

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第4期

Vol.35 No.4

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

2008 ~2012 年上海黑碳浓度变化特征分析 王洪强,贺千山,陈勇航,亢燕铭 (1215)

乌鲁木齐市东南郊一次降雪过程的化学组成及其悬浮态颗粒形态特征 陆辉,魏文寿,崔彩霞,何清,王瑶 (1223)

典型地区大气中多溴联苯醚和新型溴代阻燃剂的水平及组成分布 吴辉,金军,王英,李明圆,何松洁,徐萌,孙一鸣 (1230)

某焦化厂周边大气 PM₁₀ 重金属来源及健康风险评价 董婷,李天昕,赵秀阁,曹素珍,王贝贝,马瑾,段小丽 (1238)

基于车流和大气污染物浓度同步增量的机动车平均排放因子估算方法 李润奎,赵彤,李志鹏,丁文军,崔晓勇,许群,宋现锋 (1245)

珠江三角洲地区硫和氮沉降临界负荷研究 孙成玲,谢绍东 (1250)

低温等离子体-生物法处理硫化氢气体研究 李华琴,何觉聪,陈洲洋,黎宝仁,黄倩茹,张再利,魏在山 (1256)

太子河流域莠去津的空间分布及风险评价 郑磊,张依章,张远,朱鲁生,王志强 (1263)

一种大批量测定沉积物微量间隙水样品中溶解态磷和铁含量的方法 王燕,朱春刚,许笛,丁士明 (1271)

外源营养盐输入后水体中营养盐浓度的时空变化 傅玲,赵凯,王国祥,欧媛,范娟,毛丽娜,张佳,韩睿明 (1278)

基于物理过程的矿区地下水污染风险评价 孙法圣,程品,张博 (1285)

重庆典型岩溶地下水系统水文地球化学特征研究 杨平恒,卢丙清,贺秋芳,陈雪彬 (1290)

重庆老龙洞地下河流域氮、磷及微生物污染调查研究 蓝家程,杨平恒,任坤,陈雪彬,徐昕,胡宁 (1297)

苦草 (*Vallisneria spiralis*) 根系对沉积物中各形态磷的影响 李振国,王国祥,张佳,马久远,魏宏农,俞振飞 (1304)

循环廊道湿地中氮归趋过程模拟研究 彭剑峰,宋永会,袁鹏,张雪妍,胡小明 (1311)

不同环境因素下太湖中四环素的自然消减 段伦超,王凤贺,纪莹雪,张帆,赵斌,王国祥 (1318)

再生水中 5 种抗生素抗性菌的紫外线灭活及复活特性研究 黄晶晶,汤芳,席劲璇,庞宇辰,胡洪营 (1326)

二级处理出水的 UV-TiO₂ 消毒及大肠杆菌和粪肠球菌复活试验 王西峰,龚昕,胡晓莲,任伯帆 (1332)

水中 C₆₀ 纳米颗粒的稳定性研究 方华,沈冰冰,荆洁,陆继来,王媛 (1337)

XDLVO 理论解析不同离子条件下海藻酸钠微滤膜污染 赵应许,纵瑞强,高欣玉,谢慧君,殷永泉,梁爽 (1343)

纳米零价铁催化过氧化氢强化修复 4-氯硝基苯污染地下水的研究 付融冰 (1351)

共存氯苯类同系物对六氯苯厌氧降解活性的影响 王琪,刘辉,姜林,唐军 (1358)

硫酸盐还原生物滤池对含镉废水去除效果试验研究 吴宣,谭科艳,胡希佳,顾远,杨宏 (1366)

基于氮平衡原理对南方污水处理厂中试脱氮工艺调控策略研究 姜应和,刘佩炬,王磊,田中凯,刘小英 (1372)

模拟电镀污泥阴离子浸出液对氧化亚铁硫杆菌活性的影响 陈燕,黄芳,谢鑫源 (1377)

电活性生物膜介导 Cu²⁺ 生物还原的试验研究 刘毅,周顺桂,袁勇,刘志 (1384)

模拟废旧线路板生物浸出液中铜的回收 程丹,朱能武,吴平霄,邹定辉,邢翊佳 (1391)

填埋垃圾浸提液与地下水污染物组成差异及成因 何小松,余红,席北斗,崔东宇,潘红卫,李丹 (1399)

化学合成施氏矿物与 H₂O₂ 共存体系下光化学处理垃圾渗滤液的研究 王鹤茹,宋永伟,徐峙辉,崔春红,周立祥 (1407)

处理 BPA 模拟废水的 SBR 工况参数对污泥有机毒性的影响研究 杨娜,陈秀荣,林逢凯,黄华,章斐,赵骏,丁毅 (1414)

剩余污泥厌氧消化甲烷生成势与产甲烷菌群多样性的比较研究 董慧岭,季民 (1421)

锰氧化菌 *Aminobacter* sp. H1 的分离鉴定及其锰氧化机制研究 晏平,姜理英,陈建孟,何智敏,肖少丹,蒋铁锋 (1428)

1 株铁基质自养反硝化菌的脱氮特性 王弘宇,杨开,张倩,季斌,陈丹,孙宇翀,田俊 (1437)

碘普罗胺降解菌 *Pseudomonas* sp. I-24 共代谢降解性能研究 徐冰洁,高品,薛昱,何梦琦,吴凡 (1443)

利用流式细胞术研究鞘氨醇单胞菌 GY2B 降解非过程中细菌表面特性的变化 张梦露,党志,伍凤姬,梁旭军,郭楚玲,卢桂宁,杨琛 (1449)

毒性有机物 BPA 与普通小球藻的相互影响特性研究 陈善佳,陈秀荣,闫龙,赵建国,章斐,江子建 (1457)

缺镁胁迫对普通小球藻光合生理及油脂积累的影响 王珊,赵树欣,魏长龙,于水燕,史吉平,张保国 (1462)

微囊藻毒素对水稻根系生长和抗氧化系统的影响 王妮敏,邓琦,邹华,梁婵娟 (1468)

东北春大豆品种东生 1 号对臭氧胁迫的响应 张巍巍,王光华,王美玉,刘晓冰,冯兆忠 (1473)

生物结皮的发育演替与微生物生物量变化 吴丽,张高科,陈晓国,兰书斌,张德禄,胡春香 (1479)

老化土壤中铅对赤子爱胜蚓生长及繁殖的影响 陈丽红,刘征涛,方征,王晓南,王婉华 (1486)

土壤重金属镉标准值差异比较研究与建议 赵晓军,陆泗进,许人骥,李伯苓,吴国平,魏复盛 (1491)

藏北可可西里地区土壤元素背景值研究 柏建坤,王建力,李潮流,康世昌,陈鹏飞 (1498)

三峡库区香溪河消落带及库岸土壤重金属迁移特征及来源分析 胥焘,王飞,郭强,聂小倩,黄应平,陈俊 (1502)

浙江海宁电镀工业园区周边土壤重金属污染特征及生态风险分析 厉炯慧,翁珊,方婧,黄佳蕾,陆芳华,卢宇浩,张洪铭 (1509)

西湖景区土壤典型重金属污染物的来源及空间分布特征 张海珍,唐宇力,陆骏,周虹,徐芸茜,陈川,赵赞,王美娥 (1516)

生活垃圾焚烧厂周边土壤汞污染特征及评价 解惠婷,张承中,徐峰,李海凤,田振宇,唐琛,刘文彬 (1523)

上海滴水湖周边土壤和沉积物对磷的吸附特征 诸葛祥真,毕春娟,陈振楼,张焕焕,倪玮怡 (1531)

SDBS/Na⁺ 对红壤胶体悬液稳定性的影响 唐颖,李航,朱华玲,田锐,高晓丹 (1540)

稳定化处理对矿渣中重金属迁移转化的影响研究 赵述华,陈志良,张太平,潘伟斌,彭晓春,车融,欧英娟,雷国建,周鼎 (1548)

藻类水体 Cd²⁺ 毒性快速监测新方法研究 段静波,刘文清,张玉钧,赵南京,殷高方,肖雪,余晓娅,方丽 (1555)

用于 1,3-二硝基苯快速检测的免疫传感器研究 龙峰,施汉昌,王洪臣,盛建武 (1561)

Mg/Al 水滑石微波共沉淀法合成及其对 BrO₃⁻ 吸附性能的研究 钟琼,李欢 (1566)

污染场地修复决策支持系统的几个关键问题探讨 廖晓勇,陶欢,阎秀兰,赵丹,林龙勇,李尤 (1576)

城市区域土壤铅含量空间变异的多尺度研究进展 杨孟,李凤英,刁一伟,吴丹 (1586)

水中细菌内毒素污染特性及检测方法研究进展 张灿,刘文君,张明露,田芳,杨毅,安代志 (1597)

六价铬细菌还原的分子机制研究进展 李斗,赵由才,宋立岩,尹雅洁,王洋清,徐中慧 (1602)

农副食品加工工业高浓度废水的厌氧膜生物反应器技术 魏源送,郁达伟,曹磊 (1613)

《环境科学》征稿简则(1427) 《环境科学》征订启事(1497) 信息(1383, 1390, 1398, 1560)

藏北可可西里地区土壤元素背景值研究

柏建坤^{1,2}, 王建力¹, 李潮流^{2*}, 康世昌^{2,3}, 陈鹏飞²

(1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2. 中国科学院青藏高原研究所青藏高原地表过程与环境变化重点实验室, 北京 100101; 3. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冰冻圈科学国家重点实验室, 兰州 730000)

摘要: 对藏北可可西里的 25 个表层土壤样品的全样和 <20 μm 粒级样品中的 32 种元素含量进行了研究, 并与藏南雅鲁藏布江沉积物元素含量、西藏土壤元素背景值和中国地壳丰度进行了对比。结果表明, 同种元素在 <20 μm 粒级的元素含量普遍高于全样的含量; 研究区多种元素含量与西藏土壤背景值接近, 而 Ca、As 的含量远大于全国均值, 这主要与当地的高寒干旱气候和广泛分布富含 As 的母岩有关。对全样元素含量的 EOF 分析揭示了不同元素的来源及其化学性质的差异: 大部分元素如 Al、Fe、Ga 等保存了该地区母岩的特性, 同时易溶于水的化学性质较为活泼的元素 (Mg 和 Sr) 和主要存在于重矿物中的元素 Zr 对总元素的含量和变化也有一定贡献, 而且 B 和 Cs 等元素显示了温泉对该地区土壤元素含量的影响。

关键词: 可可西里; 土壤元素; 背景值; EOF 分析; 藏北

中图分类号: X820.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)04-1498-04 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.04.043

Study on Soil Element Background Values of the Hoh Xil Area in North Tibet

BAI Jian-kun^{1,2}, WANG Jian-li¹, LI Chao-liu², KANG Shi-chang^{2,3}, CHEN Peng-fei²

(1. School of Geography, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Key Laboratory of Tibetan Environment Changes and Land Surface Processes, Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. State Key Laboratory of Cryospheric Science, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Hoh Xil locates at northern part of the Tibetan Plateau. Twenty five surface soil samples were collected from this area in 2007 and 32 elements were analyzed and compared to the element contents of Yarlung Zangbo river sediment, background element value of the Tibetan surface soil and the Chinese Continental crust contents. The results showed that the element contents of the <20 μm fraction were higher than those of bulk samples; Contents of many elements of this study were similar to those of the Tibetan soil. Meanwhile, contents of Ca and As of the studied area were higher than those of Chinese continental crust, resulting mainly from local alpine arid climate and widely distributed the rocks that enriched in As, respectively. The EOF analysis of the contents of bulk soil samples revealed the sources and chemical properties of studied elements; many elements such as Al, Fe, Ga inherit the characteristics of the parent rocks of this region. Meanwhile, elements with an active chemical property and the element Zr that specially existed in the heavy minerals also had a certain contribution to the contents. The contents of B and Cs revealed contribution of hot springs to the soil of studied area.

Key words: Hoh Xil area; soil elements; background values; EOF analysis; North Tibet

土壤元素背景值的研究是环境科学中的一项基础性工作, 是环境质量评价的基础资料, 对研究微量元素循环及其供给水平、某些地方病的病因探讨和探矿等有重要意义^[1-3]。西藏是我国受人类活动影响最少的地区之一, 也是进行环境背景值研究的理想场所^[4]。尽管目前在许多地区已经开展了关于多种元素背景值的研究^[5-12], 但由于交通不便, 至今仍缺少藏北可可西里无人区土壤元素背景值的详细资料^[13]。本研究对于 2007 年在可可西里取得的 25 个表层土壤样品的 32 个元素的含量及组成进行了分析 (图 1 和表 1), 并与西藏其它地区和全国背景值进行了对比。该研究不仅是对青藏高原土壤元素背景值研究的有益补充, 而且对认识该地区表生地球化学特征以及土壤的形成过程都具有重要意义^[14,15]。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

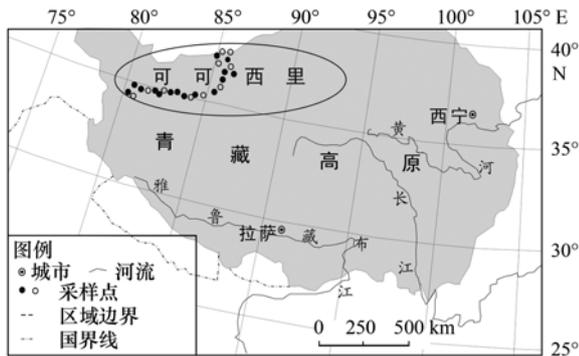
可可西里 (图 1) 位于青藏高原北部, 包括西藏北部“羌塘草原”的部分、青海昆仑山以南以及新疆和西藏、青海毗邻的地区。该地区平均海拔在 4 600 m 以上, 是我国最高寒干旱的地区, 年均温为 -4.10 ~ 10.00℃, 年均降水 20 ~ 50 mm, 主要土壤类型为莎嘎土, 发育程度低, 以物理风化为主^[5]。

收稿日期: 2013-06-25; 修订日期: 2013-10-17

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41171398, 41271015, 40830743); 冰冻圈科学国家重点实验室项目 (SKLCS-ZZ-2008-01)

作者简介: 柏建坤 (1989 ~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为青藏高原环境变化, E-mail: baijiankun2012@163.com

* 通讯联系人, E-mail: lichaoliu@itpcas.ac.cn



黑实点代表样品分析了全样和小于 20 μm 部分,
空心圆圈代表样品只分析了全样的元素含量

图 1 可可西里地理区位和采样点示意

Fig. 1 Location map of the Hoh Xil and sampling sites

1.2 样品及方法

于 2007 年中国科学院组织的第 3 次可可西里科学考察期间,在该地区采集了 25 个表层土壤样品(图 1 和表 1).为了研究元素在不同粒径间的含量,用 Stock 沉降法提取了小于 20 μm 部分的颗粒.用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS, X-7 Thermo Elemental)测定了这些样品的全样和 15 个样品的 <20 μm 部分的 32 种元素的含量.所有测定元素的值均远高出仪器检测限(空白样的 3 倍标准偏差),测定结果经国家黄土标准参考物质(GBW07408)验证精密度和准确度良好,参考物质中除 Cd 的相对标准偏差(RSD)为 11% 之外其余元素均小于 5%.

表 1 藏北可可西里地区 25 个样品的位置信息

Table 1 Location information of the samples at studied area

土样	纬度	经度	海拔/m	土样	纬度	经度	海拔/m
KK02	37°39'37"	86°25'21"	3 042	KK21	35°31'17.6"	85°10'44.0"	4 905
KK04	37°18.462'	86°39.741'	4 112	KK22	35°26'08.5"	84°13'50.3"	4 778
KK07	37°06'40.2"	85°43'09.8"	4 155	KK22-2	35°19'37.1"	84°06'58.8"	4 796
KK09	36°48'51"	86°07'54"	4 157	KK23	35°17'36.3"	83°30'69.0"	4 880
KK10	36°29'50"	86°04'41"	4 890	KK24	35°11'02.5"	83°11'28.4"	4 838
KK12	36°04.45'	86°07.09'	4 910	KK25	35°25'03.1"	83°06'32.7"	5 115
KK13	36°36'04.5"	86°04'05.3"	4 655	KK26	35°18'31.4"	82°42'23.6"	4 946
KK14	37°34'28.7"	86°17'24.0"	4 586	KK29	34°56'12.4"	82°13'57.0"	5 122
KK15	36°15'49.3"	86°04'48.4"	4 842	KK30	34°51'49.6"	81°47'38.3"	5 164
KK16	35°52'22.8"	86°03'28.4"	5 071	KK31	34°48'01.5"	81°17'50.7"	4 998
KK17	35°40'50.9"	85°44'46.1"	5 290	KK32	34°36'30.0"	81°40'51.6"	5 203
KK18	35°46'03.4"	85°56'40.3"	5 055	KK33	34°32'20.7"	81°25'25.0"	5 116
KK19	35°29'27.4"	85°34'15.8"	5 188				

2 结果与讨论

2.1 研究区土壤元素含量与其它地区平均值的比较

自然土壤是岩石风化过程和土壤成土过程综合作用的产物.由于研究区干旱寒冷,土壤中微生物活动较弱,因而土壤中元素在很大程度上保持了母岩的特性^[16].表 2 列出了研究区与其相关地区元素含量的对比数值.其中,全样数值可视为可可西里土壤元素背景值.与小于 20 μm 的部分相比,全样中的绝大部分元素含量都较低,这主要是因为通常情况下粒径越小,比表面积越大,吸附的元素也就越多,反映了元素含量随粒度的增大而减小的一般规律^[17].同时,对其中 3 对样品的全样和小于 20 μm 的矿物组成分析结果也表明:<20 μm 土样颗粒的矿物成分的石英含量(36%)都低于土壤全样(51%);相应地,其黏土矿物如绿泥石(16%)和云母(12%)的含量却高于土壤全样的

相应值(6%和4%).而黏土矿物富含大多数元素,因此导致 20 μm 土样颗粒的元素含量高于土壤全样.说明土壤矿物成分一定程度影响元素在土壤颗粒中的富集^[18].

由于雅鲁藏布江(雅江)流经青藏高原南部,因而其沉积物的元素组成可以代表该地区元素的基本特征.可以得出:与雅江沉积物的元素含量相比,研究区最明显的特征是一些易溶于水的元素如 Ca 的含量较高,这是由于藏北处于高寒地带,深居内陆并且气候干燥,物理风化作用强烈,Ca 元素不易流失而大量保存在表土中;同时,研究区与地热活动密切相关的元素如 Cs 和 As 元素的含量又明显低于雅江沉积物,反映了雅江流域较多的地热活动^[19,20].因此,由于气候和地质作用的影响,上述元素在高原的南、北部存在较大差异.这一现象与青藏高原北部与南部表土元素含量差异是一致的,之前有研究表明高原南部土壤 Cs 和 As 的含量分别是北部的

3.78 和 1.70 倍^[21]. 同时, 研究区大多数元素含量与西藏背景值和中国陆壳丰度相差不大, 但其大部分元素如 Cs、Cr、Al、K、Tl、Th 和 Rb 等的含量都小于西藏和全国的值, 这与该地区土壤发育程度低, 质地较粗, 元素的富集作用较弱有关; 同时, 另一个比

较明显的特征是元素 As 和 B 的含量远大于全国元素含量均值, 其中 As 元素比全国均值高出 7 倍, 这是由于该地区广泛分布富含 As 的页岩和片麻岩, 在这种页岩上发育的土壤 As 的含量显著高于其它母质发育的土壤.

表 2 藏北可可西里土壤元素含量与其它地区的对比¹⁾

Table 2 Elemental contents of Hoh Xil compare to other places

元素	全样	<20 μm 粒级	雅江	西藏	中国	元素	全样	<20 μm 粒级	雅江	西藏	中国
Li	32.51	73.8	38.95	42.3	44	Ga	9.81	19.6	15.56	19.4	20
Be	1.19	2.31	3.22	2.8	4.4	As	13.28	24.16	22.04	18.7	1.9
B	56.38	83.53	50.49	76.8	15	Rb	63.97	128.54	136.49	139	150
Na	1.24	0.87	1.4	1.25	2.36	Sr	289.8	383.32	193.14	162	690
Mg	1.32	2.53	0.89	0.8	2.15	Y	17.55	25.57	23.51	21	27
Al	4.39	7.39	6.24	6.39	7.45	Zr	248.2	157.98	174.69	237	160
K	1.38	2.48	2.11	2.04	2.34	Nb	9.31	14.94	12.89	—	34
Ca	5.37	6.68	2.28	1.75	4.32	Cd	0.11	0.18	0.1	0.08	0.05
Sc	6.2	13.68	8.64	10.7	11	Cs	5.66	18.35	33.79	19.4	11
Cr	47.8	89.46	76.05	77.4	63	Ba	360.53	488.23	367.8	281	610
Mn	503.8	910.04	568.7	626	780	Hf	5.84	4.16	5.01	6.97	5.1
Fe	2.56	4.78	2.82	3.01	5.08	Tl	0.38	0.74	0.83	0.7	0.62
Co	9.42	17.3	10.8	11.6	32	Pb	16.54	26.77	28.21	28.9	15
Ni	23.59	47.22	45.68	32.1	57	Bi	0.26	0.42	0.7	0.54	0.19
Cu	22.3	37.72	25.38	21.9	38	Th	8.35	13.72	16.21	17.5	17
Zn	51.41	96.88	66.45	73.7	86	U	2.19	3.39	3.16	3.38	5.6

1) 元素 Na、Mg、Al、K、Ca、Fe 的单位为质量分数(%), 其余的为 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 中国陆壳丰度值根据文献[22], 西藏土壤元素背景值根据文献[10], 雅鲁藏布江沉积物元素含量根据文献[23]

2.2 可可西里土壤元素 EOF 分析

采用主成分分析(EOF)^[24]方法分析了该地区元素的主要来源和地球化学特征(表3). 可以看到, 前5个荷载向量的累积方差贡献率占总方差的84.19%, 其中 EOF1 的方差贡献率占总方差的49.35%, 说明土壤元素的主要来源相对单一, 其中 Al、Fe、Sc、Co、Cu 等主要来源于地壳且化学性质稳定的元素的贡献率较大, 说明这些元素主要来源于成土母岩, 同时也反映了亲铜、亲铁元素的共生组合关系^[25]. EOF2 占总方差的12.1%, 其中元素 Li、Sr 等化学性质比较活泼的元素的贡献率较大, 说明 EOF2 主要反映了易于流失的元素特征, EOF3 对总方差的贡献率与 EOF2 大体相当, 其中 Zr 元素所占的质量分数比较高, 由于该元素主要赋存于重矿物中, 因而反映了此类矿物的贡献^[26,27]. 在 EOF4 中 Cd 的贡献率较高, 一定程度上也反映了易溶元素的特征, 同时也反映了青藏高原的较为剧烈岩浆活动. B、Na、Cs 元素在 EOF5 所占质量分数比较高, 这主要与青藏高原较强烈的地热活动有关, 已有研究表明, 西藏地热泉水中上述元素具有非常高的含量^[19,20,28]. 综上所述, 可可西里土壤元素主要来源于

母岩的自然风化, 因而很大程度受到母岩性质和当地高寒干燥气候的影响, 同时也反映了青藏高原独特的地质特征. 因此, 该地区的元素组成反映了不同元素基本的理化性质而几乎不受人为活动产生的污染物的影响.

3 结论

(1) 总体上, 可可西里土壤元素的含量与西藏等其它地区接近, 但受研究区土壤发育程度低, 质地较粗, 元素的富集作用较弱的影响, 元素 Cs、Cr、Al、K、Tl、Th、Rb 在研究区的含量都小于西藏、雅鲁藏布江为代表的藏南地区和全国的均值; 同时, 由于高寒干旱的气候特点, 易溶于水的元素被有效地保存在表土中, 因而研究区 Ca 等元素的含量较高; 由于青藏高原广泛分布富含 As 的页岩和片岩及剧烈地质活动的释放, 研究区 As 含量远高于全国均值.

(2) EOF 分析表明: 可可西里表土元素主要保存了当地母岩的特征, 其中 Al、Fe、Mn、Zn、Cu 等主要来源于地壳且化学性质稳定的元素贡献率较大. 同时, 一些易溶元素和存在于副矿物中的元素较高的 EOF 值也反映了这类元素特殊的化学性质. 而

表3 可可西里土壤元素的 EOF 分析¹⁾

Table 3 EOF analysis of soil elements at studied area

元素	EOF1	EOF2	EOF3	EOF4	EOF5
Li	8.18	76.21	0.01	1.19	0.01
Be	84.27	0.59	0.56	4.00	0.53
B	1.49	20.98	0.64	0.41	44.89
Na	21.34	0.62	0.19	0.10	66.26
Mg	7.56	59.14	6.40	14.67	0.22
Al	91.01	0.23	0.04	0.01	5.29
K	82.63	0.16	0.08	9.06	3.92
Ca	4.62	49.70	0.72	36.72	0.46
Sc	95.65	0.24	0.04	0.81	0.62
Cr	50.98	3.31	11.56	0.00	0.76
Mn	81.54	2.34	0.31	1.14	0.26
Fe	82.08	0.12	0.01	9.18	1.12
Co	86.49	3.13	1.54	4.75	0.00
Ni	77.09	8.58	1.25	4.67	0.07
Cu	52.71	0.05	0.10	23.81	0.14
Zn	88.17	2.96	0.22	3.13	0.72
Ga	95.45	0.69	0.00	1.04	1.25
As	1.37	38.94	20.16	3.69	19.62
Rb	83.72	1.61	0.00	11.83	0.11
Sr	1.80	68.39	2.76	1.99	0.45
Y	72.42	0.06	10.43	8.82	0.15
Zr	0.05	1.93	91.58	0.01	0.98
Nb	61.15	1.08	24.90	3.76	0.02
Cd	0.00	2.34	0.26	73.96	8.82
Cs	2.96	0.27	1.77	1.30	31.58
Ba	31.70	7.62	0.19	16.32	6.40
Hf	0.10	2.40	12.35	0.11	0.59
Tl	80.46	3.10	0.07	9.67	0.48
Pb	84.09	3.20	3.20	0.08	0.06
Bi	35.52	0.67	2.59	0.06	1.02
Th	53.88	0.25	31.70	2.92	0.07
U	9.55	1.74	18.49	29.70	1.00
合计	49.35	12.10	10.26	7.47	5.01

1) 合计为所有变量的方差百分比,其他数值均为质量分数

且,由于青藏高原较为剧烈的地质构造运动,B 和 Cs 等元素对总元素含量也有一定的贡献.综上所述,该区土壤元素含量很大程度受到母岩性质和当地高寒干燥气候以及该区的地质构造运动的影响,而不受人为排放的污染物的影响.

参考文献:

- [1] 魏复盛,陈静生,吴燕玉,等. 中国土壤环境背景值研究[J]. 环境科学, 1991, **12**(4): 12-19.
- [2] 王玉婷,何明友,白宪洲,等. 宜宾市江安县桐梓地区土壤元素背景值研究及其意义[J]. 广东微量元素科学, 2008, **15**(1): 30-38.
- [3] 刘淑贤. 土壤元素背景值在农业应用上的探讨[J]. 中国环境监测, 1993, **9**(2): 62-63.
- [4] 张晓平. 西藏土壤环境背景值的研究[J]. 地理科学, 1994, **14**(1): 49-55.
- [5] 方江平. 西藏林芝地区土壤中微量元素分布及应用规划[J]. 土壤肥料, 1996, **5**(1): 37-42.
- [6] 郑远昌,张建平,殷义高. 贡嘎山海螺沟土壤环境背景值特征[J]. 山地研究, 1993, **11**(1): 23-29.
- [7] 陈同斌,郑袁明,陈煌,等. 北京市土壤重金属含量背景值的系统研究[J]. 环境科学, 2004, **25**(1): 117-122.
- [8] 陈秀端. 中国城市土壤重金属空间分布与污染研究[J]. 环境科学与技术, 2011, **34**(12): 60-65.
- [9] 陈振金,陈春秀,刘用清,等. 福建省土壤环境背景值研究[J]. 环境科学, 1992, **13**(4): 70-75.
- [10] 成延鳌,田均良. 西藏土壤元素背景值及其分布特征[M]. 北京: 科学出版社, 1993. 68-119.
- [11] 刘全友,黄衍初,张力,等. 西藏南迦巴瓦峰地区土壤环境背景值研究[J]. 环境科学学报, 1985, **5**(4): 448-459.
- [12] 郑春江,张东威,张燕,等. 国内外土壤环境背景值图件编制研究现状趋势[J]. 环境科学研究, 1989, **2**(2): 48-53.
- [13] 顾国安,张累德. 我国高原土壤资源的特点及合理利用[J]. 干旱区研究, 1996, **13**(3): 1-4.
- [14] 赵贵海,樊自立,季方. 塔克拉玛干沙漠地区土壤元素背景值研究[J]. 干旱区研究, 1994, **11**(2): 35-40.
- [15] 王琳. 喀什地区土壤元素背景值研究[J]. 新疆环境保护, 1992, **14**(4): 20-27.
- [16] 方精云. 北极冻土的化学元素背景及其分布特征[J]. 环境科学学报, 2000, **20**(1): 69-75.
- [17] Zhang X P, Deng W, Yang X M. The background concentrations of 13 soil trace elements and their relationships to parent materials and vegetation in Xizang (Tibet), China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2002, **21**(2): 167-174.
- [18] 李小虎,张新虎,郑朋,等. 土壤矿物学研究综述[J]. 甘肃地质学报, 2003, **12**(1): 37-42.
- [19] 何世春. 羊八井地热田水文地球化学特征[J]. 中国地质, 1983, **1**(6): 19-21.
- [20] Guo Q H, Wang Y X, Liu W. B, As, and F contamination of river water due to wastewater discharge of the Yangbajing geothermal power plant, Tibet, China [J]. Environmental Geology, 2008, **56**(1): 197-205.
- [21] Li C L, Kang S C, Zhang Q G, et al. Geochemical evidence on the source regions of Tibetan Plateau dusts during non-monsoon period in 2008/09 [J]. Atmospheric Environment, 2012, **59**: 382-388.
- [22] 黎彤. 中国陆壳及其沉积层和上陆壳的化学元素丰度[J]. 地球化学, 1994, **23**(2): 140-145.
- [23] 陈鹏飞,李潮流,康世昌,等. 雅鲁藏布江表层沉积物地球化学元素研究[J]. 地球化学, 2012, **41**(4): 387-392.
- [24] 夏非,张永战,吴蔚. EOF 分析在海岸地貌与沉积学研究中的应用进展[J]. 地理科学进展, 2009, **28**(2): 174-186.
- [25] 夏增禄,李森照,罗金发. 喀喇昆仑山—西昆仑山地区土壤元素的自然含量特征[J]. 应用生态学报, 1992, **3**(1): 28-35.
- [26] 廖忠礼,莫宣学,潘桂棠,等. 西藏过铝花岗岩副矿物特征及岩石成因意义[J]. 地球学报, 2006, **27**(2): 115-122.
- [27] 赵振华. 副矿物微量元素地球化学特征在成岩成矿研究中的应用[J]. 地学前缘, 2010, **17**(1): 267-286.
- [28] 赵平,多吉. 西藏羊八井地热田气体地球化学特征[J]. 科学通报, 1998, **43**(7): 691-696.

CONTENTS

Analysis of Characteristics of Black Carbon Concentration in Shanghai from 2008 to 2012	WANG Hong-qiang, HE Qian-shan, CHEN Yong-hang, <i>et al.</i> (1215)
Chemical Characteristics and Insoluble Particulates' Surface Morphology of a Snowfall Process in the Southeastern Suburb of Urumqi	LU Hui, WEI Wen-shou, CUI Cai-xia, <i>et al.</i> (1223)
Comparative Study of the Level and Distribution of Polybrominated Diphenyl Ethers and New Brominated Flame Retardants in the Atmosphere of Typical Urban WU Hui, JIN Jun, WANG Ying, <i>et al.</i> (1230)
Source and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Ambient Air PM ₁₀ from One Coking Plant	DONG Ting, LI Tian-xin, ZHAO Xiu-ge, <i>et al.</i> (1238)
Estimation of Average Traffic Emission Factor Based on Synchronized Incremental Traffic Flow and Air Pollutant Concentration	LI Run-kui, ZHAO Tong, LI Zhi-peng, <i>et al.</i> (1245)
Study on Critical Loads of Sulfur and Nitrogen in the Pearl River Delta	SUN Cheng-ling, XIE Shao-dong (1250)
Hydrogen Sulfide Removal by the Combination of Non-Thermal Plasma and Biological Process	LI Hua-qin, HE Jue-cong, CHEN Zhou-yang, <i>et al.</i> (1256)
Spatial Distribution and Risk Assessment of Atrazine in Taizi River Basin, China	ZHENG Lei, ZHANG Yi-zhang, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (1263)
Development of a Method for Measuring Dissolved Reactive Phosphorus (DRP) and Dissolved Ferrous Iron in Large Batch in Pore Water Samples of Sediments with Micro-volumes WANG Yan, ZHU Chun-gang, XU Di, <i>et al.</i> (1271)
Temporal and Spatial Variation of Water Nutrient Level After Exogenous Nutrient Input	FU Ling, ZHAO Kai, WANG Guo-xiang, <i>et al.</i> (1278)
Physical Process Based Risk Assessment of Groundwater Pollution in the Mining Area	SUN Fa-sheng, CHENG Pin, ZHANG Bo (1285)
Hydrogeochemical Characteristics of a Typical Karst Groundwater System in Chongqing	YANG Ping-heng, LU Bing-qing, HE Qiu-fang, <i>et al.</i> (1290)
Investigation of Nitrogen, Phosphorus and Microbial Contamination in Laolongdong Underground River System of Chongqing	LAN Jia-cheng, YANG Ping-heng, REN Kun, <i>et al.</i> (1297)
Effects on Phosphorus Fraction Distribution in Sediment by Roots of <i>Vallisneria spiralis</i>	LI Zhen-guo, WANG Guo-xiang, ZHANG Jia, <i>et al.</i> (1304)
Modeling Nitrogen Transformation in a Novel Circular-Flow Corridor Wetland	PENG Jian-feng, SONG Yong-hui, YUAN Peng, <i>et al.</i> (1311)
Natural Attenuation of Tetracycline in the Water of Taihu Lake Under Different Environmental Conditions	DUAN Lun-chao, WANG Feng-he, JI Ying-xue, <i>et al.</i> (1318)
Inactivation and Reactivation of Antibiotic-Resistant Bacteria During and After UV Disinfection in Reclaimed Water	HUANG Jing-jing, TANG Fang, XI Jin-ying, <i>et al.</i> (1326)
Photoreactivation of <i>Escherichia coli</i> and <i>Enterococcus faecalis</i> in the Secondary Effluent Disinfected by UV-TiO ₂	WANG Xi-feng, GONG Xin, HU Xiao-lian, <i>et al.</i> (1332)
Stability of C ₆₀ Nanoparticles in Aquatic Systems	FANG Hua, SHEN Bing-bing, JING Jie, <i>et al.</i> (1337)
Fouling Behavior of Sodium Alginate During Microfiltration at Various Ionic Compositions; XDLVO Approach	ZHAO Ying-xu, ZONG Rui-qiang, GAO Xin-yu, <i>et al.</i> (1343)
Enhanced Remediation of 4-Chloronitrobenzene Contaminated Groundwater with Nanoscale Zero-valence Iron (nZVI) Catalyzed Hydrogen Peroxide (H ₂ O ₂)	FU Rong-bing (1351)
Effect of the Coexistence of Chlorobenzene Homologue on Anaerobic Degradation of Hexachlorobenzene	WANG Qi, LIU Hui, JIANG Lin, <i>et al.</i> (1358)
Research on Removal Efficiency of Cd(II)-bearing Wastewater by Sulfate-reducing Biological Filter	WU Xuan, TAN Ke-yan, HU Xi-jia, <i>et al.</i> (1366)
Control Strategies of Nitrogen Removal Process in a Pilot Test of the Southern WWTP Based on the Nitrogen Balance	JIANG Ying-he, LIU Pei-ju, WANG Lei, <i>et al.</i> (1372)
Effect of Simulated Inorganic Anion Leaching Solution of Electroplating Sludge on the Bioactivity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	CHEN Yan, HUANG Fang, XIE Xin-yuan (1377)
Microbial Reduction of Cu ²⁺ Mediated by Electroactive Biofilms	LIU Yi, ZHOU Shun-gui, YUAN Yong, <i>et al.</i> (1384)
Copper Recovery from Artificial Bioleaching Lixivium of Waste Printed Circuit Boards	CHENG Dan, ZHU Neng-wu, WU Ping-xiao, <i>et al.</i> (1391)
Difference of Contaminant Composition Between Landfill Leachates and Groundwater and Its Reasons	HE Xiao-song, YU Hong, XI Bei-dou, <i>et al.</i> (1399)
Photochemical Degradation of Landfill Leachate Facilitated by Combined Schwertmannite and H ₂ O ₂	WANG He-ru, SONG Yong-wei, XU Zhi-hui, <i>et al.</i> (1407)
Effects of Operating Parameters on Organic Toxicity of Sludge Treating Synthetic Bisphenol A Wastewater	YANG Na, CHEN Xiu-rong, LIN Feng-kai, <i>et al.</i> (1414)
Comparative Study on Biological Methane Potential and Methanogen Biodiversity in the Anaerobic Digestion of Excess Sludge	DONG Hui-yu, JI Min (1421)
Isolation and Identification of Mn Oxidizing Bacterium <i>Aminobacter</i> sp. H1 and Its Oxidation Mechanism	YAN Ping, JIANG Li-ying, CHEN Jian-meng, <i>et al.</i> (1428)
Nitrate Removal by a Strain of Nitrate-Dependent Fe(II)-Oxidizing Bacteria	WANG Hong-yu, YANG Kai, ZHANG Qian, <i>et al.</i> (1437)
Study on the Iopromide-Degrading Characteristics of Strain <i>Pseudomonas</i> sp. I-24 via Co-Metabolism	XU Bing-jie, GAO Pin, XUE Gang, <i>et al.</i> (1443)
Using Flow Cytometry to Explore the Changes of <i>Sphingomonas</i> sp. GY2B Bacterial Surface Characteristics in the Process of Degrading Phenanthrene ZHANG Meng-lu, DANG Zhi, WU Feng-ji, <i>et al.</i> (1449)
Research on Characteristic of Interrelationship Between Toxic Organic Compound BPA and <i>Chlorella vulgaris</i>	CHEN Shan-jia, CHEN Xiu-rong, YAN Long, <i>et al.</i> (1457)
Effect of Magnesium Deficiency on Photosynthetic Physiology and Triacylglyceride(TAG) Accumulation of <i>Chlorella vulgaris</i>	WANG Shan, ZHAO Shu-xin, WEI Chang-long, <i>et al.</i> (1462)
Effects of Microcystins on Growth and Antioxidant System of Rice Roots	WANG Wei-min, DENG Yu, ZOU Hua, <i>et al.</i> (1468)
Responses of Soybean Cultivar Dongsheng-1 to Different O ₃ Concentrations in Northeast China	ZHANG Wei-wei, WANG Guang-hua, WANG Mei-yu, <i>et al.</i> (1473)
Development and Succession of Biological Soil Crusts and the Changes of Microbial Biomasses	WU Li, ZHANG Gao-ke, CHEN Xiao-guo, <i>et al.</i> (1479)
Effects of Lead on the Growth and Reproduction of <i>Eisenia fetida</i> with Aged Soils	CHEN Li-hong, LIU Zheng-tao, FANG Zheng, <i>et al.</i> (1486)
Soil Heavy Metal Cadmium Standard Limit and Range of Background Value Research	ZHAO Xiao-jun, LU Si-jin, XU Ren-ji, <i>et al.</i> (1491)
Study on Soil Element Background Values of the Hoh Xil Area in North Tibet	BAI Jian-kun, WANG Jian-li, LI Chao-liu, <i>et al.</i> (1498)
Transfer Characteristic and Source Identification of Soil Heavy Metals from Water-Level-Fluctuating Zone Along Xiangxi River, Three-Gorges Reservoir Area XU Tao, WANG Fei, GUO Qiang, <i>et al.</i> (1502)
Heavy Metal Pollution Characteristics and Ecological Risk Analysis for Soil Around Haining Electroplating Industrial Park	LI Jiong-hui, WENG Shan, FANG Jing, <i>et al.</i> (1509)
Sources and Spatial Distribution of Typical Heavy Metal Pollutants in Soils in Xihu Scenic Area	ZHANG Hai-zhen, TANG Yu-li, LU Jun, <i>et al.</i> (1516)
Distribution and Assessment of Mercury in the Ambient Soil of a Municipal Solid Waste Incinerator	XIE Hui-ting, ZHANG Cheng-zhong, XU Feng, <i>et al.</i> (1523)
Phosphorus Adsorption Characteristics of Soils and Sediments Surrounding Dishui Lake in Shanghai	ZHUGE Xiang-zhen, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, <i>et al.</i> (1531)
Impact of SDBS/Na ⁺ on Red Soil Colloidal Stability	TANG Ying, LI Hang, ZHU Hua-ling, <i>et al.</i> (1540)
Effects of Stabilization Treatment on Migration and Transformation of Heavy Metals in Mineral Waste Residues	ZHAO Shu-hua, CHEN Zhi-liang, ZHANG Tai-ping, <i>et al.</i> (1548)
Study on a New Method of Fast Monitoring Toxicity of Cd ²⁺ by Algal in Water	DUAN Jing-bo, LIU Wen-qing, ZHANG Yu-jun, <i>et al.</i> (1555)
Immunosensor for Rapid Detection of 1,3-Dinitrobenzene	LONG Feng, SHI Han-chang, WANG Hong-chen, <i>et al.</i> (1561)
Mg/Al Layered Double Hydroxides Prepared by Microwave-Assisted Co-Precipitation Method for the Removal of Bromate	ZHONG Qiong, LI Huan (1566)
Discussion on Several Key Points of Decision Support System for Remediation of Contaminated Sites	LIAO Xiao-yong, TAO Huan, YAN Xiu-lan, <i>et al.</i> (1576)
A Review of Multi-Scale Studies on Spatial Variation of the Lead (Pb) Concentration in Urban Soils	YANG Meng, LI Feng-ying, DIAO Yi-wei, <i>et al.</i> (1586)
Review on Characteristics and Detecting Assay of Bacterial Endotoxin Contamination in Water Environment	ZHANG Can, LIU Wen-jun, ZHANG Ming-lu, <i>et al.</i> (1597)
Advances in Molecular Mechanism of Bacterial Reduction of Hexavalent Chromium	LI Dou, ZHAO You-cai, SONG Li-yan, <i>et al.</i> (1602)
Anaerobic Membrane Bioreactors for Treating Agricultural and Food Processing Wastewater at High Strength	WEI Yuan-song, YU Da-wei, CAO Lei (1613)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2014年4月15日 35卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 4 Apr. 15, 2014

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行