贵州省普定县耕地土壤 Se 分布特征

李 艳[1,2],鄢兴旭[1,2],姜再菊[1,2],罗 沙[1,2],孟超领[1,2]

(1. 贵州煤矿地质工程咨询与地质环境监测中心,贵州 贵阳 550081;
2. 贵州荣源环保科技有限公司,贵州 贵阳 550081)

[摘 要]硒是重要的生命元素之一,对普定县耕地土壤硒分布特征进行研究有利于当地合理有效的开发利用富硒土地资源。本文通过对研究区 3613 件表层土壤样品中全硒含量进行检测分析,发现硒在土壤中的分布特征表现为明显富集于表层土,表层土壤硒含量在不同类型的土壤中的特征为:紫色土>黄壤>石灰土>水稻土,而在不同成土母岩的土壤中表现为:岩浆岩>白云岩>碎屑岩>灰岩;土壤硒元素主要来源于成土母岩,硒在土壤中的分布则受到土壤性质的影响,主要影响因素为 pH 值、土壤有机质及土壤磷的含量;本文调查发现研究区富硒(0.4 ~ 3.0 mg/kg)耕地面积为 45.74 万亩,占全县耕地总面积的 75.05%。

[关键词]耕地土壤;硒;普定县;分布特征

[中图分类号]P632;S159;O613.52 [文献标识码]A [文章编号]1000-5943(2020)-03-0372-06

1 引言

硒是重要的生命元素之一,适量地摄入硒,对维持生命活动、保证身体健康具有重要作用。同时硒可以提高植物抗逆性,对种子萌发、根系活力、叶绿素含量以及对植物生理功能有重要影响(袁思莉等,2014;万海英等,2014)。有关硒的环境地球化学研究起始于 20 世纪 80 年代后期,硒是分散元素,地壳中硒平均质量分数为 0.05 ~ 0.09 mg/kg(Wang et al,2001)。我国是严重缺硒的国家,缺硒、低硒地区面积约占国土总面积的 72%,不同地区土壤硒含量分布极不均匀,仅有少数地区硒充足(王幻麒等,2020)。贵州土壤硒元素背景值为 0.298 4 mg/kg(中国环境监测总站,1990),从全国多目标地球化学调查数据来看,贵州土壤中硒含量较高(王锐等,2017)。土壤中硒的来源有成土母质、化学肥料、大气沉降、人畜粪便、灌溉水等,而成土母质是主要来源,土壤表层硒主要是母质风化和植物富集的结果(陆枫,2010)。不同母质、土壤类型及土地利用方式对土壤 Se 的含量及富集水平均造成不同程度的影响(蔡立梅等,2019;李杰等,2012)。

研究耕地土壤硒的分布特征及其影响因素是有效开发利用富硒土壤资源的基础。而目前普定县耕地硒的研究还较缺乏,本文选取贵州省普定县作为研究区,对研究区耕地土壤 Se 含量及空间分布特征进行研究,以期为当地合理有效的开发利用富硒土地资源及其选取优质的农作物提供依据。

2 研究区概况

普定县位于贵州省中部,境内各乡镇间都有公路连接,交通便利,通达性较好,全县总面积 1 079.93 km^2,全县户籍人口有 46 万人,是一个多民族聚居地区。全县地势东、北、西三面高,南部次之,中部最低,海拔高度在 1 042 ~ 1 846 m 之间。普定县属亚热带湿润季风气候,冬无严寒、夏无酷热,四季宜人。年平均气温 14.9℃,最高气温

[收稿日期]2020-04-17 [修回日期]2020-06-15
[基金项目]贵州省耕地质量地球化学调查评价项目。
[作者简介]李艳(1990—),女,环境科学与工程专业硕士研究生,主要从事生态环境调查评价与治理工作。Email:ly_421@126.com。

34.6℃,最低气温-7.6℃。多年来平均降雨量 1 360.5 mm,年最大降雨量 1 535.1 mm,年最小降雨量 1 067.6 mm。普定县是一个山区农业县,人均占有土地和耕地量少,土壤种类主要有黄壤、石灰土、黄棕壤、紫色土、潮土、水稻土等。耕地中水田少,旱地多,坡耕地占旱地的三分之一。

3　样品的采集与测定

3.1　样品采集

表层土壤样品采样点区域的点密度为 8.89 个点/km^2,采样单元按全国第二次土地调查图斑进行布设,根据 1 km^2范围内二调图斑多少不同,样品数有所不同,在考虑样品代表性的同时兼顾均匀性与合理性,最大限度控制调查单元。

全县共完成 1∶5万耕地、园地土壤调查面积 406.33 km^2,完成耕地深度为 0～20 cm 的表层土壤样品采集 3613 件,土壤剖面样 24 件,成土母岩样品 6 件。

3.2　样品分析

土壤和岩石样品的分析测试均由四川省地质矿产勘查开发局成都综合岩矿测试中心承担。采用原子荧光光谱法(AFS)测定土壤、岩石中的全硒含量,氧化还原容量法(VOL)测定土壤中的有机质,X 射线荧光光谱法(XRF)测定土壤中的全磷含量,pH 计电极法(ISE)测定土壤中的 pH 值。样品的分析质量采用外部质量控制和内部质量监控相结合的方法控制,外部质量控制采取插入外部标准控制样和送测外检样两种方式,合格率均为 100%;内部质量监控从检出限高低、准确度、精密度、数据报出率、异常点检查和重复性检验等质量参数进行监控,合格率均在 95 %以上。

表 1　土壤样品分析测试方法

Table 1　Analysis test methods of soil samples

序号	处理方法		测定方法	分析项目
1	5.0 g 样品	粉末压片法	X 射线荧光光谱法(XRF)	P
2	0.500 0 g 样品硝酸、高氯酸溶样	KBH4 还原、氢化法	原子荧光光谱法(AFS)	Se
3	0.500 0 g 样品硫酸分解	重铬酸钾氧化	氧化还原容量法(VOL)	Corg
4	10.0 g 样品,水浸取	直接测定	pH 计电极法(ISE)	pH

3.3　数据处理

采用 Microsoft Excel 2014 等软件完成数据相关统计分析,运用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”及 Arcgis 10.2 软件完成硒地球化学等级评价图件的制作,相关分析用 SPSS 22。

4　结果与分析

4.1　土壤中硒元素含量及分布特征

4.1.1　硒元素空间分布特征

研究区土壤中 Se 元素的最大值为 3.64 mg/kg,最小值为 0.08 mg/kg,全县平均值为 0.58 mg/kg,以平均值±3 倍标准差迭代剔除后,全县土壤 Se 含量平均值为 0.54 mg/kg,最大值为 1.25 mg/kg,最小值为 0.08 mg/kg。根据土壤样品中的 Se 含量,利用半变异函数模型及克里金插值绘制出研究区表层土壤 Se 含量的空间分布图(图 1)。研究区耕地土壤中硒含量的空间分布特征则表现出硒含量较高的耕地土壤主要分布在研究区东北和西方向,其中东北部猴场乡耕地土壤中的硒平均含量最高,为 0.87 mg/kg;在研究区中部以及南部的耕地土壤中硒含量相对较低,而定南街道耕地土壤中的硒平均含量最低,为 0.37 mg/kg。Se 元素高值的表土主要分布在二叠系茅口组、龙潭组、长兴组及峨眉山玄武岩组,低值区主要分布在二叠系关岭组。

4.1.2　研究区剖面土壤硒含量特征

土壤剖面 Se 的分布在一定程度上反映了土壤发育和生物学过程对土壤中 Se 的平衡的影响,根据区内土壤垂向剖面调查结果(图 2),总体来看各地层 Se 分布富集在表层土壤,表深层 Se 含量值差异较大,表层土壤中的硒元素含量大于深层土壤中硒元素含量,这可能是土壤在不断耕作和熟化过程中土壤有机质不断地增加,会将硒吸附和固定在表层土壤中,从而使得土壤中硒含量增加(李娟等,2005)。

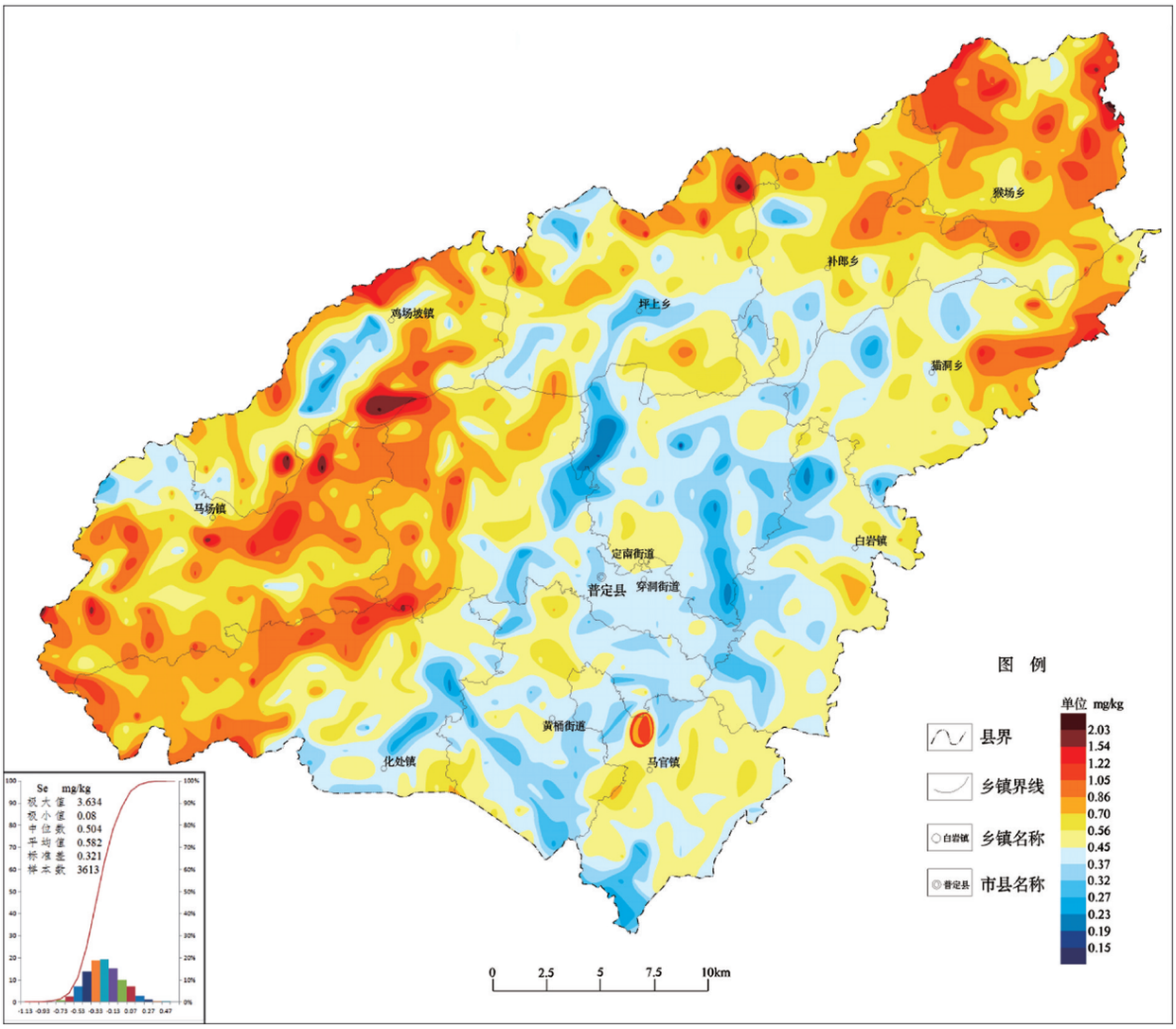


图 1　普定县耕地土壤硒(Se)含量分布特征图

Fig. 1　Distribution characteristics of soil selenium content in cultivated land in Puding county

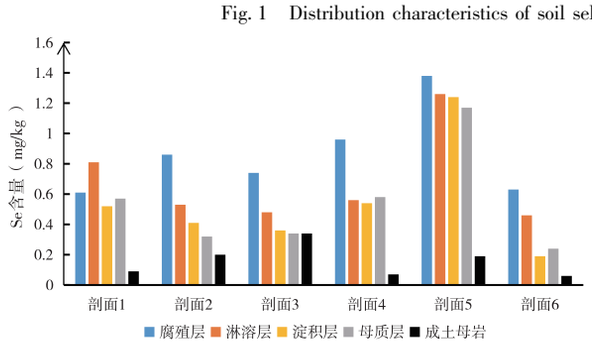


图 2　剖面样硒元素特征表

Fig. 2　Selenium features in profile samples

4.1.3　不同土壤类型中硒元素分布特征

贵州黄壤面积最大,其次为石灰土和水稻土,分别占土地总面积的 46.4%、17.5%和 9.7%,熟化土壤占比较大,有利于硒的富集(张庆华等,2019)。普定县土壤以石灰土的比重最大,其次为黄壤,再次为水稻土、紫色土。本次调查对普定县 3613 个耕地土壤样品中 Se 含量进行统计分析得出:土壤 Se 含量在 0.08～3.63 mg/kg 之间,平均含量为 0.57 mg/kg;不同土壤类型中 Se 含量不同(表 2),各类土壤中 Se 含量平均值由高到低依次为:紫色土(0.63 mg/kg)>黄壤(0.61mg/kg)>石灰土(0.52 mg/kg)>水稻土(0.51 mg/kg)。而不同母质的土壤中 Se 含量也存在差异,不同母质土壤中 Se 含量平均值由高到低依次为:岩浆岩(0.82 mg/kg)>白云岩(0.81mg/kg)>碎屑岩(0.62 mg/kg)>灰岩(0.55 mg/kg)。成土母岩为岩浆岩的土壤硒含量最高,成土母岩为岩浆岩的耕地土壤硒含量最高,有研究表明富硒土壤表现出对成土母岩的继承性,主要和基性火山岩有关(王锐等,2012)。

表 2　不同土壤类型及母质类型下土壤 Se 含量

Table 2　Statistics of Se in different types of soil

土壤类型	样品数(个)	最大值(mg/kg)	最小值(mg/kg)	平均值(mg/kg)	标准差	变异系数	以(平均值±3 倍标准差)迭代剔除后平均值(mg/kg)
黄壤	2 555	3.63	0.08	0.61	0.34	0.56	0.57
石灰土	488	1.67	0.12	0.52	0.24	0.47	0.49
水稻土	510	2.03	0.14	0.51	0.27	0.53	0.45
紫色土	53	2.34	0.23	0.63	0.32	0.51	0.59
岩浆岩	129	3.63	0.19	0.82	0.44	0.54	0.77
碎屑岩	416	2.91	0.11	0.69	0.31	0.45	0.68
灰岩	3 007	3.63	0.08	0.55	0.31	0.56	0.5
白云岩	61	1.55	0.22	0.81	0.32	0.39	0.81

4.2　土壤中硒元素含量分布的主要因素分析

4.2.1　成土母岩

土壤硒来源于各种母岩,土壤中硒含量在很大程度上决定于其母质母岩本身的硒含量(张艳玲等,2002)。从土壤硒的分布特征中可以看出,Se 元素高值的表土主要分布在二叠系茅口组、龙潭组、长兴组及峨眉山玄武岩组。Se 是亲地核元素,万传杰等(万传杰等,2019)研究表明火山作用是硒的一个重要源泉,早二叠世峨眉山玄武岩大规模喷发是 Se 元素富集的物质来源。Huang Shunsheng 等(Huang et al,2009)研究表明高硒土壤主要来源于富硒岩石和煤系地层,研究区二叠系茅口组、龙潭组、长兴组为含煤地层,故推断研究区表层土硒的含量受成土母岩的影响。

4.2.2　土壤性质

由研究区表土硒含量与土壤性质相关性分析(表 3),可看出土壤硒含量与 pH 呈明显负相关,这是由于在中性及酸性条件下,硒的主要存在形态为亚硒酸盐(SeO_3^{2-}),不易迁移和淋溶流失,而在碱性条件下,硒的主要存在形态为硒酸盐(SeO_4^{2-}),活性和生物可利用性大,容易迁移流失。土壤硒含量与土壤有机质呈明显正相关,相关系数为 0.48,有机质对硒有很强的吸附能力,有机质对硒的吸附是土壤富集硒的一个重要因素(REN et al,2014)。土壤中磷含量也与土壤硒呈正相关,磷在土壤中主要以磷灰石的形式存在,可以吸附 Se^{4+},而几乎不吸附 Se^{6+}(邹辉等,2018),所以可以推断出土壤硒被磷灰石吸附,同时,土壤硒主要以 Se^{4+}存在。

表 3　硒和土壤相关性分析

Table 3　Correlation analysis of Se and soil

	P	Se	有机质含量	pH
P	1	0.324**	0.406**	-0.321**
Se		1	0.480**	-0.324**
有机质含量			1	-0.116**
pH				1

**. 相关性在 0.01 水平显著

综上所述,研究区成土母质是土壤硒的主要来源,硒在土壤中的分布受到土壤 pH 值、土壤有机质和土壤磷的影响。

4.3　富硒土壤资源评价

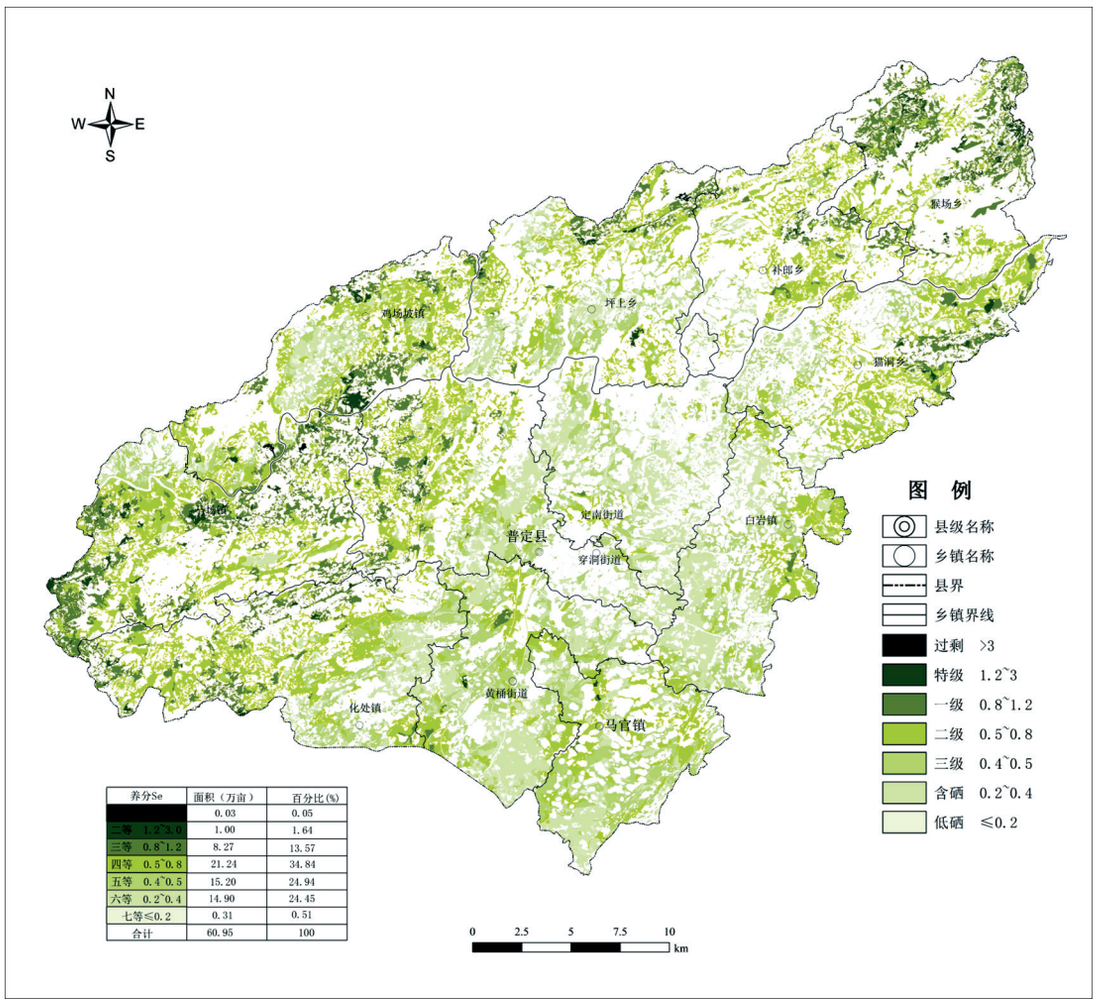
对于富硒土壤我国尚无统一的行业和国家标准,大多数的研究划分标准为含量≥0.4 mg/kg 为富硒土壤(邹辉等,2018;李家熙,2000)。参照《土地质量地球化学调查评价规范》(DZ/ T 0295—2016)中富硒土壤标准,同时依据贵州省已完成的多目标地球化学调查报告,把研究区土壤硒含量划分为七个等级(表 3)。其中三级到特级(0.4～3.0 mg/kg)为富硒土壤,低硒和含硒(≤0.4 mg/kg)为硒不足,过剩为硒过剩(>3.0 mg/kg)。

研究区硒不足的耕地面积为 15.21 万亩,占全县耕地总面积的 24.9%,富硒耕地面积为 45.74 万亩,占全县耕地总面积的 75.05%,主要分布在马场镇的下管村、马场村、龙场乡的波堕村、鸡场坡乡的羊场村、猫洞乡的新民村、白岩镇的白岩场村;硒过剩耕地的面积为 0.03 万亩,占全县耕地面积的 0.05%,主要分布在马场镇、鸡场坡乡、坪上乡。

表 4　普定县富硒土壤等级划分

Table 4　The classification-standard of selenium content of soil in Puding county

硒元素等别	七 低硒	六 含硒	五 三级	四 二级	三 一级	二 特级	一 过剩
值/(mg/kg)	≤0.2	0.2-0.4	0.4-0.5	0.5-0.8	0.8-1.2	1.2-3.0	>3.0



养分Se	面积（万亩）	百分比(%)
	0.03	0.05
二等　1.2~3.0	1.00	1.64
三等　0.8~1.2	8.27	13.57
四等　0.5~0.8	21.24	34.84
五等　0.4~0.5	15.20	24.94
六等　0.2~0.4	14.90	24.45
七等≤0.2	0.31	0.51
合计	60.95	100

图 3　普定县耕地土壤硒(Se)等级图

Fig. 3　Selenium levels in cultivated soil in Puding county

5　结论

(1)研究区硒在表层土壤中明显富集,表层土壤 Se 含量在不同类型的土壤中的特征为:紫色土(0.63 mg/kg)>黄壤(0.61 mg/kg)>石灰土(0.52 mg/kg)>水稻土(0.51 mg/kg);而在不同成土母岩的土壤中表现为:岩浆岩(0.82 mg/kg)>白云岩(0.81 mg/kg)>碎屑岩(0.62 mg/kg)>灰岩(0.55 mg/kg)。

(2)研究区土壤硒主要来源于成土母岩,在土壤中的迁移转化则受到土壤性质的影响,主要为 pH 值、土壤有机质及土壤磷。

(3)研究区富硒(0.4～3.0 mg/kg)耕地面积为 45.74 万亩,占全县耕地总面积的 75.05%,而硒过剩耕地的面积为 0.03 万亩,占全县耕地面积的 0.05%。

致谢:感谢省耕地调查办、安顺市耕地调查办、普定县耕地调查办、安顺市农业局、普定县农业局的相关领导及技术人员对该项工作的支持,感谢贵州煤矿地质工程咨询与地质环境监测中心和贵州荣源环保科技有限公司人员参与野外调查与数据处理,感谢四川省地质矿产勘查开发局成都综合岩矿测试中心对本项目样品的测试分析。

[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,35(10):83-90.

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(05):174-182.

李娟,龙健,汪境仁. 2005. 黔中地区水稻土的含硒量及其对糙米硒含量的影响[J]. 土壤通报,36(04):571-574.

李家熙,张光弟,葛晓立,等. 2000. 人体硒缺乏与过剩的地球化学环境特征及其预测[M]. 北京:地质出版社,3-8.

陆枫. 2010. 硒元素的地球化学环境特征[J]. 黑龙江科技信息,(26):13.

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,361(10):154-156.

万海英,向极钎,杨永康,等. 2014. 植物对硒的吸收、转化及生理功能研究综述[J]. 安徽农业科学,42(21):6923- 6925 .

王幻麒,刘绍华. 2020. 丹寨县中低山区土壤硒元素分布特征及影响因素[J]. 南方国土资源,(02):36-40.

王锐,余涛,曾庆良,等. 2017. 我国主要农耕区土壤硒含量分布特征、来源及影响因素[J]. 生物技术进展,(05):359-366.

万传杰,李莉,李绍政,等. 2019. 恩施双河地区孤峰组硅质岩成因及硒元素来源分析[J]. 西部探矿工程, 031(009):127-130.

袁思莉,余垚,万亚男,等. 2014. 硒缓解植物重金属胁迫和累积的机制[J]. 农业资源与环境学报,31(06):545-550.

袁知洋,项剑桥,吴冬妹,等. 2017. 恩施富硒土壤区主要农作物硒镉特征以及和根系土硒镉关系研究[J]. 资源环境与工程,31(6):706-712.

张庆华,李丙霞. 2019. 贵州发展富硒农产品的潜力分析及展望[J]. 天津农业科学,25(06):61-67.

中国环境监测总站. 1990. 中国土壤元素背景值[M]. 北京:中国环境科学出版社,370.

邹辉,王卉,段碧辉,等. 2018. 恩施州宣恩地区富硒土壤硒含量特征及影响因素研究[J]. 资源环境与工程,32(04):546-550.

张艳玲,潘根兴,李正文,等. 2002. 土壤-植物系统中硒的迁移转化及低硒地区食物链中硒的调节[J]. 土壤与环境,11(4):388-391.

朱建明,梁小兵,凌宏文,等. 2003. 环境中硒存在形式的研究现状[J]. 矿物岩石地球化学通报, 22(1):75-81.

Ren, H. L. , Yang, R. D. . 2014. Distribution and controlling factors of selenium in weathered soil in Kaiyang County, Southwest China [J]. Chinese Journal of Geochemistry, (33):300-309.

Hung, S. S. , Hua, M. , Feng, J. S. , et al. 2009. Assessment of selenium pollution in agricultural soils in the Xuzhou District, Northwest Jiangsu, China[J]. Journal of Environmental Sciences, 21(4)481-487.

Wang, Z. J. , Gao, Y. X. . 2001. Biogeochemical cycling of selenium in Chinese environments[J]. Applied Geochemistry, 16(11):1345-1351.

Distribution Characteristics of Soil Selenium of Puding County, Guizhou Province

LI Yan[1,2], YAN Xing-xu[1,2], JIANG Zai-ju[1,2], LUO Sha[1,2], MENG Chao-ling[1,2]

(1. *Guizhou Rongyuan Environmental Technology Co., Ltd., Guiyang* 550081, *Guizhou*, *China*;
2. *Guizhou Coal Mine Geological Engineering Advisory and Geological Environment Monitoring Center*, *Guiyang* 550081, *Guizhou*, *China*)

[**Abstract**] Selenium is an essential element of life, and the study is beneficial to the rational and effective development and utilization of selenium-rich land resources. In this paper, from the analysis of 3613 surface soil samples, the characteristics of selenium in the soil are obviously concentrated in the surface soil, and the characteristics of the soil selenium content performed as purple soil > yellow soil > lime soil > rice soil. In the soil of different soil-forming rocks: igneous rock > dolomite > debris rock > grey rock. The soil selenium element mainly comes from the soil master rock, the distribution of selenium in the soil is affected by the soil nature, the main influencing factors are pH, soil organic matter and soil phosphorus content. The investigation found that the study area of selenium rich (0.4 to 3.0 mg/kg) arable land area of 0.45 million mu, accounting for 75.05 percent of the total area of cultivated land in the county.

[**Key Words**] Cultivated soil; Selenium; Puding; Distribution