

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2020.01.007

引用格式:刘道荣,李飞,郑基滋,等.浙江临安东部地区土壤硒分布特征及影响因素[J].华东地质,2020,41(1):54-61.

浙江临安东部地区土壤硒分布特征及影响因素

刘道荣¹,李飞²,郑基滋¹,张果²,侯建国¹,占玄¹

(1. 中化地质矿山总局浙江地质勘查院,杭州 310002;

2. 杭州市国土资源局临安分局,杭州 311300)

摘要:对浙江临安东部地区表层土壤进行地质调查,发现了大面积富硒土壤,并总结了表层土壤硒的分布特征及影响因素。研究区表层土壤硒含量平均值为 0.38×10^{-6} ;不同土壤类型硒含量差异较大,其中黄壤硒含量最高,平均值为 0.58×10^{-6} 。概率累积曲线表明,土壤硒主要来源于自然背景,受外源输入组分影响较小。土壤硒含量与V、Mo、Ni、Cr含量呈显著正相关,与有机质关系密切,与pH值相关性较好。荷塘组碳质页岩、硅质岩和宁国组碳质页岩是该区富硒土壤的主要来源。

关键词:富硒土壤;分布特征;影响因素;临安东部;浙江

中图分类号:P632

文献标识码:A

文章编号:2096-1871(2020)01-054-08

硒是人体必需的微量元素之一^[1],具有抗癌防癌,提高免疫力,拮抗砷、镉、汞等重金属毒性的作用^[2-4]。中国土壤硒分布不均衡,总体硒含量较低,由东北向西南至西藏高原构成1条缺硒带,约占全国总面积的72%,其中30%为严重缺硒地区^[5]。土壤中的硒含量直接影响食物的硒含量,进而影响人体硒的摄入量。缺硒地区居民膳食中硒摄入量不足,已成为“隐形饥饿”问题。目前,土壤硒研究主要集中在全量硒分布特征及影响因素、富硒土壤成因、土壤硒的形态分析、硒的迁移转化规律及生物可利用性、富硒土壤开发利用等^[6-12]。黄春雷等^[9]对金华地区富硒土壤研究表明,成土母质和土地利用方式是影响土壤硒含量的主要因素。杨忠芳等^[13]对海南岛土壤进行研究,发现土壤有机碳、黏土矿物、铁锰氧化物及风化淋溶程度是影响土壤硒含量的主要因素。周墨等^[14]对赣南土壤进行研究,认为土壤硒含量受控于成土母质,与有机质呈显著正相关。综上,土壤硒含量受成土母质(岩)、地形地貌、土壤理化性质及土地利用方式等多种因素影响,不同地区的影响因素差异也较明显。目前,浙

西北临安地区土壤硒含量、分布特征及影响因素等研究程度还较低,对富硒土壤开发利用方面的报道较少。

2018年,“浙江临安区土地质量地质调查”项目组开展了1:5万地质调查及采样工作,参考《DZ/T 0295—2016 土地质量地球化学评价规范》^[15]要求,在临安东部地区发现了大面积天然富硒土壤。本文依托该项目,通过开展土壤硒地球化学特征研究,探讨土壤类型、pH值、有机质、成土母质对土壤硒含量的影响,采用概率累积曲线判断外源输入组分对土壤硒的影响,为富硒土壤资源开发及利用提供参考。

1 研究区概况

临安东部地区以低山丘陵为主,北部为中低山区,中部为丘陵宽谷,南部为低山区,耕地面积约 74.6 km^2 ^[16]。该区属亚热带季风气候,四季分明,春多雨,夏湿热,秋气爽,冬干冷。区内主要出露新元古代—中生代地层,以早白垩世凝灰岩,早南华世、早奥陶世、中奥陶世、早—中志留世及中侏罗世

* 收稿日期:2019-01-23 修订日期:2019-04-22 责任编辑:谭桂丽

基金项目:中化地质矿山总局“土地质量调查与污染防治团队建设计划”、“浙江临安区土地质量地质调查”项目联合资助。

第一作者简介:刘道荣,1982年生,男,教授级高级工程师,主要从事矿产地质和农业地质调查工作。

碎屑岩,早寒武世、早奥陶世碳质页岩、硅质岩及中震旦世、中晚寒武世碳酸盐岩为主,第四系洪冲积物分布在河谷两侧。侵入岩主要为花岗岩类(花岗岩、花岗闪长岩以及花岗斑岩),分布范围较小(图 1)。成土母质以火山碎屑岩、碳酸盐岩、砂(砾)岩、砂泥岩等岩类风化物为主,其次为洪冲积物、碳

质硅质岩类风化物及花岗岩类风化物。土壤类型有红壤、黄壤、石灰(岩)土、粗骨土、水稻土、紫色土等 6 个土类^[17],其中以红壤分布范围最广,其次为水稻土,其他土壤分布范围较小,土壤质地以壤土为主。区内种植方式多样,主要有水稻、油菜、蔬菜、竹笋及茶叶等。

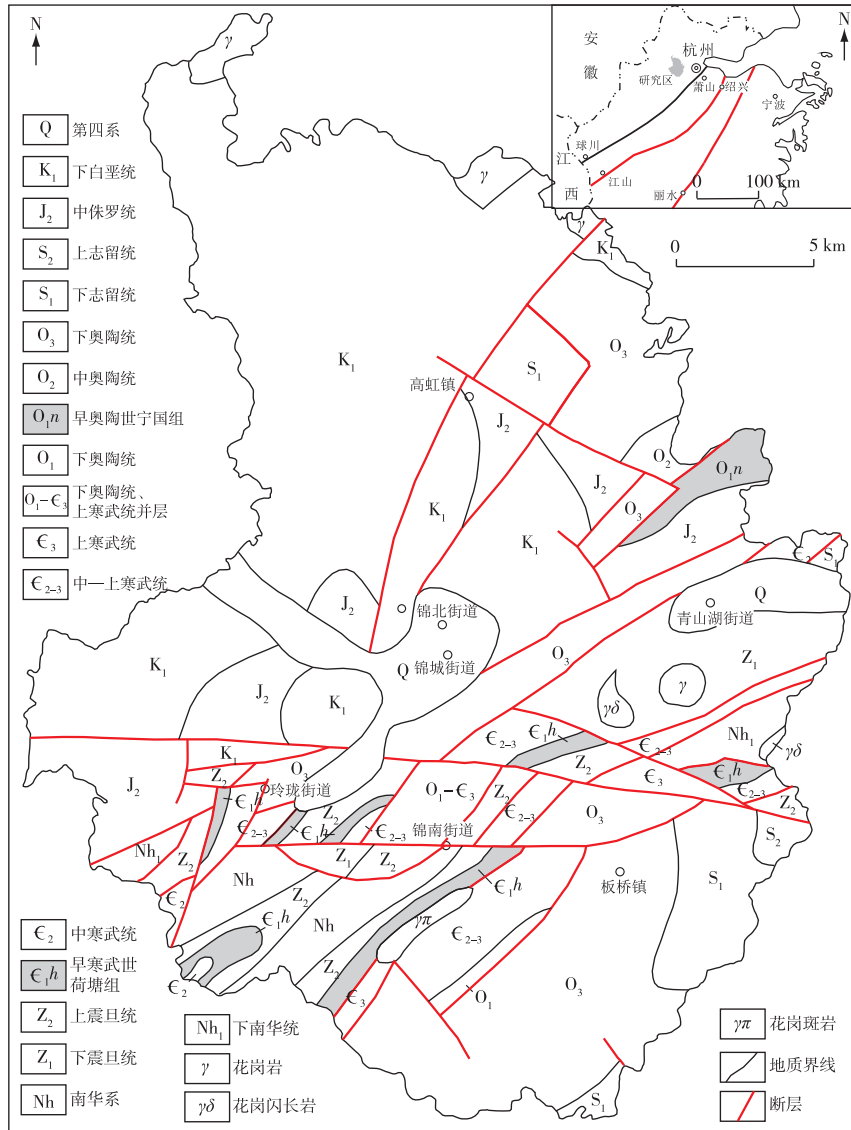


图 1 研究区地质简图^[16]

Fig. 1 Geological sketch map of the study area^[16]

2 研究方法

2.1 采样与处理

土壤采样点布设于水田和旱地中,按土地利用现状图斑布置,采样密度为 9 件/km²。林地中也有

样品控制,采样密度为 1 件/km²。样品由 5 个子样坑(深度为 0~20 cm)的表层土壤组合而成,共计采集表层土壤样品 1 278 件(另有 26 件重复样)。采样时避开堆积土和污染区。土壤样品晾干后过 20 目筛,外送分析。

2.2 分析测试

分析指标主要为有机质、重金属、全量硒和 pH 值等,在华北有色地质勘查局燕郊中心实验室完成测试。测试时,插入标准样进行质量监控。经检

查,所有元素报出率为 100%,准确度和精密度监控样合格率为 100%,重复样合格率为 100%,达到《DZ/T 0295—2016 土地质量地球化学评价规范》^[15]要求,分析方法及检出限见表 1。

表 1 土壤地球化学分析指标的分析方法及检出限

Table 1 Analytical methods and detection limits of soil geochemical indexes

分析指标	分析方法	检出限	单位	分析指标	分析方法	检出限	单位
As	氢化物-原子荧光光谱法	0.2	10^{-6}	Ni	X 射线荧光光谱法	1	10^{-6}
B	发射光谱法	2	10^{-6}	P	X 射线荧光光谱法	10	10^{-6}
Cd	等离子体质谱法	20	10^{-6}	Pb	等离子体质谱法	2	10^{-6}
Co	等离子体质谱法	1	10^{-6}	S	X 射线荧光光谱法	50	10^{-6}
Cr	X 射线荧光光谱法	2	10^{-6}	Se	氢化物-原子荧光光谱法	0.01	10^{-6}
Cu	等离子体质谱法	1	10^{-6}	V	X 射线荧光光谱法	5	10^{-6}
F	离子选择电极	100	10^{-6}	Zn	X 射线荧光光谱法	2	10^{-6}
Ge	氢化物-原子荧光光谱法	0.1	10^{-6}	Ca	X 射线荧光光谱法	0.05	%
Hg	冷蒸汽-原子荧光光谱法	2	10^{-9}	K	X 射线荧光光谱法	0.05	%
I	催化分光光度法	1	10^{-6}	Mg	X 射线荧光光谱法	0.05	%
Mn	X 射线荧光光谱法	10	10^{-6}	SiO ₂	X 射线荧光光谱法	0.1	%
Mo	等离子体质谱法	0.2	10^{-6}	有机质	电位法	0.1	%
N	凯氏定氮法	20	10^{-6}	pH 值	玻璃电极法	0.1	

2.3 含量分级标准

谭见安^[18]以我国地方病与低硒环境为依据,提出了我国硒生态景观界限值,将土壤中硒含量等级划分为硒缺乏($< 0.125 \times 10^{-6}$)、潜在硒不足($(0.125 \sim 0.175) \times 10^{-6}$)、足硒($(0.175 \sim 0.40) \times 10^{-6}$)、富硒($(0.40 \sim 3.0) \times 10^{-6}$)和硒中毒($> 3.0 \times 10^{-6}$)。参照标准,将土壤 $w(\text{Se}) > (0.4 \sim 3.0) \times 10^{-6}$ 定义为富硒土壤。

表 2 研究区表层土壤全量硒含量统计

Table 2 Selenium contents of surface soils in the study area

原始样品数/件	$w(\text{Se})/10^{-6}$			统计样品数/件	$w(\text{Se})/10^{-6}$			标准离差	变异系数/%	浙江省平均值/ 10^{-6}
	极大值	极小值	平均值		极大值	极小值	平均值			
1 278	2.69	0.02	0.41	1 222	0.81	0.02	0.38	0.14	37.94	0.29

平均值(0.40×10^{-6})^[19]。1 278 件土壤样品的 $w(\text{Se})$ 统计直方图(图 2)表明,大部分样品 $w(\text{Se})$ 为 $(0.20 \sim 0.5) \times 10^{-6}$ 。按 $w(\text{Se}) > (0.4 \sim 3.0) \times 10^{-6}$ 的富硒土壤标准,共 477 件样品达到富硒土壤标准,占样品总数的 37.3%。

3.2 表层土壤硒空间分布

以 $w(\text{Se}) = 0.125 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Se}) = 0.175 \times$

3 土壤硒含量及空间分布

3.1 土壤硒含量

对区内 1 278 件表层土壤样品硒含量进行统计,结果如表 2 所示。统计时,按照平均值加减 3 倍标准离差剔除了异常样品。统计的 1 222 件样品 $w(\text{Se})$ 平均值为 0.38×10^{-6} ,高于浙江省 $w(\text{Se})$ 平均值(0.29×10^{-6})^[8],略低于世界土壤表层 $w(\text{Se})$

10^{-6} 、 $w(\text{Se}) = 0.40 \times 10^{-6}$ 为界,对临安东部地区表层土壤进行等值线作图(图 3)。富硒土壤总体呈 NEE 向带状分布,主要分布在青山湖街道南部—板桥镇北部—锦南街道—玲珑街道中南部以及高虹镇北西角,土壤 $w(\text{Se})$ 为 $(0.40 \sim 2.69) \times 10^{-6}$,平均值为 0.61×10^{-6} ,与寒武纪荷塘组出露范围较吻合。足硒区位于高虹镇、青山湖街道北部、锦北街

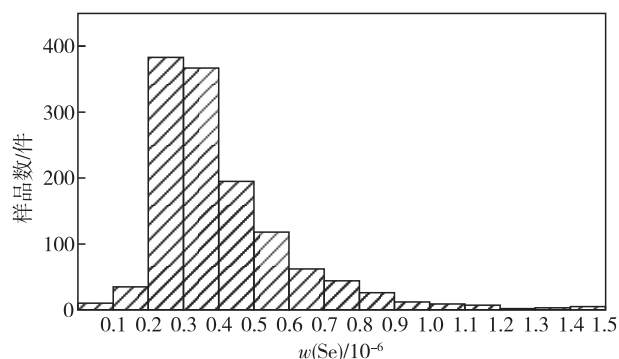
图 2 临安东部地区表层土壤 $w(\text{Se})$ 频数分布图

Fig. 2 Frequency chart of the selenium contents in surface soil in eastern Lin'an district

道、锦城街道、玲珑街道北部及板桥镇南西侧,土壤 $w(\text{Se})$ 为 $(0.175 \sim 0.40) \times 10^{-6}$, 平均值为 0.30×10^{-6} , 主要出露早白垩世凝灰岩和中侏罗世碎屑岩。富硒和足硒土壤面积约占总面积的 97.7%。低硒区呈点状零星分布于锦北街道及锦城街道。

4 土壤硒含量影响因素

成土母质和母岩是形成土壤的基础,可直接影响土壤硒含量。土壤硒含量也与表生环境中硒的迁移循环过程有关^[10-12]。为了解研究区土壤硒含量与土壤理化指标的关系,本文探讨了土壤 pH 值、有机质含量及土壤类型对土壤硒含量的影响,并对土壤硒的来源进行初步研究。

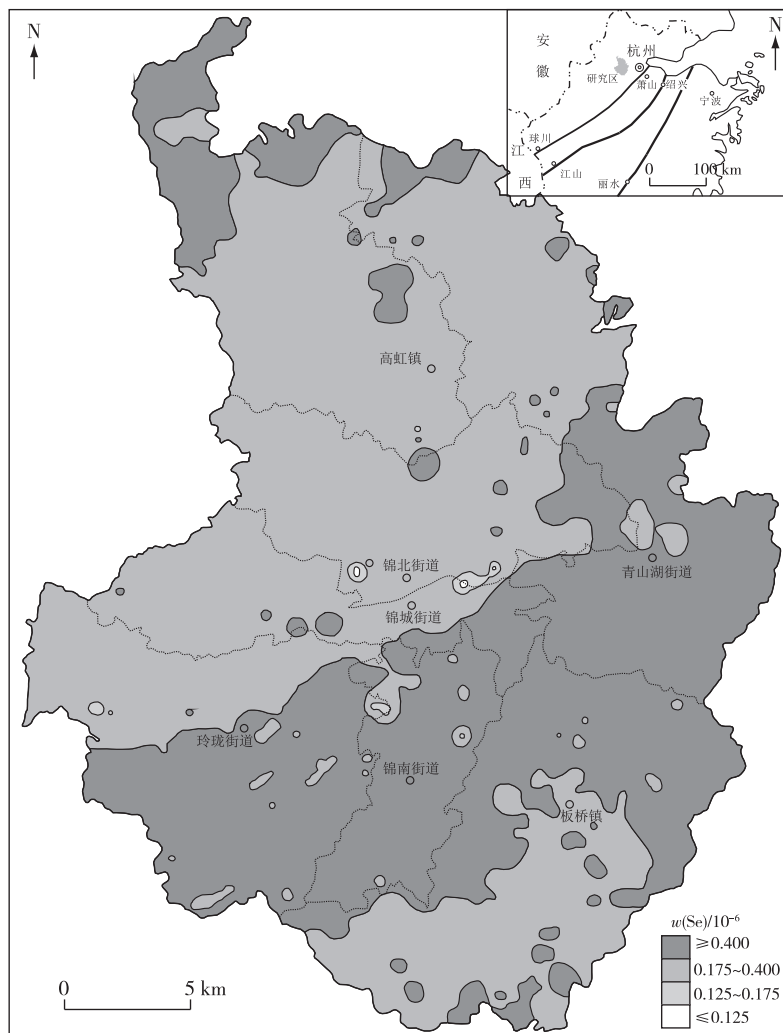


图 3 临安东部地区表层土壤硒含量分布图

Fig. 3 Selenium distribution in the surface soil of eastern Lin'an area

4.1 pH值及有机质含量对土壤硒含量的影响

土壤中 pH 值和有机质含量是土壤重要的理化指标,对土壤中的硒具有不同程度的影响。研究区土壤 pH 值为 3.81~8.25,平均值为 5.65,大多数土壤 pH 值呈酸性。黄壤的 pH 值最小,平均值为 4.83;石灰岩土的 pH 值最大,平均值为 6.83;其他土类的 pH 值较接近,平均值为 5.38~5.55,差异较小。研究表明,在酸性和湿润土壤中,硒主要以亚硒酸盐(Se^{4+})存在,易被土壤中大量的铁铝氧化物和黏土矿物吸附^[20],迁移淋溶作用较弱,因而

土壤中硒含量总体相对较高。

1 278 件表层土壤样品 Se 含量与 pH 值及其他组分含量相关系数统计见表 3。土壤 Se 含量与 pH 值相关系数为 0.27,具有较好的正相关性(图 4(a)),与香港土壤(Se 含量与 pH 值呈明显负相关)^[20]及嘉善土壤^[21]不同,可能与区内 pH 值呈碱性的土壤样品(约 70%)多数位于水田有关,水田的 Eh 值较低(一般<450 mV),呈还原环境,土壤中硒酸盐(Se^{6+})含量少,硒的溶解性较低,迁移能力较弱^[22-23],因此,研究区 Se 含量与 pH 值不呈负相关。

表 3 临安东部地区表层土壤 Se 含量与 pH 值及其他组分相关系数

Table 3 Relative coefficient between selenium and other contents of surface soils in eastern Lin'an area

元素	As	B	Cd	Cl	Co	Cr	Cu	F	Ge	Hg	I	Mn	Mo
R	0.25	0.36	0.10	0.16	0.31	0.42	0.26	0.31	0.04	0.17	0.45	0.26	0.37
元素	N	Ni	P	Pb	S	V	Zn	Ca	K	Mg	SiO ₂	有机质	pH 值
R	0.30	0.43	0.22	0.31	0.29	0.42	0.38	0.23	-0.30	0.30	-0.27	0.34	0.27

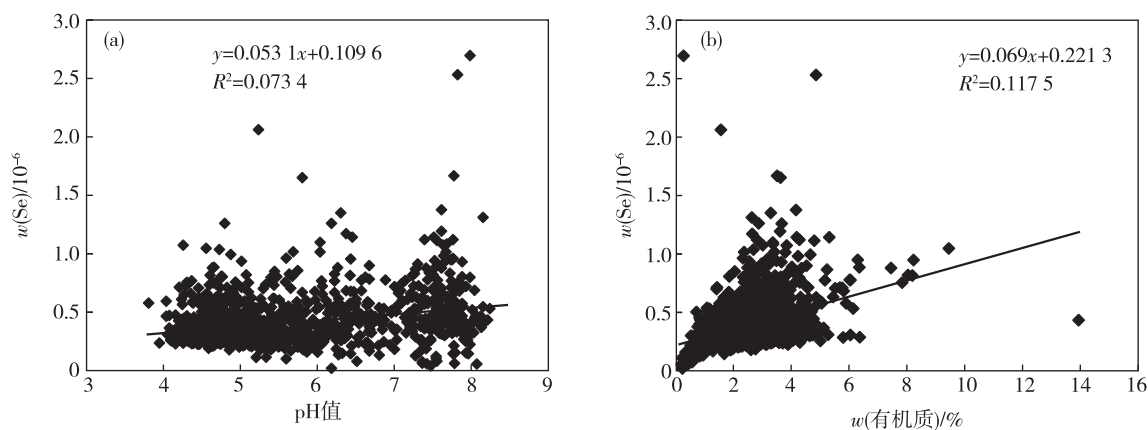


图 4 土壤硒含量与 pH 值(a)及有机质含量(b)相关性图解

Fig. 4 Correlation plots of selenium content vs. pH value (a) and organic matters (b) in soil

研究区土壤有机质含量为 0.19%~13.94%,平均值为 2.72%。按不同土类统计,黄壤的有机质含量最高,平均值为 4.39%;紫色土有机质含量最低,平均值为 2.37%;其他土壤有机质含量平均值排序为:石灰(岩)土>红壤>水稻土>粗骨土。从空间上看,海拔较高地区(650 m 以上黄壤分布区)土壤有机质含量较高,玲珑街道西北部紫色土分布区土壤有机质含量较低。

土壤硒含量与有机质含量的相关系数为 0.34(表 3),呈显著的正相关(图 4(b)),这是由于土壤有机质对硒具有吸附与固定作用,有机质越丰富的土

壤,对硒的吸附能力越强,土壤中硒的含量相对越高^[24-26]。研究区土壤硒的形态分析结果表明,有机结合态硒是土壤硒的主要存在形态,如金华地区土壤中腐殖酸态和强有机态分别占全量的 32.7%和 31.0%,龙游地区土壤中弱有机结合态和强有机结合态分别占全量的 26.4%和 41.0%^[27-28],说明有机质对土壤硒含量具有重要影响,且主要通过吸附作用影响土壤的硒含量。

4.2 成土母质与土壤硒的来源

李家熙等^[29]认为高硒土壤中的硒主要来源于富硒岩石和煤层,页岩中的硒含量相对较高,是形

成高硒土壤的重要条件,如湖北恩施地区高硒土壤主要来自二叠系碳质页岩^[30]。宋明义^[10]对浙西龙游、开化、安吉等地区早寒武世荷塘组黑色岩系硒的表生地球化学研究表明,荷塘组碳质页岩、硅质岩具有高硒背景,硒含量为 $(3.8\sim 103.8)\times 10^{-6}$,平均值为 32.2×10^{-6} ,相当于地壳丰度值的 644 倍,是浙西地区富硒土壤硒的重要来源。

研究区土壤 Se 含量与 V、Cr、Mo、Ni、Pb、Zn 等元素含量具有显著的正相关性(表 3)。浙西地区早寒武世荷塘组黑色岩系以富集 V、Mo、Ni 等亲硫重金属元素(表 4)而显著区别于其他地层,岩性以碳质页岩、硅质岩为主,岩石硒含量较高,是土壤硒的重要来源。宁国组碳质页岩与荷塘组岩性相近,也是土壤硒的重要来源。此外,研究区中部出现较大面积的荷塘组及宁国组,与区内富硒土壤分布基本吻合(图 1),说明荷塘组和宁国组是研究区富硒土壤的重要来源。早白垩世火山碎屑岩分布区总体为足硒区,土壤 Se 含量为 $(0.175\sim 0.40)\times 10^{-6}$,富硒区仅零星分布,与浙江省其他地区的土壤调查结果一致,成土母质(中酸性火山岩类风化物)硒含量较低 $((0.13\sim 0.28)\times 10^{-6})$ ^[8],反映了地质背景对

富硒土壤分布具有控制作用。

表 4 寒武纪荷塘组及浙江省部分元素含量对比^[17]

Table 4 Some elements contents of Hetang Formation and Cambrian System in Zhejiang Province^[17]

对比单元	含量/ 10^{-6}				
	V	Mo	Ni	Cr	Cu
荷塘组	200.00	10.60	26.30	40.60	28.90
浙江省	53.90	1.05	18.70	37.50	16.00
富集系数	3.71	10.10	1.41	1.08	1.81

由于荷塘组重金属含量较高,其形成的土壤 Cd、Zn、Ni 等重金属具有较高的继承性^[10],在富硒土壤开发利用时,需关注土壤重金属含量是否超标。

4.3 土壤类型对土壤硒含量的影响

不同土壤类型硒含量差异较大(表 5),土壤硒含量平均值从小到大依次为:紫色土<水稻土<粗骨土<红壤<石灰(岩)土<黄壤。其中,石灰(岩)土类和黄壤类硒含量最高,平均值 $>0.50\times 10^{-6}$,与浙江省典型地区土壤硒含量评价结果一致^[8]。紫色土类硒含量最小,仅为 0.30×10^{-6} ,其他土类硒含量为 $(0.32\sim 0.38)\times 10^{-6}$ 。

表 5 研究区不同土壤类型硒含量统计

Table 5 Selenium contents of different type soils in the study area

类型	样品数/件	统计样品数/件	$w(\text{Se})/(10^{-6})$			标准离差	变异系数/%
			极大值	极小值	平均值		
紫色土	62	59	0.58	0.15	0.30	0.09	30.92
水稻土	387	357	0.60	0.06	0.32	0.10	30.04
粗骨土	8	8	0.94	0.17	0.35	0.24	68.80
红壤	662	634	0.78	0.04	0.38	0.13	35.16
石灰(岩)土	141	138	1.07	0.02	0.55	0.19	34.05
黄壤	18	18	1.05	0.11	0.58	0.24	41.83

土壤类型主要受成土母质、气候、地形地貌、植被等因素影响^[31],土壤质地、结构、理化性质差异影响土壤硒含量。紫色土多由紫红色砾岩、细砂岩、粉砂岩风化形成,土壤含砂量较高,有机质含量较低,结构松散,易侵蚀,硒含量相对较低^[9]。水稻土透水性及透气性较好,土壤硒相对易流失,长期耕作导致硒被水稻大量消耗,常规施肥不能补足损失,水稻土硒含量总体偏低。石灰(岩)土有机质含量相对较高,质地相对黏重,土壤硒含量相对较高。黄壤呈强酸性,有机质含量高,且继承了母质特征,故土壤硒含量较高。

4.4 外源输入组分对土壤硒的影响

通常认为,自然背景下具有同一成土母质的土壤,其微量元素含量一般呈正态或对数正态分布,外源输入组分将使其频数密度函数呈偏态分布。空间上每个样点元素含量可视为自然背景叠加人类活动影响的结果,不同来源组分具有自身统计特征,一般具有同一来源呈正态分布元素含量的概率累积呈直线,利用概率累积曲线的拐点,可初步判定硒的不同来源组分^[9]。由图 5 可知,临安东部地区表层土壤硒含量概率累积曲线呈近垂直折线型,

用最小二乘法拟合后,线段 A、B 拐点处累积百分比为 88.6%,表明外源输入组分(如大气沉降、人类活动等)对土壤硒的影响较小,这与野外地质调查结果相吻合。调查表明,区内尚未发现大面积人工使用硒肥,工矿企业较少且分散,大气沉降通量较小,对土壤硒累积影响小。临安东部地区土壤硒主要来源于自然背景,富硒土壤资源具有可持续开发及利用的潜力。

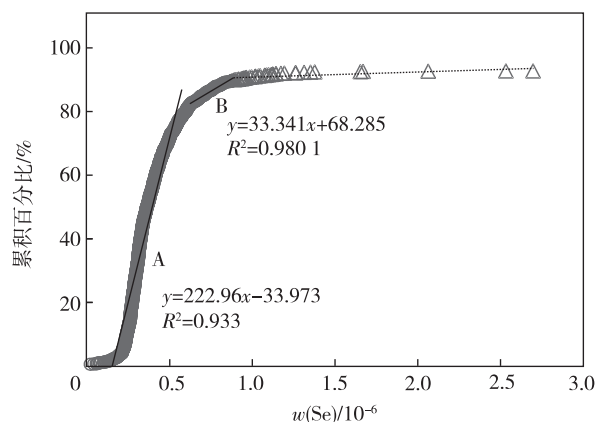


图5 临安东部地区表层土壤 $w(\text{Se})$ 概率累积曲线图

Fig. 5 Probability cumulative distribution graph of selenium in surface soil of eastern Lin'an area

5 结论

(1)临安东部地区富硒土壤主要呈近 EW 向带状分布于青山湖街道—玲珑街道南部,大部分地区土壤硒含量高于浙江省土壤硒含量平均值。

(2)不同土壤类型硒含量差异较大,黄壤硒含量最高,紫色土硒含量最低,石灰(岩)土、红壤、粗骨土、水稻土等土壤硒含量介于黄壤和紫色土之间。

(3)临安东部地区土壤硒主要来源于自然背景,外源输入组分影响小。土壤硒含量与 V、Mo、Ni、Cr 含量呈显著正相关,与有机质含量及 pH 值相关性较好。

(4)临安东部地区富硒土壤与早寒武世荷塘组碳质页岩、硅质岩及宁国组碳质页岩空间分布吻合,是该区富硒土壤的主要来源。

致谢:中化地质矿山总局浙江地质勘查院吕青工程师和许杰工程师参与了野外地质调查工作,审稿专家在修改过程中提出了宝贵意见,在此一并表示感谢。

参考文献

- [1] 彭祚全,黄剑锋.世界硒都恩施硒资源研究概述[M].北京:清华大学出版社,2012.
- [2] 廖金凤.土壤环境中的硒对人和动物健康的影响[J].广东微量元素科学,2002,9(3):20-23.
- [3] 鲍鹏,李国祥.硒抗肿瘤机理研究进展和展望[J].生物技术进展,2017,7(5):506-510.
- [4] 罗程,陈梁凯,王晓倩,等.硒与疾病的流行病学研究及展望[J].生物技术进展,2017,7(5):493-500.
- [5] 孙国新,李媛,李刚,等.我国土壤低硒带的气候成因研究[J].生物技术进展,2017,7(5):387-394.
- [6] 郑雄伟,倪倩,郑国权,等.洪湖市峰口一万全地区土壤重金属和硒元素形态组成特征[J].华东地质,2018,39(4):311-318.
- [7] 郑雄伟,魏鸿,谭园.洪湖市中北部地区土壤硒元素分布特征[J].华东地质,2017,38(1):66-73.
- [8] 郦逸根,董岩翔,郑洁,等.浙江富硒土壤资源调查与评价[J].第四纪研究,2005,25(3):323-330.
- [9] 黄春雷,龚日祥,宋明义,等.浙江金华地区农业地学研究[M].北京:科学出版社,2016.
- [10] 宋明义.浙西地区下寒武统黑色岩系中硒与重金属的表生地球化学及环境效应[D].合肥:合肥工业大学,2009.
- [11] 郦逸根,徐静,李琰,等.浙江富硒土壤中硒赋存形态特征[J].物探与化探,2007,31(2):95-98.
- [12] 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.
- [13] 杨忠芳,余涛,侯青叶,等.海南岛农田土壤 Se 的地球化学特征[J].现代地质,2012,26(5):837-849.
- [14] 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.
- [15] 全国国土资源标准化技术委员会.DZ/T 0295—2016 土地质量地球化学评价规范[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [16] 浙江省第三地质大队.临安市矿产资源规划报告(2016—2020)[R].金华:浙江省第三地质大队,2016.
- [17] 浙江省地球物理地球化学勘查院.浙江省区域地层地球物理地球化学参数研究报告[R].杭州:浙江省地球物理地球化学勘查院,1991.
- [18] 谭见安.中华人民共和国地方病与环境图集[M].北京:科学出版社,1989.
- [19] FORDYCE F M. Selenium deficiency and toxicity in the environment[G]//SELINUS O. Essentials of Medical

- Geology; Revised Edition, Elsevier, 2013.
- [20] 章海波, 骆永明, 吴龙华, 等. 香港土壤研究 II. 土壤硒的含量、分布及影响因素[J]. 土壤学报, 2005, 42(3): 404-410.
- [21] 蔡子华, 宋明义, 胡艳华, 等. 湖沼相富硒土壤的发现及其生态学意义[J]. 物探与化探, 2011, 35(2): 248-253.
- [22] 熊远福, 李辉勇, 刘军鸽, 等. 水稻土壤中硒的价态转化及溶解性研究[J]. 环境化学, 1999, 18(4): 338-343.
- [23] 宋明义, 周宗尧, 董学发, 等. 宁波市富硒土壤资源调查与开发利用研究[J]. 广东微量元素科学, 2013, 20(2): 19-25.
- [24] 宋明义, 蔡子华, 黄春雷, 等. 杭嘉湖平原区富硒土壤特征与成因分析[J]. 广东微量元素科学, 2011, 18(8): 20-26.
- [25] 胡艳华, 王加恩, 蔡子华, 等. 浙北嘉善地区土壤硒的含量、分布及其影响因素初探[J]. 地质科技情报, 2010, 29(6): 84-88.
- [26] 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): 469-473.
- [27] 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.
- [28] 宋明义, 冯雪外, 周涛发, 等. 浙江典型富硒区硒与重金属的形态分析[J]. 现代地质, 2008, 22(6): 960-965.
- [29] 李家熙, 张光弟, 葛晓立, 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.
- [30] 杨良策, 李明龙, 杨延安, 等. 湖北省恩施市表层土壤硒含量分布特征及其影响因素研究[J]. 资源环境与工程, 2015, 29(6): 825-829.
- [31] 浙江省临安县农业局. 临安土壤志[M]. 临安: 浙江省临安县农业局, 1984.

Distribution characteristics and influencing factors of selenium in soils in eastern Lin'an, Zhejiang Province

LIU Dao-rong¹, LI Fei², ZHENG Ji-zi¹, ZHANG Guo², HOU Jian-guo¹, ZHAN Xuan¹

(1. Zhejiang Geological Prospecting Institute of China Chemical Geology and Mine Bureau, Hangzhou 310002, China;

2. Lin'an Branch of Hangzhou Land and Resources Bureau, Hangzhou 311300, China)

Abstract: Based on the investigation and study of surface soil in eastern Lin'an area, Zhejiang Province, a piece of large-scale selenium-rich soils were discovered, and the distribution characteristics of selenium and influencing factors were summarized. The mean selenium content of surface soil in the study area is 0.38×10^{-6} , and selenium contents vary obviously with different soil types. Among them, the selenium content of the yellow soil is the highest, with an average of 0.58×10^{-6} . The probability accumulation diagram shows that the exogenous input components have little influence on soil selenium. The selenium contents of soil present a positive relation to the contents of V, Mo, Ni and Cr, and closely related to organic matters and soil pH values. The carbonaceous shale and siliceous rock of the Hetang Formation and carbonaceous shale of the Ningguo Formation are the important sources for selenium in the soils in the study area.

Key words: selenium-rich soil; distribution characteristics; influence factors; Eastern lin'an area; Zhejiang Province