

特约专栏

# 秦始皇帝陵及汉阳陵遗址成盐元素及类型研究

胡红岩<sup>1</sup>, 夏寅<sup>2</sup>, 靳治良<sup>1</sup>, 张尚欣<sup>2</sup>, 容波<sup>2</sup>, 王亮<sup>2</sup>,  
周铁<sup>2</sup>, 吕功煊<sup>1</sup>, 李库<sup>3</sup>, 李岗<sup>3</sup>

(1. 中国科学院兰州化学物理研究所 羰基合成与选择氧化国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

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

(3. 汉阳陵博物馆, 陕西 西安 712038)

**摘要:**综合运用X射线荧光光谱、X射线光电子能谱、X射线粉末衍射等技术对取自秦始皇帝陵、汉阳陵土遗址土样中的成盐元素、成盐类型、盐的晶体结构和类型进行了分析。结果表明,虽然各样品之间存在着显著差异,但样品中多含有 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 等离子,可溶盐或微溶盐主要为 $\text{NaCl}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaNO}_3$ 、 $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{Na}_2\text{Ca}_5(\text{SO}_4)_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 。结构分析表明,样品中盐的结晶形态取决于样品的存赋地点和环境。这些结果对研究秦始皇帝陵和汉阳陵土遗址中盐害的形成机理以及建立有效保护和防治体系具有重要指导意义。

**关键词:**土遗址;盐害;成盐元素;成盐类型

中图分类号:K876.9 文献标识码:A 文章编号:1674-3962(2012)11-0037-11

## Study on the Salt Species and Types in the Emperor Qin's Mausoleum and Hanyangling Mausoleum Earthen Sites

HU Hongyan<sup>1</sup>, XIA Yin<sup>2</sup>, JIN Zhiliang<sup>1</sup>, ZHANG Shangxin<sup>2</sup>, RONG Bo<sup>2</sup>,  
WANG Liang<sup>2</sup>, ZHOU Tie<sup>2</sup>, LU Gongxuan<sup>1</sup>, LI Ku<sup>3</sup>, LI Gang<sup>3</sup>

(1. State Key Laboratory for Oxo Synthesis and Selective Oxidation, Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

(2. Emperor Qin's Terracotta Warriors and Horses Museum, Xi'an 710600, China)

(3. Hanyangling Museum, Xi'an 712038, China)

**Abstract:** The elements, salt type, and crystal structure of salts in the soil samples of the Terracotta Warriors and Horses of Qin Shihuang Mausoleum were analyzed by XRF, XPS, XRD in this paper. The results show that the soil samples contain  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  ions. The soluble salts and slightly soluble salts in the samples are mainly  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{Ca}_5(\text{SO}_4)_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . The structures of salt samples were found to be dependent on the locations and environmental parameters of the Terracotta Warriors and Horses of Qin Shihuang Mausoleum. Those results are provided with the important guiding significance to study the formation mechanism of salt damages of the earthen heritage sites and to create system of available protecting, preventing and curing those heritages.

**Key words:** earthen heritage sites; salt damage; salt species; salt types

## 1 前言

秦始皇帝陵位于陕西省临潼县东5 km,南距骊山

1 km,北临渭水。1961年由国务院公布为全国重点文物保护单位。1974年初和1976年夏,在秦始皇陵东侧发现了3个兵马俑坑,分别为1,2,3号坑。3个坑紧密相连,总面积20 000 m<sup>2</sup>。俑坑的西端距离秦始皇陵的外城东墙1 225 m,距陵封土的中心点1 695 m。若从秦始皇陵封土的中心点向东经过外城东门向东引一条直线,则俑坑位于直线的北侧<sup>[1]</sup>。陵园坐落在骊山北麓的冲积扇上,地下水位较低,地表薄厚不均地分布着大小不一的砂石,该地区土地贫瘠<sup>[2]</sup>。秦始皇帝陵博物馆兵

收稿日期:2012-05-04

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)(2012CB720901、2012CB720905);国家科技支撑计划课题(2012BAK14B02)

第一作者:胡红岩,女,1980年生,硕士

通信作者:吕功煊,男,1964年生,教授,博士生导师

DOI: 10.7502/j.issn.1674-3962.2012.11.06