

黔南荔波地区耕地土壤中硒的分布特征及影响因素分析

周文龙,张 涛,吴昭阳,杨志忠,杨朝贵

(贵州省有色金属和核工业地质勘查局地质矿产勘查院,贵州 贵阳 550005)

[摘 要]依据贵州省荔波县耕地质量地球化学调查数据,分析了耕地土壤中硒的分布特征和影响因素。结果显示耕地表层土壤硒含量在 $0.02 \times 10^{-6} \sim 9.49 \times 10^{-6}$ 之间,硒平均含量为 0.42×10^{-6} ,富硒耕地($0.4 \times 10^{-6} \sim 3.0 \times 10^{-6}$)占总耕地面积达61.99%。分析显示:①成土母质(母岩)对土壤中硒元素的含量具有控制作用,土壤硒高值区与炭质泥页岩、煤系地层展布区吻合,粘土岩、泥页岩、砂岩等分布区对应大面积的土壤硒低值区,而黎明关水族乡一带耕地土壤硒的相对富集与碳酸盐岩风化过程中硒的次生富集作用相关;②不同利用方式土地中土壤硒含量呈现出茶园>林地>草地>旱地>果园>水田的特点;③土壤有机含量与硒含量呈现正相关性。

[关键词]耕地;土壤硒;分布特征;影响因素

[中图分类号]P632;S159;O613.52 [文献标识码]A [文章编号]1000-5943(2020)-03-0313-07

1 引言

研究证明,硒(Selenium, Se)是人类和动物所必需的微量元素之一,其具备有效拮抗重金属,并提高人体免疫力、抗衰老、预防癌症等生物学功能(葛晓立等 2000, Fordyce F M et al. 2000)。硒缺乏可引起人类和动物发生克山病、大骨节病和白肌病等,而摄入过量的硒也可能造成硒中毒(朱建明等 2008, 张光弟等 2001, Fordyce F M et al. 2000, Tan J A et al. 2002)。从世界范围来看,硒在地壳中分布极不均匀,其含量在 $0.01 \times 10^{-6} \sim 2.00 \times 10^{-6}$ 之间,我国土壤硒背景值为 0.29×10^{-6} ,全国有72%的地区处于缺硒和低硒状态(周墨等 2018, 王锐等 2017, Yu Tao et al. 2014)。贵州省土壤A层硒平均含量 0.37×10^{-6} (中国环境监测总站 1990, 何亚琳 1996),其含量呈现由北向南及随地势下降而增加的趋势(何亚琳 1996)。大量研究显示土壤中硒的含量受成土母质、土壤理化性质、土地利用方式、土壤有机质等因素的影响(张光弟等 2001, 周墨等 2018, 王锐等 2017, Yu Tao et

al. 2014)。研究认为通过食物链转化方式而获得硒是人体最主要和最安全可行的途径(葛晓立等 2000),而天然富硒土壤是农作物硒的主要来源,研究硒在土壤中的分布及影响因素对合理的规划和利用宝贵的富硒土地具有重要意义。

本文依托贵州省荔波县耕地质量地球化学调查评价项目,对荔波县耕地土壤硒的分布特征进行了阐述,结合表层土壤、成土母岩等样品的分析数据初步探讨了成土母质、土地利用方式和土壤有机质对耕地土壤中硒分布的影响。以期在当地山地特色农业发展和富硒耕地合理的规划利用提供科学依据。

2 研究区概况

研究区位于贵州省南部,与广西河池接壤,地理坐标东经 $107^{\circ}37' \sim 108^{\circ}18'$,北纬 $25^{\circ}7' \sim 25^{\circ}9'$,面积约 2431 km^2 ,属亚热带季风气候,地貌整体呈现出北东高西南低,中部为槽谷的形态特征,其中最高峰位于佳荣镇月亮山,全区除荔波向斜、茂兰向斜和月亮山片区外大部发育岩溶-峰丛洼

[收稿日期]2020-03-24 [修回日期]2020-05-12

[基金项目]贵州省公益地勘基金项目(黔耕调(2017-03),黔色耕调(2017-03-33))资助。

[作者简介]周文龙(1984—),男,硕士研究生,高级工程师,从事矿产地质、旅游地质及农业地质工作。

地、谷地地貌。大地构造上处于扬子准地台-黔南台陷与华南褶皱带的接合带,主要出露地层有南华系、震旦系、寒武系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系、白垩系及第四系;其中三叠系、白垩系及第四系地层主要出露于荔波向斜、方村向斜轴部大致呈北东-南西向展布;而南华系、震旦系、寒武系和泥盆系基本出露于佳荣镇片区;石炭系和二叠系为区内出露面积最大地层,尤以茂兰镇-黎明关水族乡最为典型。全区岩性以灰岩为主,兼有粘土岩、泥页岩、砂岩和炭质泥页岩等。全区土壤类型以水稻土、石灰土、红壤、黄壤和粗骨土为主,其中水稻土占大部分,而石灰土广泛分布于灰岩出露区的旱地、林地和草地中,红壤只在荔波向斜轴部以南和黎明关水族乡南部区域有分布,黄壤则广泛分布于海拔 800 m 以上旱地、林地和草地中。耕地利用类型以水田、旱地为主,兼有部分果园和茶园,其中水田广泛分布全区,果园在荔波向斜朝阳-玉屏一带最为集中,茶园只在甲良镇有少量分布。全区大宗农产品有水稻、荔波蜜柚、辣椒等,其中荔波蜜柚为国家地理标志保护农产品,有一个现代高效农业示范园区“荔波县樟江精品水

果及休闲观光农业示范园区”。

3 数据来源

3.1 样品采集与测试分析

研究区样品数据来源于《贵州省荔波县耕地质量地球化学调查评价》项目(1:50000)。样品采集以耕地和园地为主采集表层土壤样品 2368 件(含重复样),平均点密度 14 点/km²,无耕地分布区域在林地或草地中以 4 km² 一个样进行控制。采样以 GPS 定点为中心确定主样坑,在 30~50 m 范围内向四周采集 4 个分样点,等分组合成 1 件样品,采集深度为 0~20 cm,采集鲜样重量大于 1.0 kg。样品采集结合采样点地形、地貌及耕地分布情况,灵活采用“S”形、“X”形或棋盘形采样法,同时避开沟渠、田埂、林带、路边、旧房基、粪堆、及微地形高低不平无代表性地段。鲜样充分风干后过 10 目筛,称取 200 g 送实验室分析。样品分析由云南省地质矿产勘查开发局中心实验室(自然资源部昆明矿产资源监督中心)完成。

表 1 样品分析检测方法及检出限

Table 1 The Detection method and detection limit of samples

分析项目	分析方法	检出限	分析精度	合格率(%)	单位
Se	原子荧光光谱法(AFS)	0.01	μg/g	100	10 ⁻⁶
有机质	氧化还原容量法(VOL)	0.05	g/kg	100	10 ⁻³
pH	pH 计电极法(ISE)	0.1	0.01	100	无量纲

3.2 数据处理

数据采用 SPSS20.0 和 Microsoft Excel 2016 完成描述性统计分析、方差分析及相关性分析,图件制作采用 Arcgiss10.2 和中国地质调查局发展研究中心“土地质量地球化学评价管理与维护(应用)子系统”联合处理完成。

4 耕地土壤中硒分布特征

4.1 土壤硒含量数值特征

对研究区 2368 件耕地表层土壤样品中硒(Se)含量进行统计分析,硒含量最小值 0.02×10⁻⁶,最大值 9.49×10⁻⁶,中位数 0.41×10⁻⁶,剔除异常值(X±3S)后算术平均值 0.42×10⁻⁶,标准差

0.16,变异系数 38。区内耕地表层土壤硒含量均高于全国土壤 A 层平均值 0.29×10⁻⁶和贵州省土壤 A 层平均值 0.37×10⁻⁶(中国环境监测总站 1990,谭见安 1990,何亚琳 1996)。

4.2 土壤硒空间分布特征

从空间上看,表层土壤硒含量高值区在朝阳-小七孔呈带状展布,与二叠系乐平统合山组煤系地层展布一致;表层土壤硒高值区在荔波玉屏-瑶山瑶族乡-黎明关水族乡片区和佳荣镇月亮山片区呈现片状分布,该区域为荔波喀斯特岩溶峰丛-洼地地貌主要分布区,耕地分布海拔相对较低(<600 m),硒的相对富集与其趋向地表低洼处迁移富集,以及土壤粘粒对其吸附固定作用有关;佳荣月亮山片区表层土壤硒含量高值区与寒武系渣拉沟组、都柳江组黑色碳质泥页岩展布区分布一致。

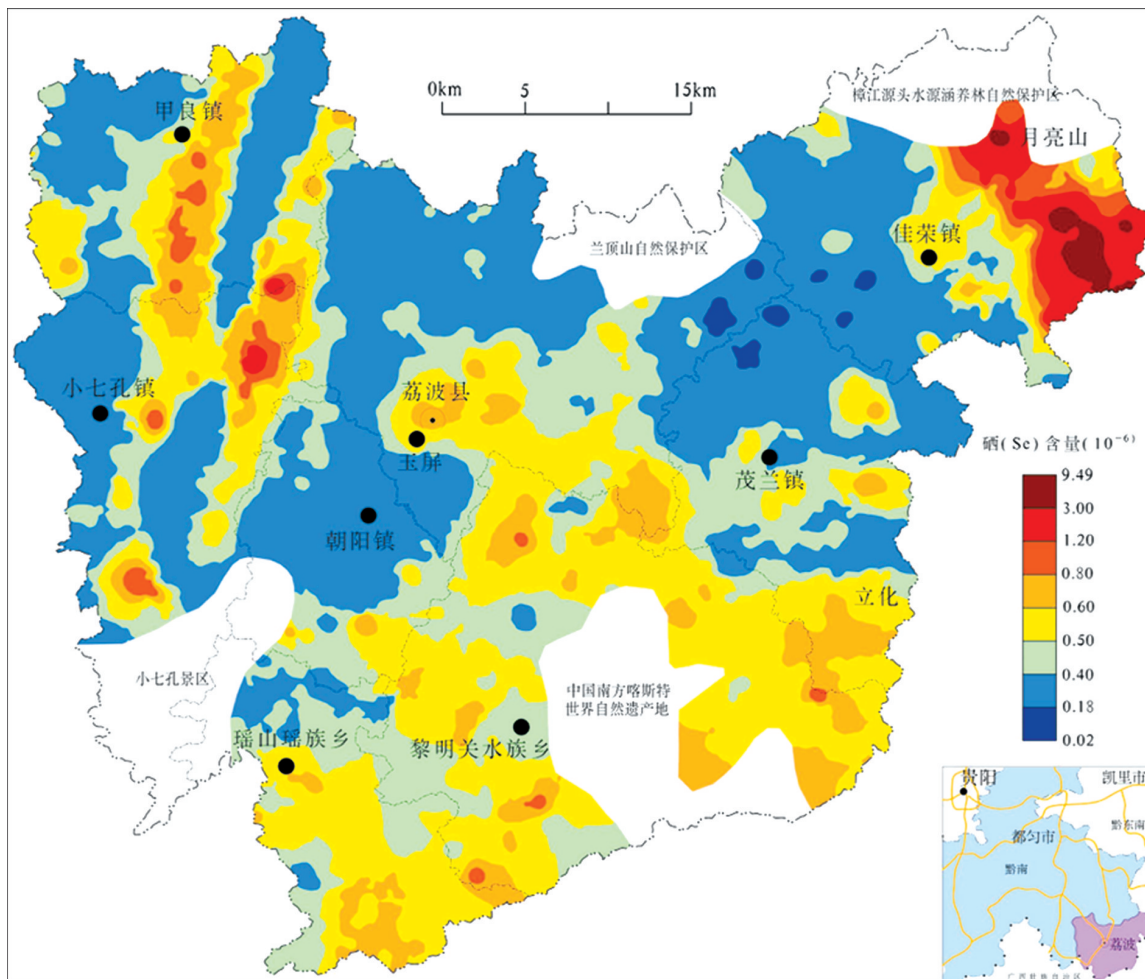


图1 耕地表层土壤硒元素地球化学图

Fig. 1 Geochemistry of selenium in surface soil of cultivated land

表层土壤硒含量低值区在荔波北西部的甲良-小七孔-玉屏-朝阳一带与石炭系灰岩、三叠系砂岩、泥页岩等展布区一致,呈带状展布;而荔波北东部的土壤硒含量低值区在茂兰-佳荣一带与石炭系和二叠系灰岩展布区一致,呈片状展布。

据 DD2019-10《天然富硒土地划分与标识》中的划分标准,把土壤中硒含量在 $0.40 \times 10^{-6} \sim 3.0 \times 10^{-6}$ (之间的耕地定为富硒耕地,研究区富硒耕地约 19.24 万亩,占全区所有耕地的 61.99%。全区耕地土壤硒含量 $< 0.4 \times 10^{-6}$ 占比 37.94%,硒过剩 ($\geq 3.0 \times 10^{-6}$) 耕地面积占比 0.07%。空间上看富硒耕地主要集中分布在甲良镇中部以南、小七孔镇北部,黎明关水族乡德门区域,瑶山瑶族乡捞村片区和佳荣镇区域。

5 耕地土壤硒影响因素分析

前人对影响土壤硒分布的各因素研究认为成

土母岩(母质)、地形地貌、土壤类型、土地利用方式、有机质含量、土壤 pH 等对土壤中硒的含量具有一定的影响。

5.1 成土母岩

大量研究认为土壤中元素含量对成土母岩具有一定的承继性,在原生地质环境中,硒的主要来源为富硒的沉积岩,如黑色页岩和煤系地层 (Wang Z J et al. 2000, Girling C A et al. 1984)。王甘露等(2003)对贵州省一些碳酸盐岩、砂页岩和广泛分布的煤矿层中硒含量的测定显示碳酸盐 ($0.06 \times 10^{-6} \sim 0.83 \times 10^{-6}$) 及砂页岩 ($0.03 \times 10^{-6} \sim 0.19 \times 10^{-6}$) 中硒的含量不高,而煤矿层 ($0.11 \times 10^{-6} \sim 5.10 \times 10^{-6}$) 中具有较高 Se 含量;张莹(2007)对全国煤层硒数据的统计显示贵州省煤层含硒平均 3.77×10^{-6} 。同时,对贵州开阳富硒土壤的研究证明土壤中元素的含量不仅受基岩控制,而且其中 Se、Cd 等元素对基岩有明显的继承而富

集(任海利等 2012)。通过对研究区高硒土壤分布区与成土母岩的对比发现煤系地层及碳质泥页岩地层分布区的表层土壤中硒含量普遍较高,多

达富硒水平,而全区粘土岩、泥页岩、砂岩和部分灰岩展布区域则正好相反,呈现出大面积的土壤硒低值区。

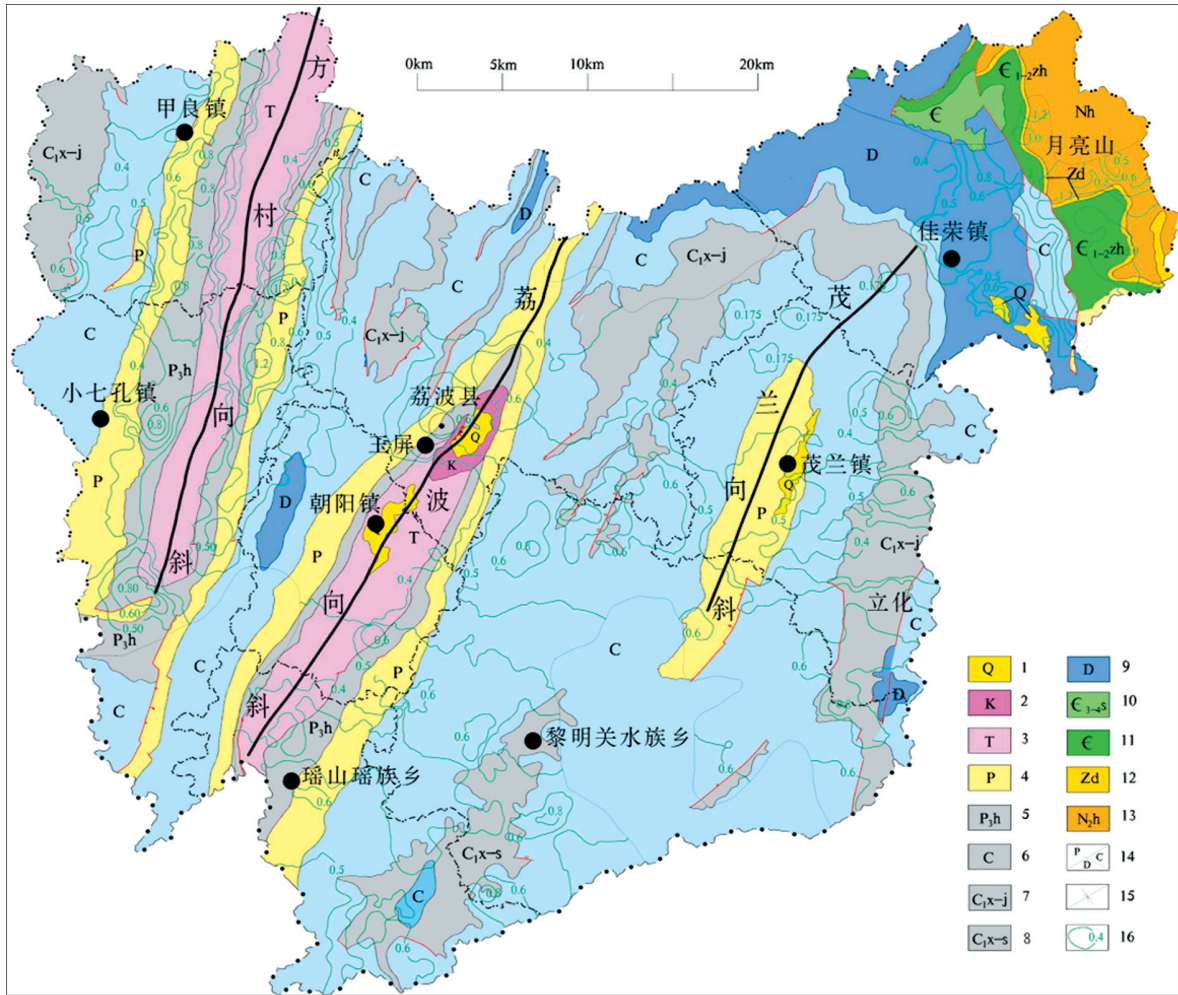


图2 煤系地层、炭质泥页岩地层及土壤硒含量叠合图

Fig. 2 Superimposed graph of coal measure strata, carbonaceous shale strata and selenium content in soil

1—第四系(Q)黏土;2—白垩系(K)泥岩、砂砾岩;3—三叠系(T)黏土岩、泥页岩;4—二叠系(P)灰岩;5—二叠系(P_{3h})煤系地层;6—石炭系(C)灰岩;7—石炭系(C_{1x-j})煤系地层;8—石炭系(C_{1x-s})煤系地层;9—泥盆系(D)灰岩、白云质灰岩;10—寒武系(Є)灰岩、泥页岩;11—寒武系(Є₁₋₂)炭质泥页岩;12—震旦系(Z)白云岩;13—南华系(Nh)杂砾岩、杂砂岩;14—地层界线及代号;15—向斜;16—硒含量等值线及数值

(1)方村向斜、荔波向斜土壤硒高值展布区(0.4×10⁻⁶~3.0×10⁻⁶)与二叠系阳新统合山组(2.83×10⁻⁶)煤系地层出露区高度吻合;而立化地区土壤高硒区与石炭系下统祥摆组煤系地层出露区相吻合。

(2)黎明关水族乡-瑶山瑶族乡土壤高硒区:该区域为荔波重要的喀斯特岩溶峰丛(林)洼地发育区,耕地多分布于岩溶洼地、槽谷地段,其连片富硒土壤(0.4×10⁻⁶~0.6×10⁻⁶)分布现象与其下伏石炭系灰岩中硒的低含量(0.0×10⁻⁶~0.07×10⁻⁶)不对应,该区域空间上远离高硒的

煤系地层且海拔整体偏高,土壤中硒的相对富集可能与成土母岩风化残留硒和降雨等外来硒趋向地表低洼处迁移富集,以及土壤粘粒对其吸附固定作用有关。研究表明灰岩区土壤主要由碳酸盐岩的红土化作用而来,岩石风化成土过程中微量元素(包含硒)不断迁移、淋失,而土壤中Fe、Al的氧化物粘粒对各种形态的硒具有吸附和固定作用,使得硒倾向于在铁铝含量高的表层土中富集(侯少范等 1992,全双梅等 2013),但该区域土壤中的硒含量整体低于煤系地层及炭质泥岩分布区的土壤。

表2 不同成土母岩及其分布区表层土壤中硒含量

Table 2 Selenium content in topsoil of different parent materials and its distribution area

成土母岩类型	样品数	最大值	表层土壤硒含量(10^{-6})			
			最小值	离差	变异系数	平均值
碳质泥页岩	117	5.43	0.16	0.9	84	0.76
煤系地层	669	9.49	0.02	0.43	94.23	0.52
灰岩	1 072	4.17	0.02	0.56	124	0.45
砂岩、杂砾岩	259	1.33	0.12	0.21	50.01	0.42
粘土岩	438	1.05	0.13	0.12	33.33	0.36
泥页岩	482	1.22	0.14	0.19	54.29	0.35

(3)佳荣镇月亮山土壤高硒区与寒武系炭质泥页岩地层分布区相关,的该区土壤中硒含量普遍较高,出现了研究区最高的土壤硒含量(9.49×10^{-6}),且土壤多达富硒水平。富硒的炭质泥页岩多分布于海拔 800~1 200 m 海拔区,而高硒含量土壤在 600~1 200 m 的寒武系及石炭系地层发育区均有分布,除了地层对土壤硒含量的控制外,硒元素随土壤溶液从高处向低洼处迁移富集也有重要影响。

5.2 土地利用方式

研究显示,不同的土地利用方式导致土壤性质和生产力的改变,进而影响土壤质量和土壤环境的改变(吴文斌 2007)。对研究区四类不同利用方式

下土壤硒的统计显示,土壤中硒的含量为茶园>旱地>果园>水田。林地和草地均有较高的有机质含量,其对硒的吸附和固定有重要贡献;茶园土壤中硒含量高,除了茶园分布区下伏高硒含量的二叠系合山组煤系地层影响外,茶叶的收获方式也有一定的影响,茶园相比其他种类农作物每年收获的茶叶有限,大多含硒的枯枝落叶以腐殖质形式归还于土壤,同时腐殖质对土壤中游离硒的吸附固定使之更趋向于表层土壤富集。果园与水田有相近的硒含量,调查发现果园多为近年来水田改造而来,因水田长期处于水淹的还原环境下土壤游离态硒易淋失(刘鹏等 2000);同时农作物生长吸收硒,而随着农作物收获但硒肥补充的缺乏使土壤硒含量逐渐降低,其普遍低于研究区平均水平 0.42×10^{-6} 。

表3 不同土地利用方式表层土壤中硒含量

Table 3 Selenium content in topsoil of different land use patterns

土地利用类型	样品数	最大值	最小值	平均值	离差	变异系数	单位
茶园	7	1.19	0.53	0.95	0.26	27.37	10^{-6}
旱地	501	2.25	0.12	0.51	0.3	58.82	10^{-6}
果园	80	1.19	0.23	0.43	0.2	46.51	10^{-6}
水田	1647	7.78	0.02	0.41	0.38	92.68	10^{-6}

5.3 土壤有机质

研究认为土壤有机质对全量硒有较显著影响,有机质含量与土壤硒含量存在正相关关系(梁东丽等 2017,刘永贤等 2018,黄春雷等 2013,章海波等 2005,王金达等 2000,胡艳华等 2010,吴俊 2018)。土壤有机质对硒的影响主要体现在吸附和固定作用,有机质含量越丰富的土壤,对于土壤

中硒的吸附能力就越强,土壤中硒含量也相对较高。统计显示,研究区表层土壤有机含量与硒含量的相关系数 $r = 0.23$ ($n = 2\ 368, P < 0.01$),呈现正关性。对有机质含量和对应分组硒元含量求取算数平均值,可看出,研究区随着土壤中有机质含量的升高,Se 元素含量亦呈升高的趋势,这与前人的研究结果一致。

表4 表层土壤有机质与硒含量

Table 4 Selenium content and organic matter in topsoil

有机质含量(10^{-3})		土壤硒平均含量(10^{-6})	样品数
含量区间	平均含量		
<10	7.04	0.36	7
10-20	17.12	0.38	155
20-30	25.49	0.43	818
30-40	34.41	0.45	755
40-50	44.1	0.5	362
50-60	54.5	0.55	142
60-70	64.27	0.72	54
70-80	73.23	0.81	41
80-90	85.32	0.68	16
>90	128.72	1.03	18

6 结论

(1)研究区耕地表层土壤中硒(Se)最小值 0.02×10^{-6} ,最大值 9.49×10^{-6} ,平均值 0.42×10^{-6} ,其含量均高于全国土壤A层平均值 0.29×10^{-6} 和贵州省土壤A层平均值 0.37×10^{-6} ,富硒耕地占全区所有耕地的61.99%。

(2)研究区成土母质(母岩)对土壤中硒元素的含量具有控制作用,土壤硒高值区与炭质泥页岩、煤系地层展布区吻合,而泥页岩、砂岩等分布区对应大面积的土壤硒低值区;黎明关水族乡一带土壤中硒的相对富集与成土母岩风化残留硒和降雨等外来硒趋向地表低洼处迁移富集,以及土壤粘粒对其吸附固定作用有关。

(3)研究区土地利用方式对土壤中硒的含量有较大影响,使得不同利用方式土地表层中土壤硒含量呈现出茶园>林地>草地>旱地>果园>水田的特点。

(4)研究区表层土壤有机含量与硒含量呈正相关,随着土壤中有机质含量的升高,Se元素含量亦呈升高的趋势。

[参考文献]

葛晓立,李家熙,万国江,等. 2000. 张家口克山病地区土壤硒的地球化学形态研究[J]. 岩矿测试,19(4):254-258.
何亚琳. 1996. 贵州省土壤硒含量及其分布[J]. 土壤学报,33

(4):391-397.
黄春雷,宋明义,魏迎春. 2013. 浙中典型富硒土壤区土壤硒含量的影响因素探讨[J]. 环境科学,34(11):4405-4410.
侯少范,李德珠,王丽珍,等. 1992. 温暖带地理景观中土壤硒的分异特征[J]. 地理学报,(01):31-39.
胡艳华,王加恩,蔡子华,等. 2010. 浙江嘉善地区土壤硒的含量、分布及其影响因素初探[J]. 地质科技情报,29(6):84-88.
梁东丽,彭琴,崔泽玮,等. 2017. 土壤中硒的形态转化及其有效性的影响研究进展[J]. 生物技术进展,7(5):374-380.
刘鹏,杨志辉,葛旦之,等. 2000. 淹水条件下土壤硒迁移行为研究. I. 还原淋溶作用下土壤硒的溶液迁移[J]. 湖南农业大学学报,26(1):1-4.
刘永贤. 2018. 浔郁平原富硒土壤成因及其影响因素研究[J]. 土壤,50(6):1139-1144.
任海利,高军波,龙杰,等. 2012. 贵州开阳地区富硒地层及风化土壤地球化学特征[J]. 地区与环境,40(2):161-170.
谭见安. 1990. 中华人民共和国地方病与环境图集[M]. 北京:科学出版社,39.
全双梅,连国奇,秦趣,等. 2013. 贵州省开阳县土壤硒含量及其制约因素[J]. 甘肃农业大学学报,48(2):105-109.
王甘露,朱笑青. 2003. 贵州省土壤硒的背景值研究[J]. 环境科学研究,16(1):23-36.
王锐,余涛,曾庆良,等. 2017. 我国主要农耕地土壤硒含量分布特征、来源及影响因素[J]. 生物技术进展,7(5):359-366.
王金达,于君宝,张学林,等. 2000. 黄土高原土壤中硒等元素的地球化学特征[J]. 地理科学,20(5):469-473.
吴文斌,杨鹏,唐华俊,等. 2007. 土地利用对土壤性质影响的区域性差异研究[J]. 中国农业科学,40(8):1697-1702.
吴俊. 2018. 福建省寿宁县富硒土壤地球化学特征[J]. 物探与化探,42(2):386-391.
张光弟,葛晓立,张绮玲,等. 2001. 湖北恩施硒中毒区土壤硒的分

- 布及其控制因素[J]. 中国地质,28(9):37-41.
- 张莹,刘桂建,郑刘根,等. 2007. 中国煤中硒的环境地球化学[J]. 矿物岩石地区化学通报, 26(4):389-398.
- 章海波,骆永明,吴龙华,等. 2005. 香港土壤研究 II. 土壤硒的含量、分布及其影响因素[J]. 土壤学报,42(3):404-410.
- 朱建明,左维,秦海波,等. 2008. 恩施硒中毒区土壤高硒的成因:自然硒的证据[J]. 矿物学报,28(4):397-400.
- 周墨,陈国光,张明,等. 2018. 赣南地区土壤硒元素地球化学特征及其影响因素研究:以青塘-梅窑地区为例[J]. 现代地质,(6):1292-1301.
- 中国环境监测总站. 1990. 中国土壤元素平均值[M]. 北京:中国环境科学出版社,170-173.
- FORDYCE F M,ZHANG G D,GREEN K, et al. 2000. Soil, grain and water chemistry in relation to human selenium - responsive diseases in Enshi District, China [J]. Applied Geochemistry, 15 (1):117-132.
- Girling C A. 1984. Selenium in agriculture and the environment [J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 11 (1):37-65.
- TAN J A,ZHU W Y,WANG W Y, et al. 2002. Selenium in soil and endemic diseases in China [J]. The Science of The Total Environment, 284 (1):227-235.
- Wang Z J,Gao Y X. 2001. Biogeochemical cycling of selenium in Chinese environments [J]. Applied Geochemical, 16 (11-12):1345 - 1351.
- Yu Tao,Yang Zhongfang,Lyu Yaoyao, et al. 2014. The origin and geochemical cycle of soil selenium in a Se-rich area of China [J]. Journal of Geochemical Exploration, 139:97-108.

Characteristics of Soil Selenium Distribution of Cultivated Land and Its Influential Factors in Libo of South Guizhou

ZHOU Wen-long ,ZHANG Tao, WU Zhao-yang, YANG Zhi-zhong, YANG Chao-gui

(Institute of Geology and Mineral Resources Exploration, Non-Ferrous Metals and Nuclear Industry Geological Exploration Bureau of Guizhou, Guiyang 550005, Guizhou, China)

[Abstract] Soil selenium of cultivated land and its influential factors were analyzed which based on the investigation data of geochemistry in Libo county of Guizhou Province. The results showed that selenium content in topsoil was $0.02 \times 10^{-6} \sim 9.49 \times 10^{-6}$, the average selenium content was 0.42×10^{-6} . The selenium-rich cultivated land ($3.0 \times 10^{-6} \sim 0.4 \times 10^{-6}$) accounted for 61.99% of the total cultivated land area. The results show that: ① The parent material of soil has a controlling effect on the content of selenium in topsoil, the high value area of selenium in topsoil is consistent with the distribution area of coal measure strata and carbonaceous shale strata, and there are large area of low value area of selenium in topsoil in the distribution area of shale and sandstone strata. However, the relative accumulation of selenium in the cultivated soil in Li-ming-guan area is related to the secondary accumulation of selenium in the weathering process of carbonate rocks; ② The selenium content in topsoil of different land use patterns is as follows: tea garden > woodland > grassland > drylands > orchards > paddy fields; ③ There was a positive correlation between soil organic content and selenium content.

[Key Words] Cultivated land; Soil selenium; Distribution characteristic; Influential Factors