

# 贵州省金沙县耕地土壤硒含量特征及其影响因素分析

麻杰磊, 史宝平, 陈 群, 李向平, 谢江涛, 祖正江

(贵州省地矿局 115 地质大队, 贵州 清镇 551400)

[摘 要] 本文利用贵州省金沙县耕地质量地球化学调查评价项目成果, 分析了耕地土壤硒含量特征及其影响因素, 结果显示: 研究区耕地土壤整体表现出富硒特征, 土壤硒主要继承于母岩, 在同一成土母岩环境下, 硒与有机质含量呈显著正相关, 与土壤质地关系表现为黏土>壤土>砂土, 表明土壤中与有机质相关的硒占总硒的主要部分, 硒可能赋存于腐殖质与黏土中。稻谷中硒的生物富集系数与其根系土中有机质含量呈显著负相关( $R=-0.5, p<0.01$ ), 推测研究区水稻土中有机硒主要以胡敏酸硒形式存在, 且占了土壤总硒含量的绝大部分。

[关键词] 金沙县; 耕地土壤; 硒含量; 有机质; 成土母岩

[中图分类号] P632; S159; O613.52 [文献标识码] A [文章编号] 1000-5943(2020)-03-0378-06

硒(Se)在健康饮食与疾病防治上发挥着重要作用, 许多疾病如癌症、心血管疾病、糖尿病、克山病、大骨节病等都与硒元素存在联系(李基文, 2006; Rayman, 2000, 2012; 谭见安, 1989; 王子健, 1993), 由于硒有抑制癌症及重金属的害伤、阻断活性氧和自由基的致病等作用(刘琼, 2009), 素有“长寿元素”之称; 此外, 我国 72% 的县市存在不同程度缺硒(郑达贤, 1982; 王子健, 1993), 使硒成为众多学者共同关注的对象。值此, 本文利用贵州省金沙县耕地质量地球化学调查评价项目成果, 探讨了研究区耕地土壤硒含量特征及其影响因素, 期望为研究区现代山地特色农业的发展提供支撑。

## 1 研究区概况

金沙县位于贵州省西北部, 属云贵高原东部阶梯状大斜坡岩溶地貌, 以低中山地、中丘为主。区域出露地层除泥盆系、白垩系、古近系、新近系缺失外, 自震旦系至第四系均有出露(图 1), 县境内碳酸盐岩类分布占总土地面积 67.95%, 陆源碎屑岩类占总土地面积 32.05%; 境内分布有黄壤、石灰土、紫色土、水稻土、潮土共 5 个土类, 分别占县国

土面积的 46.2%、31.18%、14.19%、8.3%、0.12%。

## 2 样品采集与分析测试

样品采集: 样点布设采用网格加图斑, 充分考虑样点典型性与代表性, 全区按平均 9 点/km<sup>2</sup> 布设, 共采集基本土壤样品 8199 件, 稻谷 31 件及其对应根系土样, 岩石样品 48 件。

样品分析: 所有样品分析均由贵州省地质矿产中心实验室完成, 采用原子荧光谱法(AFS)测定 Se, 容量法(VOL)测定有机质, 电位法(ISE)测定 pH, 分析方法检出限均能满足相关规范要求, 数据质量可靠。

## 3 硒含量特征

金沙县耕地土壤总硒含量范围 0.05 ~ 14.3 mg/kg(表 1), 平均值为 0.72 mg/kg, 背景值为 0.67 mg/kg, 其背景值相比于全国 A 层土壤富集达 2.31 倍, 相比于贵州 A 层土壤富集达 1.8 倍, 低于湖北恩施土壤, 高于青藏高原克山病区。依据《贵州省富硒土壤评价分级标准(试行)》(表

[收稿日期] 2020-04-30 [修回日期] 2020-06-30

[基金项目] 贵州省金沙县耕地质量地球化学调查评价项目(黔地矿耕调 2017-36)。

[作者简介] 麻杰磊(1989—), 男, 地质工程师, 主要从事环境地球化学、旅游地质工作。E-mail: mjielei@cugb.edu.cn。

2)划定耕地土壤硒含量 0.4~3.0 mg/kg 为富硒土壤,全县富硒耕地面积 118.73 万亩,占比 90.60%,硒过剩耕地面积占比 0.19%,低硒-含硒

耕地面积占比 9.21%。总体而言,研究区耕地土壤整体表现为富硒特征,富硒程度以二级富硒(0.5~0.8 mg/kg)为主。

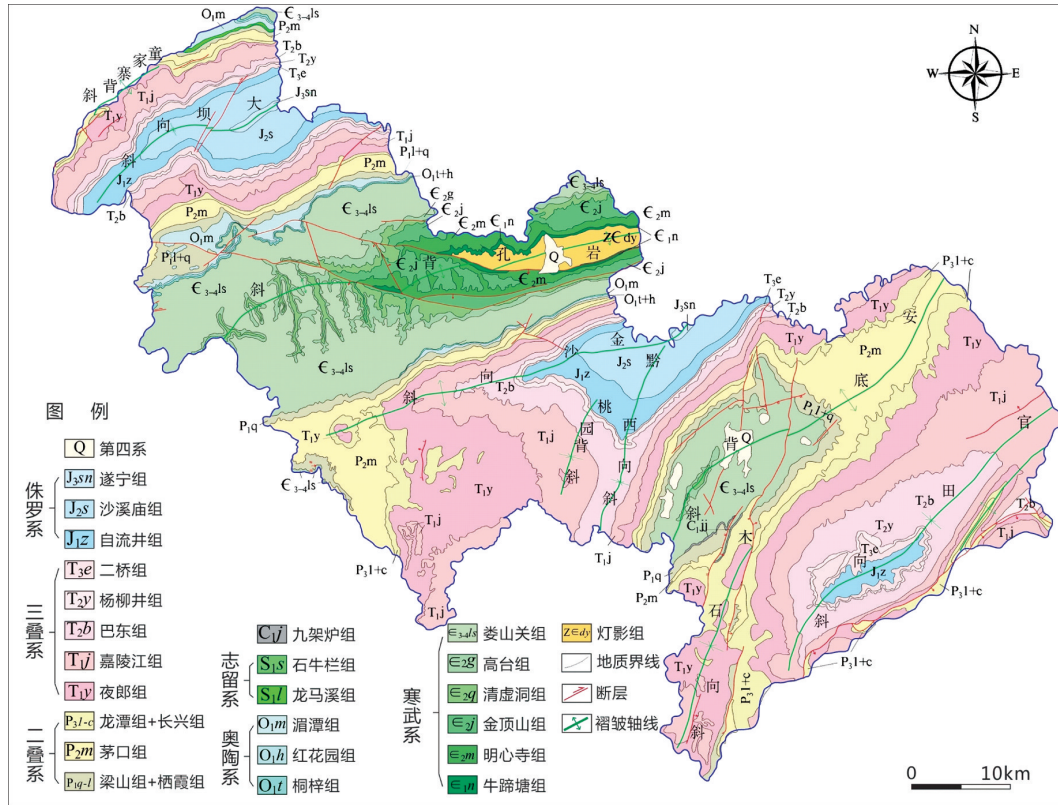


图1 研究区地质简图(据 1:20 万区域地质图,修改)

Fig.1 Geological sketch of the study area

表1 金沙县耕地土壤(Se)含量特征表

Table 1 Characteristics of cultivated soil Se in Jinsha county

统计项目	Se	OM	pH
最小值	0.05	2.7	3.02
最大值	14.3	249.8	8.7
平均值	0.72	30.05	6.22
标准偏差	0.45	13.96	-
变异系数	0.63	0.46	-
背景值	0.67	28.01	6.2
贵州 A 层土壤(何亚琳,1996)	0.37	42.6	6.2
全国 A 层土壤(中国环境监测总站,1990)	0.29	31	6.7
湖北恩施(杨良策,2015)	1.49	-	-
青藏高原克山病区(Zhang,2011)	0.13	-	-

注:有机质(OM)—g/kg,硒(Se)—mg/kg,pH 无量纲,硒背景值为平均值加减 3 倍标准差进行迭代剔除后的平均值

表2 贵州省富硒土壤评价分级标准(试行)

Table 2 Evaluation and grading standard of Se-rich soil in Guizhou province

分级(mg/kg)	过剩	特级	一级	二级	三级	含硒	低硒
	>3.0	1.2~3.0	0.8~1.2	0.5~0.8	0.4~0.5	0.2~0.4	≤0.2
面积(万亩)	0.24	9.35	29.94	62.08	17.35	11.35	0.73
占比(%)	0.19	7.14	22.85	47.37	13.24	8.66	0.55

### 4 硒含量影响因素分析

土壤中硒含量的影响因素一直是研究的热点问题之一,围绕土壤中硒含量的决定因素,硒的表生地球化学过程,众多学者展开了大量研究,张光弟(1998)等、杨良策(2015)等、余涛(2018)等对湖北恩施地区硒的地球化学背景研究中发现,地质背景是表土硒分布的主要控制因素;夏学齐(2012)等认为黑龙江省松嫩平原南部土壤中硒的主要来源为大气干湿沉降;杨忠芳(2012)等对海南岛农田土壤研究发现粘土矿物、有机碳、铁锰氧化物及风化淋溶程度对硒的地球化学行为有重要影响,表层土壤硒含量在一定程度上继承于成土母岩;陈武(2015)等提出了贵州省两个富硒地层即寒武系牛蹄塘组和二叠系龙潭组;朱建明(2007)等对湖北恩施及遵义松林富硒岩石中的硒存在形态进行研究发现,寒武系牛蹄塘组碳质硅质岩中的硒主要以有机结合态和硫化物态硒为主;整体而言,前人对县域尺度尤其是在县域尺度上高密度采样的研究相对较少。

为查明研究区成土母岩对土壤硒来源的贡献,将研究区耕地表层土壤之下的基岩作母岩进行统计,共统计不同时代主要的成土母岩 26 项(表 3),结果显示,岩石中硒含量最高为牛蹄塘组陆源碎屑岩,其均值达 6.98 mg/kg,其次为龙潭组

煤层,为 2.12 mg/kg;土壤硒含量以煤层、碳质岩类形成土壤硒含量最高,均值达 2.24 mg/kg,最低为侏罗系遂宁组陆源碎屑岩形成土壤,均值为 0.27 mg/kg。土壤与母岩中硒含量对比整体上呈共消长关系(图 2),然而,以牛蹄塘组为基岩的土壤中,硒含量并未呈现出明显富集现象,这可能与区内牛蹄塘组的出露面积小有关(图 1),基岩之上的土壤发生搬运迁移而呈多来源性。从各地层形成土壤硒的空间分布看(图 3),土壤中硒含量与成土母岩分布密切相关,硒含量高、低值区与地层分布密切套合,高值区主要集中于二叠系分布区,极高值区与煤系出露区可相套合。由此表明,研究区耕地表层土壤硒主要继承于成土母岩,土壤硒含量高低是成土母岩分布在自然状态下的呈现,可能因母岩出露面积、坡度、成因类型而发生变化。

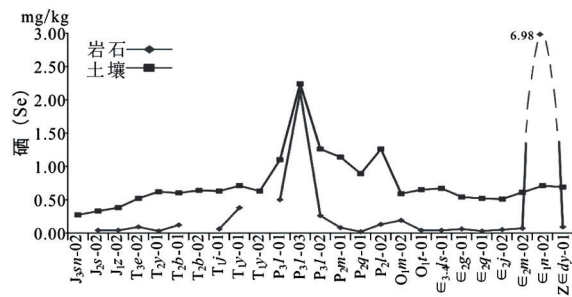


图 2 岩石-土壤硒 (Se) 含量折线图

Fig. 2 Line graph of rock-soil Se

表 3 金沙县岩石-土壤硒 (Se) 含量均值表

Table 3 Average selenium content of rock-soil Se in Jiasha county

系	地层	成土母岩	岩石样品数	土壤样品数	岩石 (Se)	土壤 (Se)
第四系		亚粘土	-	98	-	0.82
侏罗系	遂宁组	陆源碎屑岩	-	21	-	0.27
	沙溪庙组	陆源碎屑岩	4	309	0.04	0.33
	自流井组	陆源碎屑岩	2	312	0.04	0.38
	二桥组	陆源碎屑岩	1	61	0.09	0.52
	杨柳井组	碳酸盐岩	1	173	0.03	0.62
三叠系	巴东组	碳酸盐岩	3	599	0.12	0.6
		陆源碎屑岩	-	212	-	0.64
	嘉陵江组	碳酸盐岩	2	1 558	0.06	0.63
		碳酸盐岩	-	234	-	0.71
	夜郎组	陆源碎屑岩	2	1 019	0.38	0.63
二叠系		碳酸盐岩	2	80	0.5	1.1
	龙潭组	煤、碳质岩	1	26	2.12	2.24
		陆源碎屑岩	4	492	0.26	1.26
	茅口组	碳酸盐岩	4	800	0.08	1.14
	栖霞组	碳酸盐岩	2	280	0.02	0.89
奥陶系	梁山组	陆源碎屑岩	2	20	0.13	1.26
	湄潭组	陆源碎屑岩	1	126	0.19	0.59
	桐梓组	碳酸盐岩	1	16	0.04	0.65

续表

系	地层	成土母岩	岩石样品数	土壤样品数	岩石 (Se)	土壤 (Se)
寒武系	娄山关组	碳酸盐岩	2	1 128	0.04	0.67
	高台组	碳酸盐岩	2	135	0.06	0.54
	清虚洞组	碳酸盐岩	2	126	0.03	0.52
	金顶山组	陆源碎屑岩	2	98	0.05	0.51
	明心寺组	陆源碎屑岩	1	62	0.07	0.61
	牛蹄塘组	陆源碎屑岩	2	28	6.98	0.71
震旦系	灯影组	碳酸盐岩	5	171	0.09	0.69

注:地层代号含义见图1,后两位“01”代表碳酸盐岩,“02”代表陆源碎屑岩,“03”代表煤、碳质岩。

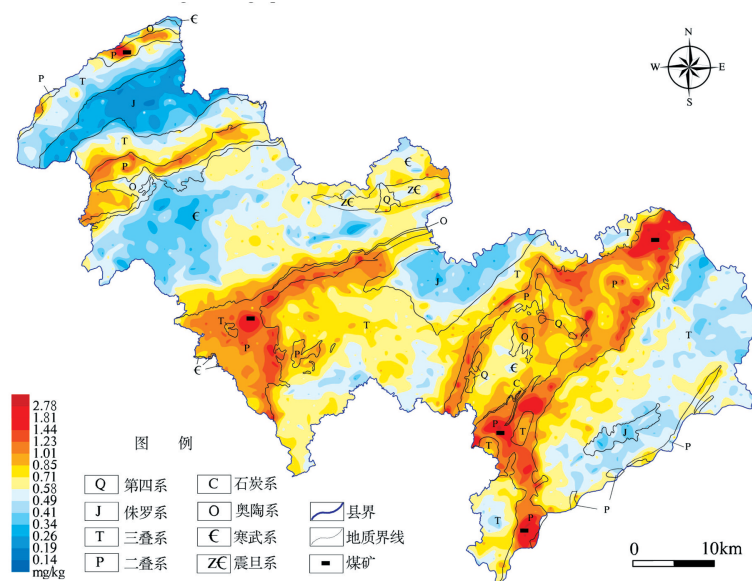


图3 金沙县土壤硒地球化学图

Fig. 3 Geochemical map of soil selenium in Jinsha county

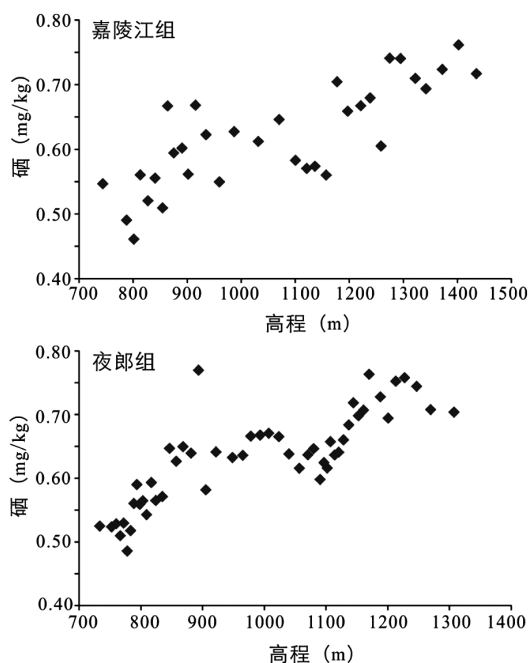


图4 土壤硒-高程关系散点图

Fig. 4 Elevation scatter diagram of soil Se

注:散点代表高程从低至高每30个样平均值

选取研究区出露面积较广的三叠系嘉陵江组碳酸盐岩与夜郎组陆源碎屑岩,在特定的成土母岩环境下,探讨土壤硒含量变化随高程及其成因类型关系,结果显示(图4),土壤硒含量具有随高程增高而增大的趋势,表明在特定的成土母岩环境下,母岩风化成壤过程中,搬运迁移或风化淋滤作用可能会对土壤硒造成一定的损失。在确定的地貌景观区,土壤表生地球化学作用过程中,元素地球化学行为往往取决于其化学性质及土壤有机质、pH、黏土矿物等环境因素(成杭新,2019)。同样选取研究区出露面积较广的三叠系嘉陵江组碳酸盐岩与夜郎组陆源碎屑岩,探讨土壤硒含量随有机质、pH、土壤质地的变化情况,结果显示,土壤硒含量与有机质呈显著正相关(表4),在嘉陵江组及夜郎组为母岩的土壤中相关系数分别为0.539( $p < 0.01$ ),0.726( $p < 0.01$ );土壤硒含量与pH呈显著负相关,两者分别为-0.409( $p < 0.01$ ),-0.341( $p < 0.01$ );两种母岩环境下的土壤硒含量与质地关系均表现为黏土>壤土>砂土(图5),表



明在特定的成土母岩环境下,土壤中与有机质相关的硒是总硒的主要部分,硒可能赋存于腐殖质与黏土中,土壤硒总量会随 pH 的增大而降低。

表 4 硒与有机质、pH 偏相关系数表

Table 4 Partial correlation coefficient of selenium, soil organic matter and pH value

母岩	相关性	有机质 (pH 控制)	pH (有机质控制)
嘉陵江组碳酸盐岩	Se	0.539**	-0.409**
夜郎组陆源碎屑岩	Se	0.726**	-0.341**

注: \*\* 在 0.01 水平(双侧)上显著相关

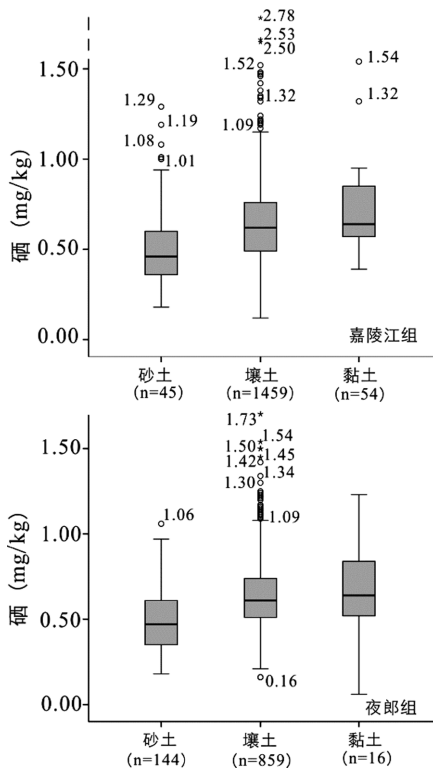


图 5 土壤硒-土壤质地分组箱式图

Fig. 5 Group box graph of soil Se-soil texture

土壤中硒的赋存形态是硒迁移度和生物可利用度的决定因素,王子健(1993)对中国低硒带土壤研究发现硒主要赋存于腐殖质及残余晶格中;朱建明(2008)等使用 7 步法浸提并测定了湖北恩施高硒区土壤结合态硒,发现硒结合态分布有 4 种不同类型;Qin(2012)等研究发现不同类型富硒农田土壤中硒主要以有机硒形式存在。本次工作采集 31 件稻谷样品,参照稻谷富硒标准:0.04 ~ 0.30 mg/kg(谢健,2008),稻谷富硒样品数 19 件,硒含量多集中在 0.04 ~ 0.09 mg/kg,为探究农田土壤硒可能的存在形态,对硒的生物富集系数(生物富集系数 = 农作物硒/根系土硒 \* 100%)进行

统计分析,结果显示稻谷中硒的生物富集系数与其根系土中有机质含量呈显著负相关( $R = -0.5, p < 0.01$ ),而与 pH 的相关关系不显著( $R = -0.235, p > 0.05$ )(表 5),表明研究区水稻土中有机质含量的升高会使稻谷对硒的吸收利用率降低。前人研究发现,硒与有机质高度结合的自然现象较普遍,腐质酸硒结合态有胡敏酸与富里酸结合态,其中胡敏酸是一类能溶于碱溶液而被酸溶液所沉淀的腐殖质物质,富里酸分子量较小,可溶于酸也溶于碱,与其结合的硒更容易矿化分解而被植物吸收利用(秦海波,2017),说明研究区水稻土中较高的有机质含量,对土壤中硒的存在起到了固定作用,在全县整体偏酸的土壤环境中,使得水稻土中有机质含量表现为有碍于水稻对硒的吸收,由此推测,研究区水稻土中有机硒主要以胡敏酸硒形式存在,且占了土壤总硒的绝大部分。

表 5 稻谷硒生物富集系数与根系土有机质、pH 偏相关系数表

Table 5 Partial correlation coefficient of the Se bioconcentration factors (BCF) in rice, soil organic matter and pH

相关性	有机质 (pH 控制)	pH (有机质控制)
稻谷 Se 生物富集系数	-0.500**	-0.235

注: \*\* 在 0.01 水平(双侧)上显著相关

### 5 结论

(1)研究区耕地土壤总硒含量范围 0.05 ~ 14.3 mg/kg,平均值为 0.72 mg/kg,整体表现出富硒特征,富硒程度以二级富硒(0.5 ~ 0.8 mg/kg)为主。

(2)研究区耕地土壤硒主要继承于成土母岩;在特定母岩环境下,土壤中与有机质相关的硒是土壤总硒的主要部分,硒可能赋存于腐殖质与黏土中,土壤硒总量随土壤 pH 的增大而降低,而搬运迁移或风化淋滤作用可能会对土壤硒造成一定的损失。

(3)通过对稻谷中硒的生物富集系数与根系土中 pH、有机质进行分析显示,研究区水稻土中有机质含量的升高会使稻谷对硒的吸收利用率降低,推测研究区水稻土中有机硒主要以胡敏酸硒形式存在,且占了土壤总硒含量的绝大部分。

## [参考文献]

- 成杭新,彭敏,赵传冬,等. 2019. 表生地球化学动力学与中国西南土壤中化学元素分布模式的驱动机制[J]. 地学前缘, 26(06):159-191.
- 陈武,朱生亮,谯文浪. 2015. 贵州省富硒地层及其农业地质应用[J]. 贵州科学, 33(05):27-32.
- 何亚琳. 1996. 贵州省土壤含硒量及其分布[J]. 土壤学报, 33(4):391-397.
- 李基文. 2006. 微量元素硒与健康的研究进展[J]. 职业卫生与应急救援, (02):22-25.
- 刘琼,姜亮,田静,等. 2009. 硒蛋白的分子生物学及与疾病的关系[J]. 化学进展, 21(5):819-830.
- 秦海波,朱建明. 2017. 中国典型高硒区硒的环境地球化学研究进展[J]. 生物技术进展, 7(05):367-373.
- 谭见安. 1989. 环境硒与健康[M]. 北京:人民卫生出版社.
- 王子健. 1993. 中国低硒带生态环境中硒的环境行为研究进展[J]. 环境化学, 012(03):79-85.
- 夏学齐,杨忠芳,薛圆,等. 2012. 黑龙江省松嫩平原南部土壤硒元素循环特征[J]. 现代地质, 26(05):850-858+864.
- 谢健,邓霄,杨林,等. 2008. 富硒稻谷:GB/T 22499-2008[S]. 中国标准出版社.
- 杨良策,李明龙,杨延安,等. 2015. 湖北省恩施市表层土壤硒含量分布特征及其影响因素研究[J]. 资源环境与工程, 29(6):825-829.
- 杨忠芳,余涛,侯青叶,等. 2012. 海南岛农田土壤 Se 的地球化学特征[J]. 现代地质, 26(05):837-849.
- 余涛,杨忠芳,王锐,等. 2018. 恩施典型富硒区土壤硒与其他元素组合特征及来源分析[J]. 土壤, 50(06):63-69.
- 张光弟,葛晓立,张绮玲,等. 1998. 湖北恩施地区硒地质地球化学环境背景[J]. 地球学报, 019(1):59-67.
- 朱建明,秦海波,罗泰义,等. 2007. 西南寒武、二叠系富硒碳质岩中硒结合态的比较研究[J]. 高校地质学报, 013(001):69-74.
- 朱建明,秦海波,李璐,等. 2008. 湖北恩施渔塘坝高硒土壤中硒的结合态[J]. 环境科学学报, (04):772-777.
- 郑达贤,李日邦,王五一. 1982. 初论世界低 Se 带[J]. 环境科学学报, 2(3):241-249.
- 中国环境监测总站. 1990. 中国土壤元素背景值[M].
- Baojun Zhang, Linsheng Yang, Wuyi Wang, et al. 2011. Environmental selenium in the Kaschin-Beck disease area, Tibetan Plateau, China[J]. Environmental Geochemistry & Health, 33(5):495-501.
- Rayman M P. 2012. Selenium and human health[J]. Lancet(London, England), 379(9822):1256-1268.
- Rayman M P. 2000. The importance of selenium to human health[J]. Lancet, 356(9225):233-241.
- Qin H B, Zhu J M, Su H. 2012. Selenium fractions in organic matter from Serich soils and weathered stone coal in selenosis areas of China[J]. Chemosphere, 86:626-633.

## Analysis on Soil Selenium Content Characteristics and Its Influencing Factors of Cultivated Land in Jinsha County, Guizhou Province

MA Jie-lei, SHI Bao-ping, CHEN Qun, LI Xiang-ping, XIE Jiang-tao, ZU Zheng-jiang

(115 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology & Mineral Exploration and Development, Qingzhen 551400, Guizhou, China)

[Abstract] In this paper, according to the results of geochemical survey of cultivated soil in Jinsha county, the characteristics of selenium content and risk factors are analyzed. The results show that the cultivated soil in the study area is rich in selenium. Soil selenium mainly comes from parent rock. In the same parent rock environment, there was a significant positive correlation between soil selenium and organic matter. And the relationship with soil texture is clay>loam>sand. It shows that organic matter related selenium is the main part of total selenium in soil, and Selenium may hosted in humus and clay. By analyzing the selenium content of rice, we found that, there was a significant negative correlation between the bioconcentration factors (BCF) of Se in rice and the content of organic matter in its root soil ( $R = -0.5, P < 0.01$ ). It is speculated that the organoselenium in paddy soil may be mainly in the form of humic acid selenium, and it accounts the most of the total selenium content in the soil.

[Key Words] Jinsha county; Cultivated soil; Selenium; Organic matter; Soil forming rock