

成晓梦, 孙彬彬, 贺灵, 等. 四川省沐川县西部地区土壤硒含量特征及影响因素[J]. 岩矿测试, 2021, 40(6): 808 - 819.
CHENG Xiao-meng, SUN Bin-bin, HE Ling, et al. Content Characteristics and Influencing Factors of Soil Selenium in Western Muchuan County, Sichuan Province[J]. Rock and Mineral Analysis, 2021, 40(6): 808 - 819.

【DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.202106080072】

四川省沐川县西部地区土壤硒含量特征及影响因素

成晓梦^{1,2,3}, 孙彬彬^{1,2,3}, 贺灵^{1,2,3*}, 吴超^{1,2,3}, 赵辰^{1,3}, 曾道明^{1,2,3}

1. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北 廊坊 065000;
2. 联合国教科文组织全球尺度地球化学国际研究中心, 河北 廊坊 065000;
3. 中国地质调查局土地质量地球化学调查评价研究中心, 河北 廊坊 065000)

摘要: 硒是人体和动物必需的微量有益元素, 摄入适量硒是提高人群生活质量的重要标志。食用富硒农产品是缺硒地区人体获取和补充硒元素的重要途径。调查土壤硒的含量特征、圈定富硒土壤资源分布区、查明土壤硒迁移富集的影响因素, 是高效利用富硒土壤资源和科学开发富硒农产品的重要依据。本文选择四川省沐川县西部地区采集土壤样品, 采用原子荧光光谱法、X射线荧光光谱法、电感耦合等离子体质谱/发射光谱法等方法测定土壤中 Se、Al₂O₃、TFe₂O₃、OrgC、Cd 等元素含量和 pH 值, 利用统计学及相关分析等方法研究了土壤硒等元素含量和分布特征, 并对土壤硒含量的主要影响因素进行探讨。结果表明: ①研究区表层土壤硒含量范围为 0.08 ~ 1.30mg/kg, 平均含量为 0.39 ± 0.15mg/kg, 满足富硒土壤条件的土壤面积为 112km², 占研究区总面积的 52%, 其中无公害富硒土壤面积为 35km²。土壤 Cd 含量是造成富硒土壤和无公害富硒土壤面积具有较大差异性的主要因素。②地质背景与土壤硒含量密切相关, 富硒土壤主要受含碳酸盐岩及夹碳质地层的砂岩、粉砂岩等地层控制, 土壤硒来源稳定; ③土壤硒含量随 pH 值、风化程度的降低而升高, 随有机质、TFe₂O₃、S 含量的升高而升高, 其中有机质对土壤硒的影响显著大于 TFe₂O₃, 表明该区域铁氧化物对硒的吸附能力低于有机质。综上所述, 研究区富硒土壤资源丰富, 建议当地充分利用相关资源开发富硒农产品, 同时应注重有机肥的平衡施肥, 并进一步加强土壤-作物系统中硒迁移富集影响因素的协同分析。

关键词: 土壤硒; 影响因素; 成土母质; 沐川县; 原子荧光光谱法; 电感耦合等离子体质谱/发射光谱法

要点:

- (1) 研究区富硒土壤面积为 112km², 其中无公害富硒土壤面积为 35km², 富硒土壤资源丰富。
- (2) 地质背景与土壤硒含量密切相关, 富硒土壤主要受含碳酸盐岩及夹碳质地层的砂岩、粉砂岩等地层控制。
- (3) 土壤 pH、有机质、TFe₂O₃、S 及土壤风化程度均对土壤硒的富集活化产生影响, 其中铁氧化物对硒的吸附能力低于有机质。

中图分类号: O657.63; X820.4 **文献标识码:** A

硒(Se)是人体和动物必需的微量营养元素之一, 国内外大量研究证实硒在增强人体免疫力、抗氧化、重金属解毒、预防癌症和地方病等方面具有重要

功效^[1-3]。硒属于分散元素, 世界上土壤硒含量变化于 0.01 ~ 2.0mg/kg, 平均含量约为 0.4mg/kg^[4]。中国是全球 40 个缺硒国家之一, 土壤硒的空间分布

收稿日期: 2021-06-08; 修回日期: 2021-07-01; 接受日期: 2021-08-28

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20190522-03, DD20190522-07)

第一作者: 成晓梦, 工程师, 主要从事生态地球化学研究。E-mail: cxiaomeng@mail.cgs.gov.cn。

通信作者: 贺灵, 高级工程师, 主要从事生态地球化学调查与研究。E-mail: lingh1237@163.com。

极不均匀,平均含量仅为 0.24mg/kg^[5],全国贫硒国土面积约为 30%^[6]。据统计,中国约 366 个县 1.05 亿人群因硒摄入不足而需要关注健康影响^[7]。人体硒的营养水平主要取决于饮食中的硒摄入量,而食物中的硒主要来源于土壤^[8-9],因此调查土壤中的含量水平,圈出富硒土壤资源并加以开发利用,是近年来国内外研究的热点。

通常自然状态下,土壤硒含量受地质背景、地理景观条件、土壤类型等因素制约^[10-12]。任海利等^[13]、刘才泽等^[14]、宋明义等^[15]研究均表明土壤硒高含量与黑色岩系密切相关;吴兴盛^[16]对武平县表层土壤研究指出,土壤有机质、铁氧化物含量是影响表层土壤硒含量的重要因素;Blazina 等^[17]认为中国东北三省至西南的云贵高原低硒带分布与季风气候有关;也有研究显示,土壤硒含量受 pH 值影响显著^[18-20]。近年的调查研究还发现,中国许多地区富硒土壤通常与重金属共生^[21],因此查明富硒土壤中硒迁移富集的影响因素,对富硒土壤资源的科学利用具有重要的现实意义。

本文以四川省沐川县开展的 1:5 万土地质量地球化学调查数据为基础,采用原子荧光光谱、X 射线荧光光谱、电感耦合等离子体质谱/发射光谱等方

法测定土壤样品中 Se、Al₂O₃、TFe₂O₃、OrgC、Cd、pH 等指标。利用统计学及相关分析等方法,在分析土壤硒等元素含量与分布特征的基础上,对土壤硒含量的主要影响因素进行了讨论,以为当地富硒土壤资源的高效利用提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于四川省西南部的沐川县,地处四川盆地西南边缘向凉山山地过渡地带(图 1),属于亚热带季风气候。地貌主要以平坝、低山和低中山为主。土壤类型多为水稻土、紫色土和黄壤。土地利用方式以旱地和水田为主,主要种植水稻、玉米等作物。耕地较为分散,主要为山间梯田。区内出露地层主要有:侏罗系蓬莱镇组(J_{3p})、遂宁组(J_{3sn})、沙溪庙组(J_{2s})和自流井组(J_{1z}),岩性以泥岩、砂岩和粉砂岩为主;三叠系须家河组(T_{3x})和垮洪洞组—须家河组并层(T_{3k-x}),岩性主要为砂岩、粉砂岩、泥岩及煤层组成的沉积旋回;三叠系雷口坡组(T_{2l}),岩性为粉砂岩与白云岩、泥质灰岩互层,夹黑色碳质页岩;三叠系飞仙关组—嘉陵江组—雷口坡组并层(T_{1-2f-l})和飞仙关组—嘉陵江组并层(T_{1f-j}),岩性主要为白云岩、灰岩、页岩;二叠系宣

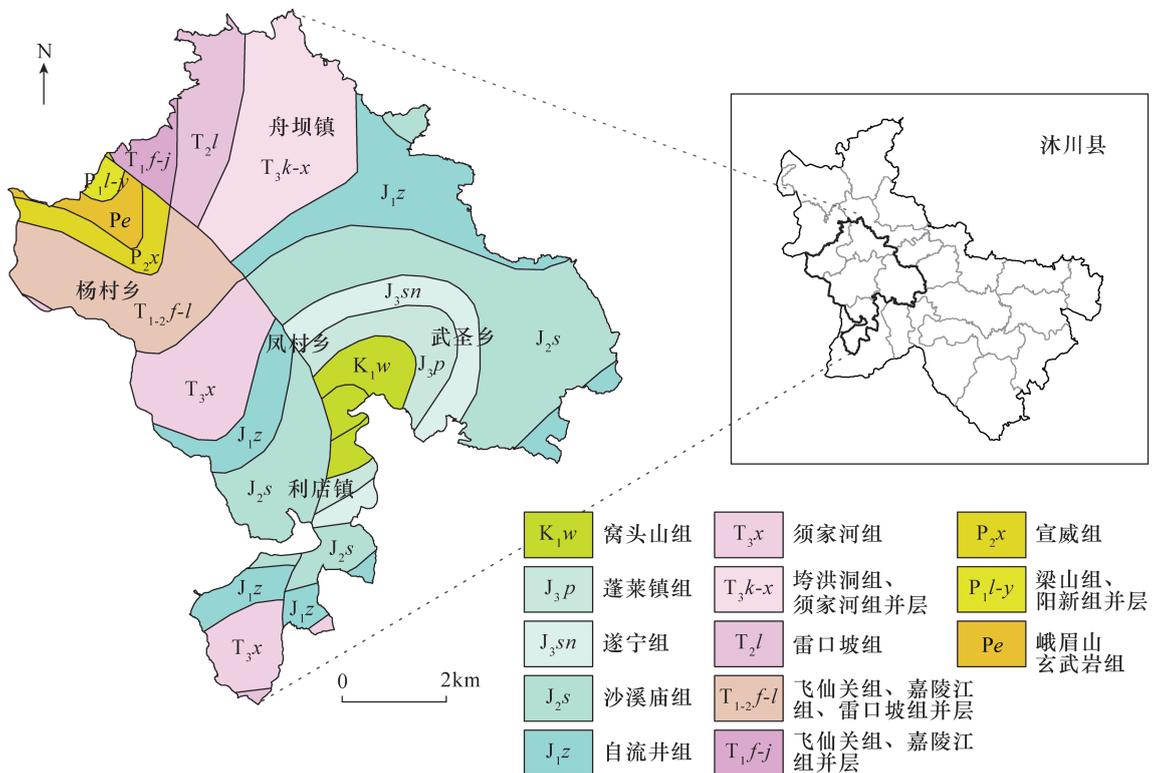


图 1 研究区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the study area

威组(P_2x),岩性为黄绿色砂、粉砂岩,夹泥岩及煤;二叠系峨眉山玄武岩组(Pe),岩性为灰绿色致密、杏仁状玄武岩,夹苦橄岩、凝灰质砂泥岩、煤线及硅质岩;研究区中部小面积出露白垩系窝头山组(K_1w),岩性主要为砖红色块状细粒长石石英砂岩(图1)。

2 实验部分

2.1 样品采集

采取网格控制与土地利用图斑相结合的原则,以农用地为主、其他用地类型为辅布设采样点,确保采样点空间分布总体均匀。整体采样密度控制在4~16个 $\text{点}/\text{km}^2$,共采集表层土壤样品1328件,实际控制面积 216km^2 。每件样品由GPS定位点及其附近50m范围内4个子样等量混合而成,采样深度为0~20cm,样品原始质量约为1kg。采集的土壤样品经自然风干后去除石块、碎屑等杂质,充分破碎后全部过10目筛,混匀、称重、装入聚乙烯样品瓶后送至实验室分析。

2.2 样品分析测试方法

本研究依据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016),采用原子荧光光谱法(AFS)测定Se、As和Hg含量;电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定Cd和Pb含量;X射线荧光光谱法(XRF)测定Cr、 Al_2O_3 和 TFe_2O_3 含量;电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)测定S含量;电位法测定土壤pH值(水、土比例为2.5:1);高频红外碳硫分析仪测定有机碳(OrgC)含量。各指标分析测试的检出限见表1。

表1 各指标分析测试的检出限

Table 1 Detection limit of analyzed indicators

分析项目	检出限	分析项目	检出限
As	0.3mg/kg	Al_2O_3	0.05%
Cd	0.03mg/kg	TFe_2O_3	0.05%
Cr	3mg/kg	S	30mg/kg
Hg	0.0005mg/kg	pH	0.1
Pb	2mg/kg	OrgC	0.1%
Se	0.01mg/kg		

样品分析测试工作由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所分析测试研究中心完成。分析质量控制严格执行《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)和《多目标区域地球化学调查规范》(DZ/T 0258—2014)。样品分析过程中,按照规范插入国家一级标准物质(GBW07401~

GBW07408、GBW07423~GBW07426)和重复样,用于监控分析测试的准确度和精密度。各元素的分析检出限、准确度和精密度均达到或优于DZ/T 0258—2014的要求,分析数据质量可靠。

2.3 土壤硒含量评价方法

2.3.1 富硒土壤划定阈值

谭见安^[22]基于地理区划理论和方法,提出了土壤硒生态景观等级划分界限值,见表2。本文参照该依据,将土壤中硒含量在0.4~3.0mg/kg之间的土壤划定为富硒土壤。

表2 土壤硒含量划分界限值

Table 2 Threshold between abundance and deficiency of soil selenium

土壤硒等级	硒含量(mg/kg)	硒总体情况
缺乏	≤ 0.125	缺硒
边缘	0.125~0.175	硒潜在不足
适量	0.175~0.40	足硒
高	0.4~3.0	富硒
过剩	> 3.0	硒中毒

2.3.2 无公害富硒土壤划定阈值

按照《天然富硒土地划定与标识(试行)》(DD 2019-10)的规定:无公害富硒土壤是指含有丰富天然硒元素(中酸性土壤, $\text{pH} \leq 7.5$,土壤硒标准阈值 $\geq 0.40\text{mg}/\text{kg}$;碱性土壤, $\text{pH} > 7.5$,土壤硒标准阈值 $\geq 0.30\text{mg}/\text{kg}$),且有害重金属元素(镉、汞、砷、铅、铬)含量小于《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618—2018)规定的农用地土壤污染风险筛选值,灌溉水同时满足NY/T 5010—2016标准的土壤。

2.4 数据统计分析

使用Excel 2013进行描述性统计,SPSS 19.0进行相关性分析;地质简图、土壤硒空间分布特征与无公害富硒土壤评价图用ArcGIS 10.2制作,后期使用CorelDRAW X8进行图形处理。

3 结果与讨论

3.1 表层土壤硒含量与分布特征

对研究区表层土壤样品原始数据进行迭代剔除(均值 ± 3 倍标准偏差)处理后,各项指标数据均符合或近似符合正态分布,故采用各指标的算术平均值作为统计参数。研究区表层土壤硒含量范围为0.08~1.30mg/kg,平均值为 $0.39 \pm 0.15\text{mg}/\text{kg}$,远

高于中国土壤硒含量平均值(0.20mg/kg)^[23]和四川省土壤硒含量平均值(0.21mg/kg)^[24]。变异系数为36%,表明研究区表层土壤硒分布不均匀。

中国一般采用谭见安^[22]提出的土壤硒生态景观等级划分界限值对富硒土壤进行划分。依据该限值,研究区表层土壤硒含量主要为适量等级,样品数为679件,占总数的51%;48%的土壤样品硒含量大于 0.4mg/kg ,属于高硒等级;硒含量属于边缘和缺乏等级的土壤样品仅占总数的0.9%,无硒过剩土壤样品,表明研究区富硒土壤资源丰富,具备开发富硒土壤的潜力。利用距离加权反比插值法对研究区无采样点图斑进行插值,以土壤硒含量划分界限值为等值线,绘制研究区土壤硒含量空间分布图(图2a)。从图中可以看出,研究区表层土壤硒含量具有明显的空间差异性,总体以足硒和富硒土壤为主。其中富硒土壤面积约为 112km^2 ,占研究区总面积的52%,主要分布于舟坝镇—杨村乡、凤村乡西部和利店镇南部,空间上与须家河组(T_3x)、垮洪洞组—须家河组(T_3k-x)、雷口坡组(T_2l)、飞仙关组—嘉陵江组—雷口坡组($T_{1-2}f-l$)、飞仙关组—嘉陵江组(T_1f-j)、宣威组(P_2x)和峨眉山玄武岩组(Pe)等地层分布具有高度一致性,表明研究区土壤硒含量可能主要受地质背景控制。

已有研究显示,富硒土壤产出通常与碳酸盐岩、玄武岩、含煤系地层等地质背景高度相关,且往往具有硒与镉等重金属元素共生的特点^[25-26]。因此在开发利用这类富硒土壤时,应密切关注重金属超标的潜在风险。参照DD 2019-10标准对研究区富硒

土壤进行划定,从图2b可知,研究区无公害富硒土壤面积仅为 35km^2 ,约占富硒土壤面积的31%,空间上主要与垮洪洞组—须家河组(T_3k-x)和须家河组(T_3x)相对应。经统计,富硒土壤中Cd含量超土壤污染筛选值最为显著,Cr和Pb存在小部分超标点位,As和Hg含量均低于土壤污染风险筛选值。由此可见,土壤Cd含量是造成富硒土壤和无公害富硒土壤面积具有较大差异性的主要因素。从图3可以看出,富硒土壤中Cd含量变化范围为 $0.05\sim 1.44\text{mg/kg}$,平均值为 0.38mg/kg ,超标点位分布于雷口坡组(T_2l)、飞仙关组—嘉陵江组—雷口坡组($T_{1-2}f-l$)和飞仙关组—嘉陵江组(T_1f-j)、宣威组(P_2x)和峨眉山玄武岩组(Pe)地层区,岩性以粉砂岩、白云岩、灰岩、玄武岩和含煤层的碳质页岩为主。但多项研究均表明,尽管碳酸盐岩、玄武岩、碳质页岩区土壤重金属具有天然的地质高背景属性,但由于其生物有效性通常较低,未对作物的质量安全造成显著影响^[27-28]。因此,研究区与上述地层具有成因联系的富硒土壤仍具有一定的开发利用前景,今后工作中应进一步加强土壤—作物系统的协同调查研究。

3.2 土壤硒含量的影响因素

3.2.1 成土母质

受成土母质和表生地球化学环境的影响,土壤硒含量通常具有很大的空间变异性。原生地质环境中的硒主要来源于岩石,富硒土壤往往与硫化物矿床、煤系地层、黑色泥页岩和有机质丰富的湖相沉积物等成土母岩的风化成土有关^[29]。

对研究区主要成土母质地层区土壤硒含量统计

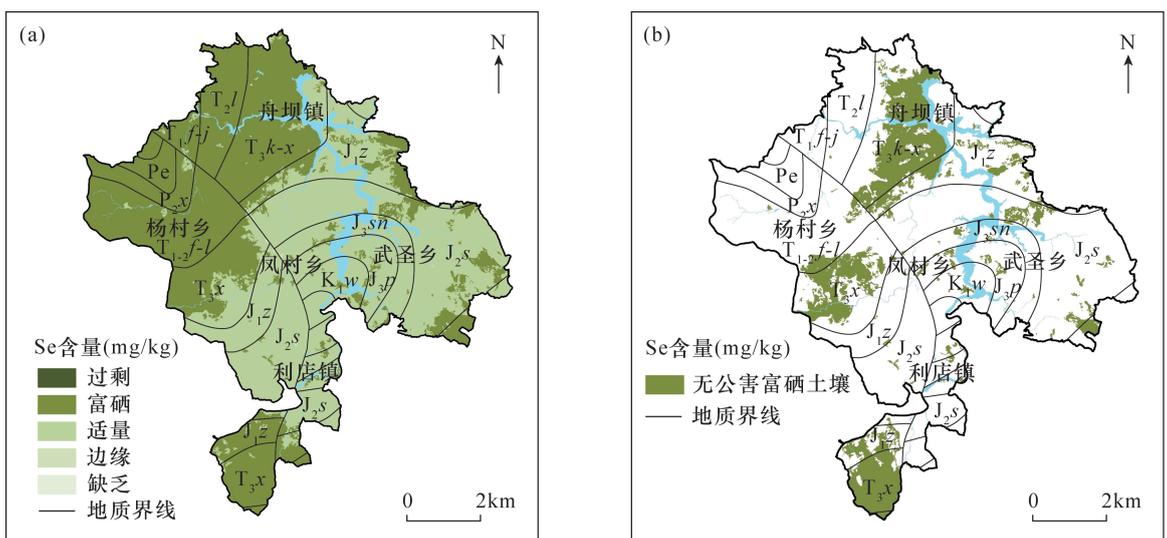


图2 研究区土壤硒空间分布特征与无公害富硒土壤评价

Fig.2 Spatial distribution characteristics of soil selenium concentration and evaluation of nuisanceless selenium-enriched land

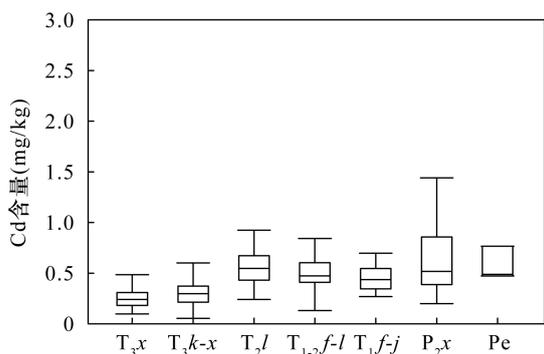


图3 各成土母岩区土壤 Cd 含量箱式图

Fig.3 Boxplots of cadmium concentration in soils derived from different parent rocks

结果(表3)显示,二叠系及三叠系地层发育土壤中硒平均含量均超过0.4mg/kg,侏罗系及白垩系地层发育土壤中硒含量相对较低。二叠系宣威组(P_2x)地层区土壤硒含量最高,平均值为 0.67 ± 0.25 mg/kg,其中硒含量大于0.4mg/kg的样品数为24件,占该地层内土壤样品总数的89%。三叠系须家河组(T_3x)、垮洪洞组—须家河组(T_3k-x)、雷口坡组(T_2l)、飞仙关组—嘉陵江组—雷口坡组($T_{1-2}f-l$)和飞仙关组—嘉陵江组(T_{1f-j})地层区土壤硒平均含量范围为0.46~0.63mg/kg,相应地层单元区土壤样品富硒率分别为69%、84%、89%、94%和89%。结合地层岩性可知,研究区表层土壤中硒含量较高的地层以碳酸盐岩及夹碳质地层的砂岩、粉砂岩等为主。多项研究表明,黑色岩系中硒含量通常较高,是形成富硒土壤的重要因素之一^[30-31],这与其形成于还原性沉积环境有关,即大

表3 主要成土母岩区土壤硒地球化学参数

Table 3 Geochemical parameters of selenium concentration in soils derived from different parent rocks

地层	样本数 (件)	Se 含量(mg/kg)			标准偏差 (mg/kg)	变异 系数	
		最大值	最小值	平均值			
白垩系	K_1w	26	0.65	0.30	0.38	0.07	0.19
	J_3p	87	0.52	0.15	0.33	0.07	0.22
侏罗系	J_3sn	90	0.66	0.14	0.33	0.09	0.28
	J_2s	383	0.67	0.08	0.32	0.08	0.25
	J_1z	243	1.13	0.09	0.39	0.11	0.28
三叠系	T_3x	138	1.08	0.12	0.46	0.14	0.31
	T_3k-x	170	0.78	0.25	0.47	0.09	0.20
	T_2l	79	0.78	0.35	0.53	0.11	0.21
二叠系	$T_{1-2}f-l$	52	1.30	0.31	0.63	0.20	0.31
	T_{1f-j}	27	0.70	0.32	0.48	0.09	0.18
	P_2x	27	1.16	0.33	0.67	0.25	0.37

量的有机质携带硒沉积,富含硒的岩石经风化成土作用形成富硒土壤。韩伟等^[32]研究也证实,沐川县富硒土壤与成土母岩密切相关。

由此可见,研究区表层土壤硒含量明显富集于含碳酸盐岩及夹碳质地层的砂岩、粉砂岩区,反映了富硒土壤分布对富硒成土母岩分布的高度空间对应性,显示出成土母岩对土壤硒含量的控制作用。

3.2.2 土壤类型

研究区土壤类型主要为紫色土(449件)和水稻土(651件),其次为黄壤(221件),统计结果显示不同类型土壤中硒含量存在显著差异。其中,黄壤硒含量平均值为 0.50 ± 0.14 mg/kg,超过富硒土壤标准(0.4mg/kg),明显大于水稻土(0.39 ± 0.14 mg/kg)和紫色土(0.38 ± 0.15 mg/kg)硒含量平均值。对比发现,研究区黄壤海拔最高,平均海拔为648m,由于黄壤分布地势较高,气温较低,相对于水稻土和紫色土而言,黄壤中有机质分解缓慢,从而降低了有机结合态硒向水溶态硒的转化速率^[33],土壤中被淋溶的硒也相应减少,使得黄壤中硒含量相对较高。

3.2.3 土地利用方式

研究区土地利用方式主要为旱地、水田和茶园,分别占研究区总面积的68.21%、14.54%和11.31%。从表4可知,茶园土壤硒平均含量最高,为 0.47 ± 0.19 mg/kg,其次为旱地和水田。相关性分析显示,茶园土壤硒含量与有机质呈显著正相关($r=0.651, p<0.01$)。一般认为土壤有机质对硒具有固定和吸附作用,一方面富含有机质会增大土壤中团粒结构表面积,使硒更容易固定在土壤中;另一方面硒能够以与腐植酸结合的形式存在,从而降低硒的迁移性^[34]。加之茶园种植过程中每年修剪导致茶园土壤大量堆积凋落物后原地腐化,致使土壤有机质的含量较高。旱地和水田土壤硒平均含量分别为 0.41 ± 0.16 mg/kg和 0.39 ± 0.10 mg/kg,均低于茶园土壤硒含量,可能是受长期耕作活动影响,使

表4 不同土地利用方式土壤硒地球化学参数

Table 4 Geochemical parameters of selenium concentration in soils with different land use types

土地利 用方式	样本数 (件)	Se 含量(mg/kg)			标准偏差 (mg/kg)	变异 系数
		最大值	最小值	平均值		
水田	386	0.73	0.13	0.39	0.10	0.26
旱地	798	1.30	0.09	0.41	0.16	0.38
茶园	108	1.20	0.24	0.47	0.19	0.39

土壤结构、理化性状及其有机质组成发生了改变,影响到土壤硒存在形态、迁移循环及其富集贫化,从而导致旱地和水田中硒含量相对较低^[35]。此外,水田种植过程中反复积水排水,可能带走一部分硒,进一步降低了土壤中硒含量。

3.2.4 土壤理化性质

土壤物理和化学性质对硒的吸附固定、活化迁移有重要影响,并由此决定了土壤硒的富集与贫化。统计分析表明研究区表层土壤硒与 pH、有机质、 TFe_2O_3 等理化性质具有显著相关性,说明土壤硒含量除了受成土母质控制外,土壤理化性质也对土壤硒含量有重要影响。

(1) 酸碱度(pH)

研究区表层土壤 pH 值在 3.83 ~ 8.73 之间,中位值为 5.11,近 84% 的土壤样品 pH 值小于 6.5,以酸性土壤为主。一般认为,土壤对阴离子的吸附能力随 pH 的升高而降低。首先,将研究区土壤按 pH 值分为酸性土壤 ($\text{pH} < 6.5$) 和中 - 碱性土壤 ($\text{pH} > 6.5$) 两组;其次,以土壤 pH 值 0.1 为分段间隔,分段统计 pH 值的中位数。由图 4 可知,酸性土壤和中 - 碱性土壤中硒与 pH 均呈显著负相关 ($p < 0.01$),相关系数分别为 0.83 和 0.69。已有研

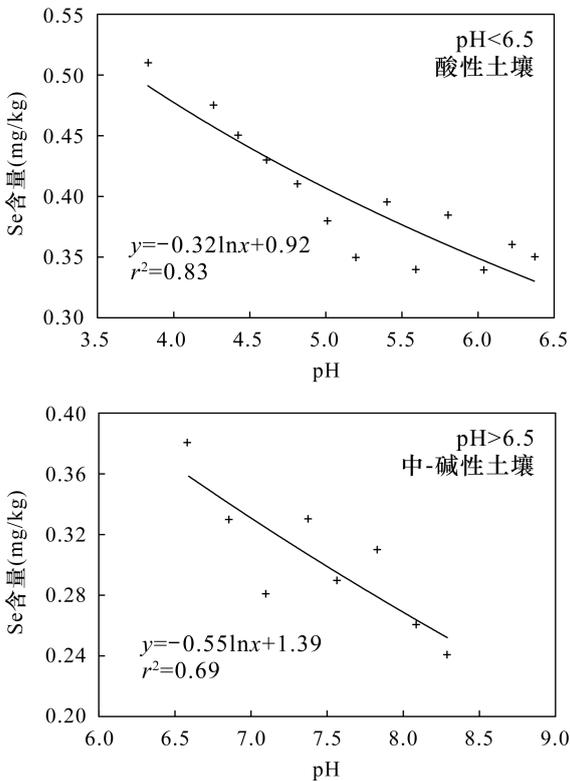


图4 研究区土壤 pH 与 Se 含量散点图

Fig.4 Scatter plots of pH and selenium concentration in soils

究表明,硒元素主要以硒化物、单质硒、亚硒酸盐 (Se^{4+})、硒酸盐 (Se^{6+}) 和有机硒等形式赋存于土壤中^[36]。酸性还原土壤环境中的硒主要以亚硒酸盐形式存在, Se^{4+} 与土壤颗粒表面配位基的交换吸附作用强烈,且随着土壤酸性增强而增强,易与土壤中的铁(氢)氧化物络合形成 $\text{Fe}_2(\text{OH})_4\text{SeO}_3$ 类的极难溶物而次生富集^[37]。相反,碱性氧化土壤环境中,随着 pH 值的升高,土壤表面的负电荷增加,难溶性的 Se^{4+} 被氧化为易溶的 Se^{6+} ,土壤对硒的吸附力降低。此外,土壤 pH 值越大,硒的甲基化越强,从而加快了土壤中硒的溢出^[31]。董旭等^[38]、杨志忠等^[39] 对不同地区研究均表明土壤中硒含量与 pH 呈显著负相关。

(2) 有机质

硒是典型的亲生物元素,其有机亲和指数高达 8900^[40],因此地质历史中,岩石中高含量的硒通常与碳富集的黑色岩系相伴生,在表生地球化学环境中,则表现为硒易在富含有机质的土壤中累积。

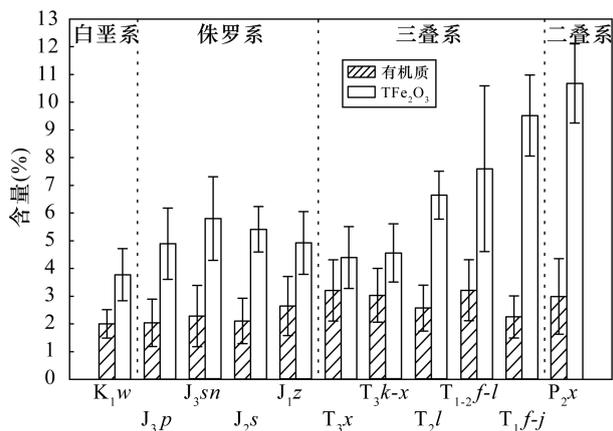
研究区土壤有机质含量在 0.39% ~ 8.15% 之间,平均值为 $2.52\% \pm 1.05\%$,高于四川省有机质平均含量(1.84%)^[24]。参照 DZ/T 0295—2016 中土壤有机质分级标准,研究区土壤有机质含量总体较高,中等 - 丰富等级的样品占比 74%,富硒区土壤有机质含量则以丰富 - 较丰富等级为主。相关分析显示研究区表层土壤中硒含量与有机质显著相关 ($r = 0.638, p < 0.01$),说明有机质含量高低对土壤中硒含量具有重要的影响。通常土壤有机质在腐植化过程中可以产生腐植酸与细粒胶体,能快速、大量吸附土壤溶液中的硒并与其结合形成硒化物。实验也证实,外来硒进入土壤后可以快速被有机质吸附固定^[41]。此外,土壤有机质含量在一定程度上可以反映土壤氧化电位的高低,通常有机质含量较高的土壤其氧化电位较低,有利于亚硒酸盐沉淀^[42]。

(3) 铁、铝氧化物 (TFe_2O_3 、 Al_2O_3)

研究区表层土壤硒含量与 TFe_2O_3 呈较好的正相关性 ($r = 0.208, p < 0.01$),指示 TFe_2O_3 对硒有较强的吸附力和亲和力。Se 与 Fe、Al 的偏相关分析显示,在控制 Al_2O_3 的情况下,Se 与 TFe_2O_3 的偏相关系数为 0.229,在控制 TFe_2O_3 的情况下,Se 与 Al_2O_3 的偏相关系数为 -0.098,表明 TFe_2O_3 对硒的吸附作用明显大于铝氧化物,即 TFe_2O_3 对硒的吸附能力远超过黏土矿物。吸附实验揭示,当土壤中存在氧化铁时,硒的含量显著增加^[43]。研究表明,铁(氢)氧化物对土壤硒酸盐的吸附能力受到 pH 的强烈影响,在

pH 3~5范围内吸附能力最强,随着pH的升高,铁(氢)氧化物对硒的吸附能力降低^[44]。研究区表层土壤以酸性为主,因此有利于 TFe_2O_3 对硒的吸附。

如图5所示,不同成土母岩发育土壤中有有机质和 TFe_2O_3 含量具有显著差异。由前述可知,二叠系和三叠系地层发育土壤中硒平均含量均达到富硒标准,其有机质和 TFe_2O_3 含量显著高于侏罗系和白垩系地层发育土壤。在有机质与铁氧化物共存的表生环境中,研究区土壤有机质与硒的偏相关系数($r=0.687$)明显大于铁与硒的偏相关系数($r=0.384$),指示有机质对土壤中硒的控制作用大于铁,这与Coppin等^[45]发现的铁、铝氧化物对硒的吸附能力低于有机质结论相一致。牛雪等^[46]研究同样证实,土壤中硒含量主要受有机质吸附作用影响,铁等氧化物对硒富集具有一定影响,但作用较小。由此推测,研究区表层土壤硒含量富集主要受土壤有机质吸附作用影响,其次为 TFe_2O_3 。



K_{1w} : 窝头山组; J_{3p} : 蓬莱镇组; J_{3sn} : 遂宁组; J_{2s} : 沙溪庙组; J_{1z} : 自流井组; T_{3x} : 须家河组; T_{3k-x} : 垮洪洞组—须家河组并层; T_{2l} : 雷口坡组; T_{1-2f-l} : 飞仙关组—嘉陵江组—雷口坡组并层; T_{1f-j} : 飞仙关组—嘉陵江组并层; P_{2x} : 宣威组。

图5 各成土母岩区土壤有机质和 TFe_2O_3 平均含量

Fig. 5 Average concentration of organic matter and TFe_2O_3 in soils derived from different parent rocks

(4) 硫(S)

硒和硫具有类似的化学性质,可与硫形成广泛的类质同象置换,绝大部分硒赋存在硫化物矿物晶格中。朱建明等^[47]对湖北恩施渔塘坝富硒黑色岩石中硒形态分析表明,有机结合态和硫化物(硒化物)是此类岩石中硒的主要赋存形式。当岩石风化成土时,硫化物(硒化物)中的硒逐渐氧化释放,在

有机质充当还原剂的条件下,氧化形成的硒离子被快速吸附沉淀^[48],由此解释了研究区表层土壤硒含量与硫($r=0.272, p<0.01$)和有机质呈显著正相关的成因机理。

(5) 风化程度

风化作用是改变地表化学组成的重要过程,通常采用风化淋溶系数(ba)来表示土壤的风化程度^[49], ba 值越小,表示土壤风化程度越强。研究区表层土壤硒含量与 ba 呈负相关($r=-0.108, p<0.01$),土壤硒含量随着风化程度的增强而增加,因此成土过程次生富集是研究区土壤富硒的又一影响因素,这与余飞等^[50]在重庆农耕区研究结果一致。研究区地处中国南方低山丘陵区,为典型的亚热带季风气候,湿热条件导致区内风化及土壤淋溶作用强烈,K、Ca、Mg等盐基离子淋失后土壤Fe、Al相对富集,这些因素共同构成了有利于土壤硒富集的地球化学环境,土壤硒和 TFe_2O_3 、 ba 之间呈较强的相关关系进一步佐证了土壤硒富集的成因机理。

4 结论

本文对四川省沐川县西部地区土壤硒等元素含量特征、理化性质开展分析,查明研究区土壤硒元素分布特征,探讨了土壤硒含量的主要影响因素,并为富硒土壤开发利用提出建议。结果表明:①研究区表层土壤硒含量范围为 $0.08 \sim 1.30 \text{ mg/kg}$,平均值为 $0.39 \pm 0.15 \text{ mg/kg}$,高于中国全国和四川省土壤硒平均含量;②以 0.4 mg/kg 为界限值,研究区划定富硒土壤面积 112 km^2 ,占研究区总面积的52%。富硒土壤分布区与须家河组(T_{3x})、垮洪洞组—须家河组(T_{3k-x})、雷口坡组(T_{2l})、飞仙关组—嘉陵江组—雷口坡组(T_{1-2f-l})、飞仙关组—嘉陵江组(T_{1f-j})、宣威组(P_{2x})等地层分布具有高度一致性,岩性以碳酸盐岩及夹碳质地层的砂岩、粉砂岩等为主。综合考虑重金属含量等因素,划定无公害富硒土壤面积 35 km^2 ,空间上主要与垮洪洞组—须家河组(T_{3k-x})和须家河组(T_{3x})相对应,土壤Cd含量是造成富硒土壤和无公害富硒土壤面积具有较大差异性的主要因素;③土壤硒含量影响因素研究表明,除地质背景主控因素外,土壤pH、有机质、 TFe_2O_3 、S及土壤风化程度均能对土壤硒的富集活化产生一定的影响。土壤硒含量随pH、 ba 值降低而升高,随有机质、 TFe_2O_3 、S含量的升高而升高,其原因主要受吸附与解吸控制及次生富集作用的影响,其中有机质对土壤硒的影响作用显著大于 TFe_2O_3 。

针对研究结果,建议当地政府对富硒土壤采取措施予以保护,并积极开发富硒农产品,在开发利用富硒土壤的同时,要注重有机肥的平衡施肥。值得一提的是,本项研究仅讨论了土壤硒迁移富集的可能影响因素,今后应进一步加强土壤-作物系统中硒迁移富集影响因素的协同分析。

5 参考文献

- [1] Shi Z M, Pan P J, Feng Y W, et al. Environmental water chemistry and possible correlation with Kaschin - Beck Disease (KBD) in northwestern Sichuan, China [J]. *Environment International*, 2017, 99: 282 - 292.
- [2] Navarro - Alarcon M, Cdbreira - Vique C. Selenium in food and the human body: A review [J]. *Science of the Total Environment*, 2008, 400(1 - 3): 115 - 141.
- [3] Li Z, Liang D L, Peng Q, et al. Interaction between selenium and soil organic matter and its impact on soil selenium bioavailability: A review [J]. *Geoderma*, 2017, 295(1): 69 - 79.
- [4] Fordyce F M, Zhang G D, Green K, et al. Soil, grain and water chemistry in relation to human selenium - responsive diseases in Enshi District, China [J]. *Applied Geochemistry*, 2000, 15: 117 - 132.
- [5] Dinh Q T, Cui Z W, Huang J, et al. Selenium distribution in the Chinese environment and its relationship with human health: A review [J]. *Environment International*, 2018, 112: 294 - 309.
- [6] 王学求, 柳青青, 刘汉粮, 等. 关键元素与生命健康: 中国耕地缺硒吗? [J]. *地学前缘*, 2021, 28(3): 412 - 423.
- Wang X Q, Liu Q Q, Liu H L, et al. Key elements and human health: Are selenium deficient in cultivated soils in China? [J]. *Earth Science Frontiers*, 2021, 28(3): 412 - 423.
- [7] Wang J, Li H R, Yang L S, et al. Distribution and trans - location of selenium from soil to highland barley in the Tibetan Plateau Kashin - Beck disease area [J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2017, 39: 221 - 229.
- [8] Rayman M P. Food - chain selenium and human health: Emphasis on intake [J]. *British Journal of Nutrition*, 2008, 100: 254 - 268.
- [9] 王锐, 邓海, 贾中民, 等. 硒在土壤 - 农作物系统中的分布特征及富硒土壤阈值 [J]. *环境科学*, 2020, 41(12): 5571 - 5578.
- Wang R, Deng H, Jia Z M, et al. Distribution characteristics of selenium in a soil - crop system and the threshold of selenium - rich soils [J]. *Environmental Science*, 2020, 41(12): 5571 - 5578.
- [10] Liu H L, Wang X Q, Zhang B M, et al. Concentration and distribution of selenium in soils of mainland China, and implications for human health [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2021, 220: 1 - 14.
- [11] 余涛, 杨忠芳, 王锐, 等. 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*, 2018, 50(6): 1119 - 1125.
- Yu T, Yang Z F, Wang R, et al. Characteristics and sources of soil selenium and other elements in typical high selenium soil area of Enshi [J]. *Soils*, 2018, 50(6): 1119 - 1125.
- [12] 时章亮, 金立新, 廖超, 等. 四川雷波县重点耕地区土壤硒含量特征及其成因分析 [J]. *物探与化探*, 2020, 44(5): 1253 - 1260.
- Shi Z L, Jin L X, Liao C, et al. Content characteristics and genesis of soil selenium in important cultivated areas of Leibo County, Sichuan Province [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2020, 44(5): 1253 - 1260.
- [13] 任海利, 高军波, 龙杰, 等. 贵州开阳地区富硒地层及风化土壤地球化学特征 [J]. *地球与环境*, 2012, 40(2): 161 - 170.
- Ren H L, Gao J B, Long J, et al. Geochemical characteristics of selenium - rich strata and weathered soil from Kaiyang County, Guizhou Province [J]. *Earth and Environment*, 2012, 40(2): 161 - 170.
- [14] 刘才泽, 王永华, 曾琴琴, 等. 成渝典型地区土壤硒地球化学特征及其成因分析 [J]. *物探与化探*, 2018, 42(6): 1289 - 1295.
- Liu C Z, Wang Y H, Zeng Q Q, et al. The distribution and source of soil selenium in typical areas of Chengdu - Chongqing region [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2018, 42(6): 1289 - 1295.
- [15] 宋明义, 李恒溪, 魏迎春, 等. 浙江省龙游志棠地区硒的地球化学研究 [J]. *贵州地质*, 2005, 22(3): 176 - 180.
- Song M Y, Li H X, Wei Y C, et al. Geochemistry of the selenium, Zhitang Town, Longyou County, Zhejiang Province [J]. *Guizhou Geology*, 2005, 22(3): 176 - 180.
- [16] 吴兴盛. 福建省武平县富硒土壤特征及成因分析 [J]. *物探与化探*, 2021, 45(3): 778 - 784.
- Wu X S. Characteristics and genesis of selenium - rich soil in Wuping area, Fujian Province [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2021, 45(3): 778 - 784.
- [17] Blazina T, Sun Y B, Voegelin A, et al. Terrestrial selenium distribution in China is potentially linked to

- monsoonal climate [J]. *Nature Communications*, 2014, 5:4717.
- [18] 冯辉, 张学君, 张群, 等. 北京大清河流域生态涵养区富硒土壤资源分布特征和来源解析[J]. *岩矿测试*, 2019, 38(6):693-704.
Feng H, Zhang X J, Zhang Q, et al. Distribution characteristics and sources identification of selenium - rich soils in the ecological conservation area of the Daqinghe River watershed, Beijing [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2019, 38(6):693-704.
- [19] 周殷竹, 刘义, 王彪, 等. 青海省囊谦县农耕区土壤硒的富集因素[J]. *地质通报*, 2020, 39(12):1952-1959.
Zhou Y Z, Liu Y, Wang B, et al. Influence factors of soil selenium in cultivated area of Nangqian County, Qinghai Province [J]. *Geological Bulletin of China*, 2020, 39(12):1952-1959.
- [20] 张立, 刘国栋, 吕石佳, 等. 黑龙江省海伦市农耕区土壤硒分布特征及影响因素[J]. *现代地质*, 2019, 33(5):1046-1054.
Zhang L, Liu G D, Lv S J, et al. Distribution characteristics of selenium cultivated soil and its influencing factors in Hailun County of Heilongjiang Province [J]. *Geoscience*, 2019, 33(5):1046-1054.
- [21] 周国华. 富硒土地资源研究进展与评价方法[J]. *岩矿测试*, 2020, 39(3):319-336.
Zhou G H. Research progress of selenium - enriched land resources and evaluation methods [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2020, 39(3):319-336.
- [22] 谭建安. 中华人民共和国地方病与环境图集[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
Tan J A. The atlas of endemic diseases and their environments in the People's Republic of China [M]. Beijing: Science Press, 1989.
- [23] 迟清华, 鄢明才. 应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京: 地质出版社, 2007.
Chi Q H, Yan M C. Applied geochemistry data book of element abundance [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007.
- [24] 侯青叶, 杨忠芳, 余涛, 等. 中国土壤地球化学参数[M]. 北京: 地质出版社, 2020.
Hou Q Y, Yang Z F, Yu T, et al. Soil geochemical parameters in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2020.
- [25] 韩伟, 王成文, 彭敏, 等. 川南山区土壤与农作物重金属特征及成因[J]. *环境科学*, 2021, 42(5):2480-2489.
Han W, Wang C W, Peng M, et al. Characteristics and origins of heavy metals in soil and crops in mountain area of southern Sichuan [J]. *Environmental Science*, 2021, 42(5):2480-2489.
- [26] 贺灵, 吴超, 曾道明, 等. 中国西南典型地质背景区土壤重金属分布及生态风险特征[J]. *岩矿测试*, 2021, 40(3):395-407.
He L, Wu C, Zeng D M, et al. Distribution of heavy metals and ecological risk of soils in typical geological background region of southwest China [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2021, 40(3):395-407.
- [27] 唐瑞玲, 王惠艳, 吕许朋, 等. 西南重金属高背景区农田系统土壤重金属生态风险评价[J]. *现代地质*, 2020, 34(5):917-927.
Tang R L, Wang H Y, Lv X P, et al. Ecological risk assessment of heavy metals in farmland system from an area with high background of heavy metals, southwestern China [J]. *Geoscience*, 2020, 34(5):917-927.
- [28] 马宏宏, 彭敏, 刘飞, 等. 广西典型碳酸盐岩区农田土壤-作物系统重金属生物有效性及迁移富集特征[J]. *环境科学*, 2020, 41(1):449-459.
Ma H H, Peng M, Liu F, et al. Bioavailability, translocation, and accumulation characteristics of heavy metals in a soil - crop system from a typical carbonate rock area in Guangxi, China [J]. *Environmental Science*, 2020, 41(1):449-459.
- [29] 杨忠芳, 汤奇峰, 成杭新, 等. 爱恨交织的化学元素[M]. 北京: 地质出版社, 2019.
Yang Z F, Tang Q F, Cheng H X, et al. The chemical elements of love - hate [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2019.
- [30] Fang W X, Wu P W. Elevated selenium and other mineral element concentrations in soil and plant tissue in bone coal sites in Haoping area, Ziyang County, China [J]. *Plant and Soil*, 2004, 261:135-146.
- [31] 蒋慧豪, 罗杰, 蔡立梅, 等. 广东省普宁市土壤硒的分布特征及影响因素研究[J]. *现代地质*, 2019, 33(1):161-168.
Jiang H H, Luo J, Cai L M, et al. Distribution of selenium and its influencing factors in soils of Puning City, Guangdong Province [J]. *Geoscience*, 2019, 33(1):161-168.
- [32] 韩伟, 王乔林, 宋云涛, 等. 四川省沐川县北部土壤硒地球化学特征与成因探讨[J]. *物探与化探*, 2021, 45(1):215-222.
Han W, Wang Q L, Song Y T, et al. Geochemical characteristics and genesis of selenium in soil in northern Muchuan County, Sichuan Province [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2021, 45

- (1):215-222.
- [33] 曹荣浩. 福建省龙海市表层土壤硒含量及影响因素研究[J]. 岩矿测试,2017,36(3):282-288.
Cao R H. Study on selenium content of surface soils in Longhai, Fujian and its influencing factors[J]. Rock and Mineral Analysis,2017,36(3):282-288.
- [34] 黄春雷,魏迎春,简中华,等. 浙中典型富硒区土壤硒含量及形态特征[J]. 地球与环境,2013,41(2):155-159.
Huang C L, Wei Y C, Jian Z H, et al. Study on selenium contents and combined forms of typical selenium-rich soil in the central part of Zhejiang Province[J]. Earth and Environment,2013,41(2):155-159.
- [35] 周墨,陈国光,张明,等. 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—梅窖地区为例[J]. 现代地质,2018,32(6):1292-1301.
Zhou M, Chen G G, Zhang M, et al. Geochemical characteristics and influencing factors of selenium in soils of south Jiangxi Province: A typical area of Qingtang—Meijiao [J]. Geoscience, 2018, 32 (6): 1292 - 1301.
- [36] 朱建明,梁小兵,凌宏文,等. 环境中硒存在形式的研究现状[J]. 矿物岩石地球化学通报,2003,22(1):75-81.
Zhu J M, Liang X B, Ling H W, et al. Advances in studying occurrence modes of selenium in environment [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2003, 22 (1): 75 - 81.
- [37] Fordyce F M. Selenium deficiency and toxicity in the environment [M]//Selinus O. Essentials of medical geology (Revised Edition). British Geological Survey,2013.
- [38] 董旭,姜明亮,汤明. 安徽省金寨县土壤硒分布特征及影响因素研究[J]. 东华理工大学学报(自然科学版),2021,44(1):48-53.
Dong X, Jiang M L, Tang M. Distribution characteristics and influencing factors of selenium content in soil in Jinzhai County, Anhui Province [J]. Journal of East China University of Technology (Natural Science), 2021, 44 (1): 48 - 53.
- [39] 杨志忠,周文龙,罗勇军,等. 贵州镇远县耕地土壤中硒的分布特征及控制因素[J]. 现代地质,2021,35(2):434-442.
Yang Z Z, Zhou W L, Luo Y J, et al. Distribution of soil selenium of cultivated land and its controlling factors in Zhenyuan of Guizhou Province [J]. Geoscience, 2021, 35 (2): 434 - 442.
- [40] 成晓梦,吴超,孙彬彬,等. 浙江中部典型黑色岩系分布区土壤-作物富硒特征与重金属风险评价[J]. 现代地质,2021,35(2):425-433.
Cheng X M, Wu C, Sun B B, et al. Selenium-rich characteristics and risk assessment of heavy metals in soil and crop in a typical black shale area of the central part of Zhejiang Province, China [J]. Geoscience, 2021, 35 (2): 425 - 433.
- [41] Tullo P D, Pannier F, Thiry Y, et al. Field study of time-dependent selenium partitioning in soils using isotopically enriched stable selenite tracer [J]. Science of the Total Environment,2016,562:280-288.
- [42] 瞿建国,徐伯兴,龚书椿. 上海不同地区土壤中硒的形态分布及其有效性研究[J]. 土壤学报,1998,35(3):398-403.
Qu J G, Xu B X, Gong S C. Study of speciation distribution and availability of selenium in different soils of Shanghai [J]. Acta Pedologica Sinica, 1998, 35 (3): 398 - 403.
- [43] Goldberg S. Modeling selenite adsorption envelopes on oxides, clay minerals, and soils using the triple layer model [J]. Soil Science Society of America Journal, 2014, 77: 64 - 71.
- [44] Selinus O, Alloway B, Centeno J, et al. Essentials of medical geology: Impacts of the natural environment on public health [M]. Elsevier Academic Press, 2005.
- [45] Coppin F, Chabrouillet C, Martin-Garin A. Selenite interactions with some particulate organic and mineral fractions isolated from a natural grassland soil [J]. European Journal of Soil Science, 2009, 60: 369 - 376.
- [46] 牛雪,何锦,庞雅婕,等. 三江平原西部土壤硒分布特征及其影响因素[J]. 物探与化探,2021,45(1):223-229.
Niu X, He J, Pang Y J, et al. Distribution feature of soil selenium in west Sanjiang Plain and its influencing factors [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45 (1): 223 - 229.
- [47] 朱建明,郑宝山,苏宏灿,等. 恩施渔塘坝自然硒的发现及其初步研究[J]. 地球化学,2001,30(3):236-241.
Zhu J M, Zheng B S, Su H C, et al. New occurrence of native selenium and its preliminary investigation [J]. Geochimica, 2001, 30 (3): 236 - 241.
- [48] 韩文亮,朱建明,秦海波,等. 恩施渔塘坝富硒碳质岩石中硒的形态分析[J]. 矿物学报,2007,27(1):91-97.
Han W L, Zhu J M, Qin H B, et al. Selenium speciation in Se-rich rocks at Yutangba [J]. Acta Pedologica Sinica, 2007, 27 (1): 91 - 97.
- [49] 黄昌勇,徐建明. 土壤学 [M]. 北京:中国农业出版

社,2010.

Huang C Y, Xu J M. Pedology [M]. Beijing: China Agriculture Press,2010.

[50] 余飞,张风雷,张永文,等. 重庆典型农业区土壤硒地球化学特征及影响因素 [J]. 物探与化探,2020,44

(4):830 – 838.

Yu F, Zhang F L, Zhang Y W, et al. Geochemical characteristics and influential factors of soil selenium in typical agricultural area, Chongqing [J]. Geophysical and Geochemical Exploration,2020,44(4):830 – 838.

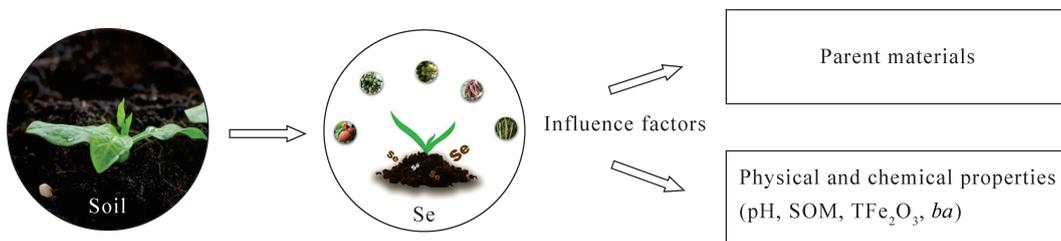
Content Characteristics and Influencing Factors of Soil Selenium in Western Muchuan County, Sichuan Province

CHENG Xiao – meng^{1,2,3}, SUN Bin – bin^{1,2,3}, HE Ling^{1,2,3*}, WU Chao^{1,2,3}, ZHAO Chen^{1,3}, ZENG Dao – ming^{1,2,3}

- (1. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, China;
- 2. International Center on Global Scale Geochemistry, UNESCO, Langfang 065000, China;
- 3. Research Center of Geochemical Survey and Assessment of Land Quality, China Geological Survey, Langfang 065000, China)

HIGHLIGHTS

- (1) The selenium – rich land covers 112km², including 35km² nuisanceless selenium – rich land. The selenium – rich land resources are abundant in the study area.
- (2) The geological background is closely related to the soil selenium contents, which is mainly controlled by carbonate rocks, sandstone and siltstone intercalated with carbonaceous strata.
- (3) Soil pH, organic matter, TFe₂O₃, S and weathering degree are important factors affecting the enrichment and activation of soil selenium. The effect of organic matter on soil selenium is significantly greater than TFe₂O₃.



ABSTRACT

BACKGROUND: Selenium (Se) is an essential beneficial trace element for human and animals; taking an appropriate amount of selenium is an important sign to improve the quality of life. Eating selenium – rich agricultural products is an important way for humans to obtain and supplement selenium in low – Se regions. Investigating the content characteristics of soil selenium, delineating the distribution of selenium – enriched soil resources and identifying the influencing factors of soil selenium migration and enrichment can provide a sound basis for the efficient utilization of selenium – enriched soil resources and scientific development of selenium – enriched agricultural products.

OBJECTIVES: To reveal the content, distribution characteristics and influencing factors of selenium in soils from the study area.

METHODS: Soil samples were collected from the western area of Muchuan County, Sichuan Province. AFS, ICP – MS and XRF were used to determine the elemental content (Se, Al_2O_3 , TFe_2O_3 , OrgC, Cd) and pH values. The content, distribution and influencing factors of soil selenium in the study area were evaluated using statistical and correlation analysis.

RESULTS: The results showed that: (1) The content of selenium in the study area ranged from 0.08 to 1.30 mg/kg, with an average value of 0.39 ± 0.15 mg/kg. The selenium – rich land was 112km^2 , accounting for 52% of the total area, of which the nuisanceless selenium – rich land was 35km^2 . Soil Cd content was the main factor causing the great difference between selenium – enrich soil and nuisanceless selenium – rich soil. (2) The geological background was closely related to the soil selenium content, which was mainly controlled by carbonate rocks, sandstone and siltstone intercalated with carbonaceous strata. The source of soil selenium was stable. (3) The soil selenium content decreased with pH and *ba* value, meanwhile, they increased with TFe_2O_3 and S content. The effect of organic matter on soil selenium was significantly greater than TFe_2O_3 , indicating that the adsorption capacity of TFe_2O_3 for selenium in this area was lower than organic matter.

CONCLUSIONS: Selenium – enriched land resources are abundant in the study area. The content of soil selenium is affected by geological background and physical and chemical properties. It is suggested that local governments make full use of relevant resources to develop selenium – enriched agricultural products. At the same time, attention should be paid to the balanced fertilization of organic fertilizers. The collaborative analysis of factors affecting the migration and enrichment of selenium in the soil – crop system should be further strengthened.

KEY WORDS: soil selenium; influencing factors; parent materials; Muchuan County; atomic fluorescence spectrometry; inductively coupled plasma – mass spectrometry/optical emission spectrometry