

文章编号: 1001-1749(2023)04-0542-09

# 山东省淄博市博山区富硒土壤分布 及发育影响因素初步探讨

魏正宇<sup>1</sup>, 胡兆国<sup>1</sup>, 张保涛<sup>1</sup>, 陈琦<sup>1</sup>, 李成习<sup>1</sup>,  
张玮<sup>2</sup>, 张永三<sup>1</sup>, 谢立峰<sup>3</sup>, 安星宇<sup>3</sup>

(1. 中国冶金地质总局 山东正元地质勘查院, 济南 250000;

2. 成都理工大学 地球物理学院, 成都 610059;

3. 淄博市自然资源和规划局, 淄博 255000)

**摘要:** 以淄博市博山区土地质量调查工作为基础, 研究了该区硒的地球化学特征, 探讨了土壤富硒来源和影响因素。研究发现: 博山区土壤中硒的背景含量远高于全国土壤背景值, 达到 $0.43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 研究区 50.09% 的土壤处于足硒状态, 42.89% 的土壤处于富硒状态, 富硒土地资源丰富。土壤硒含量的分布受成土母质、土壤类型和有机质等影响明显, 主要受成土母质控制, 具有明显的继承性; 广泛出露的富硒岩层(特别是煤矿层)是影响土壤含硒量高低的主要因素。

**关键词:** 富硒; 土壤; 分布; 影响因素; 山东博山

**中图分类号:** P 632 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2023.04.15

## 0 引言

生态环境中, 微量元素硒与人和动植物的健康存在着密不可分的关系。前人研究在提升人体免疫力、扫除致癌物质自由基、提升人体对癌症的抵抗, 以及优化减缓放化疗的毒副作用等方面, 硒元素发挥着重要的作用<sup>[1-2]</sup>。

硒元素在土壤中普遍缺乏, 世界变化范围介于 $0.01 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 2.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 且分布十分不均匀<sup>[3]</sup>。我国近 70% 的土地不同程度地缺硒<sup>[4]</sup>。探究博山区土壤全硒含量的分布状况及影响因素, 对当地居民健康以及农业发展具有重要意义。然而至今, 有关博山区土壤中硒含量的分布状况及影响因素鲜见报道。

笔者以淄博市博山区土地质量地球化学调查资

料为依据, 初步分析博山区土壤硒地球化学特征, 探讨影响土壤硒含量富集的因素, 并进行土壤硒地球化学评价, 为开发利用该区富硒土壤提供科学依据。

## 1 研究区概况

研究区属于山东省淄博市, 位于山东省中部, 鲁中山区北部, 淄博市南部, 南与沂源县接壤, 西南接济南市莱芜区, 西北与济南市章丘区交界, 东部和北部与淄川区毗邻(图 1), 总面积约  $698.2 \text{ km}^2$ 。各类用地差别极大, 林地面积最大, 占全区土地总面积的 59%, 其次为耕地、种植园用地等。耕地面积约  $109 \text{ km}^2$ , 其中基本农田  $94 \text{ km}^2$ , 人均仅有三分田。

研究区地貌以山地为主, 总体地势为南高北低, 南、东、西三面中低山环绕, 中间低山、丘陵、山涧、河谷排列, 北面为丘陵河谷地带, 地势总变化在 130 m



图 1 研究区交通位置图

Fig. 1 Traffic location map of the study area

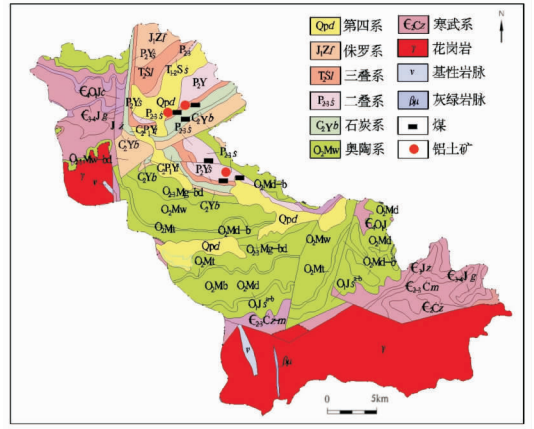


图 3 研究区地质简图

Fig. 3 Regional geological map of the study area

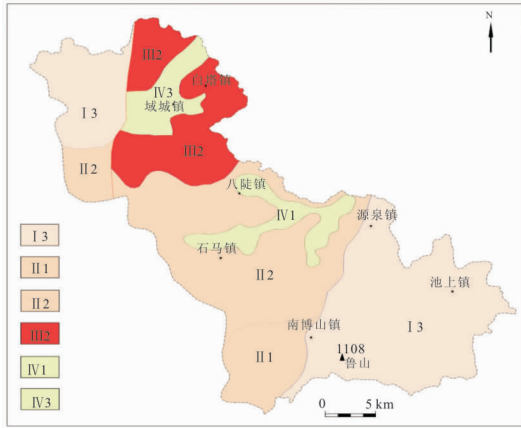


图 2 研究区地貌图

Fig. 2 Geomorphic map of the study area

~1 100 m 之间(图 2)。

### 1.1 地质矿产

研究区地层发育比较齐全,区内地层主要有寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系和第四系(图 3)。由老至新分别为:

1) 古生界——寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系。寒武系分布于石门、北博山、池上、源泉、岭西、南博山等地。岩性下部为页岩夹灰岩,中部是厚层鲕状灰岩及页岩与薄层灰岩互层,上部为泥质条带灰岩夹薄层灰岩与页岩互层;奥陶系分布于石门、石马、八陡、源泉、北博山等地。岩性为纯灰岩、泥灰岩、白云质灰岩及白云岩;石炭系分布于八陡、山头、域城、白塔等地。岩性为砂、页岩互层夹灰岩;二叠系分布于八陡、山头、白塔、域城等地,岩性主要为砂岩、粉砂岩及泥岩;三叠系分布于白塔、域城镇北部地区,岩性主要为砂岩、粉砂岩,偶夹砾岩。

2) 中生界。研究区境内只在域城镇蕉庄乡出露侏罗系中、下统,由砂岩、页岩及炭质页岩组成,属河湖沼泽沉积,含植物化石。

3) 新生界。区内仅有第四系,广泛分布于河谷、低洼处,以粘质砂土为主,间夹砂砾层,厚约 3 m~4 m。

研究区岩浆岩较发育,主要分布于南部山区鲁山一带,在域城镇南部也有少量出露。研究区岩浆岩不仅岩石类型复杂,而且演化历史漫长,岩石类型从超基性岩—基性岩—中性岩—酸性岩皆有,以中酸性岩为主,形成时代主要为新太古代、古元古代及中生代,以新太古代和古元古代最为发育,常见有蛇纹石岩、透闪阳起片岩、变角闪石岩、变角闪辉长岩及斜长角闪岩等。

研究区已发现矿产种类 25 种(含亚矿种),查明资源储量的矿产 9 种,占已发现矿种的 36%。按矿产大类划分:能源矿产 1 种即煤;金属矿产 2 种(铁矿、铝土矿);非金属矿产 5 种(耐火粘土、陶瓷土、陶粒用粘土、水泥用灰岩和水泥配料用黄土);水气矿产 1 种即矿泉水。具有一定储量优势的矿产有煤、耐火粘土、陶粒用粘土、陶瓷土、石灰岩等,是研究区矿业的支撑矿产。

### 1.2 土壤

研究区土壤分为褐土、棕壤土、粗骨土及潮土 4 个土类(图 4)。

褐土可进一步划分为灰质褐土(图 4 中代码 061,下同)、硅泥褐土(062)、洪积褐土(063)、黄土质褐土(064)、灰质石灰性褐土(071)、灰质淋溶褐土(081)、硅泥淋溶褐土(083)、黄土质淋溶褐土(085)及灰质褐土性土(101)9 个亚类,面积为 325.8 km<sup>2</sup>,占总面积的 45.76%。其中灰质褐土性土由基性岩风化物 and 钙质岩风化物发育形成,其特点是土层浅薄,多含砾石,pH 值 7.2 左右,主要分布在在海拔



试中心分析,为了提高数据分析的可靠性,分析测试工作严格按照《地质矿产实验室测试质量管理规范》(DZ/T 0130-2006)、《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295-2016)、《多目标区域地球化学调查规范(1:250 000)》(DZ/T 0258-2014)、《农用地土壤污染状况详查质量保证与质量控制技术规范》、《生态地球化学评价样品分析技术要求》(DD2005-03)、《区域地球化学样品分析方法》(DZ/T 0279-2016)等相关技术标准执行。通过标准参考物、实验室内部检查、密码抽查、外部检查等手段,对各种样品分析质量进行严格监控,并通过了验收和数据库入库审核。

这里相关图件由 ArcGIS 10.2 软件绘制,数据结果采用 Excel 2007 软件和 SPSS 22 软件进行统计分析。

### 3 富硒土壤分布特征

通过统计得出研究区表层土壤 Se 含量算术平均值为  $0.431 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,剔除异常值( $X \pm 3S$ )后的算术背景平均值为  $0.365 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

研究区表层土壤硒平均值约是东北地区( $0.11 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )、陕西( $0.12 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )、南京( $0.18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )和西藏( $0.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )等地平均值的 2 倍以上,是山东省平均硒含量( $0.18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )的 2.38 倍,是全国平均值( $0.29 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<sup>[5]</sup>的 1.48 倍,是世界平均值( $0.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<sup>[6]</sup>的 2.15 倍。

研究区土壤硒元素含量空间分布情况(图 6)表现为:总体上呈现北高南低,从北到南呈下降趋势;其中高硒(硒含量  $>0.64 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )土壤主要集中在北部的丘陵地域(图 2);低硒(硒含量  $<0.24 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )土壤主要出现在南部的溶蚀一切割中山地区,中部的剥蚀平原地区和西北的溶蚀一剥蚀低山的硒浓度多呈背景分布(硒含量  $0.40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 0.52 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。

根据国家相关规范制定的硒分级标准,编制了研究区表层土壤 Se 地球化学等级评价图(图 7)。结果显示富硒土壤( $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 3.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )主要分布在博山区中北部白塔—八陡一带奥陶系灰岩地区中,其他地区有连片分布,占比 42.89%。足硒土壤( $0.175 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 0.40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )主要分布在博山区西部、中南部灰岩、白云岩出露地区,占比 50.09%。潜在硒不足( $0.125 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 0.175 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )及硒缺乏( $\leq 0.125 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

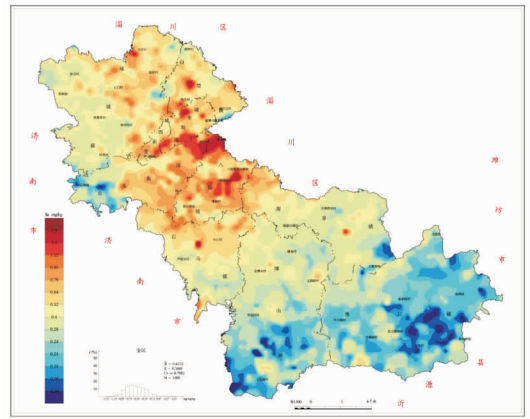


图 6 博山区表层土壤硒元素地球化学图  
Fig. 6 Geochemical map of Selenium element in surface soil of Boshan District

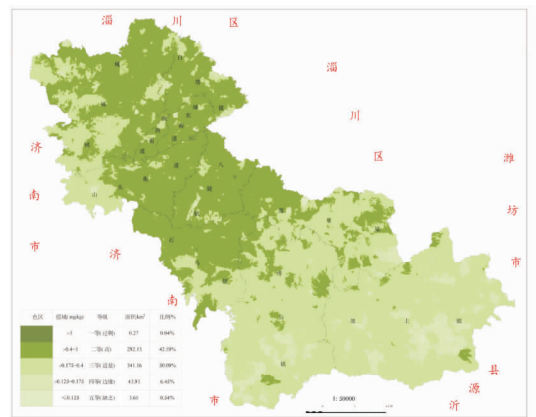


图 7 博山区表层土壤硒元素地球化学等级图  
Fig. 7 Geochemical grade map of Selenium element in surface soil of Boshan District

$\text{kg}^{-1}$ )地区主要分布在南部花岗岩出露的中低山地区。表明研究区内含有丰富的富硒土壤资源,可供高附加值种植业开发利用,以造福当地人民,助力乡村振兴。

### 4 富硒土壤发育因素分析

本次研究了成土母质、土壤类型、土壤 pH 值和土壤有机质对研究区土壤硒含量的影响。

#### 4.1 成土母质对土壤硒元素的影响

土壤是长期地质作用下,由基岩(成土母质)在物理、化学、生物等共同作用下风化发育形成的各种松散沉积物组成的自然介质<sup>[7]</sup>。

研究区不同成土母质(岩层)中,Se 平均值为  $0.16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,但 Se 含量差别极大。最低仅仅为  $0.023 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,出现在古元古代侵入岩(二长花

岗岩类)中,最高则高达  $0.52 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,出现在石炭系月门沟群(主要由灰色铝土质泥岩、杂色泥岩及泥质粉砂岩组成,含煤线)中;级差超过一个数量级(表 1)。

全区不同岩层分布区土壤中硒含量统计( $n > 10$  件)显示(图 8,表 1),土壤硒平均含量大多高于  $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。硒高值分布区与二叠系、石炭系地层分布有着很好的对应关系,以二叠系石盒子群及石炭系月门沟群土壤中硒含量最高;岩性多以石英砂岩、页岩、粉砂岩为主,该区煤矿分布较多,在研究区煤矿生产区(北部区域)中 Se 的含量范围<sup>[6]</sup>分别为  $0.149 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 1.46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.723 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.126 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 1.21 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

另外,从表 1 看出,研究区不同成土母质形成的土壤 Se 含量高低与母岩总体对应,且发生了程度不同的明显富集,其中石盒子群(砂岩、泥岩及砂质泥岩,含煤线)、月门沟群(泥页岩、粉砂岩夹多层灰岩及煤层)分布区土壤中 Se 元素背景值承继了原岩的特点,继续保持着很高的水平,相对全区土壤背景值明显偏高 1.81 倍~1.88 倍。因此,这些高 Se 含量的岩层构成了研究区富硒土壤形成的硒源。

博山区煤炭探明储量有  $3 \times 10^8 \text{ t}$ ,主要赋存在石盒子群和月门沟群中,煤中硒含量范围  $0.90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 6.60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,平均值为  $3.24 \pm 0.13 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[8]</sup>,根据《煤中硒含量分级》(MT/T 1028—2006)中的划分,属于中硒煤;邻区相同煤组中煤矸石(煤渣)中硒含量也高达  $8.31 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 13.11 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,是硒含量很高的物质<sup>[9]</sup>。

盛产时期研究区曾经有 113 个大小煤矿同时生产,广泛分布于研究区北部镇村,虽然现在绝大多数企业已经停产转型,但近百年的生产经营导致区域土壤矿物质含量丰富<sup>[6]</sup>,而煤矿遗留下来的大量煤渣等高硒元素含量的物质,对研究区北部土壤仍然具有长远的影响,从而也是导致该区域内土壤硒富集的重要因素。

结合研究区富硒土壤分布特征(表 1、图 6)中富硒、足硒所对应的地质单元,说明博山区表层富硒土壤分布主要受控于二叠—石炭系的成土母质。

#### 4.2 不同土壤类型对土壤硒元素的影响

博山区境内土壤类型主要分为褐土(亚类代码 61、62、63、64、71、81、83、85、101)、棕壤土(亚类代码 11、51)、粗骨土(亚类代码 17、182、191、192)及潮土(亚类代码 236)4 个土类,并进一步细分为 16 个亚

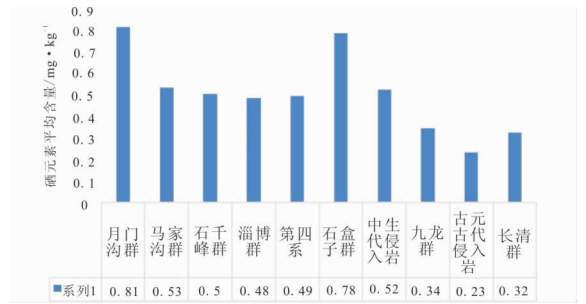


图 8 主要地质单元与土壤硒元素平均含量关系图

Fig. 8 Relationship between main geological units and average selenium content in soil

类(图 4 和表 2)。

对比研究区以上四种主要土壤类型中硒元素含量(图 9)发现:① 占全区面积 45.76% 的褐土类土壤中,Se 元素含量明显偏高,构成了全区主要的富硒土类。其中,洪积褐土、灰质淋溶褐土土壤硒平均含量为全区最高和次高,分别达到了  $0.696 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $0.688 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,主要受灰岩和玄武岩等成土母质的影响;② 占全区面积 10.87% 的棕壤土类主要由酸性侵入岩风化而成,Se 元素含量最低;③ 占全区面积 39.97% 的粗骨土类的近半数发育在花岗岩或片麻岩等酸性岩残坡积风化物之上,质地为砂质壤土和壤质砂土,Se 元素含量相对偏低;④ 潮土类主要是河流冲积物发育或沉积形成,受河水的溶解作用,Se 元素含量亦偏低。

另外,砂页岩类钙质粗骨土和砂页岩类中性粗骨土因样品数量未达到 30 件本次未做整体统计,但其土壤硒含量平均值同样表现较高,分别为  $1.093 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $0.509 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (表 2)。表明粗骨土类中的硒含量高低的影响因素主要还是成土母质。

在花岗岩基础上发育的土壤(麻砂棕壤、麻砂棕壤性土及酸性粗骨土)全硒含量较低,平均含量分别为  $0.227 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.235 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $0.236 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,印证了在研究区花岗岩是低硒的成土母质。

#### 4.3 有机质、总氮及 pH 值对土壤硒元素影响

有机质、全氮、pH 值等是土壤重要的理化指标,对土壤硒含量有不同程度的影响<sup>[10-14]</sup>。本次研究了博山区表层土壤硒含量与 pH 值、有机质和全氮含量的相关性(表 3)。

表 1 研究区主要成土母质与其对应的土壤中 Se 含量特征

Tab. 1 The Se content characteristics of main soil parent materials and corresponding soil in the study area

时代	地层名称	岩性	样本 /件	成土 母质	土壤	标准 离差	变异 系数
第四系	大站组 Qpd	亚砂土、亚黏土夹砂砾层	714	—	0.49	0.3909	0.79
侏罗纪	淄博群三台组(J <sub>3</sub> -K <sub>1</sub> s)	紫红色砾岩、砂岩及黄绿色页岩	35	0.074	0.48	0.225	0.47
三叠系	石千峰群 T <sub>1</sub> $\hat{s}$	紫红色泥岩,粉砂岩、细砂岩	46	0.088	0.5	0.1696	0.34
二叠系	石盒子群 P <sub>2-3</sub> $\hat{s}$	厚层石英砂岩;杂色泥岩、黄绿色砂岩含铝土矿;黄绿色厚层砂岩及暗灰色泥岩,含煤线	95	0.380	0.78	0.6635	0.85
石炭系	月门沟群 C <sub>2</sub> -P <sub>2</sub> Y	灰至灰黑色泥页岩、粉砂岩夹多层灰岩及煤层;紫色页岩,铝土质泥岩,夹铝土矿	96	0.52	0.81	0.6761	0.83
奥陶系	马家沟群 O <sub>2-3</sub> M	厚层云斑灰岩及白云岩、角砾状泥云岩,夹少量燧石	1016	0.205	0.53	0.3229	0.61
寒武系	九龙群 $\epsilon_3$ -O <sub>1</sub> J	白云岩、燧石结核白云岩;砾屑灰岩、云斑虫迹灰岩、叠层石灰岩;薄至中厚层砾屑灰岩,条带状泥质灰岩、页岩	597	0.049	0.34	0.2081	0.61
	长清群 $\epsilon_{2-3}$ $\hat{C}$	紫灰色砂质页岩,泥云岩夹砂岩、鲕粒灰岩;砂屑灰岩、白云质灰岩,白云岩、页岩	167	0.072	0.32	0.167	0.52
燕山晚期	中生代侵入岩	以花岗闪长斑岩、石英闪长玢岩等中基性岩为主	19	0.033	0.52	0.1928	0.37
吕梁期	古元古代侵入岩	以二长花岗岩类为主	716	0.023	0.23	0.1115	0.49

含量值为算术平均值,单位为 mg·kg<sup>-1</sup>

表 2 博山区各土壤类型面积统计表

Tab. 2 Statistical table of area of each soil type in Boshan district

土壤类型	土壤亚类代码及名称	面积/km <sup>2</sup>	占全区比例/%	pH 平均值	Se 元素平均值/10 <sup>-6</sup>
棕壤土	11 麻砂棕壤	24.27	3.41	6.12	0.227
	51 麻砂棕壤性土	53.11	7.46	6.46	0.235
褐土	61 灰质褐土	66.01	9.27	6.95	0.547
	62 硅泥褐土	45.35	6.37	7.18	0.643
	63 洪积褐土	22.75	3.20	6.74	0.696
	64 黄土质褐土	15.48	2.17	7.28	0.395
	71 灰质石灰性褐土	70.75	9.94	7.25	0.446
	81 灰质淋溶褐土	25.55	3.59	7.05	0.688
	83 硅泥淋溶褐土	11.33	1.59	7.33	0.525
	85 黄土质淋溶褐土	13.17	1.85	7.25	0.517
粗骨土	101 灰质褐土性土	55.42	7.78	7.24	0.486
	17 酸性粗骨土	129.41	18.18	5.17	0.236
	182 砂页岩类中性粗骨土	77.40	10.87	6.62	0.509
	191 石灰岩钙质粗骨土	21.17	2.97	7.18	0.395
	192 砂页岩类钙质粗骨土	56.63	7.95	5.79	1.093
	236 砂质河潮土	24.83	3.49	7.09	0.329

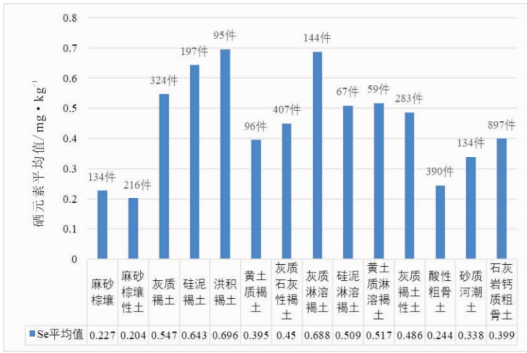


图9 不同土壤类型表层土壤硒平均含量统计图

Fig.9 Statistical diagram of average selenium content in surface soil of different soil types

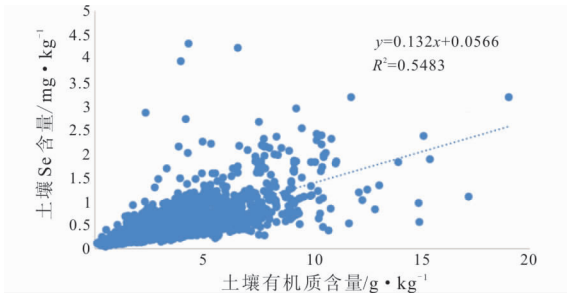


图10 研究区土壤有机质与硒含量相关关系

Fig.10 The correlations between soil organic matter and selenium contents in the study area

表3 表层土壤硒含量与pH值、有机质、总氮的相关性  
Tab.3 The correlation between selenium contents in topsoil with pH value, organic matters and total nitrogen

	pH	有机质	全氮
Se	0.175	0.734	0.498

壤硒含量与土壤全氮相关系数为 0.498 ( $P < 0.01$ ), 相关性非常显著(表 3、图 11)。以前大多数研究表明,土壤 pH 值和土壤硒之间存在显著的负相关关系<sup>[15-17]</sup>, pH 值范围与 Se 含量之间相关性分别是 7.18~8.65(相关性-0.627)、6.26~7.49(相关性-0.475)和 4.2~8.15(相关性-0.433)。但本次研究区可能因为土壤 pH 值处于 5.17~7.33 之间(表 2),多以中性为主(占比 50.81%),酸性(占比 28.24%)、碱性(占比 20.95%)土壤偏少且土壤 pH 值整体没有较大的波动,或因为农田用地受人为干扰等因素有关,因此没有显示出显著的相关性,这也与其他研究者在本区域得出的结果<sup>[6]</sup>(相关性-0.099)较一致。据此推断,pH 值对土壤硒元素的影响是有一个尺度的,土壤酸性或碱性都对土壤元素的活性产生一定效应。

## 5 结论

研究区表层土壤中硒平均含量为  $0.431 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 总体以足硒、富硒为主,其中富硒土壤( $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 3.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )面积为  $299.5 \text{ km}^2$ , 占比 42.89%。表明博山地区具有丰富的富硒土壤资源,具有很大的开发潜力。

研究区土壤硒含量主要受控于成土母质,石炭、二叠系碳酸盐岩和含煤地层为富硒土壤的形成提供了硒源;其中石河子群、月门沟群分布区发育的土壤硒含量显著高于其他成土母质发育的土壤。不同土壤类型对土壤硒的富集也具有一定的影响,褐土类土壤较其他类型土壤更加容易富集硒元素。研究区土壤硒含量还与土壤中有有机质、全氮存在极显著的正相关关系,与 pH 值没有显著的相关性。

## 参考文献:

- [1] 谭见安,朱文郁. 克山病与环境硒等生命元素的关系[J]. 中国地方病学杂志,1991,10(5):269-274.  
TAN J AN,ZHU W Y. New progress in the causal association of Keshan disease with environmental Selenium in China [J]. Chinese Journal of Endemiology, 1991,10(5):269-274. (In Chinese)
- [2] 陈亮,李桃. 元素硒与人体健康[J]. 微量元素与健康研究,2004,21(3):58-59.  
CHEN L, LI T. Element Selenium and human body health [J]. Studies of Trace Elements and Health, 2004,21(3):58-59. (In Chinese)
- [3] YU T, YANG Z F, L Y Y, et al. The origin and geo-

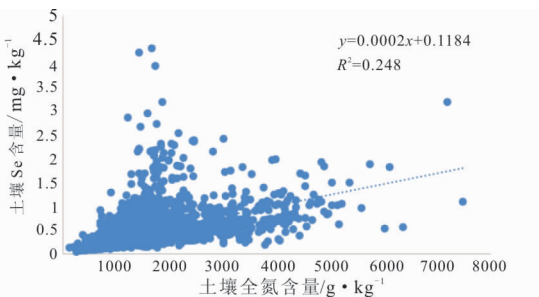


图11 研究区土壤全氮与硒含量相关关系

Fig.11 The correlation between soil total nitrogen and selenium content in the study area

研究表明,土壤硒含量与土壤有机质呈极显著相关(表 3、图 10),相关系数为 0.734 ( $P < 0.01$ );土

- chemical cycle of soil selenium in a Se-rich area of China[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2014 (139):97-108.
- [4] 王锐,余涛,曾庆良,等. 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*, 2017,7(5):359-366.  
WANG R, YU T, ZENG Q L, et al. Distribution characteristics, origin and influencing factors of soil selenium concentration of main farming areas in China[J]. *Current Biotechnology*, 2017,7(5):359-366. (In Chinese)
- [5] 黄子龙,林清梅,陈出新. 广西全州县富硒土壤地球化学特征[J]. *物探与化探*, 2018,42(2):380-385.  
HUANG Z L, LIN Q M, CHEN C X, et al. Geochemical characteristics of selenium-rich soil in Quanzhou county of Guangxi[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2018,42(2):380-385. (In Chinese)
- [6] 陈娟,宋帅,史雅娟,等. 富硒农业生产基地土壤硒资源空间分布特征及评价[J]. *环境化学*, 2015, 34(12):2185-2190.  
CHEN J, SONG S, SHI Y J, et al. Spatial distribution and assessment of selenium in soils of a Se-enrich agricultural production base[J]. *Environmental Chemistry*, 2015,34(12):2185-2189. (In Chinese)
- [7] 魏振山,涂其军,唐蜀虹,等. 天山北坡乌鲁木齐至沙湾地区富硒土壤地球化学特征及成因探讨[J]. *物探与化探*, 2016,40(5):893-898.  
WEI Z S, TU Q J, TANG S H, et al. A discussion on the geochemical features and origin of selenium-rich soil on the northern slope of the Tianshan Mountains from Urumqi to Shawan County[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2016,40(5):893-898. (In Chinese)
- [8] 杨瑞瑛. 山东煤矿样中微量元素的分布[J]. *现代仪器*, 2007(06):21-24.  
YANG R Y. Content distribution of trace element in sample of coal ore [J]. *Modern Instruments*, 2017 (06):21-24. (In Chinese)
- [9] 王蕾. 中国煤中硒的分布、赋存状态和环境地球化学研究[D]. 合肥:中国科技大学,2012.  
WANG L. Selenium in Chinese Coal: distribution, mode of occurrence and environmental geochemistry [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2012. (In Chinese)
- [10] 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(3):404-410.  
ZHANG H B, LUO Y M, WU L H, et al. Hong Kong Soil RESEARCHES II. distribution and content of selenium in soils [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(3):404-410. (In Chinese)
- [11] 赵少华,宇万太,张璐,等. 环境中硒的生物地球化学循环和营养调控及分异成因[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(10):1197-1203.  
ZHAO S H, YU W T, ZHANG L, et al. Biogeochemical cycling of selenium, nutrition adjustment and differentiation cause in environment [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005,24(10):1197-1203. (In Chinese)
- [12] 肖春艳,武俐,赵同谦,等. 南水北调中线源头区蓄水前土壤氮磷分布特征[J]. *中国环境科学*, 2013, 33(10):1814-1820.  
XIAO C Y, WU L, ZHAO T Q, et al. Distribution characteristics of nitrogen and phosphorous in soils from the middle line source area of the South-to-North Water Division Project [J]. *China Environmental Science*, 2013,33(10):1814-1820. (In Chinese)
- [13] 商靖敏,罗维,吴光红,等. 洋河流域不同土地利用类型土壤硒(Se)分布及影响因素[J]. *环境科学*, 2015, 36(1):301-308.  
SHANG J M, LUO W, WU G H, et al. Spatial distribution of Se in soils from different land use types and its influencing factors within the Yanghe Watershed, China [J]. *Environmental Science*, 2015, 36(1):301-308. (In Chinese)
- [14] 李杰,杨志强,刘枝刚,等. 南宁市土壤硒分布特征及其影响因素探讨[J]. *土壤学报*, 2012,49(5):1012-1020.  
LI J, YANG Z Q, LIU Z G, et al. Distribution of Selenium in soils of Nanning city and influencing factors [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2012,49(5):1012-1020. (In Chinese)
- [15] 王琪,刘禹含,杨景娜,等. 新疆伊犁土壤硒资源分布及与土壤性质的关系分析[J]. *农业资源与环境学报*, 2014,31(6):555-559.  
WANG Q, LIU Y H, YANG J N, et al. Analysis on the distribution of Selenium resources and its relationships with Soil properties of Ili District, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2014, 31(6):555-559. (In Chinese)
- [16] 陈雪龙,王晓龙,齐艳萍. 大庆龙凤湿地土壤理化性质与硒元素分布关系研究[J]. *水土保持研究*, 2012, 19(04):159-162.  
CHEN X L, WANG X L, QI Y P. Correlation between Soil Properties and distribution of Selenium in Soil in Longfeng Wetland of Daqing [J]. *Research of Soil and*

Water Conservation, 2012, 19(04): 159–162. (In Chinese)

- [17] 刘晓波, 张华, 金立新, 等. 四川省屏山县土壤硒地球化学特征及影响因素[J]. 环境化学, 2017, 36(10): 2246–2252.

LIU X B, ZHANG H, JIN L X, et al. Geochemical characteristics and influencing factors of soil selenium in pingshan of Sichuan Province [J]. Environmental Chemistry, 2017, 36(10): 2246–2252. (In Chinese)

## Preliminary study on the distribution and development factors of selenium — rich soil in Boshan District, Zibo City, Shandong Province

WEI Zhengyu<sup>1</sup>, HU Zhaoguo<sup>1</sup>, ZHANG Baotao<sup>1</sup>, CHEN Qi<sup>1</sup>, LI Chengxi<sup>1</sup>,  
ZHANG Wei<sup>2</sup>, ZHANG Yongsan<sup>1</sup>, XIE Lifeng<sup>3</sup>, AN Xingyu<sup>3</sup>

(1. Geological Exploration Institute of Shandong Zhengyuan, China Metallurgical Geology Bureau, Jinan 250101, China;

2. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

3. Zibo Natural Resources and Planning Bureau, Zibo 255000, China)

**Abstract:** Based on the land quality survey in Boshan District, Zibo City, the geochemical characteristics of selenium in this area were studied, and the sources and influencing factors of selenium in soil were discussed. The results showed that the background content of selenium in Boshan soil was much higher than the national background value, reaching  $0.43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . 50.09% of the soil in the study area is total selenium, 42.89% of the soil in the state of selenium, rich land resources. The distribution of selenium content in soil was influenced by soil parent material, soil type, and organic matter and was mainly controlled by soil parent material with apparent inheritance. Widely exposed selenium-rich strata (especially coal mine strata) are the main factors affecting the level of selenium content in the soil.

**Keywords:** Se-enriched; soil; distribution; influencing factors; Boshan of Shandong