

# 江西赣州梓山地区富硒土壤 重金属元素安全性评价

郝海满,文帮勇,王继强,周强强,刘冰权

(江西省地质调查研究院,南昌 330030)

**摘要:**在江西梓山地区采集土壤样712件、水稻样46件,分析该区土壤、水稻中As、Cd等重金属元素含量及其在土壤—水稻系统中的安全性。研究区土壤环境质量总体优良,清洁和较清洁土壤图斑面积为11 883.06 hm<sup>2</sup>,占全区面积的96.82%;轻微污染的土壤图斑面积为368.66 hm<sup>2</sup>,占全区面积的3.00%;重金属污染的土壤图斑主要分布于富硒土壤区。水稻中As等重金属元素含量较低,均符合国家食品安全标准。水稻对As等元素的吸收富集能力受其土壤总量及其有效性制约,而重金属元素的生物有效性主要受重金属总量与TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的控制。研究区土壤脱硅富铁铝的特征表明,该区土壤As等重金属元素的生物有效性较低,可开发富硒水稻。

**关键词:**重金属元素;富硒土壤区;安全性评价;迁移转化

**中图分类号:**X131.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**2096-1871(2017)03-234-07

江西省地质调查研究院经过10余年的多目标区域地球化学调查及专题研究,在江西省内发现大面积的富硒土壤资源,并将之成果应用化。2014年,位于丰城市面积约50 km<sup>2</sup>的“中国生态硒谷”产值达25亿元,取得了显著的经济效益。但富硒土壤往往也富集重金属,江西省已发现的富硒土壤中Cd元素超标率达25.59%。重金属污染问题一直是研究热点,目前已开展了富硒土壤区重金属元素含量、形态特征及其生态效应,Se与重金属元素的交互关系等研究<sup>[1-10]</sup>,但是关于重金属超标富硒土壤资源研究及评价鲜有报道。本文对江西省赣州梓山地区富硒土壤中的As、Cd等重金属元素进行安全性评价,并研究As、Cd等重金属元素在土壤—水稻系统中的迁移转化规律,为江西省煤系地层区富硒土壤资源开发提供参考。

## 1 研究区概况

研究区位于江西省赣州市于都县东北部约16 km

处,东西宽约16.5 km,南北长约19 km,面积约122 km<sup>2</sup>。地理坐标为:115°28′16″~115°38′09″ E, 25°54′42″~26°04′00″ N。研究区交通便利,国道G323、赣龙铁路与省道S218横穿该区。研究区属亚热带季风气候,雨量充沛,四季分明,气候温和,年平均气温为19.7℃,年平均降雨量达1 507 mm。

江西省地质调查研究院于2011~2015年开展“江西兴国—寻乌地区1:250 000多目标区域地球化学调查”时首次发现该区表层土壤中存在较大面积的富硒土壤。2013年综合考查赣州市富硒土壤空间分布、土地利用情况及交通枢纽位置,在于都县东部梓山地区进行1:5 000土壤环境地质调查评价。该区以低丘和岗地为主,广布红壤及水稻土,耕地主要种植水稻等粮食作物,园地主要种植脐橙、油茶等经济作物。该区出露震旦系、泥盆系、石炭系、二叠系、侏罗系、白垩系和第四系地层。该区中部和东北部石炭系、二叠系地层较发育,并有煤层出露。富硒土壤主要分布于研究区中部和东北部地区。

\* 收稿日期:2016-07-18 修订日期:2016-11-23 责任编辑:谭桂丽

基金项目:中国地质调查局“江西兴国—寻乌地区1:250 000多目标区域地球化学调查(编号:J【2011】01-03-07)”资助。

第一作者简介:郝海满,1984年生,女,工程师,主要从事环境地球化学及农业地质研究。

通讯作者简介:文帮勇,1984年生,男,工程师,主要从事环境地球化学及农业地质研究。

## 2 样品采集及分析测试

### 2.1 样品采集

共采集 46 件水稻样品,712 件土壤样品(包括水稻根系土样品 46 件)(图 1),其中水田、旱地、蔬菜地样点垂直向下均匀采集 0~20 cm 土壤,种植果树、油茶等的园地及适宜发展为园地的林地样点垂直向下均匀采集 0~60 cm 土壤;水田样品采集时间为作物收割后的农闲期,采集的各样点土壤经手工掰碎,挑出根系、秸秆、石块以及虫体等杂物,样品采样时避开沟渠、林带、路边、旧房基、粪堆及微地形高低不平、无代表性的地段。土壤、植物样品采集、切割、洗涤和保存等环节严格按照《区域生态地球化学评价技术要求》执行。

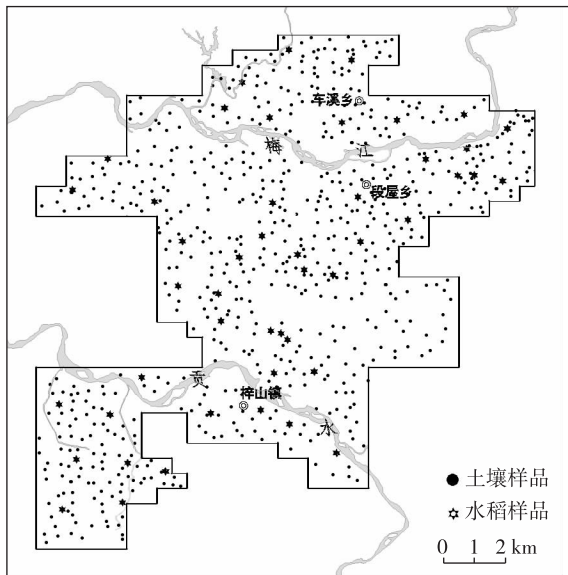


图 1 研究区样点位置图

Fig. 1 Map show sampling locations in the study area

### 2.2 样品采集

采集的土壤元素全量分析在国土资源部武汉矿产资源监督检测中心完成,水稻样品元素分析及土壤样品形态分析在国土资源部合肥矿产资源监督检测中心完成。土壤样品主要分析 Se、As、Cd、Cr、Hg、Pb、Cu、Zn、Ni 等元素,植物样品主要分析 Se、As、Cd、Cr、Hg、Pb 等元素,不同样品的分析方法及检出限见表 1。所有测试结果均满足 DD2005-3《生态地球化学评价样品分析技术要求》规定的精密度和准确度要求,对重复样相对偏差(RD =

$|A_1 - A_2| / (A_1 + A_2) \times 100$ ) 的统计分析表明,样品的合格率均  $>85\%$ ,检测结果可信。

表 1 样品分析方法及检出限/(mg · kg<sup>-1</sup>)

Table 1 Analysis methods and detection limits of the samples

品种	元素	方法	检出限
土壤	Se	原子荧光法	0.01
	As	原子荧光法	1.00
	Cd	无焰原子吸收法	0.03
	Cr	X 荧光法	5.00
	Pb	发射光谱法	2.00
	Hg	原子荧光法	0.000 5
植物	Se	原子荧光法	0.01
	As	原子荧光法	0.30
	Cd	无焰原子吸收法	0.03
	Cr	X 荧光法	0.20
	Pb	发射光谱法	0.10
	Hg	原子荧光法	0.005

## 3 土壤中 As 等重金属元素含量特征及环境质量评价

### 3.1 土壤中 As 等重金属元素含量特征

对富硒土壤资源进行开发,除土壤富硒外,生产基地的土壤环境质量还应达到国家土壤环境质量 GB15618-1995 二级及以上标准。研究区土壤中 As 等重金属含量元素测试结果如表 2 所示,其平均含量由高到低依次为 Zn>Cr>Pb>Cu>Ni>As>Cd>Hg。

### 3.2 环境质量评价

参照国家土壤环境质量标准 GB15618-1995 二级标准限量值,采用单项污染指数法对研究区土壤进行单指标土壤环境地球化学等级划分评价,结果见表 2。研究区土壤中 As、Cd 等 8 种重金属元素的单项环境质量等级多为一级,而受污染的三级、四级及五级分布图斑面积较少,如土壤 As 一级(清洁区)土壤图斑面积为 12 004.35 hm<sup>2</sup>,占全区面积的 97.8%;二级(较清洁区)土壤图斑面积为 22.17 hm<sup>2</sup>,占全区面积的 0.18%;三级(轻度污染区)土壤图斑面积为 244.52 hm<sup>2</sup>,占全区面积的 1.99%;四级(中度污染区)土壤图斑面积为 1.93 hm<sup>2</sup>,占全区面积的 0.02%;五级(重度污染区)土壤在该区几乎没有分布。

在单指标土壤环境地球化学等级划分的基础上,采用一票否决法进行土壤环境地球化学综合等

表 2 土壤中 As 等重金属元素含量及环境质量等级统计  
Table 2 Contents of heavy metals in soil and statistics of environmental quality levels

元素	含量(范围)	单指标环境质量等级(面积/比例)				
		一级 $P \leq 0.7$	二级 $0.7 < P \leq 1$	三级 $1 < P \leq 2$	四级 $2 < P \leq 4$	五级 $P \geq 4$
As	6.32(0.70~395.70)	12 004.35/97.81	22.17/0.18	244.52/1.99	1.93/0.02	0/0
Cd	0.10(0.01~1.95)	12 234.59/99.69	19.87/0.16	18.51/0.15	0/0	0/0
Hg	0.09(0.01~3.23)	12 138.25/98.90	118.00/0.96	8.43/0.07	0.59/0.00	7.68/0.06
Pb	30.13(8.10~93.30)	12 272.97/100.00	0/0	0/0	0/0	0/0
Cr	52.20(11.20~274.60)	12 074.28/98.38	167.25/1.36	31.43/0.25	0/0	0/0
Cu	17.94(4.60~119.90)	12 010.93/97.86	254.95/2.08	7.08/0.06	0/0	0/0
Zn	56.28(15.20~292.20)	12 264.80/99.93	8.17/0.07	0/0	0/0	0/0
Ni	15.77(4.00~277.50)	11 489.49/93.62	654.25/5.33	117.6/0.96	11.63/0.09	0/0
综合环境质量等级		11 318.55/92.22	564.51/4.60	368.66/3.00	13.56/0.11	7.68/0.06

注:含量单位为 mg/kg,面积单位为  $\text{hm}^2$ ,比例单位为%, $n=712$ 。

级评价,即每个评价单元的土壤环境地球化学综合等级等同于单指标划分出环境等级最差的等级。结果表明,研究区土壤环境质量总体优良,一级清洁区(未受任何重金属污染)的土壤图斑面积为  $11\,318.55\text{ hm}^2$ ,占研究区总面积的 92.22%;二级较清洁区的土壤图斑面积为  $564.51\text{ hm}^2$ ,占研究区总面积的 4.60%;三级轻度污染区的土壤图斑面积为  $368.66\text{ hm}^2$ ,占研究区总面积的 3.00%;中度污染区和重度污染区的土壤图斑面积分别占研究区总面积的 0.11%和 0.06%。

研究区土壤 Se 含量为  $0.08\sim 4.18\text{ mg/kg}$ ,平均含量为  $0.29\text{ mg/kg}$ ,富硒样品共 154 件,富硒率为 21.63%,富硒土壤区主要分布于梅江与贡水之间的低丘及岗地,而河流两岸的农田富硒土壤分布面积较少。对研究区富硒土壤及非富硒土壤样品

中 As 等重金属元素含量进行统计(表 3),可知,富硒土壤区 As 等 8 种重金属元素含量均高于非富硒土壤区的重金属元素含量,尤其富硒土壤区的 As、Cr、Ni 等元素含量分别是非富硒土壤区 As、Cr、Ni 等元素含量的 2.48 倍、2.22 倍和 2.25 倍。参照国家土壤环境质量标准 GB15618-1995 二级标准限量值,与非富硒土壤相比,富硒土壤的 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni 等 6 种重金属元素超标的样品数和超标率较高,如富硒土壤样品中 Cd 元素超标 20 件,超标率为 12.99%;而非富硒土壤样品中 Cd 元素超标 12 件,超标率为 2.15%。这可能由于煤系地层中除富含 Se 元素外,也富含 As、Cd 等重金属元素。岩石自然风化及人类矿产开采活动为梓山地区土壤提供丰富的 Se 外,也带来了 Cd、Ni、Cr 等重金属元素。

表 3 研究区土壤富硒区及非富硒区重金属元素含量统计/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )  
Table 3 Contents of heavy metals in both Se-rich and Se-poor soils in the studied area

类别	项目	Se	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
富硒区 ( $n=154$ )	含量	0.86	16.1	0.15	103.9	25	0.14	32.9	31.1	70.9
	超标数	—	11	20	24	2	6	35	0	0
	超标率%	—	7.14	12.99	15.58	1.30	3.90	22.73	0	0
非富硒区 ( $n=558$ )	含量	0.24	6.5	0.12	46.9	17.3	0.11	14.6	30.5	56.6
	超标数	—	2	12	0	0	3	3	0	0
	超标率%	—	0.36	2.15	0	0	0.54	0.54	0	0

#### 4 水稻中 As 等重金属元素安全性评价及富集特征

水稻中 As 等重金属元素含量见表 4。由表 4

可知,稻米中 Cd、Hg、Pb、Cr 等重金属元素含量达标,其中 1 件稻米样品 As 元素含量为  $0.568\text{ mg/kg}$ ,略微超标( $0.5\text{ mg/kg}$ )。参照国家食品卫生限量值标准(表 4),稻米中 As 等重金属元素

含量均达标,食品合格率为 100%。

表 4 梓山地区稻米 As 等元素含量/(mg·kg<sup>-1</sup>)  
Table 4 Contents of heavy metals in rice in the Zishan area

元素	As	Cd	Hg	Pb	Cr	Se
均值	0.253	0.055	0.004	0.045	0.144	0.087
最小值	0.161	0.006	0.002	0.026	0.102	0.039
最大值	0.568	0.159	0.006	0.095	0.255	0.509
标准方差	0.07	0.01	0.07	0.04	0.03	0.01
变异系数	0.29	0.28	0.79	0.76	0.22	0.31
富集系数/%	5.16	42.65	3.56	0.14	0.29	30.91
无公害(≤)*	0.5	0.2	0.02	0.4	/	/
食品卫生(≤)**	0.7	0.2	0.02	0.4	1.0	/

注: \* 数据来源 NY5115-2008; \*\* 数据来源 NY861-2004; n = 46。

稻米中 Se 元素平均含量为 0.087 mg/kg, 含量范围为 0.039~0.509 mg/kg。参照国家富硒稻谷标准硒含量区间 0.04~0.3 mg/kg<sup>[11]</sup>, 该地区有 45 件稻谷样品达到富硒标准, 富硒率为 97.83%。

假定水稻中重金属元素均来自土壤, 统计梓山地区稻米的生物富集系数(表 4), 结果表明稻米对不同重金属元素的富集能力差异较大, 其中稻米对

Cd 和 Se 的富集能力较强, 富集系数分别为 42.65% 和 30.68%, 稻米对 As 和 Hg 的富集系数分别为 5.16% 和 3.56%, 而稻米对 Pb、Cr 的富集能力较弱, 均<1%。

研究区 46 件水稻根系土中, 富硒样品为 5 件, 足硒样品为 36 件, 乏硒样品为 5 件, 说明在不同 Se 含量(富硒、足硒、乏硒)的农田中均可产富硒水稻。水稻根系土中有 2 件样品 Cd 元素含量超标, 1 件 Hg 元素含量超标, 即在不同重金属元素含量(清洁、超标)的农田中均可产符合国家食品卫生标准的安全水稻, 说明水稻对 Se 和 As 等重金属元素的富集能力不仅与土壤中重金属元素总量有关, 还与其有效含量或生物有效性相关<sup>[12-15]</sup>。

研究区水稻 Se 和 As、Cd 等重金属元素的富集系数与其根系土相应元素含量呈负相关(图 2), 随着水稻根系土 As、Cd 等重金属元素含量上升, 水稻对 As、Cd 等重金属元素的生物富集能力下降, 如根系土 Cd 元素含量由 0.20 mg/kg 上升至 0.30 mg/kg 时, 水稻对 Cd 元素的富集系数以乘幂指数方程形式由约 50.00% 快速下降至 10.00% 左右。

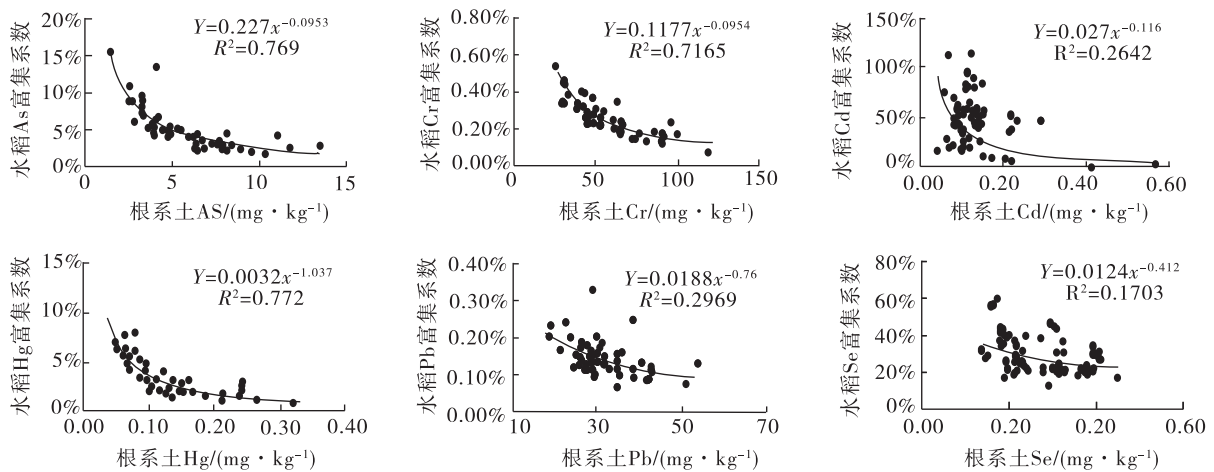


图 2 研究区水稻 As 等元素富集系数与其根系土元素含量关系散点图

Fig. 2 Scatter plots showing enrichment coefficients of elements such as As in rice and contents of elements in root soils in the study area

## 5 土壤 As 等重金属元素生物有效性的影响因素

土壤重金属元素的有效量反映了植物可吸收利用的含量水平, 其有效性(元素有效量与其总量

比值)是影响植物对重金属元素富集能力的重要因素。重金属元素的离子交换态、水溶态、碳酸盐态可直接被植物吸收, 对植物危害大, 而重金属其他形态很难直接被植物吸收, 对植物的危害较小。本文将植物可直接吸收利用的水溶态、离子交换态和

碳酸盐态三者之和称为活动态(可利用态),将腐植酸态、铁锰氧化态、强有机结合态及残渣态四者之和称为稳定态<sup>[9-10]</sup>。

研究区表层土壤 As 等重金属元素形态百分含量统计见表 5。由表 5 可知,土壤中 As 等重金属元素各形态含量变化较大,但多数元素(除 Cd)稳定态

百分含量占优势,范围为 82.39%~97.42%。

表层土壤可被植物直接吸收的活动态 Cd 百分含量最高,为 43.29%,其次为活动态 Pb,百分含量为 17.61%。活动态 Ni、活动态 Cu、活动态 Zn、活动态 As、活动态 Se 和活动态 Cr 的百分含量分别为 10.37%、9.47%、5.04%、4.88%、2.74%和 2.58%。

表 5 表层土壤 As 等重金属元素形态百分含量统计/(n=13)

Table 5 Percentage compositions of heavy metal elements such as As in topsoil

元素	水溶态	离子交换态	碳酸盐态	腐殖酸态	铁锰氧化态	强有机态	残渣态	活动态	稳定态
As	2.58	0.92	1.38	22.80	10.28	3.96	58.08	4.88	95.12
Cd	3.24	23.25	16.80	10.76	14.22	9.77	21.96	43.29	56.71
Pb	1.52	11.06	5.03	6.23	16.00	5.99	54.18	17.61	82.39
Cr	1.11	0.19	1.29	13.13	1.49	7.58	75.22	2.58	97.42
Cu	3.45	2.39	3.62	12.95	15.86	12.12	49.60	9.47	90.53
Zn	1.00	2.91	1.13	6.64	3.19	6.77	78.36	5.04	94.96
Ni	1.45	5.97	2.95	7.47	7.53	9.10	65.54	10.37	89.63
Se	0.91	0.86	0.97	32.63	1.38	35.79	27.47	2.74	97.26
均值	1.91	5.94	4.15	14.07	8.74	11.39	53.80	12.00	88.00

将 As 等重金属元素活动态百分含量与总量、有机质、pH、 $\text{TFe}_2\text{O}_3$  作相关性矩阵分析(表 6)。可知,土壤 As、Cr、Cu、Zn、Ni 和 Se 活动态百分含量与其总量呈较好的负相关,其相关系数分别为 -0.77、-0.71、-0.72、-0.77、-0.56 和 -0.67,随土壤元素总量增加,其可被植物吸收利用的活动

态百分含量降低(图 3)。对比图 2 和图 3 可知,水稻 As 等重金属元素的富集系数、土壤 As 等重金属元素的生物有效性均与土壤中相应元素具有类似的变化趋势,说明土壤中 As 等重金属元素的生物有效性影响水稻对 As 等重金属元素的吸收。

表 6 土壤中 As 等重金属元素活动态百分含量与其总量、有机质、pH 及  $\text{TFe}_2\text{O}_3$  等的相关矩阵(n=13)

Table 6 Correlation matrix of percentage compositions of heavy metals, total amount, organic matter, pH and  $\text{TFe}_2\text{O}_3$  in the soil

	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Ni	Se
总量	-0.77	—	-0.71	-0.72	—	-0.77	-0.56	-0.67
有机质	—	0.66	—	—	—	0.61	—	—
pH	—	—	—	-0.51	-0.56	—	—	—
$\text{TFe}_2\text{O}_3$	-0.75	-0.50	-0.56	—	—	-0.59	—	-0.51

活动态 Cd、Zn 与土壤有机质呈较好的正相关,相关系数分别为 0.66 和 0.61,其他元素与土壤有机质没有显著的相关性。

活动态 Cu、Pb 与土壤 pH 呈较好的负相关,相关系数分别为 -0.51 和 -0.56,而其他元素与土壤 pH 没有显著的相关性。研究区土壤呈酸性,如形态样品土壤 pH 为 4.62~5.76,变化幅度较小且酸化较严重,可能导致多数土壤中的重金属元素形态含量无显著变化。

土壤 As、Cd、Cr、Zn 和 Se 活动态百分含量与土壤  $\text{TFe}_2\text{O}_3$  呈较好的负相关,其相关系数分别为 -0.75、-0.50、-0.56、-0.59 和 -0.51,可能由于梓山地区自然形成的土壤具有脱硅富铁铝的特征,而铁铝氧化物形成的  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  胶体或粘土矿物等将吸附或固化土壤中的 As 等元素,降低了这些元素的迁移活动能力和生物可利用性。

总体而言,土壤中 As 等重金属元素的生物有效性主要受其总量及  $\text{TFe}_2\text{O}_3$  含量的制约,随总量、

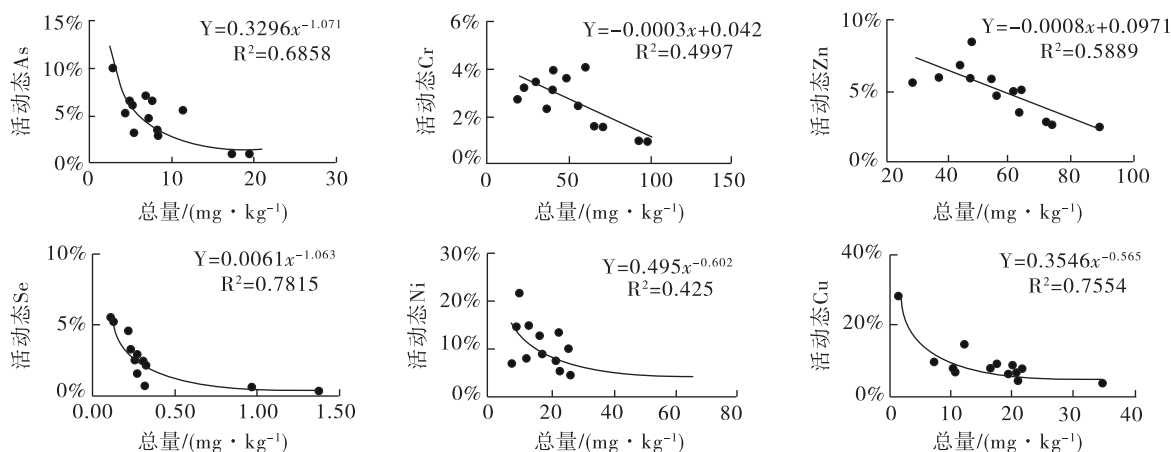


图 3 研究区土壤中 As 等重金属元素活动态百分含量与其总量散点图

Fig. 3 Scatter plots showing the relationship between percentage compositions of heavy elements and the total amount in soil in the study area

TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量的增高,重金属元素更倾向于以稳定态形式赋存,活动态百分含量降低,重金属的生物有效性也随之降低,水稻对重金属元素的富集能力随之下降。土壤中虽存在重金属超标现象,但其生物有效性较低,不利于重金属元素向水稻中聚集,水稻中的重金属元素含量较低。水稻高硒低重金属元素的特征说明,研究区存在重金属轻微超标的农田可以开发富硒大米。

## 6 结论及建议

(1)研究区土壤环境质量总体优良,清洁和较清洁的土壤图斑面积为11 883.06  $\text{hm}^2$ ,占全区面积的 96.82%。研究区土壤局部存在 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni 等重金属元素轻微超标,且主要分布于富硒土壤区。

(2)46 件水稻样品中 As、Cd、Cr、Pb、Hg 等元素含量较低,符合国家食品安全水平。水稻中 Se 含量达 0.087  $\text{mg/kg}$ ,富硒率高达 97.83%。水稻富硒贫 As 等重金属元素是开发水稻富硒农产品的前提。

(3)水稻对 As 等重金属元素的吸收富集能力受土壤中相应的 As 等重金属元素总量及其有效性制约,重金属元素的生物有效性主要受其总量与 TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的控制。梓山地区土壤 As 等重金属元素的生物有效性较低,不利于水稻对 As 等重金属元素的吸收。在重金属元素含量轻微超标的高背景

区,可生产出符合国家食品安全的稻谷,也为煤系地层区的富硒土壤资源开发提供参考。

(4)因不同农作物对重金属元素的敏感性不同,本次研究仅采集水稻 1 种介质,下一步需采集其他农作物样品进一步探讨富硒农产品的安全性,同时需增加水稻根、茎、叶中重金属元素含量测试,为土壤—重金属元素的迁移提供生物学依据。

## 参考文献

- [1] 戎秋涛,翁焕新. 环境地球化学[M]. 北京:地质出版社,1990:231-233.
- [2] 文帮勇,张涛亮,李西周,等.江西龙南地区富硒土壤资源开发可行性研究[J]. 中国地质,2014,41(4): 256-263.
- [3] 宋明义,刘建新,黄春雷.浙北富硒土壤地球化学特征与生物学效应[J]. 广东微量元素科学,2012,19(3): 61-68.
- [4] 宋明义,冯雪外,周涛发,等.浙江典型富硒区硒与重金属的形态分析[J]. 现代地质,2008,22(6):960-965.
- [5] 牟明辉,石杨程,张晓晴,等.恩施富硒茶园土壤重金属和氟含量及风险评价[J]. 河南农业科学,2016,45(5): 571-579.
- [6] 李慧,魏昌华,鲍征宇,等.恩施富硒茶叶中 Se 含量与对应土壤中 Se 及重金属元素 As、Cd、U 的关系[J]. 地质科技情报,2011,30(3):103-107.
- [7] 耿建梅,王文斌,温翠萍,等.海南稻田土壤硒与重金属的含量、分布及其安全性[J]. 生态学报,2012,32(11): 3477-3486.

- [8] 肖钰杰.富硒土壤重金属在农作物中的迁移转化特征及硒的影响效应[D].海口:海南大学,2014:43-54.
- [9] 杨明桂,王光辉,徐梅桂,等.江西省及邻区滨太平洋构造活动的基本特征[J].华东地质,2016,37(1):10-18.
- [10] 贾十军.安徽省富硒土壤评价标准及富硒土壤成因浅析[J].资源调查与环境,2013,34(2):133-138.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 富硒稻谷[M].北京:中国标准出版社,2009.
- [12] 雷鸣,廖柏寒,秦普丰,等. 土壤重金属化学形态的生物可利用性评价[J]. 生态环境学报, 2007, 16(5): 1151-1556.
- [13] 雷鸣,廖柏寒,秦普丰,等. 矿区污染土壤 Pb、Cd、Cu 和 Zn 的形态分布及其生物活性的研究[J]. 生态环境学报, 2007, 16(3): 807-811.
- [14] 文帮勇,黄锦,张涛亮,等. 赣南大余地区农田土壤 As、Cd 元素化学形态含量分析[J].华东地质,2015,36(4): 298-306.
- [15] 陈学诚,李生志,董文庚,等.江西省大余污灌田中镉的形态分布及治理研究[J]. 河北轻化工学院学报,1989 (Z):67-72.

## Safety evaluation of heavy metal contents in selenium-rich soil in the Zishan area, Ganzhou, Jiangxi Province

QIE Hai-man, WEN Bang-yong, WANG Ji-qiang, ZHOU Qiang-qiang, LIU Bing-quan

(Geological Survey of Jiangxi Province, Nanchang 330030, China)

**Abstract:** 712 soil samples and 46 rice samples were collected in the Zishan area of Jiangxi Province to test the contents of heavy metals (such as As, Cd, etc) in the soil and rice and finally evaluate safety of land environment in the Zishan area. The test results show that soil environment quality of the study area is generally good. The clean soil area covers an area of 11 883.06 hm<sup>2</sup>, which takes up 96.82% of the total area. The slightly polluted soil area has an area of 368.66 hm<sup>2</sup>, which takes up 3.00% of the total area. The soil polluted by heavy metals is mainly distributed in Se-rich soil areas. The contents of heavy metals such as arsenic in rice samples are low and meet the national food safety standards. Absorption and enrichment ability of rice to heavy metal elements such as As is controlled by soil amount and validity. While bio-availability of heavy metals is mainly controlled by the total heavy metal amount and TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Soil characteristic of desilicization and ferrallitic enrichment indicates that the biological effectiveness of heavy metals such as As is low in the area, which can be used to grow Se-rich rice.

**Key words:** heavy metals; Se-rich soil area; safety evaluation; migration and transformation