

白银市平川区土壤与农产品硒含量特征及成因分析

白斌¹, 李城德²

(1. 白银市平川区农业技术推广中心, 甘肃 白银 730913; 2. 甘肃省农业技术推广总站, 甘肃 兰州 730020)

摘要: 为探明白银市平川区土壤硒分布规律和影响土壤中硒含量的因素, 为保护和开发富硒土壤资源提供理论依据。我们在白银市平川区共采集土壤样本 59 个、农作物可食部分样品 36 个, 通过检测分析土壤全硒含量、土壤化学性状(铅、汞、镉、pH、有机质、有效硅、有效硼、有效铜、有效锌、有效铁、有效锰)与农作物可食部分全硒含量, 研究了白银市平川区土壤与农作物全硒含量特征及其影响因素。结果表明: 平川区土壤全硒平均含量为 0.29 mg/kg, 高出甘肃省土壤全硒平均含量 45.0%, 且富硒土壤母质均为冲洪积物。土壤全硒含量与土壤有机质($R^2=0.32^*$)、有效硅($R^2=0.35^{**}$)呈显著或极显著正相关。平川区各农产品全硒含量大小依次为胡麻、枸杞、藜麦、菊芋、玉米、马铃薯。平川区土壤硒含量有区域差异, 西北部高于东南部, 且灌区高于旱作区。土壤母质、有机质含量、有效硅含量是决定土壤富硒的主要因子, 富集系数是各农产品全硒平均含量产生较大差异的主要原因。

关键词: 土壤; 农产品; 硒含量; 特征; 成因分析; 平川区

中图分类号: S153.6

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2023)08-0763-05

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2023.08.016

Analysis on the Characteristics and Genesis of Selenium Contents in Soil and Agricultural Products in Pingchuan District, Baiyin

BAI Bin¹, LI Chengde²

(1. Pingchuan District Agricultural Technology Extension Centre, Baiyin Gansu 730913, China; 2. Gansu General Station of Agro-technology Extension, Lanzhou Gansu 730020, China)

Abstract: To understand the distribution pattern of soil selenium content in Pingchuan District, Baiyin, and to explore the influencing factors of selenium content in soil, a total of 59 soil samples and 36 edible crop samples in Pingchuan District, Baiyin were collected. Through testing and analyzing the total selenium content and soil chemical properties (lead, mercury, cadmium, pH, organic matter, available silicon, available boron, available copper, available zinc, available iron, and available manganese), and the total selenium content of edible parts in crops, the characteristics and influencing factors of total selenium contents in soil and crops in Pingchuan District, Baiyin were studied. The results indicated that the average soil total selenium in Pingchuan was 0.29 mg/kg which was 45.0% higher than the average soil total selenium content in Gansu Province. Moreover, the parent material of selenium rich soil was alluvial and proluvial deposits. Soil total selenium content had significant positive relationship with soil organic matter ($R^2 = 0.32^*$) and available silicon content ($R^2 = 0.35^{**}$). The total selenium contents of various agricultural products in Pingchuan District was in the order of sesame > goji berries > quinoa > Jerusalem artichoke > corn > potato. There were regional differences in soil selenium content in Pingchuan District with higher levels in the northwest than that in the southeast, and higher levels in irrigated areas than that in arid areas. The soil parent material, organic matter content, and available silicon content were the main factors determining soil selenium enrichment, and the enrichment coefficient was the main reason for significant differences in the average total selenium content of various agricultural products.

Key words: Soil; Agricultural product; Selenium content; Characteristic; Genetic analysis; Pingchuan; District

硒作为人体必需的微量元素之一, 具有抗氧化、抗衰老、预防心血管疾病的功效^[1-2], 随着人

收稿日期: 2023-01-11; 修订日期: 2023-04-25

基金项目: 甘肃省化肥减量增效项目(甘农财发[2022]40号)。

作者简介: 白斌(1974—), 男, 甘肃白银人, 高级农艺师, 硕士, 研究方向为土壤与作物栽培。Email: pcbain@163.com。

通信作者: 李城德(1965—), 男, 甘肃榆中人, 研究员, 主要从事农业技术研究和推广工作。Email: 1736502286@qq.com。

们生活质量的提高,保护与利用富硒土壤资源生产富硒农产品已成为当前农业研究热点。

前人已对土壤硒含量的影响因素做了大量研究,普遍认为土壤硒水平与土壤 pH、有机质含量、成土母质、土地利用方式密切相关^[3-7]。夏飞强等^[8]用富集系数(农作物硒含量/根系土硒含量)分析评价研究了农作物从土壤环境中吸收微量元素的能力差异,并依据地标(DB)对富硒农产品做了一定评价。各地区土壤类型、地形部位、成土过程有较大差异,而且各土壤类型的成土母质也不同。李春亮等^[9]对甘肃土壤富硒标准进行了一定探讨,但没有涉及甘肃土壤硒含量的影响因素。我们拟研究与探明平川区土壤硒分布规律,并对土壤中硒含量影响因素进行分析,以期保护与开发富硒土壤资源提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

白银市平川区位于甘肃省中部,祁连山东端,地处东经 104° 18' ~ 105° 26'、北纬 36° 10' ~ 37° 00'。年均气温为 8.2 °C,年均降水量不足 200 mm,蒸发量为 1 700 mm,全年日照时数 2 691 h,无霜期平均为 140 ~ 220 d。自远古代前寒武系至新生代第四地层均有出露,以第四系覆盖面积最大。已探明的地层主要有寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、第三系和第四系。黄家洼山及屈吴山前有寒武系的加里东中期花冈闪长岩,奥陶系灰岩、大理石,侏罗系砾岩出露。平川区共有耕地 3.925 万 hm²,常年播种面积 2.121 万 hm²。主要种植的作物有小麦、玉米、马铃薯、西甜瓜、菊芋、枸杞、藜麦及其他谷类作物。土壤类型共分为 8 个土类,分别为灰褐土、栗钙土、灌淤土、灰钙土、潮土、红土、风沙土、石质土。王家山镇、水泉镇、共和镇土壤母质为风成黄土、次生黄土和冲洪积物;宝积镇土壤母质为风成黄土、冲洪积物、第四纪红土;黄峽镇、种田乡、复兴乡土壤母质为冲洪积物与黄土。

1.2 样品采集与检测方法

1.2.1 土样采集 每 666.7 hm² 采集 1 个土壤样品,共取 59 个土样,记载土壤样品采集农田基本信息:土层厚度、土壤母质、土壤类型、前茬作

物、施肥种类、施肥数量、地下水深度、土壤结构等。土壤样品采集用 S 型取样法,共 15 个样点,采样深度均为 20 cm,各样点土样混合均匀后用四分法取土样,每个土样样品为 1 kg。采集的土壤样品装入聚乙烯食品塑料袋带回实验室,剔除土壤中植物残茬并及时破碎,于室内风干,用木棒碾碎过筛,装入塑料样品盒保存备用。

1.2.2 农产品样品采集 根据平川区农产品分布特点,于农作物成熟期采集 36 个可食农产品样品,用聚乙烯塑料食品袋包装,每个农产品样品至少 1 kg。将农产品样品在实验室条件下用自来水、去离子水冲洗干净后放置在烘箱中 105 °C 杀青 30 min,再在 80 °C 下烘至恒重,研磨过筛后装入乙烯塑料袋备用。

1.2.3 土壤化学性状测定 土壤全硒含量测定采用混酸消解原子荧光光度法,土壤 pH 采用酸度计测定,有机质含量采用重铬酸钾容量法测定,重金属镉、铅、汞含量按照 GB/T 17141—1997 测定;有效铜、有效锌、有效铁、有效锰含量均采用 EDTA 浸提原子吸收法测定,有效硅含量采用柠檬酸提取-钼蓝比色法测定。

1.2.4 农产品样品硒含量测定 采用氢化物发生-原子荧光光谱法(HG-AFS,海光 AFS-9780)测定总硒含量。

依据李家熙等^[10]的土壤富硒分类标准与 GB/T 5009.93—2017,对平川区土壤与农产品进行富硒特征分析。

1.3 数据分析方法

数据统计与 Pearson 相关分析应用 SPSS 20 统计分析软件和 EXCEL 数据处理软件完成。

2 结果与分析

2.1 富硒土壤特征

2.1.1 平川区土壤全硒含量特征 由表 1 看出,平川区土壤全硒含量变化区间为 0.18 ~ 0.69 mg/kg,平均值为 0.29 mg/kg,达到中硒土壤水平,较甘肃省土壤平均全硒含量(0.20 mg/kg)增加 0.09 mg/kg^[10],增高幅度为 45.0%。达到富硒标准(土壤全硒含量 ≥ 0.40 mg/kg)的土壤样品数有 15 个,占总样品数的 25.42%;达到富硒下限(设定为 0.29 mg/kg)的土壤样品数有为 25 个,占样品总数的 42.37%。

2.1.2 平川区富硒土壤的区域分布特征 从表 1

可以看出, 宝积镇、王家山镇、水泉镇、共和镇、黄峽镇、种田乡、复兴乡等各乡镇土壤全硒平均含量分别为 0.46、0.30、0.30、0.28、0.28、0.29、0.22 mg/kg。其中宝积镇土壤全硒平均含量最高, 达到 0.46 mg/kg, 其最大值为 0.69 mg/kg, 最小值为 0.35 mg/kg, 均达到富硒土壤标准。各乡镇土壤全硒平均含量从大到小依次为宝积镇、水泉镇、王家山镇、种田乡、共和镇、黄峽镇、复兴乡, 且表现为平川区西北部各乡镇 (王家山镇、水泉镇、宝积镇) 土壤硒含量平均值高于东南部 (共和镇、黄峽镇、种田乡、复兴乡)。

王家山镇、水泉镇、宝积镇与黄峽镇等各乡镇的土壤全硒含量最大值均达到富硒标准。综合分析采样点土壤母质、地形部位与地质情况, 平川区富硒土壤 (≥ 0.40 mg/kg) 主要分布在山间河谷与山前洪积扇区域, 该区域土壤母质为冲洪积物, 冲洪积物由砾岩、岩屑与山坡表面土壤经洪水冲积形成, 而在土壤母质为黄土区域的土壤全硒含量普遍较低。

表 1 平川区土壤全硒含量空间变异

调查地点	调查村数 / 个	土样数 / 个	全硒含量/(mg/kg)			变异系数 / %
			平均	最大值	最小值	
王家山镇	3	7	0.30	0.40	0.24	21.10
水泉镇	4	7	0.30	0.40	0.20	21.08
宝积镇	3	5	0.46	0.69	0.35	28.41
共和镇	3	8	0.28	0.34	0.24	12.38
黄峽镇	6	14	0.28	0.40	0.19	21.85
种田乡	5	9	0.29	0.69	0.18	55.09
复兴乡	6	9	0.22	0.27	0.19	10.90
平川区	30	59	0.29	0.69	0.18	34.74

2.2 平川区富硒土壤成因分析

2.2.1 土壤全硒含量与土地利用方式的关系 总体来看, 灌区与旱作区比较, 灌区土壤全硒含量较高, 算数平均值为 0.30 mg/kg; 而旱作区土壤全硒含量算数平均值为 0.23 mg/kg, 相差 0.07 mg/kg。土壤全硒含量灌区比旱作区高 30.43%。

2.2.2 土壤全硒含量与理化性状的关系 经相关分析, 土壤全硒含量与土壤有机质有极显著的正

相关关系 ($R^2=0.32^{**}$)。以土壤有机质为自变量, 土壤全硒含量为因变量进行回归分析, 得出的线性方程 $Y=0.211+0.005X$ ($R^2=0.32$, $P<0.05$) 能较好拟合它们之间关系。土壤有效硅与全硒含量有极显著的相关关系 ($R^2=0.35^{**}$), 进一步说明硅与硒并存, 且高度相关。以土壤有效硅为自变量, 土壤全硒含量为因变量进行线性回归分析, 得出的线性方程 $Y=0.180+0.001X$ ($R^2=0.35$, $P<0.01$) 能较好拟合它们之间关系。土壤全硒含量与有效磷、有效硼、土壤 pH、有效铁、有效钼、有效锰、水溶性盐总量、有效铜、重金属(镉、铅、汞)含量正相关, 相关系数依次为 $R^2=0.24$ 、0.24、0.22、0.22、0.13、0.12、0.08、0.02、0.08、0.13、0.06, 但均不显著; 与有效锌含量呈负相关 ($R^2=-0.08$), 但不显著。

2.3 平川区主要农产品全硒含量及分布特征

从表 2 可以看出, 平川区玉米硒含量在 0.005 1 ~ 0.072 5 mg/kg, 各乡镇玉米全硒含量变幅较大, 变异系数为 89.83%, 在各抽样农产品样品中变异最大。共和镇常崖村、老庄村玉米硒含量分别为 0.042 7、0.072 5 mg/kg, 明显高于其他各乡镇, 且共和镇老庄村、常崖村的玉米均达到富硒标准。枸杞硒含量王家山镇于大川、井儿川村分别达到 0.037 6、0.049 9 mg/kg, 高于黄峽镇玉湾村(0.015 0 mg/kg), 3 个枸杞样品均达到富硒标准。王家山镇万庙村、宝积镇尖山村、共和镇毛卜拉村的菊芋干基硒含量分别为 0.023 5、0.032 2、0.034 6 mg/kg。黄峽镇神木头村、种田乡五星村、复兴乡上汉村与川口村的藜麦硒含量分别达到 0.039 8、0.030 8、0.037 9、0.028 6 mg/kg, 均达到富硒标准, 全硒含量变异幅度在各农产品中最低, 变异系数仅为 15.80 %。平川区胡麻硒含量平均值为 0.038 0 mg/kg, 除复兴乡山李村, 其他区域的胡麻样品均达到富硒标准, 且在采集的各农产品样品中胡麻的硒含量最高。

表 2 平川区主要农产品全硒含量及分布特征

农产品	样品数 / 个	全硒含量(干基)/(mg/kg)			变异离差 / (mg/kg)	变异系数 / %	富集系数
		平均值	最大值	最小值			
玉米	9	0.024 0	0.072 5	0.005 1	0.021 7	89.83	0.088
胡麻	4	0.038 0	0.041 3	0.016 8	0.017 5	46.39	0.185
藜麦	4	0.034 0	0.039 8	0.028 6	0.005 4	15.80	0.167
菊芋	3	0.030 1	0.034 6	0.023 5	0.005 8	19.40	0.091
枸杞	3	0.034 2	0.049 9	0.015 0	0.017 7	51.81	0.120
马铃薯	5	0.003 7	0.008 5	0.001 3	0.002 9	79.94	0.018

各农产品全硒平均含量从大到小依次为胡麻、枸杞、藜麦、菊芋、玉米、马铃薯。经相关分析,土壤硒含量与农产品全硒含量正相关,但不显著。尽管土壤全硒含量未达到富硒标准,但是玉米、藜麦、枸杞、胡麻农产品全硒含量均值达到富硒标准,说明这些农产品有较强的硒富集能力,能够充分吸收根系周围的硒元素。富集系数(农产品全硒含量/土壤全硒含量)是能够反映农作物对土壤硒吸收利用程度的重要指标,各农产品的硒富集系数从大到小依次为胡麻、藜麦、枸杞、菊芋、玉米、马铃薯。

3 讨论与结论

李家熙等^[10]划分富硒土壤的标准值为 0.40 mg/kg。平川区达到富硒标准的土壤样品数为 15 个。李春亮等^[9]依据富硒小麦将甘肃省土壤富硒标准下限设定为 0.29 mg/kg,按此标准,平川区达到富硒下限的土壤样品数为 25 个,占样品总数的 42.37%。说明平川区富硒土壤资源有一定开发潜力。

大量研究认为,作为土壤母质的岩石富硒是土壤富硒的主要原因^[6,8,11]。李家熙等^[10]研究表明,高硒土壤中的硒主要来源于富硒岩石和煤层;张建东等^[6]的研究结果表明,以寒武系岩层发育的富含黄铁矿、碳质或夹石煤板岩与硅质岩硒含量可高达 7.4 mg/kg。综合分析取样地点地形部位与地质情况,平川区高硒土壤主要分布在地形部位为山前洪积扇与河谷阶地区域,土壤母质为冲洪积物。宝积镇富硒区域地质结构为中生界白垩系下统砾岩、砂岩、夹薄层粘土,平川区东南部富硒区域地质结构为上古生界石炭系中统石炭砂砾岩、砂岩、碳质页岩、砂灰岩以及铁矿结核。推断平川区土壤富硒可能来源于山前冲积扇地形部位冲洪积物中夹杂的各类岩石。平川区东南部(共和、黄峽、种田、复兴一带)土层深厚,土壤母质主要为黄土,土壤硒含量普遍较低;而西北部(宝积、水泉、王家山一带)土壤母质主要为冲洪积物,土壤硒含量较高。

土壤有机质含量是土壤肥力的重要标志,普遍认为土壤有机质与土壤硒量存在相关关系^[12-16]。本研究中,土壤有机质与土壤全硒含量呈显著正相关,这与夏飞强等^[8]、黄春雷等^[17]、刘道荣等^[18]在中国南方酸性土壤上的研究结果相一致。有机质中的腐殖酸类能够分解矿化含硒岩石,提高土

壤有机质含量能够有效增加土壤全硒含量。且土壤有机质在一定范围内对土壤外来酸碱有缓冲作用,有机质提升可能加速土壤中硒元素的矿化释放,从而有效提高土壤全硒含量。平川区的土壤有机质含量为 7.12~38.30 g/kg,平均为 15.12 g/kg,有机质含量偏低。要提高土壤全硒含量,避免硒元素流失,就要通过增施有机肥、秸秆粉碎还田、绿肥种植、秸秆反应堆等农艺措施增加土壤有机质含量,进而提高土壤全硒含量。

平川区灌区全硒含量比旱作区高,这与李家熙等^[10]研究结果一致。可能是由于旱田土的通气条件和氧化还原电位(Eh)都比渍水田高,旱作田中的有机硒容易矿化分解成 Se⁺⁴和 Se⁺⁶,Se⁺⁴大部分被粘土矿物吸附固定,而 Se⁺⁶则进入土壤溶液被植物吸收利用所致^[9]。而且,灌区土壤有机质含量普遍较高,而旱作区较低,且土壤全硒含量与土壤有机质($R^2=0.32^*$)呈显著正相关,这也可能导致灌区土壤全硒高于旱作区的原因。

土壤中的硅主要由母质风化释放而来^[19]。贺立源等^[20]研究表明,一般土体越黏重其供硅能力也越强,而砂性越强有效硅含量则越低。陈德岭等^[21]认为,岩石中硒含量与含硅量之间存在一定的关联,硅含量的增加有利于硒的富集。而雒昆利^[22]研究表明,岩石中硒的移动与 SiO₂有显著的负相关关系,闹热村硒中毒与富含硒的低 SiO₂和燃烧损失的黄铁矿碳质板岩和火山凝灰岩硒暴露有关,岩石中 SiO₂含量降低成有效硅进入土壤有助于岩石中硒元素移动。Goldberg S 等^[23]的研究表明,土壤中铁铝氧化物越多,对硒的吸附固定作用越强,土壤中硒含量越高,而不同土壤母质的硅铝铁率有差异,这可能是导致土壤硒含量产生变异的主要原因。本研究中,土壤全硒含量与有效硅($R^2=0.35^{**}$)呈极显著正相关,这可能是由于富硒硅质岩经过长期风化淋溶作用,使岩石中硅元素变为可被植物吸收的有效硅,硒元素与硅元素同时进入土壤中,因此土壤中全硒含量随土壤有效硅含量增加而逐渐提高。

夏飞强等^[8]研究认为,尽管土壤富硒,但其上栽培的农作物产品器官硒含量不随土壤硒含量上升而提高,农产品硒含量还与农产品的吸收富集能力与土壤环境有关。平川区各农产品全硒含

量从大到小依次为胡麻、枸杞、藜麦、菊芋、玉米、马铃薯。王家山镇万庙村种植菊芋基地为新开垦地, 有机质含量偏低, 这可能会导致菊芋硒含量偏低。对农产品全硒含量与农产品的富集系数进行相关分析, 农产品硒富集系数与土壤全硒含量呈极显著正相关($R^2=0.91^{**}$), 说明农产品富集系数是农产品全硒含量产生差异的主要原因。

平川区富硒土壤占 25.42%, 具有一定开发潜力。平川区土壤全硒平均含量为 0.29 mg/kg, 较甘肃省土壤平均全硒含量高 45.0%, 且富硒土壤母质均为冲洪积物。同时可看出平川土壤硒含量有区域差异, 西北部高于东南部, 灌区高于旱作区。土壤母质、有机质含量、有效硅含量是决定土壤富硒的主要因子。富集系数是各农产品全硒平均含量产生较大差异的主要原因。

参考文献:

- [1] 马秀杰, 张跃安. 硒对人体健康影响研究进展[J]. 中国公共卫生, 2009, 25(8): 1021-1023.
- [2] 胡艳华, 王加恩, 颜铁增, 等. 浙北平原区土壤硒地球化学研究[J]. 2010, 31: 103-106.
- [3] WADGAONKAR S L, NANCHARAI AH Y V, ESPOSITO G, et al. Environmental impact and bioremediation of seleniferous soils and sediments[J]. Critical Reviews in biotechnology, 2018, 38(6): 941-956.
- [4] JIA M M, ZHANG Y X, Huang B, et al. Source apportionment of selenium and influence factors on its bioavailability in intensively managed greenhouse soil: a case study in the east bank of the Dianchi Lake, China[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2019, 170: 238-245.
- [5] 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.
- [6] 张建东, 王 丽, 赫栗涛, 等. 岚皋县岩石、土壤和农产品中硒分布规律研究[J]. 土壤通报, 2022, 53(1): 195-203.
- [7] WANG J, LI H, YANG L, et al. Distribution and translocation of selenium from soil to highland barley in the Tibetan Plateau Kashin-Beck disease area[J]. Environ Geochem Health, 2017, 39(1): 221-229.
- [8] 夏飞强, 张 祥, 杨 艳, 等. 安徽省宁国市土壤和农产品硒地球化学特征及影响因素[J]. 土壤, 2021, 53(3): 585-593.
- [9] 李春亮, 李 泽, 杨 菁, 等. 甘肃省富硒土壤标准研究与探讨[J]. 西北地质, 2021, 54(1): 242-246.
- [10] 李家熙, 张光弟, 葛晓云, 等. 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, 2000.
- [11] 向极轩, 朱云芬, 殷红清. 恩施州硒资源开发利用研究现状与思考[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(17): 4367-4370.
- [12] ROCA-PEREZ L, GIL C, CERVERA M L, et al. Selenium and heavy metals content in some Mediterranean soils[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2010, 107(2): 110-116.
- [13] SHAND C A, BALSAM M, HILLIER S J, et al. Aquaregia extractable selenium concentrations of some Scottish topsoils measured by ICP-MS and the relationship with mineral and organic soil components[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2010, 90 (6): 972-980.
- [14] TOLU J, THIRY Y, BUENO M, et al. Distribution and speciation of ambient selenium in contrasted soils, from mineral to organic rich[J]. Science of the Total Environment, 2014, 479: 93-101.
- [15] 徐 强, 迟凤琴, 匡恩俊, 等. 方正县土壤硒的分布特征及其与土壤性质的关系[J]. 土壤通报, 2015, 46(3): 597-602.
- [16] LI Z, LIANG D, PENG Q, et al. Interaction between selenium and soil organic matter and its impact on soil selenium bioavailability: a review[J]. Geoderma, 2017, 295: 69-79.
- [17] 黄春雷, 宋明义, 魏迎春. 浙中典型富硒土壤区土壤硒含量的影响因素探讨[J]. 环境科学, 2013, 34(11): 4405-4410.
- [18] 刘道荣, 徐 虹, 周 漪, 等. 浙西常山地区富硒土壤特征及成因分析[J]. 物探与化探, 2019, 43(3): 658-666.
- [19] 卢志红, 周慧梅, 颜 晓, 等. 江西省旱地土壤有效硅含量的分布特征及其影响因素[J]. 中国土壤与肥料, 2020, 4: 101-106.
- [20] 贺立源, 王忠良. 土壤机械组成和 pH 与有效硅的关系研究[J]. 土壤, 1998, 30(5): 243-246.
- [21] 陈德岭, 雒昆利. 陕南早古生代地层的硒含量及其环境效应[J]. 陕西环境, 1996, 3(2): 29-31.
- [22] 雒昆利. 陕南硒中毒区地层时代的厘定[J]. 地质论评, 2003(4): 383-388.
- [23] GOLDBERG S, LESCH S M, SUAREZ D L. Predicting selenite adsorption by soils using soil chemical parameters in the constant capacitance model[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2007, 71(23): 5750-5762.