表示其盐胀高度。右上角为选取剖面位置,图片下部分为扫描得到的剖面形状,通过软件计算出的盐胀面积。通过对比盐胀面积均值判断不同含量易溶盐对土遗址的破坏。

### 1.5 实验结果及讨论

**1.5.1 第一阶段实验** 实验中含盐高于2.5%的重塑土样出现大量裂隙,盐胀破坏非常严重已无法测量损坏面积。由表3,总体而言从空白土到2.5%盐胀面积持续增加,其中空白土与自然土盐胀面积接近,含盐在1.5%到2.0%的盐胀面积由0.790mm<sup>2</sup>迅速增加至2.644mm<sup>2</sup>。数据显示在1.5%~2.0%

处盐胀突然增加。通过第一阶段的初步实验,探索出第二阶段循环老化的含盐范围为自然土到1.9%。本次实验选用土壤具有一定的原始易溶盐,但由于其盐量仅为0.01%,为简化实验,故将土壤原始含盐量忽略不计。

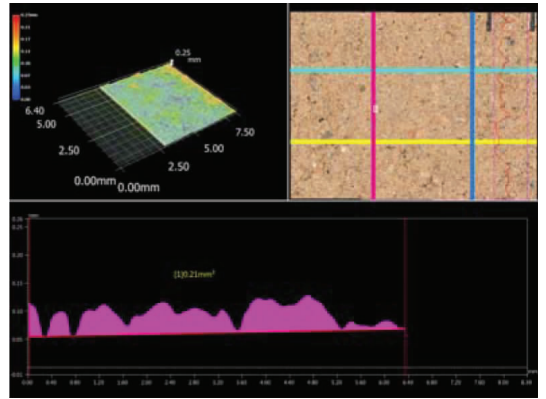


图3 含一定盐量的土样超景深三维扫描图

Fig. 3 Super depth field of microscope picture of 0.4% salt content of the soil

表3 第一次测量重塑土样盐胀剖面面积

Table 3 The salt expansion section area of the soil samples in the first experiment

含盐量	空白	自然	0.3%	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%
盐胀面积平均值/mm <sup>2</sup>	0.110	0.121	0.231	0.366	0.509	0.790	2.644	2.990
标准方差	0.009	0.008	0.002	0.009	0.098	0.076	0.411	0.416

**1.5.2 第二阶段实验** 在第一阶段实验的基础上,第二阶段中利用土壤重新制作重塑土样老

化,经60天循环后测定其盐胀面积,测定结果见表4。

表4 第二次实验测得重塑土样盐胀剖面面积平均值

Table 4 The average salt expansion section area of the soil samples in the second experiment

含盐量/%	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
盐胀面积平均值/mm <sup>2</sup>	0.101	0.124	0.165	0.227	0.183	0.335	0.542	0.648	0.674	0.738
标准方差	0.015	0.007	0.053	0.058	0.057	0.091	0.053	0.049	0.150	0.112
含盐量/%	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
盐胀面积平均值/mm <sup>2</sup>	0.672	0.663	0.767	1.174	0.712	0.891	0.924	1.429	1.428	1.867
标准方差	0.084	0.106	0.139	0.220	0.178	0.128	0.159	0.213	0.117	0.357

表4为第一组盐胀面积值。从盐胀面积值观察,含盐量低于0.2%的土样盐胀面积较小,0.3%有一定程度的增加,随后0.4%处又出现了一定程度的下降,这可能是由于实验中恒温恒湿机并未完全达到设定值以及测量过程中的偶然误差,导致含盐0.4%处含盐量与盐胀值相关性较差,含盐高于0.5%的土样盐胀面积出现较大幅度的增长,总体上含盐量与盐胀值呈正相关。第一组重塑土

样实验结果表明,与空白土相比,0.2%以下盐胀较小,0.2%~0.5%持续增加,高于0.5%的土样盐胀面积值较大。

**1.5.3 第三阶段实验** 为了进一步确定含盐量对土样的破坏情况,利用第二阶段土样再经60天循环后测定盐胀面积,因高含盐量盐胀变化大,所以实验所用重塑土样含盐量为自然、0.1%~0.7%之间的重塑土样。盐胀面积见表5。

表5 第三次实验截面凸起面积测量结果

Table 5 Salt expansion section area of soil samples in the third experiment

含盐量	自然	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%
盐胀面积平均值/mm <sup>2</sup>	0.102	0.125	0.171	0.236	0.228	0.396	0.644	0.766
标准方差	0.025	0.032	0.048	0.050	0.090	0.092	0.156	0.125

第三次循环后,通过剖面面积观察,自然土盐胀仅为0.102mm<sup>2</sup>,含盐0.1%盐胀面积较小,仅0.125mm<sup>2</sup>,而0.2%~0.4%重塑土样盐胀面积稍大,盐胀面积也比较接近,面积在0.171~0.236mm<sup>2</sup>间波动,含盐量在0.5%及以上的重塑土样盐胀面积相对较大。

从第二次到第三次的实验中0.1%重塑土样盐胀面积仅小幅度的增加,在含盐土中增加幅度较小,说明此处的盐胀值已基本趋于稳定,后续盐胀不会导致太大的增加。而0.2%~0.7%土样盐胀增加幅度都较大,说明此区域盐胀较难达到稳定,呈现持续破坏的趋势。袁红等<sup>[14]</sup>对土壤盐胀的起胀量的研究中,得到重击型土壤的起胀盐含量是0.2%,轻击型起胀含盐量为0.5%,与本次实验结果与重击型土壤起胀含盐量较为比较接近。

本次实验探究了对兵马俑土遗址较为安全的含盐范围,也为同类型环境土遗址博物馆提供了一定的参考。另外提出的利用超景深显微镜评估土遗址病害的新方法丰富了土遗址的评价手段,有利于进一步提高土遗址盐渍病害保护工作。

## 2 结论

本研究利用超景深显微镜测量重塑土样盐胀面积变化为依据,探究不同含量易溶盐对秦陵陪葬坑土遗址的影响,结果表明:

1) 当含盐量超过0.1%,就会导致盐胀程度的突然增加;该指标的进一步确定和规律性研究,为土遗址的进一步预防性保护工作提供了依据。今后还应该在危害因子(可溶盐含量和种类等)以及土遗址本体因素(土壤因素以及与其埋藏文物因素)两方面并结合其他研究手段深入研究。

2) 利用超景深显微镜评估盐胀破坏程度丰富了土遗址研究的方法。

## 参考文献:

[1] 夏寅,李蔓,张尚欣,等. 遗址博物馆内土遗址本体可溶盐和霉菌危害预防与治理的进展[J]. 文物保护与考古科学, 2013, 25(4):114-119.  
XIA Yin, LI Man, ZHANG Shang-xin, et al. Prevention and treatment of soluble salt and fungal damage to earthen ruins in site muse-

ums[J]. Sci Conserv Archaeol, 2013, 25(4):114-119.  
[2] 沈云霞. 干湿循环作用下含盐类遗址土盐渍劣化试验研究[D]. 兰州:兰州大学,2011.  
SHEN Yun-xia. Experiment study on salinized deterioration of the Saline ancient relics soil under dry-wet cycle [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2011.  
[3] 蔺青涛. 甘肃瓜洲锁阳城遗址墙体盐分调查与分布规律研究[D]. 兰州:兰州大学,2010.  
LIAN Qing-tao. Research on the survey and distribution of salt in the wall of Suyang city ruins in Gansu province [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2010.  
[4] 黄四平. 模拟土遗址中可溶盐运移规律的初步探究[J]. 土壤学报, 2011(2): 295-301.  
HUANG Si-ping. Simulation of migration of soluble salts in archaeological sites[J]. Acta Pedologica Sinica, 2011(2): 295-301.  
[5] 胡红岩,夏寅. 秦始皇帝陵及汉阳陵遗址成盐元素及类型研究[J]. 中国材料进展, 2012, 31(11):37-47.  
HU Hong-yan, XIA Yin. Study on the salt species and types in the Emperor Qin's Mausoleum and Hanyangling Mausoleum earthen sites[J]. Materials China, 2012, 31(11):37-47.  
[6] 靳治良,陈港泉,夏寅,等. 硫酸盐与氯化物对壁画的破坏性对比研究-硫酸钠超强的穿透、迁移及结晶破坏力证据[J]. 文物保护与考古科学, 2015, 27(1):29-38.  
JIN Zhi-liang, CHEN Gang-quan, XIA Yin, et al. Comparative study of salt damage caused by sulfates and chlorides to mural paintings-evidence of superpenetration, migration and crystallization se- struction resulting from sodium sulfate[J]. Sci Conserv Archaeol, 2015, 27(1):29-38.  
[7] 李佳珉,陶利英,张秉坚,等. 石窟壁画可溶盐破坏过程的实验室模拟研究[J]. 文物保护与考古科学, 2014, 26(2):37-45.  
LI Jia-min, TAO Li-ying, ZHANG Bing-jian, et al. Laboratory simulation of the soluble salt damage to ancient grotto murals[J]. Sci Conserv Archaeol, 2014, 26(2):37-45.  
[8] 杨梦妮,杨清龙. 土遗址盐分抑制保护研究进展及其发展趋势[J]. 丝绸之路, 2011, (2):30-32.  
YANG Meng-ni, YANG Qing-long. Ruins of soil salt inhibitor protection research progress and developing trend[J]. Silk Road, 2011, (2):30-32.  
[9] 黎立群. 盐渍基础知识[M]. 北京:中国科学出版社, 1986:25-30.  
LI Li-qun. Basic knowledge of salted [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1986:25-30.  
[10] 郑冬梅. 松嫩平原盐渍土水盐运移的节律性研究[D]. 长春:东北师范大学, 2005.  
ZHENG Dong-mei. Study on the temporal rhythm of water and salt transference of alkalization soil in Songnen plain [D]. Chang-

- chun; Northeast Normal University, 2005.
- [11] 张莎莎. 粗颗粒硫酸盐盐渍土盐胀特性试验研究[D]. 西安:长安大学, 2007.  
ZHANG Sha-sha. Study on the characteristic of the coarse grain clay sulfate salty [D]. Xi'an; Chang'an University, 2007.
- [12] Steiger M. Crystal growth in porous materials – I: The crystallization pressure of large crystals [J]. *J Cryst Growth*, 2005a, 282: 455–469.
- [13] Steiger M. Crystal growth in porous materials – II: influence of crystal size on the crystallization pressure [J]. *J Cryst Growth*, 2005b, 282: 470–481.
- [14] 郑龙. 土遗址墙体水、热变化模拟试验研究[D]. 兰州:兰州大学, 2006.  
ZHENG Long. Study on the simulated experiment on hydrothermal change in the artificially wall of earthen architecture sites [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2006.
- [15] 靳治良, 陈港泉, 夏寅, 等. 土质文物盐害中硫酸钠的研究——从微观到宏观 [J]. *文物保护与考古科学*, 2016, 28(01): 54–62.  
JIN Zhi-liang, CHEN Gang-quan, XIA Yin, *et al.* Sodium sulfate behind earthen relics salt damages: from micro to macro [J]. *Sci Conserv Archaeol*, 2016, 28(1): 54–62.
- [16] 袁红, 李斌. 硫酸盐渍土起胀含盐及容许含盐量的研究 [J]. *中国公路学报*, 1995, (3): 10–14.  
YUAN Hong, LI Bin. On the minimum salt content and allowable salt content of sulphate salty soil. [J]. *J Highway Transport*, 1995, (3): 10–14.
- [17] 高欢民, 李斌, 金应春. 含氯盐和硫酸盐类盐渍土膨胀性的研究 [J]. *冰川冻土*, 1997, (7): 346–353.  
GAO Huan-min, LI Bin, JIN Ying-chun. Experimental researches on expansion behaviors of saline soil with NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Solutions [J]. *J Glaciology Geocryol*, 1997, (7): 346–353.
- [18] 高江平. 硫酸盐渍土盐胀特性各影响因素间交互作用规律分析 [J]. *中国公路学报*, 1997, (1): 10–15.  
GAO Jiang-ping. Analysis of the interaction laws of all influencing factors upon salt heaving properties of the sulphate salty soil [J]. *J Highway Transport*, 1997, (1): 10–15.
- [19] 高江平. 综合因素作用下氯化钠对硫酸钠盐胀的影响 [J]. *中国公路学报*, 1997, (6): 47–50.  
GAO Jiang-ping. Experimental research on expansion behaviors of saline soil with NaCl under the comprehensive function. [J]. *J Highway Transport*, 1997, (6): 47–50.
- [20] 陈雨. 西北干旱区土遗址盐害室内实验 [D]. 兰州:兰州大学, 2013.  
CHEN Yu. Laboratory tests of salt damage to ancient earthen sites in Northwest arid area of China [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2013.
- [21] Xiuzhen Janice Li, Marcos Martínón-Torres, Nigel D, *et al.* Inscriptions, filing, grinding and polishing marks on the bronze weapons from the Qin Terracotta Army in China [J]. *J Archaeol Sci*, 2011, 38: 492–501.
- [22] Zhou G, Weibin P, Guoding S, *et al.* Investigating the tool marks of stone reliefs from the Mausoleum of Cao Cao (AD155–AD220) in China [J]. *J Archaeol Sci*, 2014, 43: 31–37.
- [23] 张丹, 张尚欣, 夏寅, 等. 秦陵百戏俑坑土遗址纵向水盐运移的模拟土柱实验研究 [J]. *文物保护与考古科学*, 2015, 27(3): 56–63.  
ZHANG Dan, ZHANG Shang-xin, XIA Yin, *et al.* Preliminary research on water and salt migration at the acrobat pit site in Emperor Qinshihuang's mausoleum using soil columns [J]. *Sci Conserv Archaeol*, 2015, 27(3): 56–63.
- [24] 李环姣. 陕西省旅游气候舒适度研究 [D]. 陕西师范大学, 2008.  
LI Huan-jiao. Study on tourism climate comfort in Shaanxi province [D]. Xi'an; Shaanxi normal University, 2008.

## Soluble salt content and safety level in the Qin Mausoleum complex earthen site pits

ZHANG Xiao – ying<sup>1</sup>, XIA Yin<sup>2,3</sup>, ZHOU Li – li<sup>1</sup>, ZHANG Shang – xin<sup>3</sup>, YAN Shu – mei<sup>3</sup>,  
FU Qian – li<sup>3</sup>, HUANG Jian – hua<sup>3</sup>, LI Hua<sup>3</sup>, ZHOU Tie<sup>3</sup>

(1. Northwest University, Xi'an 710069, China;

2. School of Human Settlements and Civil Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

3. Key Scientific Research Base of Ancient Polychrome Pottery Conservation(Emperor Qinshihuang's Mausoleum Site Museum), State Administration for Cultural Heritage, Xi'an 710600, China)

**Abstract:** Soluble salt re – crystallization can expand damaging surfaces of historical earthen sites. Therefore, it is very important to know the soluble salt content and the suitable time to remove these soluble salts by conservation treatments. In this paper, various levels of 1:1 (mass/mass)  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  and  $\text{NaCl}$  were mixed in with several soil samples from Qin Mausoleum complex pits. The samples were artificially aged in the climate chamber. Then a digital field microscope was used to explore the damage caused by the salts. Results show that salt expansion will suddenly increase when the salt content becomes higher than 0.1%. The data and the method used provided useful information for further preventive conservation measures at earthen sites.

**Key words:** Earthen site; Qin Mausoleum complex earthen site pits; Soluble salt; Safety level of soluble salt content; Salt expansion; Superior depth of field digital microscope

(责任编辑 马江丽)