

高娟琴,于扬,王登红,等.川西甲基卡锂资源富集区根系土壤重金属含量水平及时空分布特征[J].岩矿测试,2019,38(6):681–692.

GAO Juan-qin, YU Yang, WANG Deng-hong, et al. The Content and Distribution Characteristics of Heavy Metals in Root Soils in the Jiajika Lithium Resource Area, Western Sichuan Province[J]. Rock and Mineral Analysis, 2019, 38(6): 681–692.

【DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.201812190137】

## 川西甲基卡锂资源富集区根系土壤重金属含量水平及时空分布特征

高娟琴<sup>1,2\*</sup>,于扬<sup>2</sup>,王登红<sup>2</sup>,刘丽君<sup>3</sup>,王伟<sup>3</sup>,郝雪峰<sup>4</sup>,代鸿章<sup>2</sup>

(1.中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京100083;

2.自然资源部成矿作用与资源评价国家重点实验室,中国地质科学院矿产资源研究所,北京100037;

3.四川省地质矿产勘查开发局地质矿产科学研究所,四川成都610036;

4.四川省地质调查院,四川成都610081)

**摘要:**锂能源金属的战略地位不断提高,与锂矿床及锂金属相关的研究也在不断跟进,锂矿区土壤重金属污染近年来持续受到关注,其含量分布情况值得深入研究。本文对亚洲最大的锂矿区——川西甲基卡根系土壤环境进行重金属含量监测,调查和评价锂矿区土壤重金属含量水平及其安全性。2016—2018年于川西甲基卡锂资源富集区采集根系土壤样品68件,采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定根系土壤Cd、As、Pb、Cr、Cu、Ni、Zn含量。测试结果表明,甲基卡矿区根系土壤Cd、As、Pb、Cr、Cu、Ni、Zn含量平均值分别为0.13、15.31、25.47、60.57、16.12、23.59、66.83mg/kg,与2018年8月最新颁布的农用地土壤标准对比,无一超标,均低于风险筛选值及管制值。常见矿床的尾矿库区土壤一般存在严重的重金属污染,而甲基卡尾矿库土壤重金属含量均低于环境标准限值,且矿业活动停止的三年期间尾矿库区根系土壤中Cd、As、Cr含量明显呈逐年下降趋势。本研究认为,选矿厂房及尾矿库周边根系土壤重金属由于人为源的存在有一定的富集现象,但不构成危害,废弃物对环境污染小。

**关键词:**甲基卡;锂资源富集区;根系土壤;重金属;污染水平;时空分布特征;电感耦合等离子体质谱法  
**要点:**

- (1) 调查了亚洲最大的锂辉石矿区三年间根系土壤重金属含量水平及时空分布特征。
- (2) 矿区根系土壤重金属含量水平均低于最新发布的环境限值,处于安全范围。
- (3) 选矿厂房和尾矿库由于人为源的影响存在轻微的重金属富集现象,但远低于环境限值。

**中图分类号:**S151.93; O657.93

**文献标识码:**A

土壤是地球生态系统的重要组成部分,土壤环境质量与生态系统安全息息相关<sup>[1]</sup>。重金属容易通过迁移作用富集,土壤中过量的重金属会通过食物链进入人体,对人体健康造成危害<sup>[2]</sup>。除普通生活区及农田土壤等容易受到生活污水或工业发展污

染之外<sup>[3]</sup>,已开采矿山对矿区及周边土壤造成重金属污染更是屡见不鲜。已开采的金属矿山大多存在重金属尾矿渣、冶炼排放的废渣堆放等现象,酸溶后极易随着矿山排水或降雨进入水环境或直接进入土壤<sup>[4]</sup>,且具有一定的蔓延性。已有大量研究者关注

**收稿日期:**2018-12-19; **修回日期:**2019-07-01; **接受日期:**2019-07-16

**基金项目:**中国地质调查局地质调查项目(DD20190173)

**作者简介:**高娟琴,博士研究生,地球化学专业。E-mail:gaojuanqinmail@sina.com。

**通信作者:**于扬,副研究员,主要从事地球化学研究。E-mail:yuyang\_cags@sina.com。

了金矿<sup>[5-6]</sup>、钨锡热液矿床<sup>[7]</sup>、铜矿<sup>[8-9]</sup>、铅锌矿<sup>[10-12]</sup>、铁矿<sup>[13]</sup>、锰矿<sup>[14]</sup>、稀土矿床及其尾矿<sup>[15-16]</sup>的矿区、冶炼场所及周边土壤重金属分布特征,结果表明一些铜、铅、锌等原本就富含重金属元素的矿床以及常有重金属元素伴生的矿床的开采,更易造成严重的土壤重金属污染。如 Claveria 等<sup>[17]</sup>对菲律宾 Lepanto 金铜矿区的研究表明,矿区土壤中 Cu 含量介于 126.12 ~ 4963.26 mg/kg 之间,As 含量介于 10.36 ~ 3940.53 mg/kg,土壤中此两种重金属元素明显富集;陈璐等<sup>[18]</sup>2017 年的研究表明,某铅锌矿尾矿库周边土壤中 Pb 累积严重,达到背景值的两倍以上。目前关于典型锂矿区土壤中重金属含量及污染水平的报道较少,掌握锂资源富集区的土壤重金属富集情况具有研究意义。

锂是二十一世纪的能源金属,随着可控核聚变技术的发展,锂的战略地位进一步提高<sup>[19-21]</sup>。近年来伴随着新能源汽车的研发及推广,世界各国的锂资源需求量逐年增长,在保护环境的同时合理开发利用锂资源迫在眉睫。在此背景下,锂矿区的矿业采选活动是否会对土壤产生重金属污染这一问题亟待研究。甲基卡作为亚洲最大的锂辉石矿区,前人已对其地质背景、成矿模式、矿石矿物特点等作了较为透彻的研究,但是矿区根系土壤中重金属含量水平及分布情况则研究较少,本文结合微量元素测试的 ICP-MS 方法,参照我国最新的土壤质量标准 GB 15618—2018 中给出的重金属元素项目,研究甲基卡锂资源富集区根系土壤中 Cd、As、Pb、Cr、Cu、Ni、Zn 含量水平,对川西甲基卡锂资源富集区的根系土壤重金属分布情况及土壤环境作出评价。

## 1 研究区概况

川西甲基卡锂矿区位于松潘甘孜山带东南缘,四川省西部甘孜藏族自治州康定、雅江、道孚三县交界,距川藏线公路沿线塔公乡 25 km。甲基卡矿区面积 62 平方千米,海拔 4300 ~ 4500 m。矿区主要出露三叠系西康群砂页岩,主要成矿岩体是矿区南部的印支期二云母花岗岩(称马颈子岩体)。已发现的主要锂矿脉有 134 号脉、308 号脉、X03 号脉,其中 134 脉和 308 脉是地表裸露矿脉,已进行了矿业开采活动,近年来通过物化探遥感等多手段工作,新增若干锂资源富集区。矿区主要含锂矿物为锂辉石,甲基卡是中国最大的伟晶岩型锂矿,目前已探明的氧化锂储量超过 200 万吨,达超大型矿床规模,居亚洲之首<sup>[22-23]</sup>。甲基卡伴生的稀有金属资源还有

Be、Nb、Ta、Rb、Cs、Sn 等<sup>[24-25]</sup>。矿区周边居民多为藏民,多以放牧为生。矿区范围内天气变化无常,常有雷电,冬季气候环境恶劣,人烟稀少,夏季当地牧民会在此短期游牧,土壤环境未受除矿业开采之外的大规模人为活动干预。

## 2 实验部分

### 2.1 样品采集

2016—2018 年项目组于甲基卡锂资源富集区采集根系土壤样品 68 件(采样点位置见图 1),采样点涵盖尾矿库、选矿厂房、已开采矿区(134 脉、308 脉)周边,以及未进行采矿活动的背景区、未开采资源富集区等。

甲基卡矿区土壤为岩石原地机械破碎风化而成,颜色呈棕灰色,混杂碎石较多。采样时操作者佩戴一次性手套,使用塑料铲从植物根部采集根系土壤封装于一次性密实袋之中,每个样点采集根系土壤样品一袋,质量 500 g 以上,记录采样点位信息并编号。与常规化探土壤样品的采集方法不同,本研究中根系土壤采集深度为 0 ~ 20 cm,即植物根系直接生长的土壤环境,其更能通过植物根系所处的土壤的重金属含量,考量土壤重金属是否会对植物生长造成危害,进而可以评估该土壤重金属含量水平对牲畜及人体是否安全。回到驻地及时对样品进行初步风干,防止样品在运输过程中发霉变质,野外初步风干过程于租借的样品库中进行,将土壤样品置于干净的吸水烘焙纸上,各样品间距离应大于 30 cm,防止交叉污染。回到实验室,将已于野外自然风干的根系土壤样品置于电热恒温鼓风干燥箱之中于 65 °C 烘 2 ~ 3 天至完全干燥,过 200 目筛,备用。

### 2.2 样品测试

将准备好的根系土壤粉末样品送至国家地质实验测试中心进行重金属元素(Cd、As、Pb、Cr、Cu、Ni、Zn)含量测定,部分样品准备重复样以保证测试精准度。上机测试之前须对样品进行溶样前处理,称取粉末样品 0.05 g(误差范围 ±0.001 g)于封闭溶样的聚四氟乙烯罐中,随后加 2 mL 氢氟酸、1 mL 7.5 mol/L 硝酸,盖上聚四氟乙烯罐上盖,装入钢套中封闭,于 190 °C 加热保温 30 h。待冷却后打开盖子,取出聚四氟乙烯内罐,放于电热板上,170 °C 蒸发至干。加 0.5 mL 硝酸再次蒸干,该步骤重复两次,加 7.5 mol/L 硝酸 5 mL,盖上上盖,将聚四氟乙烯内罐装入钢套中封闭。溶样器放入烘箱中,150 °C 下保温

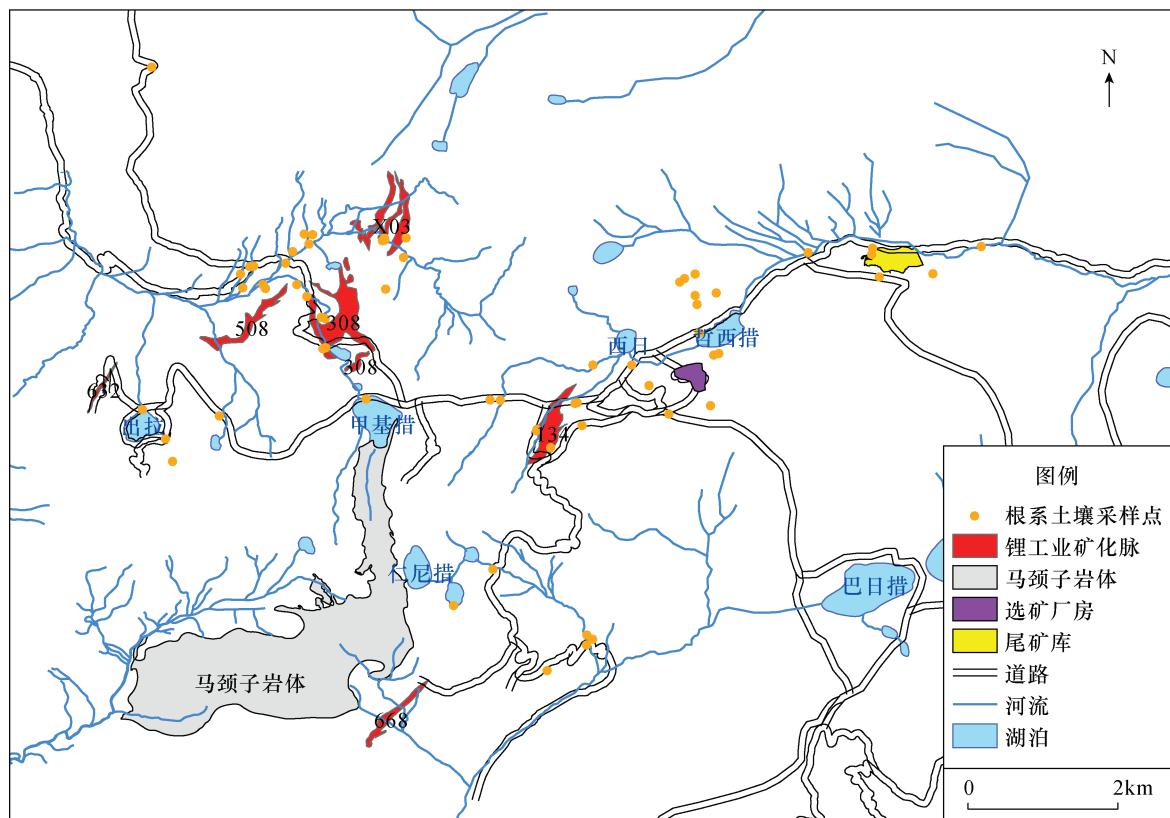


图1 甲基卡矿区根系土壤采样点位置

Fig. 1 Sampling location of root soils in Jiajika mining area

3h,待溶样器冷却之后,将其内溶液转至50mL容量瓶中,用超纯水定容至刻度,此溶液即为电感耦合等离子体质谱仪( ICP - MS, 型号 PE300D ) 测定用<sup>[26-28]</sup>。测试方法依据 GB/T 14506. 30—2010《硅酸盐岩岩石化学分析方法》第30部分:44个元素量测定,方法精密度(RSD)为2%~10%,检测下限为 $0.05 \times 10^{-6}$ 。

样品测试通过测定国家一级标准物质土壤成分分析标准物质进行质量监控,各元素测定结果与标准结果吻合。此外,事先插入土壤样品重复样进行质量监控,重复样品之间检测结果差值介于2%~5%之间,符合测试质量要求。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 根系土壤重金属元素含量

川西甲基卡矿区2016—2018年全部根系土壤样品Cd、As、Pb、Cr、Cu、Ni、Zn含量测定结果(表1)及重金属含量统计结果(表2)显示,甲基卡矿区根系土壤Cd、As、Pb、Cr、Cu、Ni、Zn含量平均值(mg/kg)分别为:0.13、15.31、25.47、60.57、16.12、

23.59、66.83,Pb、Cr、Cu、Ni、Zn含量平均值均低于全国A层土壤背景值<sup>[29]</sup>,这是由于矿区地处川西高原,人口数量较少,与全国土壤环境相比受人类活动影响较小。

甲基卡矿区不同区域重金属含量差异明显。尾矿库根系土壤As、Cu、Ni、Zn元素的平均含量为区内最高,这是因为尾矿库常年有尾矿渣堆积,对尾矿库周边土壤部分重金属含量造成了一定的影响。矿区内的选矿厂房、已开采矿区及无矿业活动区各项重金属元素含量不是很高,说明矿业开采及选矿活动并未对土壤重金属含量造成明显影响,这是由于甲基卡富锂伟晶岩和围岩中重金属含量都不高,基于甲基卡矿区203件岩石样品(含矿伟晶岩及围岩)的重金属含量统计结果,Cd、As、Pb、Cr、Cu、Ni、Zn含量平均值(mg/kg)分别为:4.28、6.09、32.22、35.17、405.46、53.06,与铜铅锌等金属矿山相比重金属含量水平均较低,且甲基卡是采用物理选矿的方式生产锂精矿粉,与铜、铅、锡等金属矿山的生产相比,无冶炼环节,采选矿基本不会产生严重的重金属污染。

表1 甲基卡矿区2016—2018年根系土壤重金属元素含量测试结果

Table 1 Heavy metal content in root soils in Jajika mining area from 2016 to 2018

采样时间 (年份)	采样点位置	样品编号	重金属元素含量(mg/kg)					
			Cd	As	Pb	Cr	Cu	Ni
2016	融达厂房海子北侧	16JJKS01	0.18	14.75	25.67	66.97	20.49	27.35
	绝情谷海子东侧	16JJKS02	0.13	11.61	29.42	64.59	20.59	24.74
	绝情谷海子东侧	16JJKS04	0.21	8.74	26.50	66.41	17.49	29.32
	石英采矿址裂隙水旁	16JJKS05	0.07	19.42	29.34	62.24	17.45	45.70
	绝情谷海子东侧	16JJKS07	0.24	8.58	25.34	65.06	17.38	28.79
	508脉北侧干流旁	16JJKS09	0.12	14.83	30.14	75.89	18.98	25.37
	36号点上游支流旁	16JJKS10	0.10	13.54	29.41	76.19	17.51	23.46
	308号脉	16JJKS11	0.06	29.37	31.85	58.07	19.24	25.57
	308脉旁海子边	16JJKS12	0.07	8.59	20.77	43.40	10.78	17.60
	X03脉上游支流旁	16JJKS14	0.12	13.00	24.61	60.57	14.59	21.08
	134脉矿区支流旁	16JJKS16	0.14	11.17	23.36	69.15	19.53	28.70
	仁尼措东侧干流旁	16JJKS22	0.21	28.40	20.90	46.40	21.10	23.00
	仁尼措东侧海子边	16JJKS23	0.09	11.20	30.20	56.10	11.50	17.00
	X03脉	16JJKS26	0.21	12.40	25.00	61.40	15.50	23.70
	X03脉	16JJKS27	0.13	14.30	28.20	71.20	18.50	25.20
	X03脉	16JJKS30	0.15	29.20	26.30	64.50	16.70	22.40
	X03脉	16JJKS31	0.17	12.90	28.10	66.00	19.50	22.20
	308东侧草地	16JJKS32	0.16	14.20	28.70	69.60	19.30	18.90
	X05脉	16JJKS33	0.11	4.18	28.00	63.10	19.10	26.70
	X03脉	16JJKS35	0.08	8.55	24.30	56.10	15.20	23.50
	308号脉	16JJKS36	0.13	5.84	24.90	50.20	13.20	21.00
	矿区支流旁	16JJKS38	0.03	9.91	25.90	62.50	15.60	20.50
	134脉下游	16JJKS39	0.08	7.65	23.70	58.20	14.50	20.20
	尾矿库	16JJKS40	0.13	37.80	25.20	72.60	18.70	24.90
	尾矿库下游	16JJKS42	0.18	29.80	23.70	67.90	26.30	32.80
	尾矿库下游	16JJKS43	0.08	16.60	27.20	81.80	25.30	36.20
	308脉北侧干流旁	16JJKS46	0.10	8.74	23.40	61.20	17.70	24.60
	308脉北侧支流旁	16JJKS48	0.10	4.17	23.40	56.50	14.10	16.00
	308脉北侧支流旁	16JJKS49	0.21	6.47	20.80	52.20	11.40	18.30
	308脉北侧支流旁	16JJKS52	0.12	10.30	23.10	61.70	24.10	27.30
	矿区支流旁	16JJKS53	0.14	11.00	28.10	72.50	23.00	34.40
2017	绝情谷海子边	17JJKS01	0.08	7.07	24.90	52.30	10.00	17.90
	出拉海子东侧支流旁	17JJKS02	0.19	10.60	23.60	56.40	18.00	25.90
	308脉上游支流旁	17JJKS04	0.29	9.82	20.20	47.50	14.70	18.20
	308脉西北侧干流旁	17JJKS05	0.17	16.60	24.10	53.10	11.90	21.80
	308脉干流旁	17JJKS06	0.19	29.10	26.20	56.60	17.90	27.60
	308脉海子边	17JJKS07	0.12	19.30	31.60	60.20	17.10	21.30
	X03脉上游	17JJKS08	0.13	12.20	23.10	62.50	11.20	26.00
	134脉西侧干流旁	17JJKS09	0.09	8.08	26.50	62.20	14.60	22.20
	134脉矿区支流旁	17JJKS10	0.11	12.40	25.20	73.40	16.10	25.60
	134脉下游	17JJKS11	0.15	7.55	24.60	59.40	12.40	20.50
	融达北海子边	17JJKS12	0.11	9.46	24.20	68.10	15.90	28.60
	融达北海子边	17JJKS13	0.15	11.70	24.20	45.00	16.00	15.80
	尾矿库	17JJKS14	0.11	32.80	26.90	67.80	18.80	27.30
	融达北海子边	17JJKS21	0.12	11.00	29.90	72.40	16.70	24.60
	融达东北坡	17JJKS22	0.25	25.30	23.00	43.50	20.90	21.40
	融达东北坡	17JJKS23	0.12	21.70	26.50	72.80	17.00	23.40
	融达东北坡	17JJKS24	0.15	11.30	25.70	68.40	17.80	24.40
	融达东北坡	17JJKS25	0.12	20.50	28.40	74.00	20.50	26.80
	融达东北坡	17JJKS26	0.16	9.22	27.80	70.60	16.60	25.20
	融达东北坡	17JJKS28	0.23	7.49	22.20	33.60	11.90	13.60
	烧炭沟河岸边岩旁	17STGS01	0.26	25.50	21.40	66.20	12.50	22.20

(续表1)

2017	烧炭沟含锂辉石伟晶岩旁	17STGS02	0.23	16.10	28.60	68.60	19.00	23.20	103.00
	烧炭沟伟晶岩转石旁	17STGS03	0.28	10.60	32.70	71.40	16.60	25.80	82.60
	烧炭沟海子边	17STGS04	0.18	13.80	32.70	78.40	15.20	27.60	80.90
2018	308脉	18JJKS01	0.08	18.40	28.90	66.30	16.70	31.30	80.00
	134脉矿区支流旁	18JJKS02	0.11	10.30	27.90	32.70	10.50	15.30	62.30
	134脉下游	18JJKS03	0.07	12.20	24.20	60.60	18.10	26.60	71.70
	融达北西方向支流	18JJKS04	0.08	7.10	21.70	65.70	14.10	38.70	65.60
	融达海子北侧	18JJKS05	0.03	21.80	21.70	60.10	14.80	26.40	97.40
	尾矿库	18JJKS06	0.03	17.50	20.60	57.10	15.20	22.70	89.60
	尾矿库支流旁	18JJKS07	0.03	38.50	18.20	33.50	9.11	12.80	59.00
	甲基措海子北侧	18JJKS08	0.08	7.61	25.50	45.30	9.79	19.20	51.00
	308脉上游支流旁	18JJKS09	0.03	6.88	21.20	55.20	8.87	22.10	53.60
	308脉上游支流旁	18JJKS10	0.09	26.70	28.50	75.70	15.60	27.10	70.20
	308脉干流旁	18JJKS11	0.10	33.50	30.20	52.90	11.70	24.30	47.00
	融达南西侧	18JJKS13	0.03	7.34	10.30	11.20	5.06	9.93	58.50
	融达南西侧	18JJKS14	0.09	37.20	23.10	57.70	13.00	22.50	101.00

表2 甲基卡矿区不同区域根系土壤重金属元素含量统计结果

Table 2 Statistical results of heavy metal content of root soils in different areas of Jiajika mining area

重金属元素	参数	尾矿库区	选矿厂房	已开采矿区	未开采资源富集区	无矿业活动区	甲基卡根系土壤均值	全国A层土壤背景值
Cd	最小值(mg/kg)	0.03	0.03	0.03	0.10	0.03	0.13	0.10
	最大值(mg/kg)	0.18	0.25	0.29	0.28	0.24		
	平均值(mg/kg)	0.09	0.13	0.11	0.17	0.13		
As	最小值(mg/kg)	16.60	7.10	5.84	4.18	4.17	15.32	11.20
	最大值(mg/kg)	38.50	37.20	33.50	29.20	28.40		
	平均值(mg/kg)	28.83	15.42	15.37	14.41	11.28		
Pb	最小值(mg/kg)	18.20	10.30	20.20	23.10	20.77	25.47	26.00
	最大值(mg/kg)	27.20	29.90	31.85	32.70	30.20		
	平均值(mg/kg)	23.63	23.88	26.59	26.84	25.27		
Cr	最小值(mg/kg)	33.50	11.20	32.70	60.57	43.40	60.57	61.00
	最大值(mg/kg)	81.80	74.00	76.19	78.40	72.50		
	平均值(mg/kg)	63.45	57.86	60.58	66.26	57.91		
Cu	最小值(mg/kg)	9.11	5.06	8.87	11.20	9.79	16.12	22.60
	最大值(mg/kg)	26.30	20.90	19.53	19.50	24.10		
	平均值(mg/kg)	18.90	15.77	15.40	16.34	16.04		
Ni	最小值(mg/kg)	12.80	9.93	15.30	21.08	16.00	23.59	26.90
	最大值(mg/kg)	36.20	38.70	31.30	27.60	34.40		
	平均值(mg/kg)	26.12	23.48	23.69	24.22	22.32		
Zn	最小值(mg/kg)	59.00	32.80	36.30	43.40	35.70	66.83	74.2
	最大值(mg/kg)	105.00	124.00	116.00	103.00	80.70		
	平均值(mg/kg)	87.28	81.06	60.74	69.45	53.30		

### 3.2 2016—2018年矿区根系土壤重金属含量变化

2016—2018年对矿区部分典型采样点的根系土壤重金属含量进行监测,分析结果(图2)表明,大部分区域三年间土壤重金属含量变化不大,除尾矿库之外没有明显的变化趋势。尾矿库根系土壤中Cd、As、Cr含量逐年有下降趋势,可能是因为矿区内部分区域(如尾矿库)在开展矿业活动时曾遭受轻微重金属污染(均远低于环境标准限值),矿业活动停止后,部分地区重金属含量呈现逐年下降的趋势。

此外,2016年在308脉附近、融达厂房边及尾矿库周边的土壤As含量非常接近风险筛选值,2017年在尾矿库周边及2018年308脉附近的土壤As含量也较高,接近风险筛选值;2018年融达厂房附近土壤Ni含量接近筛选值,这些情况应当引起重视。除矿区部分区域土壤As、Ni含量稍高外,其余几种重金属元素Cd、Pb、Cr、Cu、Zn含量均处于较低水平,远小于各项元素的风险筛选值,无污染风险。

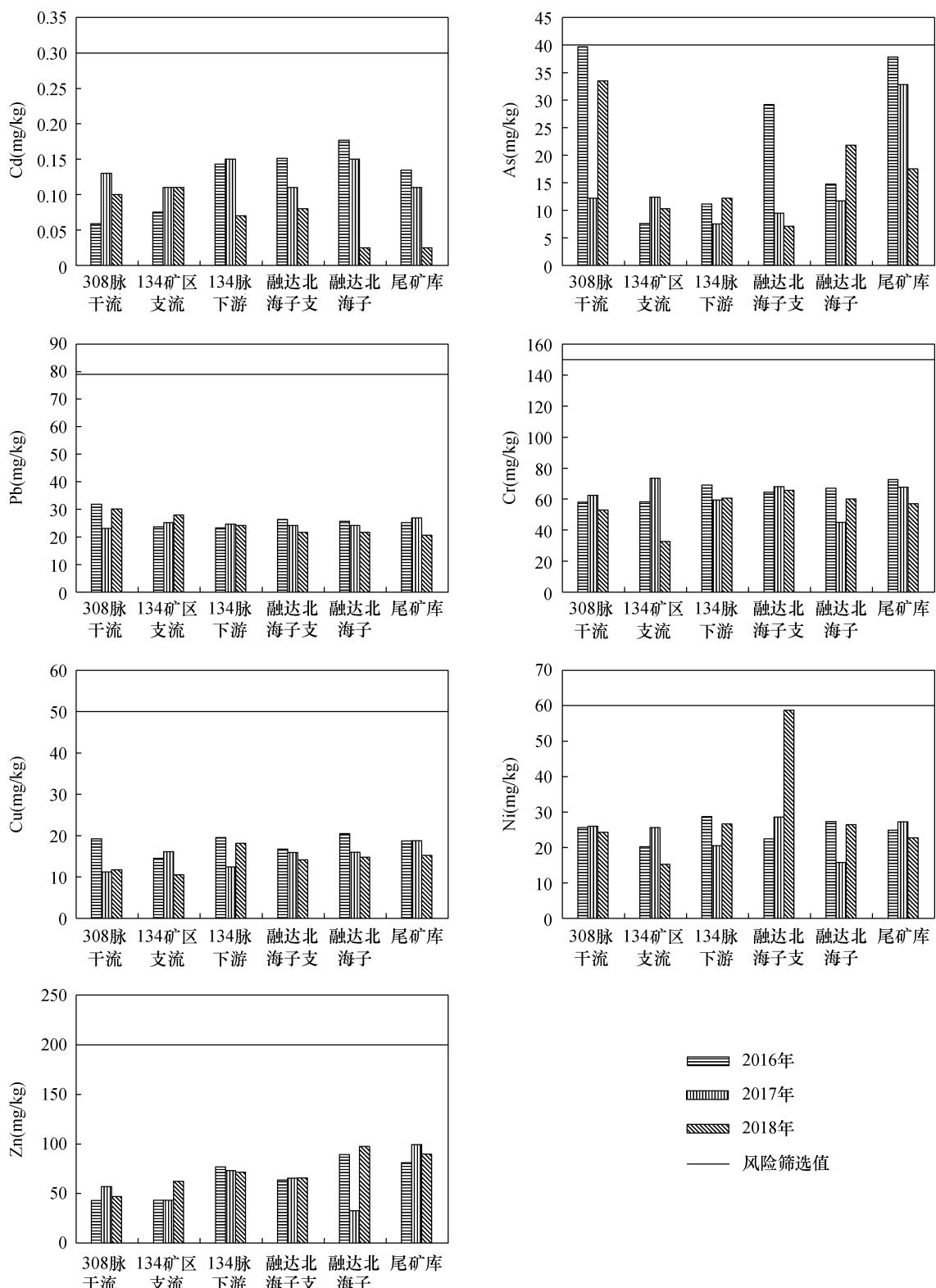


图2 2016—2018年甲基卡矿区根系土壤重金属含量对比

Fig. 2 Yearly comparison of heavy metal content of root soils in Jiajika mining area from 2016 to 2018

### 3.3 根系土壤重金属含量与环境质量标准对比

甲基卡矿区虽为工矿用地,但是亦为当地藏民游牧区,属于天然牧草地,故采用国家土壤质量标准

中较为严格的农用地标准进行对比。2018年8月1日起试行的《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准》(GB 15618—2018)给出了农用地土壤的

风险管控筛选值及风险管制值。若农用地土壤中重金属含量等于或高于风险筛选值,则表明农产品质量、作物生长及土壤生态环境可能存在风险,应加强土壤或其他作物环境监测。若农用地土壤中重金属含量等于或高于风险管制值,则说明其食用农产品不符合质量安全标准,应采用强制管制措施。该标准中给出的非水田土壤重金属(基本项目)风险筛选值见表3。对矿区根系土壤pH测定结果显示,甲基卡根系土壤pH值平均值为5.45,故与标准对比时采用pH≤5.5时的限值。

表3 农用地(非水田)土壤污染风险筛选值、管制值及矿区土壤重金属含量对比(基本项目)

Table 3 Risk screening values and control values for soil contamination of agricultural land and heavy metal content in root soils in Jiajika mining area (non-paddy field)

污染物项目	风险筛选值 (mg/kg)	风险管制值 (mg/kg)	甲基卡根系土壤重金属元素含量(mg/kg)
	pH≤5.5	pH≤5.5	
Cd	0.3	1.5	0.03~0.29
Hg	1.3	2.0	-
As	40	200	4.17~38.5
Pb	79	400	10.3~32.7
Cr	150	800	11.2~81.8
Cu	50	-	5.06~26.3
Ni	60	-	9.3~38.7
Zn	200	-	32.8~124

甲基卡矿区根系土壤各项重金属含量与相应的风险筛选值对比结果显示,矿区根系土壤样品重金属含量无一例超标(图3),Cd、As、Pb、Cr、Cu、Ni、Zn元素的平均含量均远小于农用地土壤质量风险筛选值。Cd、As、Ni元素含量最大值接近于标准筛选值,Pb、Cr、Cu、Zn元素含量最大值远小于标准筛选值。从矿区根系土壤重金属含量情况来看,甲基卡矿区土壤环境优良,依据最新土壤质量标准,矿业活动未对矿区土壤造成明显的重金属污染。据已有研究结果,很多稀有金属矿床也会造成土壤重金属污染,如闽东某钼矿周边的农田遭受了严重的钼、铜、镉的污染<sup>[30]</sup>,且稻米中超标的Mo对人体有极高的健康风险;江西大余县某钨矿周边的农田土壤受到了As、Pb、Zn、Cu、Ni不同程度的污染<sup>[31]</sup>,可以说与其他稀有金属矿床相比,锂矿区现有的开采及矿石处理过程相对洁净。

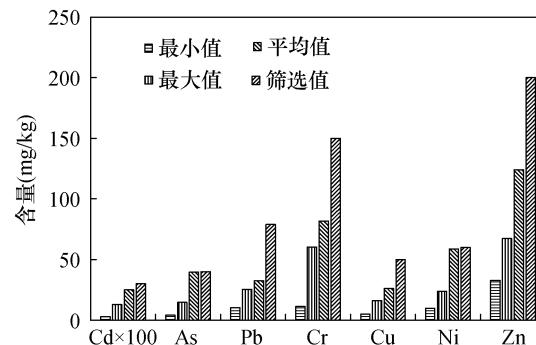


图3 甲基卡矿区根系土壤样品重金属含量与风险筛选值对比

Fig. 3 Comparison of heavy metal content of soils in Jiajika mining area and risk screening values

### 3.4 根系土壤重金属空间分布特征

反距离权重法是一种常用的空间插值方法,常应用于多种属性值的空间分布特征研究<sup>[32~35]</sup>。该方法基于相近相似原理,以插值点与样本点间的距离为权重进行加权平均,与插值点距离越近的样本点被赋予的权重越大。

本文使用反距离权重法在Arcgis10.2中对矿区根系土壤重金属含量进行空间插值分析,结果显示(图4),除Pb之外,Cd、As、Cr、Cu、Ni、Zn元素均在尾矿库出现浓集区,尾矿库区常年有尾矿砂堆积,对根系土壤重金属含量影响明显,这与前人在其他矿区的研究结果较一致,尾矿库更容易影响周边土壤环境,故尾矿库的选址及尾矿堆放的具体处理措施非常重要。选矿厂房附近根系土壤As、Ni、Zn元素有明显的富集特征,说明选矿活动对根系土壤中此3种重金属含量有一定影响,其中As、Ni高值与选矿活动相关性尤为明显,甲基卡矿区锂辉石选矿采用物理选矿工艺,排除了化学试剂的污染,推测可能是因为长期有交通源影响及人为活动源导致。已开采矿区(134脉、308脉)存在As、Pb的明显富集,可能与该区域经常使用采矿机器及运矿车辆有一定的关系。总的来说,尾矿库及选矿厂房对其附近土壤重金属含量的影响明显强于地表裸露的锂矿脉。尾矿库、选矿厂房、已开采矿区等区域虽出现部分重金属元素的浓集区,但均未超过环境标准限值。

### 4 结论

本文在亚洲最大的硬岩型锂矿区开展根系土壤重金属含量水平及污染情况研究,甲基卡68件根系土壤Cd、As、Pb、Cr、Cu、Ni、Zn含量均远低于国家最

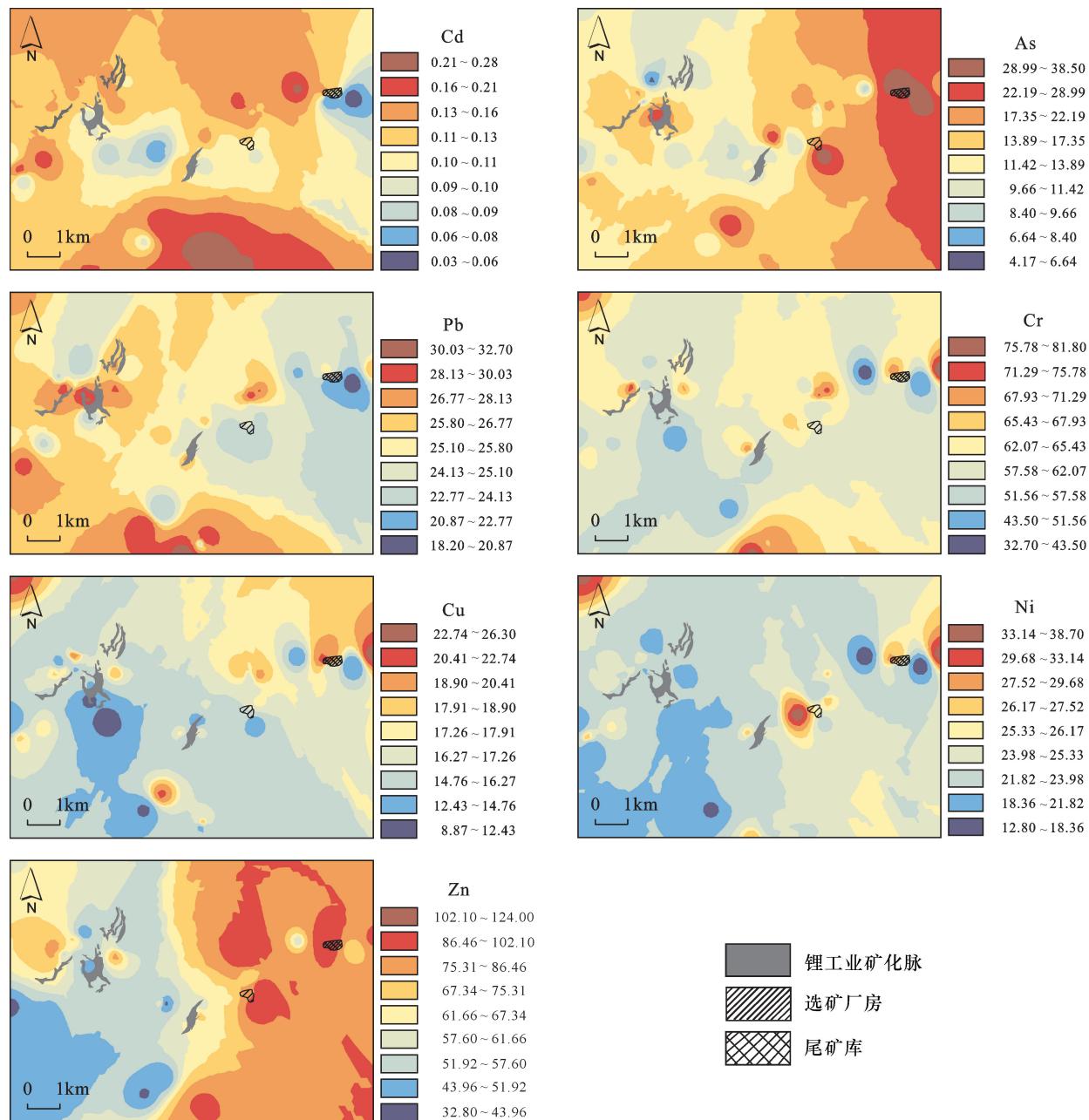


图4 甲基卡矿区根系土壤重金属元素地球化学图

Fig. 4 Geochemical maps of heavy metal content in the root soils of Jiajika mining area

新土壤质量标准中的土壤污染风险筛选值,其中Pb、Cr、Cu、Ni、Zn含量平均值低于全国A层土壤背景值。甲基卡硬岩型锂矿区进行过的矿业活动未导致土壤重金属污染,采矿及选矿活动开展合理,生产过程相对安全洁净。在2016—2018年矿区无矿业活动开展的三年间,尾矿库部分监测点根系土壤重金属元素Cd、As、Cr含量明显呈逐年下降趋势。选矿厂房及尾矿库周边根系土壤重金属由于人为源的存在有一定的富集现象,但均远低于环境标准限值,不存在土壤重金属污染现象,废弃物对环境污染

小,可持续发展适度。

甲基卡是我国目前探明的规模最大的硬岩型锂矿,但由于种种原因在锂矿行情很好的情况下没有得以及时开发。从环境的角度来看,无论是矿区的花岗岩还是含矿伟晶岩,具有稀有金属富集且重金属含量低的特点,因此不会造成土壤重金属的污染,可以说矿山本身及其对周边土壤都是环境安全的。2019年6月甲基卡锂矿区进入复产准备阶段,将面临新一轮的矿业开采活动,故今后仍需加强川西高原湿地及其周边区域土壤环境变化的持续关注,对

甲基卡锂资源富集区土壤重金属含量变化进行持续跟进监测,评估土壤重金属污染风险,指导甲基卡锂资源富集区的绿色发展。

**致谢:**全部样品的测试工作由国家地质实验测试中心完成,样品测试过程中得到了屈文俊研究员、马生凤教授级高级工程师及该单位其他工作人员的悉心指导和大力帮助,在此一并致谢。

## 5 参考文献

- [1] 余广学,张金震,王烨,等.郑州市土壤重金属污染状况和质量评价[J].岩矿测试,2015,34(3):340–345.  
Yu G X, Zhang J Z, Wang Y, et al. Investigation and evaluation of heavy metal pollution in soil from Zhengzhou City[J]. Rock and Mineral Analysis, 2015, 34 (3):340 – 345.
- [2] 郑喜坤,鲁安怀,高翔,等.土壤中重金属污染现状与防治方法[J].土壤与环境,2002,11(1):79–84.  
Zheng X S, Lu A H, Gao X, et al. Contamination of heavy metals in soil present situation and method[J]. Soil and Environmental Science, 2002, 11(1):79 – 84.
- [3] 刘勇,岳玲玲,李晋昌.太原市土壤重金属污染及其潜在生态风险评价[J].环境科学学报,2011,31(6):1285–1293.  
Liu Y, Yue L L, Li J C. Evaluation of heavy metal contamination and its potential ecological risk to the soil in Taiyuan, China [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2011, 31(6):1285 – 1293.
- [4] Fernández C J, Barba B C, González I, et al. Heavy metal pollution in soils around the abandoned mine sites of the Iberian Pyrite Belt (Southwest Spain)[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2009, 200(1–4):211 – 226.
- [5] 徐友宁,张江华,柯海玲,等.矿业活动区农田土壤重金属累积风险的评判方法——以小秦岭金矿区为例[J].地质通报,2014,33(8):1097 – 1105.  
Xu Y N, Zhang J H, Ke H L, et al. An assessment method for heavy metal cumulative risk on farmland soil in the mining area: A case study of the Xiaoqinling gold mining area[J]. Geological Bulletin of China, 2014, 33 (8): 1097 – 1105.
- [6] 陈小敏,朱保虎,杨文,等.密云水库上游金矿区土壤重金属空间分布、来源及污染评价[J].环境化学,2015,34(12):2248 – 2256.  
Chen X M, Zhu B H, Yang W, et al. Sources, spatial distribution and contamination assessments of heavy metals in gold mine area soils of Miyun Reservoir upstream, Beijing, China [J]. Environmental Chemistry, 2015 ,34 (12) :2248 – 2256.
- [7] Candeias C, Melo R, Ávila P F, et al. Heavy metal pollution in mine – soil – plant system in S. Francisco de Assis – Panasqueira mine (Portugal) [J]. Applied Geochemistry, 2014, 44 (12) :12 – 26.
- [8] 常玉虎,赵元艺,曹冲,等.德兴铜矿区主要流域内环境介质中重金属含量特征与健康风险评价[J].地质学报,2015,89(5):889 – 908.  
Chang Y H, Zhao Y Y, Cao C, et al. Characteristics of heavy metals content and assessment of health risk in different environment media in the Dexing copper mining area [ J ]. Acta Geologica Sinica, 2015, 89 ( 5 ) : 889 – 908.
- [9] 毛香菊,马亚梦,邹安华,等.内蒙古草原某铜钼矿区土壤重金属污染特征研究[J].环境科学与技术,2016,39(6):156 – 161.  
Mao X J, Ma Y M, Zou A H, et al. Characteristics of heavy metals in soils from a copper – molybdenum mining area of grassland in Inner Mongolia [ J ]. Environmental Science & Technology, 2016, 39 ( 6 ) : 156 – 161.
- [10] 兰砥中,雷鸣,周爽,等.湘南某铅锌矿区周围农业土壤中重金属污染及其潜在风险评价[J].环境化学,2014,33(8):1307 – 1313.  
Lan D Z, Lei M, Zhou S, et al. Heavy metals pollution and potential ecological risk in soils around Pb/Zn mine area in Hunan Province [ J ]. Environmental Chemistry, 2014, 33(8) :1307 – 1313.
- [11] 余志,陈凤,张军方,等.锌冶炼区菜地土壤和蔬菜重金属污染状况及风险评价[J].中国环境科学,2019,39(5):2086 – 2094.  
Yu Z, Chen F, Zhang J F, et al. Contamination and risk of heavy metals in soils and vegetables from zinc smelting area[ J ]. China Environmental Science, 2019, 39 ( 5 ) : 2086 – 2094.
- [12] 金晓丹,罗栋源,马华菊,等.广西某铅锌矿区土壤镉、铅、砷形态分布对水稻重金属的影响[J].西南农业学报,2018,31(6):1293 – 1299.  
Jin X D, Luo D Y, Ma H J, et al. Effect of soil Cd, Pb, As and their fractions distribution on corresponding heavy metals in rice surrounding lead – zinc mines in Guangxi Province [ J ]. Southwest China Journal of Agricultural Science, 2018, 31(6) :1293 – 1299.
- [13] 邢奕,司艳晓,洪晨,等.铁矿区重金属污染对土壤微生物群落变化的影响[J].环境科学研究,2013,26(11):1201 – 1211.  
Xing Y, Si Y X, Hong C, et al. Impact of long term heavy metal pollution on microbial community in iron mine soil

- [J]. Research of Environmental Science, 2013, 26(11): 1201–1211.
- [14] 唐文杰, 黄江波, 余谦, 等. 锰矿区农作物重金属含量及健康风险评价[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(增刊1): 464–473.  
Tang W J, Huang J B, Yu Q, et al. Analysis on the content of heavy metal in the food crop sand assessment on human health risk of manganese mine [J]. Environmental Science & Technology, 2015, 38 (Supplement 1): 464–473.
- [15] 刘胜洪, 张雅君, 杨妙贤, 等. 稀土尾矿区土壤重金属污染与优势植物累积特征[J]. 生态环境学报, 2014, 23(6): 1042–1045.  
Liu S H, Zhang Y J, Yang M X, et al. Heavy metal contamination of soil and concentration of dominant plants in rare earth mine tailing area [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23(6): 1042–1045.
- [16] 徐狮. 离子型稀土矿原地浸矿土壤重金属迁移转化规律研究[D]. 南昌: 江西理工大学, 2017.  
Xu S. Study on Migration and Transformation of Heavy Metals in *in-situ* Leaching Soil of Ionic Rare Earth Ore [D]. Nanchang: Jiangxi University of Science and Technology, 2017.
- [17] Claveria R J R, Perez T R, Perez R E C, et al. The identification of indigenous Cu and As metallophytes in the Lepanto Cu – Au mine, Luzon, Philippines [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2019, 191 (3): 185.
- [18] 陈璐, 文方, 程艳, 等. 铅锌尾矿库周边土壤重金属污染特征及环境风险[J]. 中国环境监测, 2017, 33(1): 82–87.  
Chen L, Wen F, Cheng Y, et al. Study on contamination characteristics and environmental risk of heavy metals in the soils around Pb – Zn tailings reservoir [J]. Environmental Monitoring in China, 2017, 33 (1): 82–87.
- [19] 王登红, 王瑞江, 付小方, 等. 对能源金属矿产资源基地调查评价基本问题的探讨——以四川甲基卡大型锂矿基地为例[J]. 地球学报, 2016, 37(4): 471–480.  
Wang D H, Wang R J, Fu X F, et al. A discussion on the major problems related to geological investigation and assessment for energy metal resources base: A case study of the Jiajika large lithium mineral resource base [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2016, 37(4): 471–480.
- [20] 王登红, 孙艳, 刘喜方, 等. 锂能源金属矿产深部探测技术方法与找矿方向[J]. 中国地质调查, 2018, 5(1): 1–9.  
Wang D H, Sun Y, Liu X F, et al. Deep exploration technology and prospecting direction for lithium energy metal [J]. Geological Survey of China, 2018, 5 (1): 1–9.
- [21] 王登红, 吴西顺. 21世纪的能源金属——锂的奥秘[J]. 国土资源科普与文化, 2017(4): 22–27.  
Wang D H, Wu X S. Energy metals in the 21st century: The mystery of lithium [J]. Land Resources Science and Culture, 2017(4): 22–27.
- [22] 王登红, 付小方. 四川甲基卡外围锂矿找矿取得突破[J]. 岩矿测试, 2013, 32(6): 987.  
Wang D H, Fu X F. A breakthrough in the prospecting of lithium deposits in the periphery of Sichuan Jiajika [J]. Rock and Mineral Analysis, 2013, 32(6): 987.
- [23] 王登红, 刘丽君, 侯江龙, 等. 初论甲基卡式稀有金属矿床“五层楼+地下室”勘查模型[J]. 地学前缘, 2017, 24(5): 1–7.  
Wang D H, Liu L J, Hou J L, et al. A preliminary review of the application of “Five levels + Basement” model for Jiajika – style rare metal deposits [J]. Earth Science Frontiers, 2017, 24(5): 1–7.
- [24] 刘丽君, 付小方, 王登红, 等. 甲基卡式稀有金属矿床的地质特征与成矿规律[J]. 矿床地质, 2015, 34(6): 1187–1198.  
Liu L J, Fu X F, Wang D H, et al. Geological characteristics and metallogenesis of Jiajika style rare metal deposits [J]. Mineral Deposit, 2015, 34 (6): 1187–1198.
- [25] 付小方, 袁蔺平, 王登红, 等. 四川甲基卡矿田新三号稀有金属矿脉的成矿特征与勘查模型[J]. 矿床地质, 2015, 34(6): 1172–1186.  
Fu X F, Yuan L P, Wang D H, et al. Mineralization characteristics and prospecting model of newly discovered X03 rare metal vein in Jiajika orefield, Sichuan [J]. Mineral Deposit, 2015, 34(6): 1172–1186.
- [26] 鲁照玲, 胡红云, 姚洪. 土壤中重金属元素电感耦合等离子体质谱定量分析方法的研究[J]. 岩矿测试, 2012, 31(2): 241–246.  
Lu Z L, Hu H Y, Yao H. Study on quantitative analysis method for several heavy metals in soil sample by inductively coupled plasma – mass spectrometry [J]. Rock and Mineral Analysis, 2012, 31(2): 241–246.
- [27] 苏荣, 王晓飞, 洪欣, 等. 微波消解–电感耦合等离子体质谱法测定土壤中10种重金属元素[J]. 现代化工, 2015, 35(1): 175–177.  
Su R, Wang X F, Hong X, et al. Determination of 10 elements in soil by inductively coupled plasma – mass spectrometry with microwave digestion [J]. Modern Chemical Industry, 2015, 35(1): 175–177.

- [28] 李自强,李小英,钟琦,等.电感耦合等离子体质谱法测定土壤重金属普查样品中铬铜镉铅的关键环节研究[J].岩矿测试,2016,35(1):37–41.  
Li Z Q,Li X Y,Zhong Q,et al. Determination of Cr,Cu,Cd and Pb in soil samples by inductively coupled plasma – mass spectrometry for an investigation of heavy metal pollution[J]. Rock and Mineral Analysis,2016,35(1):37–41.
- [29] 国家环境保护局.中国元素土壤背景值[M].北京:中国环境科学出版社,1990.  
National Environmental Protection Agency. Background Value of Elements in Chinese Soil [M]. Beijing: China Environmental Science Press,1990.
- [30] 贾婷,贾洋洋,余淑娟,等.闽东某钼矿周边农田土壤钼和重金属的污染状况[J].中国环境监测,2015,31(1):45–49.  
Jia T,Jia Y Y,Yu S J,et al. Pollution of molybdenum and heavy metals of the soils and rice near a molybdenum mining site in Eastern Fujian [J]. Environmental Monitoring in China,2015,31(1):45–49.
- [31] 王斐,黄益宗,王小玲,等.江西钨矿周边土壤重金属生态风险评价:不同评价方法的比较[J].环境化学,2015,34(2):225–233.  
Wang F,Huang Y Z,Wang X L,et al. Ecological risk assessment of heavy metals in surrounding soils of tungsten ores:Comparison of different evaluation methods [J]. Environmental Chemistry,2015,34(2):225–233.
- [32] 卓静,朱延年.秦岭主脊区年降水量空间插值最优方法研究[J].干旱区地理,2017,40(3):555–563.  
Zhuo J,Zhu Y N. Spatial interpolation methods of annual average precipitation on Qinling Mountains [J]. Arid Land Geography,2017,40(3):555–563.
- [33] 贾悦,崔宁博,魏新平,等.基于反距离权重法的长江流域参考作物蒸散量算法适用性评价[J].农业工程学报,2016,32(6):130–138.  
Jia Y,Cui N B,Wei X P,et al. Applicability evaluation of different algorithm for reference crop evapotranspiration in Yangtze River Basin based on inverse distance weighted method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2016,32(6):130–138.
- [34] 李凯,赵华甫,吴克宁,等.土壤重金属Cd污染指数的适宜插值方法和合理采样数量研究[J].土壤通报,2016,47(5):1056–1064.  
Li K,Zhao H F,Wu K N,et al. Suitable interpolation method and reasonable sampling quantity of Cd pollution index in soil[J]. Chinese Journal of Soil Science,2016,47(5):1056–1064.
- [35] 解恒燕,张深远,侯善策,等.降水量空间插值方法在小样本区域的比较研究[J].水土保持研究,2018,25(3):117–121.  
Xie H Y,Zhang S Y,Hou S C,et al. Comparison research on rainfall interpolation methods in small sample areas [J]. Research of Soil and Water Conservation,2018,25(3):117–121.

## The Content and Distribution Characteristics of Heavy Metals in Root Soils in the Jiajika Lithium Resource Area, Western Sichuan Province

GAO Juan-qin<sup>1,2</sup>, YU Yang<sup>2\*</sup>, WANG Deng-hong<sup>2</sup>, LIU Li-jun<sup>3</sup>, WANG Wei<sup>3</sup>, HAO Xue-feng<sup>4</sup>, DAI Hong-zhang<sup>2</sup>

- (1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;
2. Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Ministry of Natural Resources; Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;
3. Geology and Mineral Resources Scientific Institute, Sichuan Exploration Bureau of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610036, China;
4. Sichuan Institute of Geological Survey, Chengdu 610081, China)

**HIGHLIGHTS**

- (1) The temporal and spatial distribution characteristics of heavy metal content in root soils in the largest spodumene mine in Asia were investigated.
- (2) The level of heavy metal in the root soils of the mining area was lower than the newly released environmental limit and was in a safe range.
- (3) The beneficiation area and tailings pond had slight heavy metal enrichment due to the influence of anthropogenic sources, but far below the environmental limit.

**ABSTRACT**

**BACKGROUND:** As more and more countries pay greater attention to energy metals, the strategic position of lithium has been continuously improved. As a result, the research related to lithium deposits and lithium metal has been continuously carried out. Heavy metal pollution in the lithium mine has received attention in recent years. Under the circumstances, the content and distribution of heavy metals in lithium mines is worthy of further study.

**OBJECTIVES:** To evaluate the level and safety of heavy metals in the Jiajika lithium mining area.

**METHODS:** From 2016 to 2018, 68 root soil samples were collected from the Jiajika lithium mining area in Western Sichuan. The content of Cd, As, Pb, Cr, Cu, Ni and Zn in root soil sample were determined by inductively coupled plasma – mass spectrometry (ICP – MS).

**RESULTS:** The results showed that the average content of Cd, As, Pb, Cr, Cu, Ni and Zn in the root soils of Jiajika mining area was 0.13, 15.31, 25.47, 60.57, 16.12, 23.59, and 66.83mg/kg, respectively. None of the soil samples exceeded the latest published standard for agricultural land in August 2018. Soils from the tailings reservoir area of common deposits often had serious heavy metal pollution, but the heavy metal content in Jiajika tailings reservoir was lower than the environmental standard limit, and the content of Cd, As and Cr in root soils from tailings reservoir areas was decreasing year by year during the three years after mining activity ceased.

**CONCLUSIONS:** The heavy metals in the roots of the mineral processing factory and the tailings reservoir have certain enrichment due to the existence of anthropogenic sources, but they do not constitute a hazard and the waste has little environmental pollution.

**KEY WORDS:** Jiajika; lithium – bearing area; root soil; heavy metals; pollution level; temporal and spatial distribution; inductively coupled plasma – mass spectrometry

