

# 贵州省龙里县耕地土壤硒含量分布特征及影响因素分析

胡秋, 卫永华, 温金奎, 娄皓, 王浩

(贵州省有色金属和核工业地质勘查局七总队, 贵州 贵阳 550005)

**[摘要]** 针对龙里县土壤分布情况, 系统采集土壤样品 3000 余件。运用 Pearson 相关分析、回归分析、统计分析, 研究龙里县土壤中硒含量的分布特征和影响因素。结果表明, 研究区土壤全硒含量变幅为 0.02~6.51 mg/kg, 平均值为 0.65 mg/kg, 变异系数为 0.74, 总体上以富硒土壤为主。在不同成土母质中, 页岩(含炭质页岩)和灰岩发育的土壤全硒含量较高, 白云岩和砂岩发育的土壤全硒含量相对较低。在不同土壤类型中, 黄壤和粗骨土的全硒含量较高, 水稻土全硒含量相对较低。Pearson 相关分析表明, 土壤全硒含量与 pH 呈负相关关系, 与铁铝氧化物含量及有机质含量呈正相关关系。影响龙里县土壤全硒含量的主要因素是成土母质、土壤类型、土壤 pH、铁铝含量及有机质含量。

**[关键词]** 土壤; 硒含量; 分布特征; 影响因素; 龙里县

**[中图分类号]** P632; S159; O613.52 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943(2020)-03-0329-06

硒(Se)是人体必需的微量元素之一(王琪, 2014), 具有抗癌、抗氧化、增强人体免疫力、调解蛋白质合成等功能, 被称为“抗癌之王”(Rayman, 2000), 当人体缺硒时, 容易导致人体免疫力下降, 威胁人类健康(孙协平, 2015)。人体获取硒的主要途径是通过食物, 而土壤是食物硒的宝库, 土壤硒对农产品、饮用水等都起着重要的作用, 土壤硒能够直接影响区域食物中硒的含量状况, 进一步影响人体健康(马迅, 2017)。耕地作为粮食生产的主要载体, 研究耕地中土壤和农产品硒元素分布特征, 能够为区域粮食生产和富硒农业发展等提供参考。近年来, 对于土壤硒的研究已经逐渐得到环境学界和健康学界的高度关注, 不同学者从各自研究的角度对土壤硒元素进行了细致研究, 国外学者对土壤硒的研究主要集中在土壤硒含量、形态的影响因素探究, 土壤硒的分布、转化、有效性及生物可利用性分析, 影响土壤硒吸收的参数, 农业生态系统中硒元素的循环等方面(Ali

F, 2017)。国内学者对土壤硒的研究主要集中在土壤硒的空间分布特征、地球化学特征、生物有效性、硒元素影响因素、与有毒重金属元素间的相互关系等方面(秦海波, 2017)。在土壤硒含量分布特征及影响因素的分析方面, 目前主要是在大尺度范围内进行的, 对县级层次的研究相对较少(张慧, 2018)。由此, 对龙里县耕地土壤硒的含量分布特征及其影响因素进行系统分析研究, 结果可为该地区富硒资源的合理开发及保护提供科学依据。

## 1 研究区概况

研究区隶属于贵州省黔南布依族苗族自治州, 位于黔中腹地、苗岭山脉中段, 黔南布依族苗族自治州西北, 东邻贵定县, 南接惠水县, 西面与北面紧邻贵阳市, 地处东经 106°45'18"~107°15'1", 北纬 26°10'19"~26°49'33", 总面积 1 521 km<sup>2</sup>,

**[收稿日期]** 2020-03-29 **[修回日期]** 2020-05-13

**[基金项目]** 贵州省耕地质量调查(黔耕调 2017-03); 贵州省有色金属和核工业地质勘查局项目“龙里县耕地质量地球化学调查评价”(黔色勘 2017-64 号)。

**[作者简介]** 胡秋, (1989—), 男, 地质工程师, 地质学本科, 主要从事区域地质、矿产及生态地球化学调查研究。Email: 517578689@qq.com。

境内丘陵、低山、中山与河谷槽地南北相间排列,县城海拔 1 080 m。气候类型属于中亚热带季风湿润气候,年平均气温 14.8℃;地表水系较发育,主要有河流、溪涧 102 条,分别为北缘的清水江、南明河、中部的三元河及南部的湾滩河。研究区主要出露地层有寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系、第四系等,其中以泥盆系、石炭系和二叠系沉积地层出露较全、分布较广。按地层岩性情况区内成土母质为白云岩、灰岩、砂岩和页岩(炭质页岩),土壤类型主要为粗骨土、黄壤、石灰土和水稻土。

## 2 样品采集与数据处理

研究区样品采集按照多目标区域地球化学调查技术规范要求进行。共采集表层土壤样 2848 件、根系土壤样 75 件、高值区验证样 260 件。表层土壤样采集是以野外实际确定的采样点为中心,根据采样地块形状确定主样的位置。采用了“S”形、“X”形或“棋盘”形布设 4 个子样点。采样深度为 20 cm,由主样和 4 个子样组合成一件样品;根系土壤样采用棋盘法和梅花点法采集,采样位置为农作物根部;水平剖面样布设原则按照“T”型剖面法贯穿高值区,并由元素低值区采集到高值区,间距约 50~100 m,采样方法与表层土壤采集相同。垂向剖面样在不同地层上采集,剖面深度 1.5~2 m,剖面深度以见基岩层为准,分层采样由下向上连续采集母质层、淀积层、淋溶层、腐殖层共 4 件。样品送云南省地质矿产勘查开发局中心实验室分析测试。土壤样品全量分析数据 23 项,平均点密度 9 点/km<sup>2</sup>,采用等离子体发射光谱法(ICP-OES)、等离子体质谱法(ICP-MS)和 X 射线荧光光谱法(XRF)为主,辅为原子荧光光谱法(AFS)、离子选择性电极法(ISE)和容量法(VOL)等。

数据统计分析使用 SPSS 21.0、Microsoft Excel2016、GeoChem Studio、ArcGIS10.2 软件完成,主要统计参数为最大值(Max)、最小值(Min)、平均值( $\bar{X}$ )、标准离差(S)、变异系数(CV)、几何平均值、中值、背景平均值( $\bar{X}'$ )、样品数(n)、地球化学参数。特殊数据低于检测限的值,用对应元素检出限的一半代替。

## 3 结果与分析

### 3.1 土壤硒含量及分布特征

通过对龙里县表层土壤、根系土壤和垂向剖面样测试结果进行分析,研究区土壤硒含量变幅为 0.02~6.51 mg/kg,平均值为 0.65 mg/kg,变异系数为 0.74,呈弱分异特征;硒元素高值区主要分布在洗马镇、谷脚镇、醒狮镇附近,硒元素低含量区主要分布在湾滩河镇和冠山街道附近。土壤硒含量分布情况见图 1。在不同成土母质中硒含量不同,硒元素在灰岩和页岩(炭质页岩)中含量较高,在砂岩和白云岩中含量总体较低;在不同土壤类型中,Se 元素的平均含量差异性不明显,由大到小排列为黄壤>粗骨土>石灰土>水稻土;在不同土地类型中,Se 元素平均含量由大到小排列为:茶园>旱地>果园>水田,但总体差异性不显著。各类型全硒含量特征见表 1。

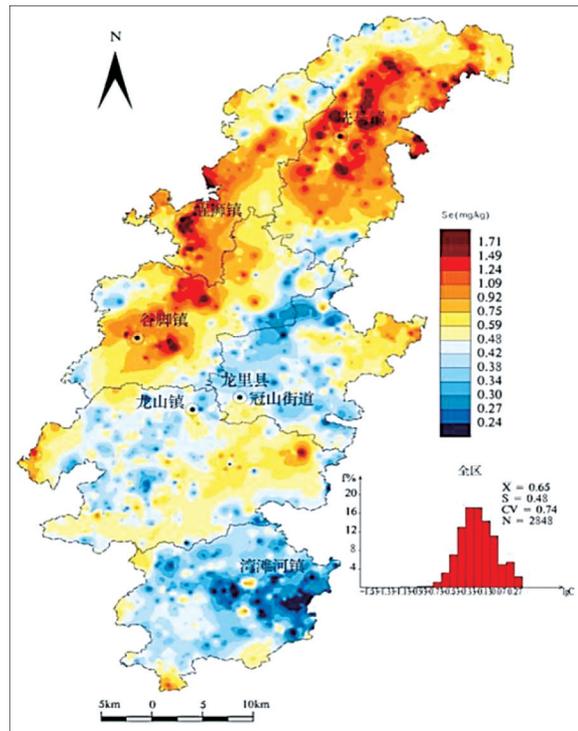


图 1 龙里县土壤硒含量分布图

Fig. 1 Distribution of soil selenium content in Longli county

### 3.2 土壤硒含量的影响因素

#### 3.2.1 成土母质

土壤中的硒含量主要受成土母质的影响(王美珠,1996)。通过对硒含量在高值区进行水平剖

表1 龙里县各类型全硒含量特征

Table 1 Characteristics of total selenium in different types in Longli county

元素/指标	乡镇						元素/指标	土地利用类型			
	洗马镇	醒狮镇	谷脚镇	龙山镇	湾滩河镇	冠山街道		水田	旱地	果园	茶园
样本数	702	314	343	540	617	332	样本数	1 807	668	110	89
Se	0.93	0.87	0.72	0.49	0.41	0.47	Se	0.52	0.76	0.63	0.93
元素/指标	成土母质				元素/指标	土壤类型					
	灰岩	白云岩	砂岩	页岩		黄壤	石灰土	粗骨土	水稻土		
样本数	1 807	668	110	174	样本数	1 287	193	176	1 192		
Se	0.73	0.46	0.44	0.84	Se	0.72	0.58	0.64	0.53		

面和垂向剖面验证分析,水平剖面穿过地层主要有二叠系上统吴家坪组(P<sub>3w</sub>)、三叠系下统大冶组(T<sub>1d</sub>)。由图2可以看出,高值区水平剖面和表层土壤中Se元素含量基本吻合,可见Se元素含量受二叠系上统吴家坪组(P<sub>3w</sub>)、三叠系下统大冶组(T<sub>1d</sub>)的成土母质影响较大。由表2可以看出,高值区垂向剖面硒含量在腐殖层中最高,向深部至母质层逐渐降低,说明Se元素在表生环境下,一方面在成土母岩成土过程中发生次生富集,另一方面在表生地质作用过程中产生的外来物质叠加而导致含量增高。研究区在不同成土母质发育的表层土壤中硒含量具有差异性见表3。这与刘晓波在四川省屏山县关于土壤硒含量影响因素的研究一致(刘晓波,2017)。成土母质发育的土壤全硒含量都高于富硒土壤临界值0.40 mg/kg。不同母质发育的土壤全硒含量由高到低的顺序为:页岩(含炭质页岩)(0.84 mg/kg) > 灰岩(0.73 mg/kg) > 白云岩(0.46 mg/kg) > 砂岩(0.44 mg/kg),可见页岩和灰岩发育的土壤硒含量较高。其

原因是在二叠系页岩分布区由于富含泥质、碳质、粘土质及夹有机质等,会增强对硒的吸附作用从而使硒含量增加。砂岩发育的土壤硒含量较低,可能是因为砂岩的结构和孔隙都不利于富硒环境的形成。本研究区域地质背景复杂,使得研究区不同成土母质发育的土壤中硒含量具有差异性。

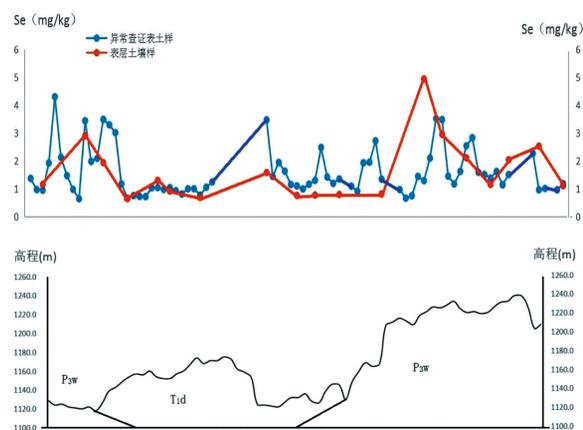


图2 水平剖面Se元素含量折线图

Fig. 2 Line graph of selenium content in horizontal section

表2 龙里县垂向剖面土体类型全硒含量

Table 2 Total selenium content in soil types of vertical section in Longli county

土体类型	样品数	硒含量(mg/kg)			标准差(mg/kg)	变异系数(%)
		最大值	平均值	最小值		
腐殖层	15	3.2	1.06	0.22	0.6	57
淋溶层	15	3.05	0.8	0.17	0.49	61
淀积层	15	2.11	0.62	0.06	0.35	56
母质层	15	1.19	0.5	0.06	0.28	55

表3 龙里县不同类型成土母质发育土壤全硒含量

Table 3 Total selenium content in different types of soil parent materials types in Longli county

成土母质	样品数	硒含量(mg/kg)			标准差(mg/kg)	变异系数(%)
		最大值	平均值	最小值		
灰岩	1 867	6.51	0.73	0.06	0.35	48
白云岩	728	3.50	0.46	0.79	0.18	37
砂岩	80	1.18	0.44	0.02	0.18	41
页岩(含炭质页岩)	173	3.07	0.84	0.10	0.38	45

### 3.2.2 土壤类型

表层土壤硒含量与土壤类型及耕作方式有一定关系。研究区土壤根据各地层出露的岩性大致分为水稻土、黄壤、粗骨土和石灰土四个土类。按不同土壤类型全硒含量结果见表4。区内土壤硒含量平均值不同土壤类型全硒含量由高到低的顺序为:黄壤>粗骨土>石灰土>水稻土。可见黄壤和粗骨土硒含量较高,石灰土和水稻土硒含量相对较低。这是因为黄壤为原地残积、坡积而成,脱硅富铝化的结果导致土壤中Fe、Al氧化物增多,酸性条件下(pH为4~6)铁铝氧化物对硒的吸附量大(李

杰,2012)。另外粘粒含量多、质地粘重,对硒具有显著的富集作用,导致土壤硒含量相对较高(黄子龙,2018)。粗骨土的成土母质以石灰岩、页岩及粘土岩等为主,成土母质硒含量背景相对较高。石灰土主要分布于岩溶地区,其成土母质为石灰岩。水稻土长期受到渗水作用,土壤中的铁离子大量流失,导致土壤中硒含量相对较低。造成不同土壤类型中硒含量差异的主要原因是,不同土壤类型具有不同的成因类型(成土母质)、组分和理化性质,即使是同一种土壤类型,其性质也有差别,而硒的分布实际上由土壤性质所决定的。

表4 龙里县不同土壤类型全硒含量

Table 4 Total selenium content in different soil types in Longli county

土壤类型	样品数	硒含量(mg/kg)			标准差(mg/kg)	变异系数(%)
		最大值	平均值	最小值		
水稻土	793	3.05	0.53	0.10	0.24	44
黄壤	1738	6.51	0.72	0.02	0.33	46
粗骨土	145	4.65	0.64	0.19	0.32	49
石灰土	172	6.23	0.58	0.14	0.3	52

### 3.2.3 土壤理化性质

通过对表层土壤全硒含量与Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、pH、SOM进行回归分析,得到图3,并且运用Pearson相关分析得出土壤全硒含量与土壤理化性质和组分之间的相关性。结果表明,龙里县表层土壤硒含量与Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(图3A)、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(图3B)有极显著正相关关系,相关系数分别为r = 0.503(P < 0.01)和r = 0.377(P < 0.01),铁铝氧化物对硒具有吸附作用,可见Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与硒的相关性高于Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,这是由于铁铝氧化物对硒的亲力和吸附能力不同所引起。图3C表明有机质含量与硒存在正相关性,相关系数为r = 0.245(P < 0.01)。以往的研究也发现有机质与土壤全硒含量存在相关性,主要是因为土壤有机质对硒有强烈的吸附和固定作用(李杰,2012)。图3D表明龙里县表层土壤酸碱度与全硒含量存在负相关性,相关系数为r = -0.058(P < 0.01)。土壤中Se的主要存在形式有元素硒、有机硒、硒化物、亚硒酸盐和硒酸盐等,pH是控制亚硒酸盐和硒酸盐转化的主要因素(胡艳华,2010),硒在酸性和中性(pH = 4~8)条件下主要以亚硒酸盐的形式存在,迁移淋溶作用较弱;在碱性条件下主要以硒酸盐形式存在,容易迁移,且被植物吸收利用(周鑫斌,2007)。同时,pH值会影响铁铝

氧化物对硒的吸附,最大吸附量在pH = 4~6之间(刘铮,1996),导致该区域形成了富硒的环境。因此铁铝氧化物和有机质在酸性土壤对硒的吸附作用是龙里县土壤中硒富集的重要因素。

## 4 结论

通过研究结果表明龙里县土壤总体上属于富硒土壤,贵州省土壤全硒含量范围为0.064~1.326 mg/kg,平均值为0.369 mg/kg(何亚琳,1996)。研究区土壤全硒平均含量约为贵州省全土壤硒平均含量的2倍,部分地区达到了足硒的水平。根据成土母质情况来看,Se元素的含量主要受二叠系上统吴家坪组(P3w)和三叠系下统大冶组(T1d)的影响较大。Se元素在表生环境下,一方面在成土母质成土过程中发生次生富集,另一方面在表生地质作用过程中产生的外来物质叠加导致含量增高。不同土壤类型中,黄壤和粗骨土全硒含量较高,水稻土全硒含量相对较低。土壤全硒含量与pH呈负相关关系,与铁铝氧化物含量及有机质含量呈正相关关系。龙里县土壤全硒含量在区域分布上具有差异性,主要与成土母质、土壤类型、土壤pH、铁铝含量及有

机质等因素有关。因此在龙里县农业发展的过程中,建议依据因地制宜的原则,在富硒地区,合理利用富硒土壤,种植富硒农产品,发展富硒农

业,促进该地区农业经济的发展。在硒含量较少地区,适当补充外源硒或者通过调节土壤的理化性质、人类活动来改善土壤硒含量。

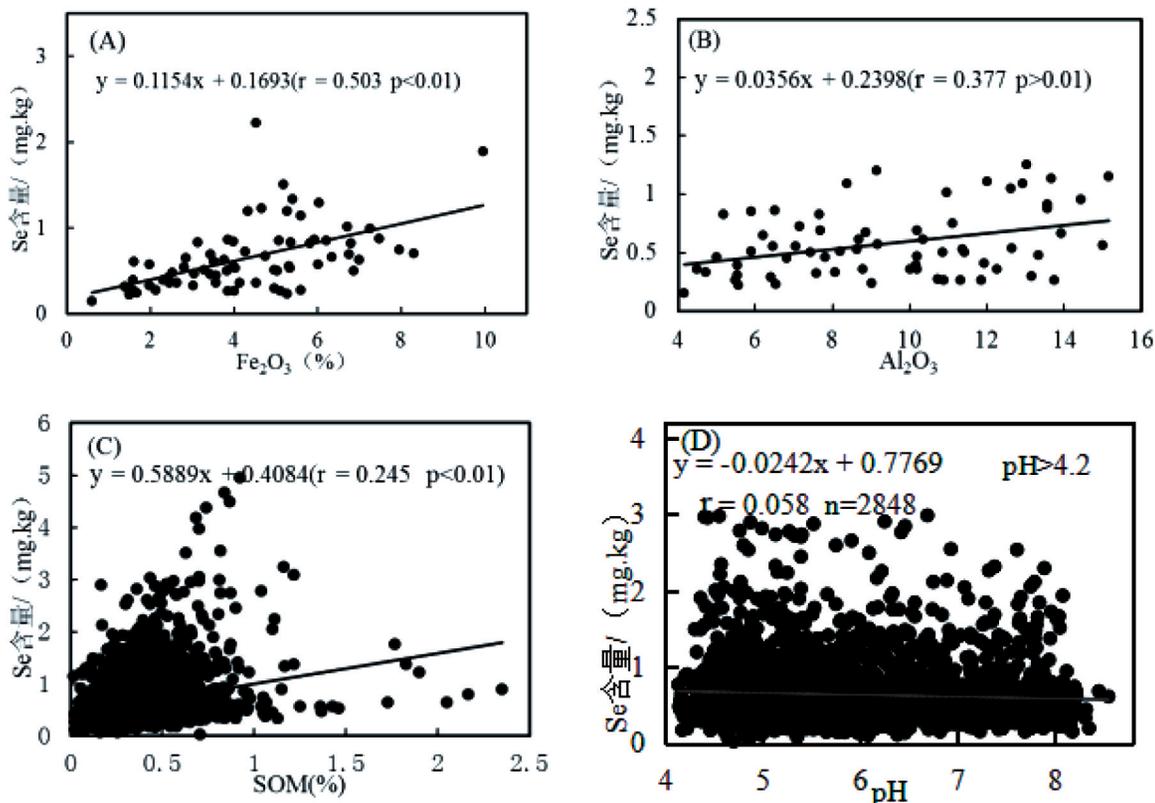


图3 土壤硒含量与pH(A)、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(B)、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(C)、TOC(D)的相关性

Fig. 3 Correlation between soil selenium content and pH (A)、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(B)、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(C)、TOC (D)

[参考文献]

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.  
 胡艳华, 王加恩, 蔡子华, 等. 2010. 浙北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.  
 黄子龙, 林清梅, 范汝海. 2018. 广西全州县富硒土壤地球化学特征[J]. 物探与化探, 42(2): 381-385.  
 刘铮. 1996. 中国土壤微量元素[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 21-24.  
 李杰, 杨志强, 刘枝刚, 等. 2012. 南宁市土壤硒分布特征及其影响因素探讨[J]. 土壤学报, 49(5): 1012-1020.  
 马迅, 宗良纲, 胡秋辉, 等. 2017. 江西丰城生态硒谷土壤硒有效性及其影响因素[J]. 安全与环境学报, 17(14): 1588-1593.  
 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(5): 367-373.  
 孙协平, 谢永红, 胡佳羽, 等. 2015. 富硒土壤重金属污染研究进展

[J]. 湖南农业科学, (10): 146-148.  
 王美珠, 章明奎. 1996. 我国部分高硒低硒土壤的成因初探[J]. 浙江农业大学学报, 22(1): 89-93.  
 王琪, 刘禹含, 杨景娜, 等. 2014. 新疆伊犁土壤硒资源分布及与土壤性质的关系分析[J]. 农业资源与环境学报, 31(6): 555-559.  
 周鑫斌, 施卫明, 杨林章. 2007. 富硒与非富硒水稻品种对硒的吸收分配的差异及机理[J]. 土壤, 39(5): 731-736.  
 张慧, 马鑫鹏, 李昕阳, 等. 2018. 泰来县耕地土壤硒含量特征及空间分布[J]. 中国农业大学学报, 23(9): 100-107.  
 Ali F, Peng Q, Wang D. 2017. Effects of selenite and selenate application on distribution and transformation of selenium fractions in soil and its bioavailability for wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Environmental Science & Pollution Research International, 24(9): 8315-8325.  
 Rayman M P. 2000. The importance of selenium to human health [J]. Lancet, 356(9225): 233-235.

(下转第 297 页)

the soil were discussed, and the selenium rich rice and bamboo shoots were found. The results showed that the selenium content in the surface soil of cultivated land and garden land was between 0.02 ~ 6.59 mg/kg, with an average of 0.58 mg/kg. The soil developed in Longtan Formation of Permian system had the highest selenium content, with an average of 1.10 ~ 1.18 mg/kg. The soil developed in Jurassic system had the lowest selenium content, with an average of 0.22 ~ 0.32 mg/kg. The soil developed in other strata had an average of 0.42 ~ 0.70 mg/kg. As a whole, the surface soil is rich in selenium, with an area of 70 535.52 hectares, accounting for 70.92% of the total assessed area, and rich in selenium resources. The content of Se in square bamboo shoot is between 0.010 ~ 0.050 mg/kg, the rate of Se enrichment is 17.4%; the content of Se in rice is between 0.043 ~ 0.050 mg/kg, the rate of Se enrichment is 13.5%. The average bioaccumulation coefficient of rice is higher than that of square bamboo shoot. The content of Se in the soil is mainly affected by the parent material. The physical and chemical properties, total nitrogen, total phosphorus, iron and manganese oxides, topography and altitude are also important factors affecting the enrichment of Se in the surface soil.

[ **Key Words** ] Selenium in surface soil; Geochemistry; Influencing factors; Rice; Bamboo shoots; Tongzi county

---

(上接第 333 页)

## Distribution Characteristics and Influencing Factors of Soil Selenium Content of Cultivated Land in Longli County, Guizhou Province

HU Qiu, WEI Yong-hua, WEN Jin-kui, LOU Hao, WANG Hao

(The 7th Team of Guizhou Nonferrous Metal and Nuclear Industry Geological Exploration Bureau, Guiyang 550005, Guizhou, China)

[ **Abstract** ] According to the soil distribution in Longli County, more than 3 000 soil samples were systematically collected. Pearson correlation analysis, regression analysis and statistical analysis were used to study the distribution characteristics and influencing factors of selenium content in soil of Longli County. The results showed that the variation range of total se content was 0.02 ~ 6.51 mg / kg, the average value was 0.65 mg / kg, and the coefficient of variation was 0.74. In different parent materials of soil formation, the soil with developed shale (containing carbonaceous shale) and limestone has higher content of total selenium, while the soil with developed dolomite and sandstone has lower content of total selenium relatively. In different soil types, the content of total selenium was higher in yellow soil and fragmental soil, and lower in paddy soil. Pearson correlation analysis showed that the total selenium content was negatively correlated with PH, and positively correlated with Fe-Al oxide content and organic matter content. The main factors affecting the total selenium content of soil in Longli County are soil parent material, soil type, soil PH, iron and aluminum content and organic matter content.

[ **Key Words** ] Soil; Selenium content; Distribution characteristics; Influencing factors; Longli county