

典型土壤环境中硒的迁移转化影响因素研究 ——以四川省成都经济区为例

孙 朝^{1,2} 侯青叶¹ 杨忠芳¹ 杨晓燕¹ 黄 勇¹ 陈恩科³

(1.中国地质大学,北京 100083;2.北京市华清地热开发有限责任公司,北京 102218;

3.陕西省地质调查院,陕西 西安 710016)

摘要:硒作为人体健康生长必需微量元素,由于其显著的抗癌作用,开始受到越来越多人的关注,并因此产生了很大的经济效益。土壤中含硒量不足或过多以及存在的形态,直接影响到植物的生长状况和含硒量,又进一步通过食物链而影响人、畜的健康,因此研究土壤剖面中硒的迁移转化具有重要意义。笔者在四川省成都经济区按照不同的土壤类型采集了 4 条土壤剖面 PM2、PM8、PM9、PM11,测试了土壤中全量硒和有效硒的含量,并通过土壤溶液的培养分别获得了土壤溶液及残渣土壤中全量硒、有效硒的含量,由此计算了土壤溶液中硒的分配系数($K_i=C_{i,残渣土壤}/C_{i,土壤溶液}$)。结果显示,全量硒和有效硒含量在剖面的表层明显富集;有效硒含量与土壤全量硒呈显著的正相关关系,与土壤有机质含量呈正相关关系;不同类型土壤中硒的分配系数在剖面中均呈现出由深层到表层逐渐富集的规律,且与土壤中 pH 值和有机质含量呈现正相关关系。研究表明,不同类型土壤中 Se 向植物中的迁移转化主要受 Se 全量、土壤 pH 值、有机质及土壤粘粒影响,且 Se 随土壤溶液在垂向上的迁移不明显。

关键词:硒;土壤剖面;含量砷;有效砷;分配系数

中图分类号:P66;P59 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2010)06-1760-09

硒作为人体健康生存所必需的一种微量元素开始受到人们越来越多的关注。硒具有较强的抗氧化作用,能够将人体内产生的过氧化物还原分解,降解和消除自由基,保护细胞膜不受自由基的破坏;同时,硒有很好的抗癌作用,它能够激活肿瘤抑制基因,修复受损细胞,从而有效地增强动植物机体的免疫力;此外,硒还是一种天然的解毒剂,它能够与镉、汞、砷等有毒重金属元素产生拮抗作用,形成金属硒蛋白复合,从而达到抵消毒性的效果^[1]。正是基于硒的这些功效,使富硒产品逐步热销,硒元素也受到人们越来越多的关注。大量研究表明,植物中的硒会通过食物链影响人畜的健康。在食物链中,由于硒主要来源于植物并最终来源于土壤,土壤中硒的含量、形态和作物对硒的吸收转化等都直接影响着食物链中硒的水平,因此研究硒在土壤中的迁移转化规律具

有重要意义。此前,已有很多学者对硒在土壤中的迁移转化因素做过研究。陈怀满^[2]指出硒在土壤中的迁移转化因素主要受到土壤中全量硒、土壤 pH 以及有机质等影响;谭见安^[3]认为不同土壤类型对土壤中总硒和溶解态硒含量的变化趋势有影响很大;刘铮^[4]指出成土母质是土壤中硒含量的主要影响因素;章海波^[5]认为土地利用类型也会在一定程度上影响土壤中硒的含量;还有一些学者提出硒元素与重金属元素具有较强的伴生关系,二者容易发生拮抗作用,从而达到相互制约的作用。本次研究在前人研究成果的基础上以四川省成都经济区为例,采集了 4 条不同土壤类型的剖面,通过研究土壤中全量硒、有效硒的含量,摸清该地区硒元素的分布规律,通过进行土壤溶液实验得到了土壤中硒的迁移转化规律,并探讨土壤中可能影响硒元素迁移转化规律的因素。

收稿日期:2009-10-21; 改回日期:2010-02-25

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(GZTR20060202,GZTR20070201,GZTR0201)资助。

作者简介:孙朝,女,1985年生,硕士,主要从事环境地球化学研究工作;E-mail:sunzhao719@126.com。

1 研究区概况及采样方法

研究区地处四川盆地西部(图 1),包括成都市、德阳市、绵阳市、眉山市全部及乐山市、雅安市。该区是四川省经济最发达和人口密度最大的地区,地理坐标:101°55'~105°43'E, 28°25'~33°03'N。该区主要土壤类型有紫色土、水稻土、棕壤和黄壤。

在研究区根据不同类型的土壤采集了 4 条土壤剖面 PM2、PM8、PM9、PM11。土壤剖面深度一般为 1.5 m 左右,或以见到潜水面为准。样品采样密度为:0~20 cm 的耕层土壤采集 1 件样品;20~80 cm 深度范围内,采样密度为 1 个/5 cm;80~150 cm 深度范围内,采样密度为 1 个/10 cm,每件样品为采样间隔内土壤的混合样;样品重量为 1 kg。样品采集时间为作物收割后的农闲期。4 条剖面的基本特征描述见表 1。

2 样品处理及测定方法

土壤样品采集后常温下风干、磨细、过筛(2 mm 孔径)、混匀、分装,制成待分析试样。样品处理加工过程保证无污染、无混染。

将样品分为等量的 2 份,一份土壤样品直接送国土资源部安徽地质实验中心测定其土壤中的全量硒及有效硒的含量;另一份送实验室培养土壤溶液,用来测定土壤溶液和经超纯水浸泡后晾干的残渣土壤中的全量硒和有效硒含量。

前人对于土壤溶液的研究大多采用现场采样的方法,即在不同的剖面深度埋置陶土头再利用真空泵采集土壤溶液。但由于受到设备资金及实地采样条件的限制,本次研究采取室内实验的方法获取土壤溶液。土壤溶液的具体培养方法如下:称取一定量 200 目自然风干的土壤样品放置在广口烧杯中,加

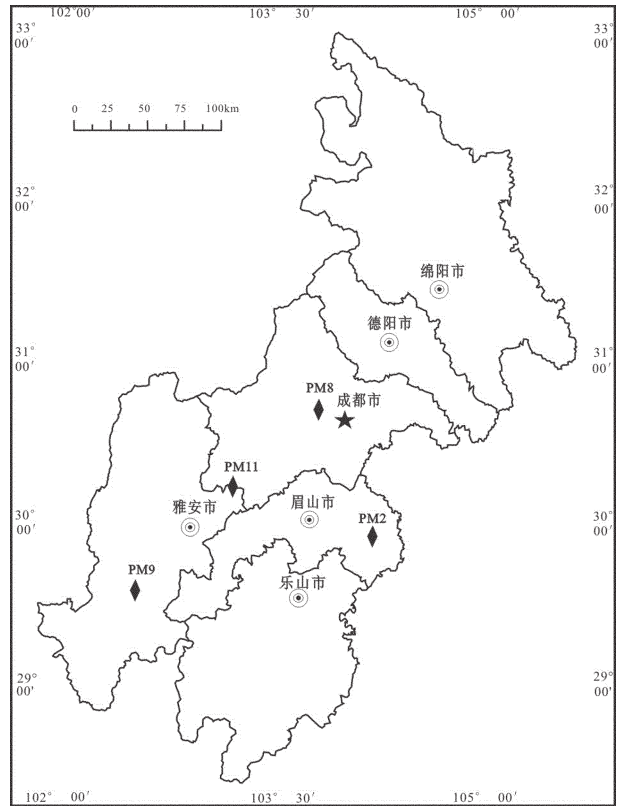


图 1 剖面布置点位图

Fig.1 Soil profiles and sampling positions in Chengdu economic zone

入一定比例的超纯水,密封后静置一段时间,待水土反应平衡后,用 0.02 μm 的陶土头、真空泵、导管和采样瓶抽取溶液。经过试验最终确定室内静置获取土壤溶液的实验条件为:土水比为 1:0.40;平衡时间为 25 d。

分别分析测定土壤溶液中的全量硒和经超纯水浸泡后晾干的残渣土壤中的全量硒及有效硒含量。土壤溶液和残渣土壤中的全量硒及有效硒等指标的

表 1 成都经济区土壤垂向剖面基本特征

Table 1 Characteristics of soil profiles in agro-eco-system in Chengdu economic zone, Sichuan Province

剖面编号	剖面位置	成土母质	土壤类型	剖面特征描述
PM2	眉山市仁寿县富加镇	沙溪庙组(J _{2s})	紫色土	黄色、中细粒,剖面下部见地下暗河
PM8	温江市公平镇分水村	全新统	水稻土	灰黑色,细粘粒,团块状,质地松软;底部土壤为黄黑色、细粉砂,质地稍硬
PM9	汉源县清溪镇新梨村	第四系	棕壤	土壤呈黑褐色,中细粒,比较均一
PM11	雅安市名山县黑竹镇莲花村	更新统(Q _p)	黄壤	浅部土壤呈棕黄色,粘细粒;深部土壤呈黄色,中细粒,见砾石

分析测定由国土资源部安徽地质实验中心承担;土壤质地的测定由中国科学院地质与地球物理研究所完成。在分析测试过程中,土壤 pH 值的测定严格按照中国环境监测总站编著的《土壤元素的近代分析方法》进行分析;有效硒的分析按照中华人民共和国林业行业标准(LY/T1220~1280-1999)技术标准执行;全量硒及 TOC 含量等指标的分析按中国地质调查局《生态地球化学评价样品分析技术要求(试行)》(DD2005-03)严格执行^[6]。各指标的分析方法及检出限见表 2,试验结果如表 3 所示。

3 土壤剖面硒元素含量分布特征

不同类型土壤剖面中全量硒垂直变化规律(图 2~5)显示:所有土壤剖面都表现为全量硒在表层富集的现象,深层含量相对较小,变化也相对稳定,4 条剖面表层(0~20 cm)土壤中硒的含量都比较接近,分别为 0.16 mg/kg、0.38 mg/kg、0.26 mg/kg 和 0.39 mg/kg。其中雅安市名山县黑竹镇莲花村的黄壤剖面(PM11)在表层(0~20 cm)土壤中含量最高;表层土壤以下的各土壤层的全量硒比较稳定,平均值为 0.289 mg/kg。眉山市仁寿县富加镇的紫色土剖面(PM2)中硒含量在表层较为富集。其由底层的 0.08 mg/kg 逐渐增加到表层的 0.16 mg/kg,平均

表 2 土壤无机项目分析及检出限

Table 2 Analytical method and detection limits of samples

测试项目	检出限要求/(mg/kg)	分析方法
全量硒	0.02	氢化物-原子荧光分析法
有效硒	0.005	等离子体光谱法,标准溶液同介质,高盐雾化器直接测定
TOC	1000	容量法
pH 值	0.1(无量纲)	酸度计测定

表 3 成都经济区土壤垂向剖面分析测试数据

Table 3 Analytical data of soil profiles in agro-eco-system in Chengdu economic zone, Sichuan Province

剖面号	原样号	深度 /cm	TOC /10 ⁻²	全量硒 /10 ⁻⁶	PH 值	有效硒 /10 ⁻⁶	粘粒含量 /%
PM2	PM2-1	0~20	1.01	0.16	8.43	0.008	27.88
	PM2-2	20~35	0.47	0.10	8.47	0.004	26.62
	PM2-3	35~50	0.43	0.09	8.48	0.003	26.37
	PM2-4	50~65	0.29	0.08	8.33	0.002	28.83
PM8	PM8-1	0~20	1.77	0.38	7.92	0.017	11.71
	PM8-2	20~35	1.33	0.30	8.12	0.010	12.58
	PM8-3	35~50	1.16	0.34	7.90	0.014	12.49
	PM8-4	50~65	0.98	0.22	7.50	0.008	11.47
	PM8-5	65~80	0.76	0.17	7.70	0.006	12.83
PM9	PM9-1	0~20	4.04	0.26	5.82	0.010	20.08
	PM9-2	20~35	4.09	0.28	7.21	0.009	20.93
	PM9-3	35~50	3.45	0.25	7.69	0.008	22.04
	PM9-4	50~65	2.96	0.20	7.85	0.006	22.91
	PM9-5	65~80	2.78	0.16	7.98	0.006	22.85
PM11	PM11-1	0~20	1.24	0.39	4.62	0.017	26.02
	PM11-2	20~35	0.45	0.32	4.94	0.005	29.83
	PM11-3	35~50	0.21	0.24	5.04	0.002	29.63
	PM11-4	50~60	0.10	0.21	5.05	0.002	26.80

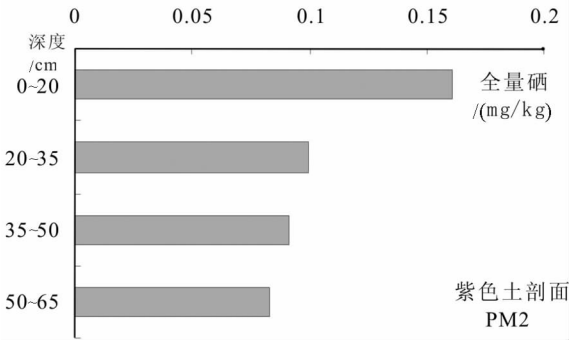


图 2 四川省成都经济区紫色土剖面总量 Se 垂向变化特征
Fig.2 The distributions of total Se in purplish soil profiles in Chengdu economic zone, Sichuan Province

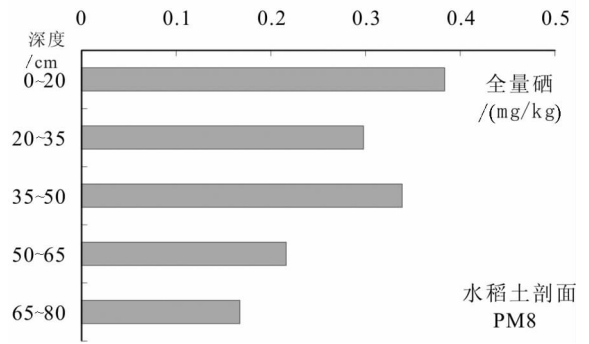


图 3 四川省成都经济区水稻土剖面总量 Se 垂向变化特征
Fig.3 The distribution of total Se in paddy soil profiles in Chengdu economic zone, Sichuan Province

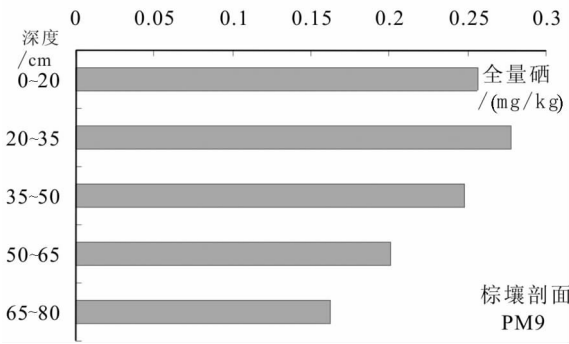


图 4 四川省成都经济区棕壤剖面总量 Se 垂向变化特征
Fig.4 The distribution of total Se in brown earth profiles in Chengdu economic zone, Sichuan Province

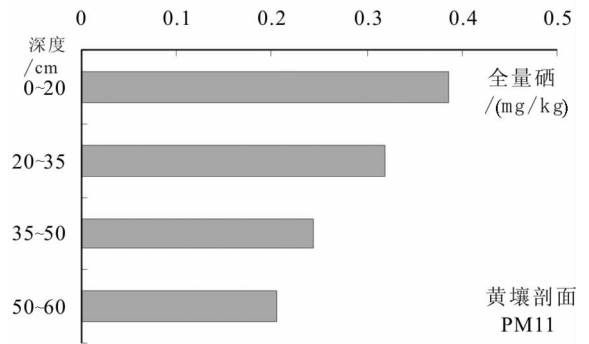


图 5 四川省成都经济区黄壤剖面总量 Se 垂向变化特征
Fig.5 The distribution of total Se in yellow earth profiles in Chengdu economic zone, Sichuan Province

值为 0.109 mg/kg。温江市公平镇分水村的水稻土剖面 (PM8) 的硒含量在表层 (0~20 cm) 的土壤层呈现富集的趋势, 硒含量从底层的 0.17 mg/kg 增加到表层的 0.38 mg/kg。汉源市清溪镇新梨村的棕壤剖面 (PM9) 的硒总量变化同样表现为从土壤深层到表层逐渐富集的规律。0~20 cm 表层土壤中硒含量为 0.28 mg/kg, 而 65~80 cm 土壤层中的含量只有 0.16 mg/kg。硒的表聚作用可能与成土过程中根系吸收和生物积累作用有关, 此外也可能是由于土壤中的硒与土壤中的腐殖酸形成稳定的络合物而存在于上部^[7]。

从土壤中有效硒的垂向变化特征(图 6~9)可以看出: 土壤中有效硒的变化特征与全量硒的变化一致, 表现出从深层到表层逐渐富集的趋势。

植物从土壤溶液中吸收硒, 水是其土壤环境

中迁移的媒介。土壤溶液中硒元素的浓度或活度直接影响到硒的生物有效性和迁移速率。土壤溶液中硒的更新和补给主要依靠土壤固相, 即通过含有硒元素的矿物的溶解或硒元素-土壤矿物表面复合体的解离作用。由于成土母质、土壤微量元素全量、土壤 pH 等因素的交互影响, 以及气候条件不同引起的土壤中矿物的风化和分解速率的不同, 导致同一元素在不同土壤溶液中的质量浓度存在很大的差异^[8]。不同类型土壤中硒的分配系数计算如下:

$$K_i = C_{i \text{ 残渣土壤}} / C_{i \text{ 土壤溶液}} \quad (\text{公式 1})$$

式中: K_i 为 i 元素的分配系数, $C_{i \text{ 残渣土壤}}$ 为残渣土壤中 i 元素的浓度, $C_{i \text{ 土壤溶液}}$ 为土壤溶液中 i 元素的浓度。

按照公式 1 计算出上述 4 种不同类型土壤剖面中硒的分配系数, 其垂向分布图 (图 10~13) 显示:

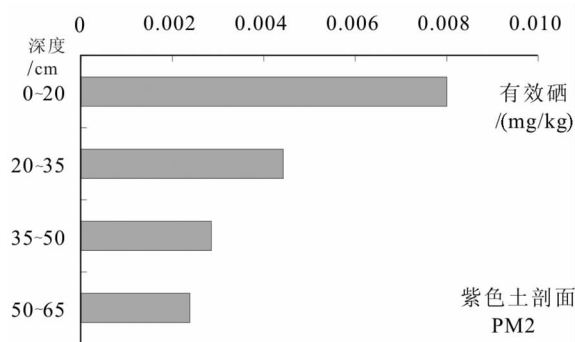


图6 四川省成都经济区紫色土剖面有效硒垂向变化特征
Fig.6 The distribution of available Se in purplish soil profiles in Chengdu economic zone, Sichuan Province

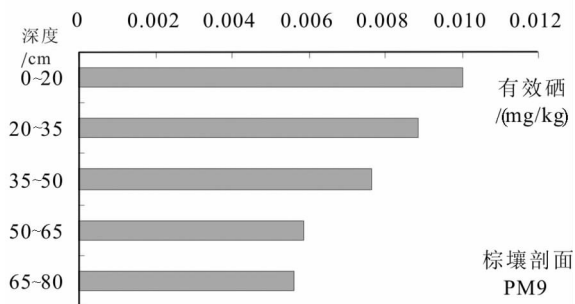


图8 四川省成都经济区棕壤剖面有效硒垂向变化特征
Fig.8 The distribution of available Se in brown earth profiles in Chengdu economic zone, Sichuan Province

在这4种不同土壤类型的剖面中硒的分配系数均表现出相同的垂向分布规律,即表层硒的分配系数明显高于深层硒的分配系数。

其中眉山市仁寿县富加镇的紫色土剖面 (PM2) 在表层 (0~20 cm) 土壤中分配系数最高为 0.345,其深部土壤层中硒的分配系数与表层相差较大,数值普遍较低;温江市公平镇分水村的水稻土剖面 (PM8) 硒的分配系数在表层 (0~20 cm) 土壤层中最高,达到 0.99,深部土壤层硒分配系数明显降低,尤其是深度为 20~35 cm 和 35~50 cm 的土壤层分配系数最低;汉源市清溪镇新梨村的棕壤剖面 (PM9) 硒的分配系数变化与前两个剖面相同,即表层硒分配系数较高,为 1.56,随着剖面深度的增加硒的分配系数逐渐降低,到剖面底层硒的分配系数降到最低 0.28;雅安市名山县黑竹镇莲花村的黄壤剖面 (PM11) 硒的分配系数在表层最高,为 2.6,在剖面深度为 20~35 cm 的位置分配系数最低,仅为 0.19,然

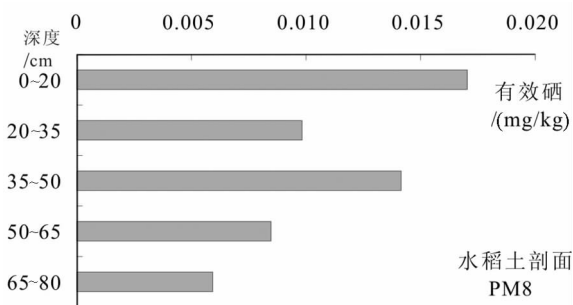


图7 四川省成都经济区水稻土剖面有效硒垂向变化特征
Fig.7 The distribution of available Se in paddy soil profiles in Chengdu economic zone, Sichuan Province

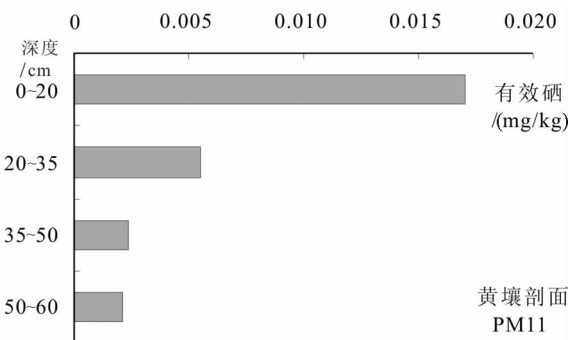


图9 四川省成都经济区黄壤剖面有效硒垂向变化特征
Fig.9 The distribution of available Se in yellow earth profiles in Chengdu economic zone, Sichuan Province

后随着深度的增加分配系数有所回升。

也就是说在表层土壤中残留在残渣土壤中的硒较多,而溶解在土壤溶液中的硒较少。而在深层土壤中分配系数较低,表明大部分硒溶解在土壤溶液中,而残留在残渣土壤中的硒相对较少。表层硒分配系数的显著高值表明表层土壤中的部分可溶性硒随土壤溶液迁移到了土壤剖面深部。

4 讨论

农作物对赋存于土壤中硒的吸收程度取决于硒形态的有效性,土壤中的有效硒而非土壤全量硒是决定食物链系统中硒水平的关键因素,因此研究土壤中有效硒的迁移转化规律及影响因素具有重要意义。影响 Se 在土壤中的迁移转化的因素很多,包括土壤内部因素和土壤外部因素,本次研究主要针对土壤内部因素对有效硒的影响进行讨论。

土壤中的全量硒与有效硒存在内在的联系^[9]。

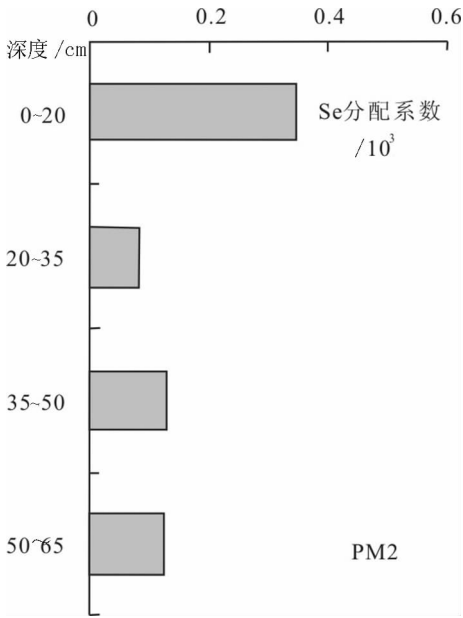


图 10 紫色土剖面硒分配系数垂向变化特征
Fig.10 The distribution of partition coefficient of Se in purplish soil profiles

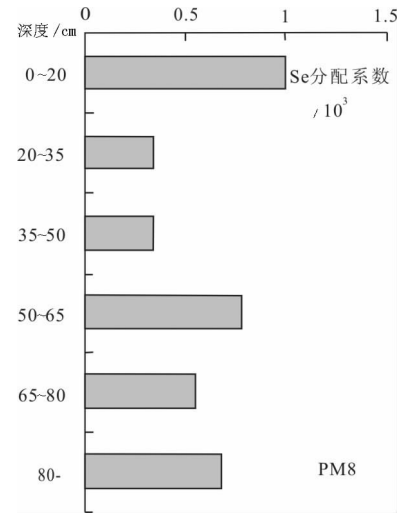


图 11 水稻土剖面硒分配系数垂向变化特征
Fig.11 The distribution of partition coefficient of Se in paddy soil profiles

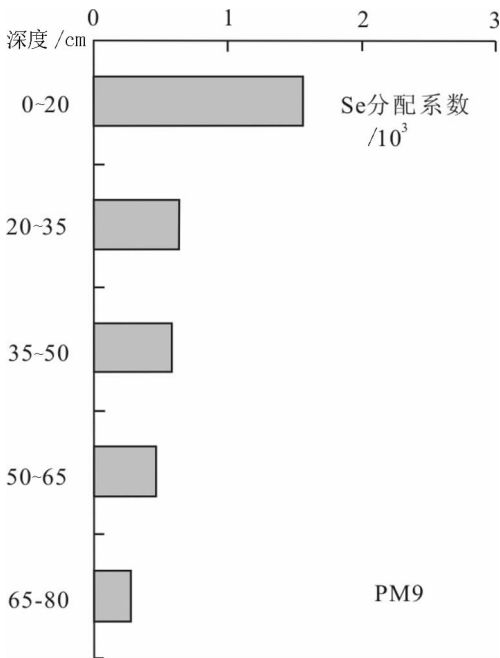


图 12 棕壤剖面硒分配系数垂向变化特征
Fig.12 The distribution of partition coefficient of Se in brown earth profiles

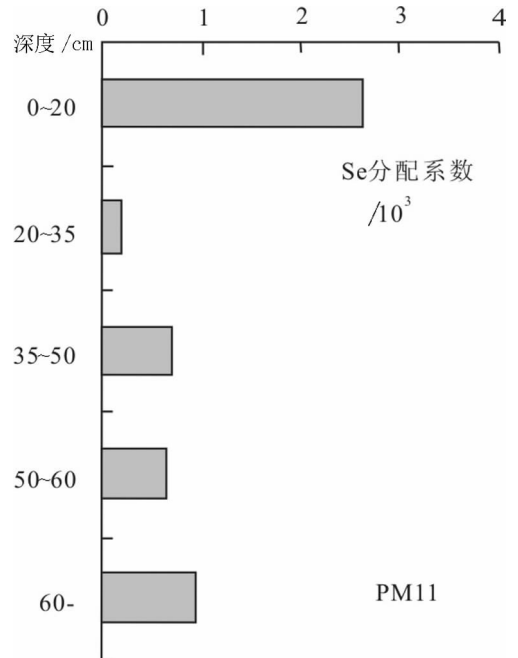


图 13 黄壤剖面硒分配系数垂向变化特征
Fig.13 The distribution of partition coefficient of Se in yellow earth profiles

从研究区土壤中有有效硒与全量硒之间的相关关系(图 14)可以看出:全量硒与有效硒之间存在显著的正相关关系,相关系数高达 0.522。由此可见,土壤中

全量硒是土壤中有有效硒的主要来源,有效硒的含量会随着全量硒含量的增加而逐渐增加。

土壤 pH 是土壤酸碱度的反映,是土壤物理化

学性质的综合反映,它在很大程度上决定了硒存在的化学形态,因此影响了硒的有效性。研究区土壤 pH 值的变化范围较小,最小值为 4.78,最大值为 8.75,以中性及中性偏碱性的土壤居多。对研究区土壤剖面中的有效硒与土壤 pH 值做相关分析的结果显示,土壤剖面中的有效硒与土壤 pH 值之间呈较弱的正相关关系,二者的相关性并不显著。当土壤溶液呈酸性到中性时,土壤中硒的有效性较低,随着土壤 pH 值的升高,硒的有效性也相应提高。这是由于在通风好的碱性土壤中, $2\text{SeO}_3^{2-} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SeO}_4^{2-}$,难溶性的 SeO_3^{2-} 被氧化为易溶的 SeO_4^{2-} ;而在中性和酸性土壤中, SeO_3^{2-} 是主要的存在形式。通常,土壤对阴离子的吸附量是随土壤 pH 值的降低而增加的。就亚硒酸盐来说,pH 对吸附量的影响却是可逆的。土壤对亚硒酸盐的吸附量随着土壤 pH 值的升高而降低,随着体系中 OH^- 数量的增加,亚硒酸盐的可溶性增强,水溶性硒增加,使得有效硒与土壤 pH 呈现不显著的正相关关系^[10]。

土壤有机质与土壤有效硒关系密切,一般土壤有机质含量高,土壤中的全量硒含量也相应较高,而有效硒与有机质的关系则决定于有机质的分解程度,有机质未完全分解,可降低土壤硒的有效性。由于土壤有机质是天然环境中的还原物质之一,在一定程度上反映了土壤氧化电位的高低。有机质含量高的土壤中氧化电位较低,有利于 Se^{6+} 还原为难溶的、易交换沉积的 Se^{4+} 。同时,土壤有机质在腐殖化过程中可产生腐殖酸和细颗粒胶体^[1],增加有效硒的吸附交换。因此随着土壤中有有机质含量的增高,土壤中有效硒的含量也随之增加。从研究区土壤中 TOC 含量与有效硒含量的相关分析图(图 15)发现:土壤中 TOC 含量与土壤有效硒含量呈正相关

关系,相关系数为 0.1757。

土壤质地尤其是土壤颗粒组成对硒的有效性有重要影响。土壤质地不同,形成不同的土壤结构和土壤通透条件,因而对土壤中硒的迁移转化产生不同的效应。一般来说,土壤中粘粒含量越高,硒含量就越高,即细质地土壤含硒多于粗质地土壤。这是由于土壤粘粒含量的多少,可以改变土壤物理吸附、化学吸附及离子交换作用的强弱,进而影响进入土壤中有效硒的吸附程度^[2]。对土壤中有效硒与土壤粘粒含量进行相关分析,结果显示,土壤有效硒与土壤粘粒呈极不显著的负相关关系。

从土壤中硒的分配系数与土壤 pH 值,土壤有机质、土壤中全量硒及土壤质地的相关关系中可以发现,随着土壤 pH 值的升高,土壤中硒的分配系数也逐渐降低。二者呈现出并不显著的负相关关系。随着土壤中 pH 值的升高,土壤呈碱性,土壤残渣中的硒逐渐向土壤溶液中迁移,从而使得硒的分配系数逐渐降低。土壤中硒的分配系数与土壤中的硒全量呈现较为显著的正相关关系(图 16),相关系数为 0.2472。研究区土壤中的有机质与土壤中硒的分配系数呈正相关关系(图 17),相关系数为 0.2105。土壤粘粒也是影响硒在土壤中分配系数的一个重要因素,但二者只呈现出极弱的负相关关系。

5 结 论

(1)在不同类型土壤中全量硒和有效硒呈现出相同的垂向变化特征,即硒在土壤剖面表层逐渐富集,并随着剖面深度的增加而逐渐增加。

(2)影响有效硒在土壤中迁移转化的因素主要包括土壤中全量硒的含量、土壤 pH 值、土壤有机质以及土壤粘粒含量等。它们都与土壤中的有效硒呈

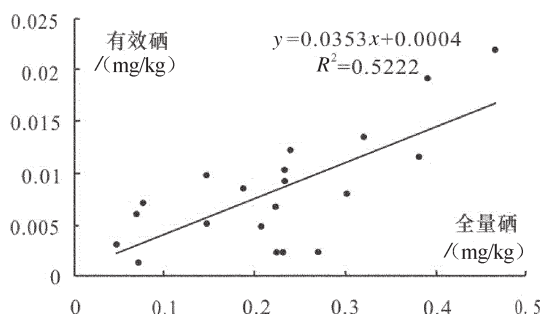


图 14 土壤有效硒与全量硒相关关系图

Fig.14 Available Se versus total Se diagram

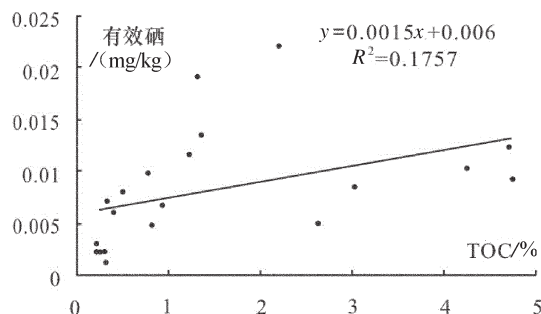


图 15 土壤有效硒与土壤 TOC 相关关系图

Fig.15 Available Se versus TOC content diagram

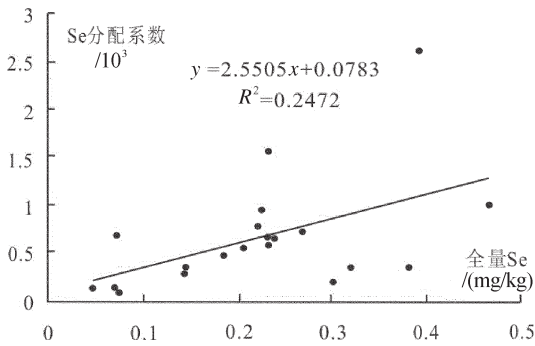


图 16 硒分配系数与硒全量相关关系图

Fig.16 Partition coefficient of Se versus total Se diagram

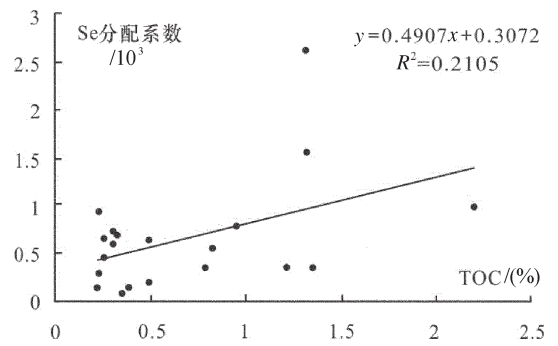


图 17 硒分配系数与土壤 TOC 相关关系图

Fig.17 Partition coefficient of Se versus total Se diagram

现不同程度的相关关系。

(3)用残渣土壤中硒的含量与土壤溶液中硒的含量相除得到硒在土壤中的分配系数。其分配系数在垂向分布上同样呈现出表层富集的规律。影响硒在土壤中分配系数的因素有土壤全量硒、土壤 pH 值、土壤有机质含量以及土壤中的粘粒含量等。其中土壤 pH 值与土壤中硒的分配系数呈不显著的负相关关系,而土壤全量硒和土壤中的有机质与硒的分配系数呈现正相关关系。土壤中粘粒含量与土壤中硒的分配系数呈现极不显著的负相关关系。

参考文献(Reference):

- [1] 郦逸根,董岩翔,郑洁,等.地质因素影响下的硒在土壤——水稻系统中的迁移转化[J].物探与化探,2007,31(1):77.
Li Yigen, Dong Yanxiang, Zheng Jie, et al. The transport and transformation of selenium in the soil-paddy plant system affected by geological factors [J]. Geophysical & Geochemical exploration, 2007, 31(1):77 (in Chinese with English abstract).
- [2] 陈怀满.环境土壤学[M].北京:科学出版社,2005:180.
Chen Huaiman. Soil and Environment [M]. Beijing:Science Press, 2005:180(in Chinese with English abstract).
- [3] Tan J A, Zhu W Y, Wang W Y, et al. Selenium in soil and endemic diseases in China [J]. The Science of the Total Environment,2002, (284):227-235.
- [4] 刘铮.中国土壤微量元素[M].南京:江苏科学技术出版社,1996:114-116.
Liu Zheng. Trace Element in Chinese Soil [M]. Nanjing : Jiangsu Science and Technology Press, 1996:114-116 (in Chinese with English abstract).
- [5] 章海波,骆永明,吴龙华,等.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,2005,42(1):404-410.

Zhang Haibo, Luo Yongming, Wu Longhua, et al. HongKong soil researches II :Distribution and content of selenium in soils [J]. Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(1):404-410 (in Chinese with English abstract).

- [6] 中国地质调查局.生态地球化学评价样品分析技术要求(实行)[S].2005.
China Geological Survey Bureau. The Technical Requirements of the Sample Analysis for Eco-geochemical Assessment (for Trial Implementation)[S]. 2005 (in Chinese).
- [7] 王金达,于君宝,张学林.黄土高原土壤中硒等元素的地球化学特征[J].地理科学,2000,20(5):472.
Wang Jinda, Yu Junbao, Zhang Xuelin. Geochemical features of elements of Selenium etc. in soil of loess plateau [J]. Scientia Geographica Sinica, 2000, 20 (5):472 (in Chinese with English abstract).
- [8] 邢光熹,朱建国.土壤微量元素和稀土元素化学[M].北京:科学出版社,2003.176.
Xing Guangxi, Zhu Jianguo. Trace Elements and Rare Earth Elements in Soil Chemistry[M]. Beijing:Science Press, 2003:176 (in Chinese with English abstract).
- [9] 方金梅.福州市土壤硒形态分析及其迁移富集规律[J].岩矿测试,2008,27(2):105.
Fang Jinmei. Selenium speciation analysis and its transformation and enrichment in soil of Fuzhou City [J]. Rock and Mineral Analysis, 2008, 27(2):105 (in Chinese with English abstract).
- [10] 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):400.
Qu Jianguo, Xu Boxing, Gong Shuchun. Study on speciation distribution and availability of Selenium in different soils of Shanghai [J]. Acta Pedologica Sinica, 1998, 35(3):400 (in Chinese with English abstract).

Factors controlling the transport and transformation of selenium in typical soil environments: a case study of the Chengdu economic zone in Sichuan Province

SUN Zhao^{1,2}, HOU Qing-ye¹, YANG Zhong-fang¹,
YANG Xiao-yan¹, HUANG Yong¹, CHEN En-ke³

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Beijing Huaqing Terrestrial Heat Development Limited Liability Company, Beijing 102218, China; 3. Shaanxi Institute of Geological Survey, Xi'an 710016, Shaanxi, China)

Abstract: Selenium is an essential trace element which is beneficial for people's health and has significant cancer-fighting properties. More and more people have attached importance to this element, which has produced great economic efficiency. The inadequateness or excessiveness of selenium content and different forms of selenium in soil can affect the plant growth directly and then bring about further influence on the health of human beings and animals by food-chain. So It's significant to study the transport and transformation of selenium in the soil profile. In this paper, 4 soil profile samples of PM2, PM8, PM9, PM11 were collected from Chengdu economic zone in Sichuan Province according to different soil types. The authors analyzed the content of total selenium and the available selenium content in the soil profiles. By cultivating soil solution the authors also obtained the total selenium and the available selenium content both in soil solution and in soil debris. Then the authors calculated the distribution coefficient of selenium in the soil solution. The result indicates that the total selenium and available selenium were well concentrated at the surface of these four soil profiles. The content of available selenium shows a significantly positive correlation with the total selenium and a positive correlation with the soil organic matter. By calculating the distribution coefficient of selenium (K_i) in different types of soil, the authors have reached the conclusion that the distribution coefficient of selenium is gradually concentrated from deep to top soil. Furthermore, the coefficient of selenium also shows a positive correlation with soil pH and the soil organic matter. This study also suggests that the total selenium, the soil pH, the soil organic matter and the clay fraction are the main factors affecting the transport and transformation of selenium to plant in different types of soils. The transport of selenium with the migration of the soil solution in the vertical soil profiles is not obvious.

Key words: selenium; soil profile; distribution coefficient

About the first author: SUN Zhao, female, born in 1985, master, mainly engages in the study of environment geochemistry; E-mail: sunzhao719@126.com.