

贵州铜仁碧江区耕地土壤硒富集分布特征及影响因素研究

沈小庆,洪万华,涂飞飞,杨炳南,张德实,韩姚飞,余万泽

(贵州省地矿局103地质大队,贵州 铜仁 554300)

[摘要] 硒是重要的人体必需微量元素,对特色农业发展起着重要的助力作用。碧江区土壤硒元素含量平均值超过贵州省及全国硒含量均值。富硒耕地面积达29.4268万亩,具有较大的富硒资源开发潜力。成土母岩为炭质页岩所形成的土壤中硒元素含量高于其他类型成土母岩所形成的土壤,强酸性土壤中硒元素含量平均值高于其他酸碱度等级土壤,水田中硒元素含量平均值显著高于旱地、果园、水浇地等其他类型土地。成土母质是土壤中硒元素的主要来源及影响因素,pH值、有机质、土壤质地等理化条件对土壤硒元素有一定影响。

[关键词] 硒元素;富硒耕地;分布特征;影响因素;碧江区

[中图分类号] S159;P632;O613.52 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943(2021)04-0480-07

硒广泛分布于自然环境中,是人体必需的微量元素(Jing W et al. 2013)。硒缺乏可引发多种病症,如克山病、大骨节病等,而硒过剩则会导致硒中毒,适量的硒可以改善人体的免疫能力,提高人体抗癌抗衰老等能力(薛瑞玲等,2011;Schomburg L,2010)。人体内硒主要通过食物获取,土壤是食物中硒的主要来源(张晓荆,1991)。土壤中硒的丰缺和空间分布状况与人体健康密切相关,因此研究土壤硒对人体健康安全及区域特色农业的规划具有重要意义。影响土壤硒含量和分布的主要因素有成土母质、土地利用类型、pH值、有机质等(章海波等,2005)。由于不同区域环境条件的差异,影响土壤硒富集分布的主控因素有所不同(蔡立梅等,2019)。

碧江区是典型的山地特色城市,立足于山地特色资源,大力发展现代山地特色高效农业。区内拥有省级高效农业示范园区、优质蔬菜基地、高效水果基地、水稻示范基地等,土壤硒分布特征及理化性质状况对区内发展现代山地特色农业至关

重要。本文借助于碧江区耕地质量地球化学调查评价成果,对区内耕地土壤硒元素分布特征、富硒耕地分布状况、土壤硒影响因素等内容进行分析探讨,以期对碧江区特色农业发展提供理论参考。

1 研究区概况

碧江区位于贵州省东北部,隶属贵州省铜仁市,地理坐标为东经108°56'13"~109°28'20",北纬27°32'18"~27°52'40",占地面积约1010 km²,是铜仁市政治、经济、文化、信息中心、交通枢纽。境内属中亚热带湿润季风气候,一年四季气候分明,日照充足,雨量充沛,年均气温为17.0℃,年均降水量为1265.4 mm。碧江区地处贵州高原向湘西丘陵过渡的斜坡地带,属低山丘陵地貌,地形切割较破碎,地面坡度较大,一般为25°~30°,地形起伏大,海拔205~1149 m。区内成土母质主要为灰岩、白云岩、页岩,局部分布硅质岩、板岩、炭质页岩、冰碛砾岩、第四纪沉积物等。土壤类型

[收稿日期] 2020-06-09 **[修回日期]** 2021-04-24

[基金项目] 贵州省碧江区耕地质量地球化学调查评价项目(黔地矿耕调2017-29)。

[作者简介] 沈小庆(1987—),男,研究生,工程师,主要从事地球物理勘查、农业地质、旅游地质工作。E-mail:125796350@qq.com。

[通讯作者] 洪万华(1980—),男,研究生,高级工程师,长期从事地球化学勘查、区域地质调查、农业地质、旅游地质等工作。E-mail:842946875@qq.com。

主要由红壤、水稻土、石灰土、黄壤组成。土地利用类型主要有耕地、林地、果园、牧草地、建设用

地、水域、其他土地等。农业耕种主要以水稻、玉米、油菜、花生、蔬菜等作物为主。

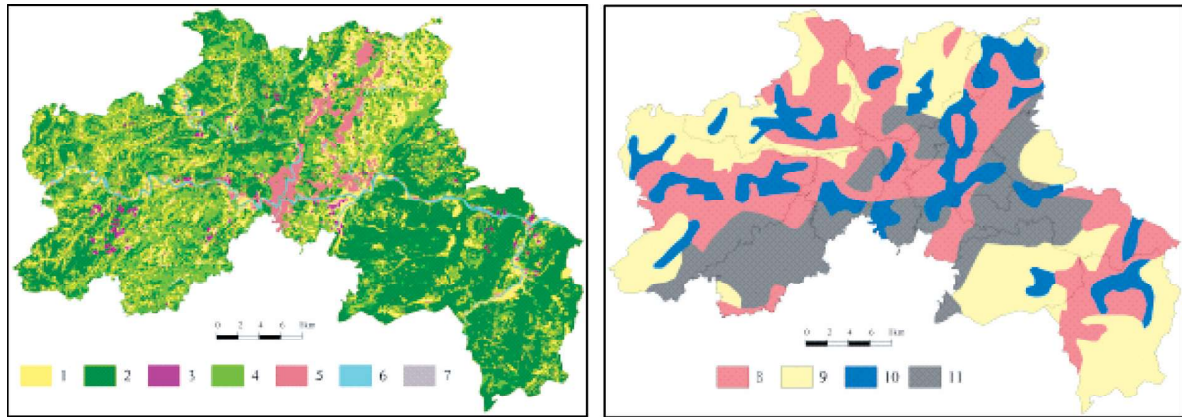


图1 碧江区土地利用现状及土壤类型图
(左为土地利用现状图,右为土壤类型图)

Fig. 1 Land use status and soil type map of Bijiang district

1—耕地;2—林地;3—园地;4—牧草地;5—建设用地;6—水域;7—其他土地;8—红壤;9—黄壤;10—水稻土;11—石灰土

2 样品采集与分析测试

2.1 样品采集与处理

本次调查评价工作系统的采集了碧江区 2228 件表层土壤(0~20 cm)基本样。以 1 km² 网格(正方形大格)为编号单元,按大格方里网内分成 333.3 m×333.3 m 的 9 个正方形布设采样小格。采样小格内耕地、园地图斑面积 ≥ 1/2 小格或相邻小格图斑面积之和 ≥ 1/2 小格时进行取样。以图斑中部为中心,根据采样地块形状,采用“S”形、“X 形”或“棋盘”形采集 4-6 件子样,各子样等份组合成一件表层土壤样品。样品经充分风干后过 2 mm(10 目)孔径筛,过筛后样品称重混匀,取大于 200 g 送实验室测试分析。

2.2 样品分析与测定

表层土壤样品共分析测试 N、P、K、Hg、Se、Mn、pH 值、有机质等 23 项元素或指标。土壤样品中硒含量采用原子荧光光谱法(AFS)进行测定;有机质含量采用容量法(VOL)进行测定;pH 值采用电位法(ISE)进行测定。为保证精度和准确性,按照相关规范要求插入一级标准物质和精密度控制样品,分系统统计各元素合格率均为 100%。采用具有较低检出限的分析方法用于测试各元素或指标报出率均为 100%。试样的重复性检验总体合

格率为 99.07%,异常点的重复性检验总体合格率为 99.05%。

3 土壤硒含量分布特征

碧江区土壤硒含量变幅为 0.12~16.9 mg/kg,平均值为 0.50 mg/kg。采用累积频率法分 15 级绘制碧江区耕地土壤硒元素地球化学图(图 2),高值区主要分布于坝黄镇北西部、云场坪镇东部、瓦屋乡西部等区域。通过碧江区和其他地区表层土壤硒含量对比(表 1)可见,碧江区土壤硒含量平均值为 0.50 mg/kg,高于贵州及全国硒平均含量。

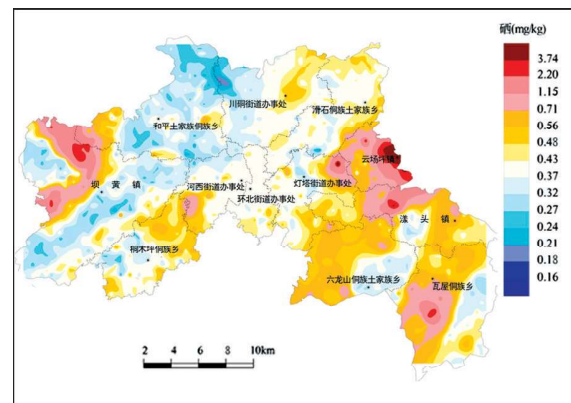


图2 碧江区耕地土壤硒元素地球化学图

Fig. 2 Geochemical map of soil selenium in Bijiang district

表1 碧江区与其他地区表层土壤硒含量对比表
Table 1 Comparison of surface soil selenium content between Bijiang district and other areas

地区	Se 含量均值(mg/kg)	资料来源
碧江区	0.50	
贵州省	0.39	(王甘露,2003)
湖北恩施	4.06	(王甘露,2003)
全国	0.29	(王甘露,2003)
世界	0.40	(王甘露,2003)

3.1 不同成土母岩土壤硒含量特征

土壤中硒含量与成土母岩类型关系密切(杨忠芳等,2012),表2为碧江区不同成土母岩及其形成的不同土壤类型表层土壤硒含量特征,图3为不同成土母岩土壤硒含量箱线图。由表2可见,不同成土母岩形成的土壤硒含量平均值变化顺序为:炭质页岩>碳酸盐岩>碎屑岩>变质岩。图3可见,变质岩、碎屑岩和碳酸盐岩上四分位数至下四分位数之间的宽度(“箱子”宽度)明显小于炭质页岩“箱子”宽度,表明成土母岩为炭质页岩所形成的土壤中硒元素离散程度较大。不同成土母岩土壤硒含量中位数的变化顺序表现为炭质页岩>碳酸盐岩>碎屑岩、变质岩,与平均值变化顺

表2 不同成土母岩形成的土壤硒含量对比(mg/kg)

Table 2 Comparison of soil selenium content formed by different parent rocks (mg/kg)

成土母岩	土壤类型	最小值	最大值	平均值	样品数
变质岩		0.18	1.55	0.39	70
	红壤	0.18	0.48	0.35	24
	黄壤	0.31	0.86	0.52	12
碎屑岩	水稻土	0.21	1.55	0.38	34
	红壤	0.117	4.96	0.44	944
	黄壤	0.14	3.74	0.41	461
碳酸盐岩	黄壤	0.117	4.37	0.49	272
	水稻土	0.133	4.96	0.43	211
	红壤	0.12	16.9	0.53	1 098
炭质页岩	黄壤	0.16	7.16	0.50	379
	石灰土	0.12	5.56	0.47	427
	水稻土	0.18	0.92	0.45	107
炭质页岩	水稻土	0.22	16.9	0.75	185
	红壤	0.17	7.17	0.79	116
	黄壤	0.18	7.17	0.95	53
	石灰土	0.28	2.1	1.30	3
	水稻土	0.26	1.78	0.59	22
	水稻土	0.17	3.7	0.65	38

序较为相似。土壤中的硒元素来源主要为成土母岩,在原生环境中硒的主要来源为富硒的沉积岩,如寒武系牛蹄塘组黑色炭质页岩。区内富硒成土母质长期受风化剥蚀,硒元素被搬运至地势低洼的沟谷和平坝沉淀富集。

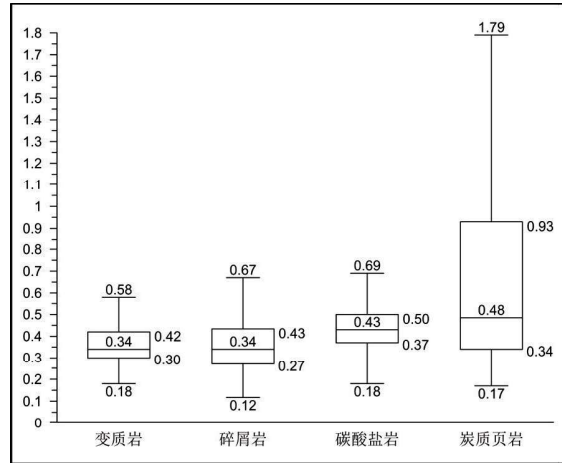


图3 不同成土母岩土壤硒含量箱线图(mg/kg)

Fig. 3 Boxplot of soil selenium content in different parent rocks (mg/kg)

3.2 不同pH值土壤硒含量特征

根据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016),土壤酸碱度(pH值)分级从强酸性到强碱性共分五级,详见表3。

表3 土壤酸碱度分级标准

Table 3 Soil pH grading standard

pH值	<5.0	5.0~6.5	6.6~7.5	7.6~8.5	≥8.5
等级	强酸性	酸性	中性	碱性	强碱性

经统计,区内强酸性土壤硒含量平均值最高,达到0.63 mg/kg(表4),强碱性土壤样品仅有1件,不具统计意义。不同pH值土壤硒含量变异系数较大,表明土壤硒含量数据分布较为离散。不同pH值土壤硒含量平均值变化顺序为:强酸性>碱性>中性>酸性。由此可见,随着pH值增大或减小土壤硒含量平均值波动变化。一般而言,硒在土壤中的赋存形式主要有硒酸盐、亚硒酸盐、元素硒及硒化合物等,土壤pH值对硒的赋存形式起着重要作用。在pH值为4-8的土壤环境中,硒的主要赋存形式为亚硒酸盐,由于迁移淋溶作用较弱,容易造成硒的富集(蔡立梅等,2019)。由此可见,pH值对区内土壤硒的富集有一定影响,但不是主控因素。绝大多数的研究都表明,土壤pH值可以在一定程度上影响其硒含量(周骏,2016)。

表 4 不同酸碱度等级土壤硒含量对比 (mg/kg)

Table 4 Comparison of soil selenium content at different ph levels (mg/kg)

等级	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数	样品数
强酸性	0.19	7.17	0.63	0.74	1.18	273
酸性	0.126	5.56	0.46	0.39	0.86	1 100
中性	0.117	16.9	0.49	0.94	1.92	333
碱性	0.12	9.72	0.52	0.75	1.44	521
强碱性	-	-	-	-	-	1

3.3 不同土地利用类型土壤硒含量特征

研究区不同土地利用类型土壤硒平均含量差异不大,水田中硒含量平均值最高,为 0.56 mg/kg,水浇地中硒含量平均值最低,为 0.42 mg/kg。

水田硒含量变异系数高,硒含量数据分布离散,不同点位硒含量差异大。碧江区云场坪地区富硒土壤主要受到汞矿分布影响,对母岩具有很强的继承性。该地区土地利用类型大部分为水田,采用水旱轮作的耕种方式,成土母质和人为耕作模式是导致水田中硒含量平均值高的主要因素。

表 5 不同土地利用类型土壤硒含量对比 (mg/kg)

Table 5 Comparison of soil selenium content in different land use types (mg/kg)

土地利用类型	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数	样品数
茶园	0.126	1.46	0.49	0.37	0.748 024	13
果园	0.15	3.22	0.44	0.32	0.719 303	158
旱地	0.117	7.17	0.49	0.45	0.928 074	1 500
水浇地	0.209	0.9	0.42	0.13	0.303 43	42
水田	0.133	16.9	0.56	1.07	1.907 274	515

3.4 富硒耕地分布特征

按照贵州省耕地质量调查评价办公室统一制定的全省硒元素地球化学分级划分标准(表 6),碧江区全区耕地土壤养分硒元素以三级为主,面积为 19.296 3 万亩,占区内耕地面积的 56.09%,广泛分布于各乡镇;过剩面积 0.149 6 万亩,占比 0.43%,主要分布于坝黄镇、漾头镇和云场坪镇;特等面积 0.386 9 万亩,占比 1.12%,主要分布于

坝黄镇、云场坪镇、漾头镇;一级面积 0.305 0 万亩,占比 0.89%,主要分布于坝黄镇、瓦屋乡、云场坪镇;二级面积 9.288 5 万亩,占比 27%,主要分布于坝黄镇和瓦屋乡,其它乡镇分布相对较少;含硒面积 4.854 5 万亩,占比 14.11%,各乡镇均有分布;低硒面积 0.120 9 万亩,占比 0.35%,主要分布于和平乡、坝黄镇、川硐街道。研究区富硒耕地面积合计 29.426 8 万亩,占比 85.54%,富硒耕地资源丰富。

表 6 硒元素地球化学分级划分标准 (mg/kg)

Table 6 Geochemical classification standard for selenium (mg/kg)

指标	低硒	含硒	三级	二级	一级	特级	过剩
标准值	≤0.2	>0.2~0.4	>0.4~0.5	>0.5~0.8	>0.8~1.2	>1.2~3.0	>3.0

4 土壤硒影响因素探讨

土壤中硒主要来源于成土母质及人为因素,其中成土母质是最重要的来源(王锐等,2017)。由于岩石的岩性和形成时代差异,硒元素在不同类型岩石中含量也大不相同。研究表明,硒循环的物质来源主要为火成岩,硅质岩、中深变质岩中的硒含量也较高(Girling C A,1984)。在原生地质环境中,硒的主要来源为富硒的沉积岩(Wang Z,Gao Y,

2001),如寒武系黑色岩系。土壤中硒含量除了受成土母质决定外,其他如成土过程、风化淋失、地形地貌、有机质含量等因素也会带来一定的影响,人为因素也是耕地土壤硒的重要影响因素。

4.1 硒元素相关性分析

按照相关系数值分为极强相关($r \geq 0.8$)、强相关($r=0.6-0.8$)、中等程度相关($r=0.4-0.6$)、弱相关($r=0.2-0.4$)、不相关($r=0-0.2$)以及负相关($r \leq -0.2$)。硒元素与其他元素相关性统计见表 7。

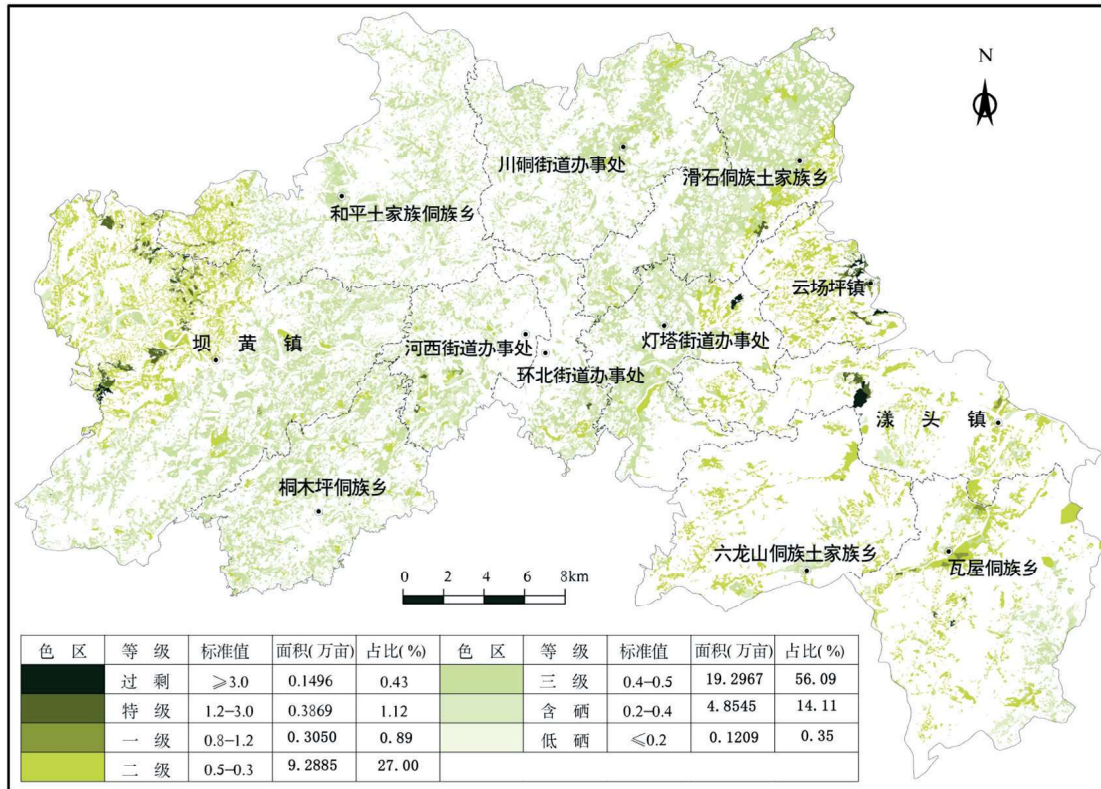


图4 碧江区耕地土壤养分硒元素评价等级图

Fig. 4 Soil nutrient selenium evaluation grade in Bijiang Area

表7 土壤硒相关系数及回归方程一览表

Table 7 List of correlation coefficient and regression equation of soil selenium

对象	回归方程	相关系数	样品数	对象	回归方程	相关系数	样品数
Se-As	$y = 0.0079x + 0.3815$	0.17	2228	Se-Mo	$y = 0.0397x + 0.3796$	0.48	2228
Se-B	$y = 0.0038x + 0.2013$	0.12	2228	Se-N	$y = 0.0003x - 0.0438$	0.27	2228
Se-Cd	$y = 0.2321x + 0.3862$	0.28	2228	Se-Ni	$y = 0.0002x + 0.4913$	0.01	2228
Se-Co	$y = -0.013x + 0.7413$	-0.13	2228	Se-P	$y = 0.0002x + 0.3424$	0.12	2228
Se-Cr	$y = 0.0028x + 0.2491$	0.09	2228	Se-Pb	$y = 0.0002x + 0.486$	0.05	2228
Se-Cu	$y = 0.0044x + 0.3539$	0.17	2228	Se-Tl	$y = 1.1156x - 0.451$	0.40	2228
Se-F	$y = 0.0001x + 0.3772$	0.06	2228	Se-V	$y = 0.0033x + 0.1064$	0.39	2228
Se-Ge	$y = -0.1087x + 0.6749$	-0.05	2228	Se-Zn	$y = 0.0015x + 0.3211$	0.18	2228
Se-Hg	$y = 0.0721x + 0.4269$	0.59	2228	Se-K	$y = 0.0009x + 0.4738$	0.01	2228
Se-I	$y = 0.0141x + 0.4675$	0.04	2228	Se-Som	$y = 0.1361x + 0.142$	0.22	2228
Se-Mn	$y = -7E-05x + 0.5455$	-0.05	2228				

按照拟合程度比较,硒元素与汞、钼、铊元素成中等程度相关;与有机质、镉、氮、钒元素成弱相关;与其余分析元素不相关。硒与有机质、氮元素具正相关,表明了硒在表层土壤环境中具有生物学富集的因素,在土壤有机质丰富的情况下也促使硒的富集。硒与汞的显著相关性反映了两者有着较强的伴生关系。硒与钼、铊、钒、镉的正相关性在一定程度上反映了黑色岩系的特征(余涛等,2018)。黑色岩系是含有机碳及硫化物较多的深灰-黑色的硅

质岩、碳酸盐岩、泥质岩及其变质岩石的组合体系,已有学者对高硒黑色岩系中层状硅质岩地球化学特征进行了研究(温汉捷等,2003)。

4.2 土壤硒与成土母质的关系

碧江区云场坪镇北东部硒元素高值异常区分布有多处汞矿点,硒元素高值异常区与汞元素高值异常区叠合较好。坝黄镇西北部高硒异常区与寒武系牛蹄塘组黑色岩系分布范围较吻合。硒属

5 结论

(1) 研究区土壤硒含量平均值为 0.50 mg/kg, 高于贵州和全国含量水平。区内超过 85% 的耕地富硒, 丰富的富硒耕地资源为发展山地特色农业提供了基础条件。

(2) 耕地土壤硒含量富集分布特征与成土母岩、pH 值、土地利用类型等因素密切相关, 特别是不同成土母岩对土壤硒含量影响最大, 其含量平均值变化顺序为: 炭质页岩 > 碳酸盐岩 > 碎屑岩 > 变质岩。

(3) 成土母质是土壤中硒元素的主要来源及影响因素。土壤中硒元素的含量还受到土壤 pH 值、有机质、土壤质地等理化条件的影响因素。同时, 人为因素也是耕地土壤硒元素的重要影响因素。

[参考文献]

- 蔡立梅, 王硕, 温汉辉, 等. 2019. 土壤硒富集空间分布特征及影响因素研究[J]. 农业工程学报, 362(10): 91-98.
- 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): 23-26.
- 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.

- 温汉捷, 裴榆卓, 凌宏文, 等. 2003. 中国早古生代若干高硒黑色岩系中层状硅质岩的地球化学特征及其成因意义[J]. 沉积学报, 21(4): 619-626.
- 薛瑞玲, 梁东丽, 王松山, 等. 2011. 外源亚硒酸盐和硒酸盐在土壤中的价态转化及其生物有效性[J]. 环境科学, 32(6): 1726-1733.
- 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, 026(005): 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.
- 周骏. 2016. 浙江省土壤中硒、碘的环境与生物地球化学特征研究[D]. 杭州: 浙江大学.
- 张晓荆. 1991. 荧光法测定土壤中的可溶性硒[J]. 环境科学与技术, (3): 21-22.
- 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.
- Girling C A. 1984. Selenium in agriculture and the environment [J]. Agric. Ecosyst. Environ, 11(1): 37-65.
- Jing W, Li H, Li Y, et al. 2013. Speciation, distribution, and bioavailability of soil selenium in the Tibetan Plateau Kashin - Beck disease area: A case study in Songpan County, Sichuan Province, China[J]. Biological Trace Element Research, 156(1/2/3): 367-375.
- Schomburg L, Köhrle J. 2010. On the importance of selenium and iodine metabolism for thyroid hormone biosynthesis and human health[J]. Molecular Nutrition and Food Research, 52(11): 1235-1246.
- Wang Z, Gao Y. 2001. Biogeochemical cycling of selenium in Chinese environments[J]. Appl. Geochem, 16(11-12): 1345-1351.

Study on the characteristics and influencing factors of soil selenium enrichment and distribution in Bijiang District, Tongren City, Guizhou Province

SHEN Xiao-qing, HONG Wan-hua, TU Fei-fei, YANG Bing-nan,
ZHANG De-shi, HAN Yao-fei, YU Wan-ze

(103 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and
Developmeng, Tongren 554300, Guizhou, China)

[Abstract] Selenium is an important essential trace element for human body and plays an important role in the development of characteristic agriculture. The average selenium content in the soil of Bijiang is higher than the average selenium content in Guizhou province and the whole country. The cultivated land area rich in selenium has 294,268 mu, which has a great potential for developing selenium-rich resources. Carbon shale soils contain more selenium than other types of rock soils. The average content of selenium in the strongly acidic soil was higher than that in the soil with other pH grades. The average content of selenium in paddy field was significantly higher than that of other land types such as dry land, orchard and irrigated land. Soil parent material is the main source and influencing factor of selenium in soil, and physical and chemical conditions such as pH value, organic matter and soil texture have definite influence on soil selenium.

[Key Words] Selenium element; Selenium-rich cultivated land; Distribution characteristics; Influencing factors; Bijiang district