



黑龙江省宝清县万金山乡土壤硒分布特征及其与土壤性质关系

赵 建, 孔繁鹏, 刘洪博, 何金宝, 吕祥熙

中国地质调查局 牡丹江自然资源综合调查中心, 黑龙江 牡丹江 157020

摘 要: 在宝清县万金山乡耕地区和林区按 4 个点/km² 的密度采集了 628 件表层土壤样品, 分析包括 Se 在内的 28 项化学元素指标。结果表明: 万金山乡表土中 Se 元素平均含量为 0.28×10⁻⁶, 波动范围 0.065×10⁻⁶~0.51×10⁻⁶; 富硒土地占全区 3.16%, 足硒土地占 92.3%, 硒潜在不足土地占 4.3%, 缺硒土地占 0.24%, 不存在硒中毒区域。黑土类型 Se 元素含量最高, 沼泽土类型 Se 元素含量最低; Se 元素含量在不同土地利用方式下表现为旱田>水田>灌木林地>乔木林地>草地及其他土地。相关性分析显示: 土壤 TOC、土壤黏粒含量对 Se 元素的富集有促进作用, pH 对 Se 元素含量影响有限, 但对 Se 元素有效性具有显著影响。

关键词: Se 含量; 土壤类型; 土地利用方式; 土壤 TOC; 土壤黏粒; 黑龙江省

DISTRIBUTION OF SOIL SELENIUM AND ITS RELATIONSHIP WITH SOIL PROPERTIES IN WANJINSHAN OF BAOQING COUNTY, HEILONGJIANG PROVINCE

ZHAO Jian, KONG Fan-peng, LIU Hong-bo, HE Jin-bao, LYU Xiang-xi

Mudanjiang Natural Resources Comprehensive Survey Center, CGS, Mudanjiang 157020, Heilongjiang Province, China

Abstract: The study collects 628 topsoil samples at a density of 4 points/km² in farm and forest areas of Wanjinshan Township, Baoqing County, to analyze 28 chemical indexes including Se etc. The results show that the average Se content in the topsoil is 0.28×10⁻⁶, ranging from 0.065×10⁻⁶ to 0.51×10⁻⁶, with the Se-rich land accounting for 3.16%, Se-sufficient land 92.3%, potential Se-deficient land 4.3%, Se-deficient land 0.24% and no Se poisoning area. Black soil type has the highest Se content, while swamp soil type has the lowest Se content. The Se contents in different land use patterns are ranked as follows: dry field > paddy field > shrub land > arbor land > grassland and other land. Correlation analysis indicates that soil TOC and clay content promote the enrichment of Se, while pH has a limited influence on Se content but significant effect on Se availability.

Key words: Se content; soil type; land use pattern; soil TOC; soil clay; Heilongjiang Province

0 引言

中国营养学会于 1988 年将微量元素硒(Se)列为人体不可或缺的一种元素, 是人体饮食必需的营养元

素之一^[1-3], Se 元素摄入不足会导致克山、甲状腺、大骨节和帕金森等疾病, 但摄入过量会引起各种跟 Se 有关的急性或慢性中毒^[4-10]。

收稿日期: 2022-04-09; 修回日期: 2022-04-24. 编辑: 李兰英.

基金项目: 中国地质调查局自然资源综合调查项目“三江平原宝清地区黑土地地表基基层调查”(DD20211588).

作者简介: 赵建(1990—), 男, 主要从事自然资源调查工作, 通信地址 黑龙江省牡丹江市东安区卧龙街 45 号, E-mail//1304531001@qq.com

通信作者: 孔繁鹏(1989—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事自然资源调查、矿产普查与勘探工作, 通信地址 黑龙江省牡丹江市东安区卧龙街 45 号, E-mail//315706831@qq.com

Se 是典型的亲生物元素^[11-12],在表土化学元素迁移变化过程中,有机质等生物活性高的物质对 Se 的积聚影响强烈,王美珠等^[13]研究认为,有机质的积累可促使地表 Se 的大量富集,生物、气候、地形对土壤 Se 也有一定的富集作用;王松山等^[14]研究认为黏粒含量可有效的吸附 Se 元素;李杰等^[15]认为成土母质,土壤 pH、有机碳及铁和铝的含量影响南宁市土壤 Se 的分布规律.可见影响 Se 含量的因素较多.

迟凤琴等^[16]研究指出,黑龙江省土壤 Se 平均含量为 0.147×10^{-6} ,处于缺硒及潜在缺硒水平.近些年开展全国范围的 1:25 万多目标地球化学研究数据显示,三江平原西部表层土壤 Se 含量多达到足硒等级 ($Se > 0.3 \times 10^{-6}$)^[17].宝清县位于三江平原腹地,是全国粮食主产区,其富硒土地分布情况、含量对当地特色农业产业发展意义重大.笔者以 2021 年“三江平原宝清地区黑土地地表基质层调查项目”为依托,探讨宝清县万金山乡土壤 Se 的含量分布特征,以期为该地区硒农产品产业的形成提供科学依据.

1 研究区概况

宝清县位于黑龙江省东部,处于三江平原核心,北大荒腹地,北与友谊县、富锦市相邻,西与双鸭山市、七台河市接壤,南与密山市、虎林市相连,东与挠河县相邻;东、南、西三面环完达山脉.万金山乡位于宝清县中部地区,海拔 65~170 m,地貌类型主要为丘陵漫岗、平原和低平原,万金山乡面积 181.99 km²,占宝清县全县面积的 1.82%,却发育了全县已有的所有土壤类型:暗棕壤、白浆土、黑土、草甸土、沼泽土、水稻土.区内水系以挠力河水系为主,贯穿万金山乡全域.气候为湿润—半湿润大陆性季风气候,具有冬季严寒干燥、春季气温回升快,多大风的特点,年均气温 2.3~2.4 °C,平均无霜期 143 d.土地利用类型主要为耕地和林地,种植作物主要为水稻和玉米,其次为大豆.

2 材料与方法

2.1 样品采集

本研究土壤硒数据来源为“三江平原宝清地区黑土地地表基质层调查”项目,按照网格法进行样点布设,兼顾不同图斑均匀分布的原则,土壤样品采集密度为 4 个点/km²,每个样品由 1 个主采样坑、3 个子采样

坑组合而成,子样点位距主样点位 20~30 m,以 GPS 定位主采样坑坐标.样品为 0~20 cm 耕层土壤.样品主要布设在万金山乡耕地及林地区.采样时避开新近搬运的人工填土、低洼地、高岗及田埂等,确保样品具有代表性,共采集万金山乡土壤样品 628 件.

2.2 测试分析

样品分析测试依据 DZ/T0145—2017《土壤地球化学测量规程》标准,由黑龙江省地质矿产实验测试研究中心承担样品测试工作,共分析包括 Se 在内的 28 项地球化学指标,分析方法、测试精度和检出限等均满足规范要求.

2.3 数据处理

数据统计分析采用 IBM SPSS Statistics 25 软件完成测试数据参数的统计和 Pearson 相关性分析,使用 Origin 2021 软件绘制元素含量散点图,使用 ArcMap 10.5 软件绘制相关元素地球化学图.

3 结果与讨论

3.1 土壤 Se 分布特征

万金山乡表层土壤中 Se 含量波动区间在 0.065×10^{-6} ~ 0.51×10^{-6} ,平均值为 0.28×10^{-6} ,中位数为 0.27×10^{-6} ,标准离差 0.081,变异系数 0.29,表明 Se 元素在表生环境下经长期的熟化作用后趋于稳定,分布较均匀. Se 含量平均值低于宝清县东部平均值 0.326×10^{-6} ^[18],高于三江平原西部平均值 0.25×10^{-6} ^[17],与中国土壤 Se 元素平均值 0.29×10^{-6} ^[19]基本持平.依据谭见安^[20]对 Se 元素等级划分,将土壤 Se 元素划分为缺乏、边缘、适中、高、过剩 5 个级别.万金山乡土壤 Se 含量统计结果见表 1,划定万金山乡表层土壤中,富硒土地总面积 5.75 km²,占万金山乡的 3.16%,主要分布在测区东部;

表 1 万金山乡土壤 Se 元素含量划分界限值及统计结果

Table 1 Threshold values and statistical results of soil Se content in Wanjinshan area

Se 等级	Se 含量/ 10^{-6}	硒效应	面积/km ²	占比/%
过剩	>3.0	硒中毒	0	0
高	0.4~3.0	富硒	5.75	3.16
适中	0.175~0.4	足硒	167.98	92.30
边缘	0.125~0.175	硒潜在不足	7.83	4.30
缺乏	<0.125	缺硒	0.43	0.24

足硒土地广泛分布,总面积 167.98 km²,占万金山乡的 92.30%; 硒潜在不足和缺硒土地分别占万金山乡的 4.3%和 0.24%, 主要分布在研究区西部挠力河沿岸区域(图 1).

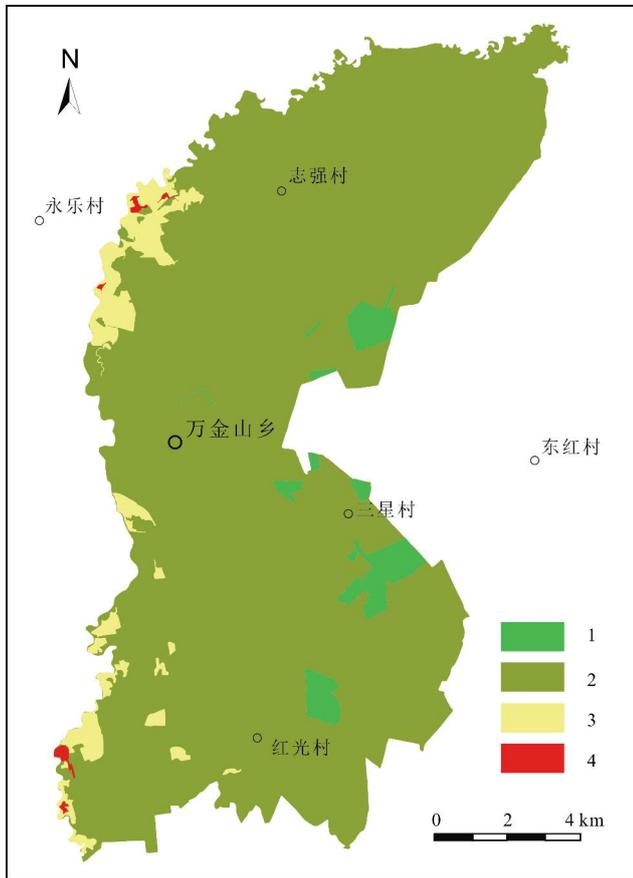


图 1 万金山乡土壤 Se 元素含量分布特征

Fig. 1 Distribution of soil Se content in Wanjinshan area

1—富硒 (Se-rich); 2—足硒 (Se-sufficient); 3—硒潜在不足 (potential Se-deficient); 4—缺硒 (Se-deficient)

3.2 土壤性质对 Se 含量的影响

3.2.1 不同土壤类型与 Se 元素分布规律关系

万金山乡土壤类型具有 6 类,即黑土、白浆土、草甸土、水稻土、暗棕壤和沼泽土,不同土壤类型 Se 元素含量统计结果见表 2. 结果显示, 黑土赋存 Se 元素最多,其次为白浆土,草甸土和水稻土赋存 Se 元素较为相近,暗棕壤和沼泽土赋存 Se 元素最低. 研究区黑土赋存 Se 元素最多,主要是由于有机质促使亲生物元素 Se 在土壤中的聚积,黑土中黏土矿物和有机碳易于淀积,故黑土类型 Se 元素含量最高. 白浆土主要发育于山前漫川漫岗地带,成土母质主要为第四系残坡积物, Se 含量较高主要是因为残坡积物在岩石成土过程中

表 2 不同土壤类型 Se 元素含量参数统计表

Table 2 Parameter statistics of Se content by soil types

土壤类型	样品数	平均值	最大值	最小值	标准差	变异系数
暗棕壤	44	0.23	0.37	0.14	0.05	0.23
白浆土	69	0.30	0.44	0.13	0.08	0.26
草甸土	210	0.28	0.50	0.12	0.07	0.26
黑土	160	0.31	0.51	0.10	0.09	0.29
水稻土	53	0.26	0.45	0.14	0.06	0.24
沼泽土	85	0.22	0.43	0.07	0.06	0.29

含量单位:10⁻⁶.

继承了原始地层中的 Se 元素,而且漫川漫岗区易于发生 Se 元素的二次富集. 草甸土和水稻土是万金山乡分布面积最大的土壤类型,该区域由于耕作开垦,草甸植被已被改造,加快了表土有机质的分解,有机质含量减少,但仍居于较高水平,故而土壤 Se 含量仍处于较高水平. 暗棕壤成土母质主要为船底山组和松木河组火山岩,成土母质中 Se 含量原本就较低. 研究区沼泽土主要发育挠力河沿岸,经过水运迁移等过程造成 Se 元素流失,再加上人为活动的双重影响,致使沼泽土 Se 含量最低.

3.2.2 不同土地利用方式与 Se 元素分布规律关系

不同土地利用类型对表土 Se 元素的聚积有一定影响. 万金山乡土地开发利用较晚, 主要以大规模的农垦耕作为主,旱田、水田和乔木林地为该地区主要的土地利用方式,草地、灌木林地和其他地类分布较少,在研究区零星存在. 不同土地利用方式 Se 元素含量统计情况见表 3. 结果显示, 不同土地利用方式下 Se 元素赋存顺序为旱田>水田>灌木林地>乔木林地>草地、其他地类. 旱田表土 Se 含量最高,主要受成土母质与土壤类型影响. 万金山乡旱田成土母质以坡积物及冲-洪积物为主, 土壤类型主要为白浆土型、黑土型,该类型成土母质和土壤类型 Se 含量本就较高. 水田为该地区开发程度较高的土地利用方式, 表层土壤经过长期的水耕熟化作用,有机质分解速度快,分解程度高,表土中 Se 元素流失,造成 Se 元素有所降低.

3.2.3 土壤理化性质与土壤 Se 元素的关系

万金山乡表土各元素和 Se 元素相关关系结果见表 4. 相关分析表明,表土全硒量与有效硒表现显著的

表 3 不同土地利用方式 Se 元素含量参数统计表

Table 3 Parameter statistics of Se content by land use patterns

土地利用	样本数	平均值	最大值	最小值	标准差	变异系数
草地	1	0.14	0.14	0.14	0.00	0.00
灌木林地	4	0.22	0.27	0.15	0.05	0.24
旱地	288	0.30	0.51	0.10	0.09	0.29
其他土地	1	0.14	0.14	0.14	0.00	0.00
乔木林地	23	0.21	0.30	0.13	0.04	0.21
水田	304	0.26	0.50	0.07	0.07	0.28

含量单位: 10^{-6} .

正相关关系; Se 元素属于典型的亲生物元素, TOC 与其能够拟合为较好的一条直线, TOC 与土壤 Se 呈显著的正相关关系, 这表明土壤 TOC 能有效地促进 Se 元素的富集; 表征表土黏粒含量的铁、铝、镁氧化物指标均与 Se 相关系数较大, 表明土壤中的铁、铝、镁氧化物促进 Se 元素的富集, 以黏粒含量与 Se 含量做相关关系图(图 2)可见, 相关系数 $r=0.267$, 进一步表明土壤黏粒含量对硒影响显著; 由表 5 可以发现 pH 对 Se 元素的制约效应不明显, 但是 pH 对 Se 元素的有效性影响较大(图 3), 即 pH 越大, 土壤 Se 有效率越高, 这主要是由于碱性条件下, Se 的生物活性强, 易被植物吸收. 另外 Na_2O 、 SiO_2 、K 与 Se 表现出明显的负相关关系, 对 Se 元素的富集具有抑制作用.

4 结论

1) 万金山乡土壤 Se 平均含量为 0.28×10^{-6} , 足硒和

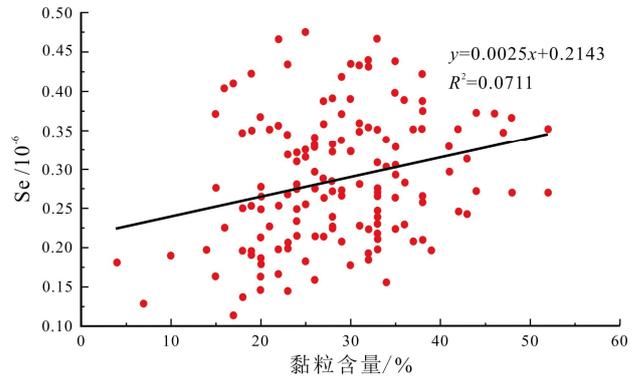


图 2 土壤全量硒与黏粒含量关系

Fig. 2 Relationship between total soil Se and clay content

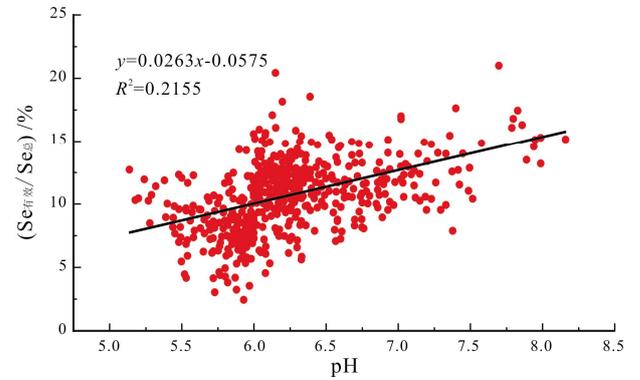


图 3 不同 pH 对有效 Se/总 Se 值关系图

Fig. 3 Relationship between pH and available Se/total Se

富硒土壤占万金山乡总面积的 95.46%, 富硒区域主要集中在万金山乡东部, 未见硒中毒区域.

2) 各土壤类型中黑土赋存 Se 元素最多, 沼泽土赋存 Se 元素最低; 不同土地利用方式下 Se 元素赋存顺序为旱地>水田>灌木林地>乔木林地>草地、其他地类.

3) 通过相关性分析, 万金山乡土壤 Se 含量主要影响因素为 TOC; 同时表征表土黏粒含量的铁、铝、镁氧

表 4 表层土壤各种成分与土壤 Se 相关系数

Table 4 Correlation coefficients of surface soil compositions and soil Se

成分	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	SiO_2	Fe_2O_3	TOC	SOM	CEC
相关系数(r)	0.116**	0.152**	0.340**	-0.532**	-0.411**	0.210**	0.368**	0.354**	0.540**
成分	K	N	P	全盐量	水解性氮	速效钾	有效磷	有效硒	As
相关系数(r)	-0.242**	0.324**	0.123**	0.304**	0.336**	0.355**	0.172**	0.779**	0.410**
成分	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn	pH
相关系数(r)	0.066	0.202**	0.461**	0.115**	0.059	0.265**	0.285**	0.190**	0.197**

** 为 $p < 0.01$, 相关性显著.

化物促进 Se 元素的富集; pH 对 Se 元素制约效果不明显, 但对 Se 元素有效性影响显著; Na_2O 、 SiO_2 、K 对 Se 元素的富集有抑制作用。

参考文献(References):

- [1] Milner J A. Diet and cancer: Facts and controversies[J]. *Nutrition and Cancer*, 2006, 56(2): 216–224.
- [2] 张哲寰, 赵君, 宋运红, 等. 黑龙江省克山县土壤-作物系统硒元素地球化学特征[J]. *地质与资源*, 2020, 29(6): 585–591, 555.
Zhang Z H, Zhao J, Song Y H, et al. Geochemical characteristics of selenium in the soil-crop system of Keshan Country, Heilongjiang Province[J]. *Geology and Resources*, 2020, 29(6): 585–591, 555.
- [3] 杨立国, 马志超, 王鑫. 内蒙古通辽市科尔沁区土壤硒地球化学特征[J]. *地质与资源*, 2019, 28(4): 383–388.
Yang L G, Ma Z C, Wang X. Geochemical characteristics of Selenium in the soil of Horqin District, Inner Mongolia[J]. *Geology and Resources*, 2019, 28(4): 383–388.
- [4] 梁帅, 戴慧敏, 刘国栋, 等. 黑龙江双阳河流域土壤-作物-人体系统中硒元素及生态环境与人体健康评价[J]. *中国地质*, 2022, 49(4): 1064–1074.
Liang S, Dai H M, Liu G D, et al. Geochemical characteristics and evaluation of ecological environment and human health of selenium in soil-crop-human system in Shuangyang River Basin, Heilongjiang[J]. *Geology in China*, 2022, 49(4): 1064–1074.
- [5] 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.
Xia F Q, Zhang X, Yang Y, et al. Geochemical characteristics and influencing factors of Selenium in soils and agricultural products in Ningguo City, Anhui Province[J]. *Soils*, 2021, 53(3): 585–593.
- [6] 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.
- [7] 朱建明, 左维, 秦海波, 等. 恩施硒中毒区土壤高硒的成因: 自然硒的证据[J]. *矿物学报*, 2008, 28(4): 397–400.
Zhu J M, Zuo W, Qin H B, et al. An investigation on the source of soil Se in Yutangba, Enshi: Evidence from native selenium[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2008, 28(4): 397–400.
- [8] 王仁琪, 张志敏, 晁旭, 等. 陕西省安康市西部稻田土壤硒形态特征与水稻富硒状况研究[J]. *中国地质*, 2022, 49(2): 398–408.
Wang R Q, Zhang Z M, Chao X, et al. A study of the selenium speciation in paddy soil and status of selenium-enriched rice in western part of Ankang City, Shaanxi Province[J]. *Geology in China*, 2022, 49(2): 398–408.
- [9] 杨泽, 刘国栋, 戴慧敏, 等. 黑龙江兴凯湖平原土壤硒地球化学特征及富硒土地开发潜力[J]. *地质通报*, 2021, 40(10): 1773–1782.
Yang Z, Liu G D, Dai H M, et al. Selenium geochemistry of soil and development potential of Se-rich soil in Xingkai Lake Plain[J]. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(10): 1773–1782.
- [10] 尹昭汉, 崔剑波, 马晓丽, 等. 东北地区生态环境中的 Se 及其生态效应[J]. *应用生态学报*, 1995, 6(3): 308–312.
Yin Z H, Cui J B, Ma X L, et al. Selenium in eco-environment of Northeast China and its ecological effect[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1995, 6(3): 308–312.
- [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] 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.
Yang Z F, Yu T, Hou Q Y, et al. Geochemical characteristics of soil selenium in farmland of Hainan Island[J]. *Geoscience*, 2012, 26(5): 837–849.
- [13] 王美珠, 章明奎. 我国部分高硒低硒土壤的成因初探[J]. *浙江农业大学学报*, 1996, 22(1): 89–93.
Wang M Z, Zhang M K. A discussion on the cause of high-Se and low-Se soil formation[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 1996, 22(1): 89–93.
- [14] 王松山, 梁东丽, 魏威, 等. 基于路径分析的土壤性质与硒形态的关系[J]. *土壤学报*, 2011, 48(4): 823–830.
Wang S S, Liang D L, Wei W, et al. Relationship between soil physico-chemical properties and selenium species based on path analysis[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48(4): 823–830.
- [15] 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 its influencing factors[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2012, 49(5): 1012–1020.
- [16] 迟凤琴, 徐强, 匡恩俊, 等. 黑龙江省土壤硒分布及其影响因素研究[J]. *土壤学报*, 2016, 53(5): 1262–1274.
Chi F Q, Xu Q, Kuang E J, et al. Distribution of selenium and its influencing factors in soils of Heilongjiang Province, China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2016, 53(5): 1262–1274.

- method in exploration of a gold deposit in Gansu [J]. *Mineral Exploration*, 2019, 10(6): 1460–1469.
- [25] 张家嘉, 张顺林, 汪青松, 等. 综合物探方法在覆盖区找矿中的应用——以皖东五河金矿整装勘查为例[J]. *中国地质调查*, 2020, 7(6): 109–115.
- Zhang J J, Zhang S L, Wang Q S, et al. Application of comprehensive geophysical prospecting method in ore prospecting in coverage area: a case study of integrated survey area of Wuhe Gold Mine in Eastern Anhui[J]. *Geological Survey of China*, 2020, 7(6): 109–115.
- [26] 涂首业. 四川会理天宝山铅锌矿矿相学特征及意义[D]. 成都: 成都理工大学, 2014: 1–62.
- Tu S Y. The mineralogy characteristics and its genetic significance of the Tianbaoshan Pb–Zn deposit in Huili, Sichuan[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2014: 1–62.
- [27] 吴小艳, 毛晓冬, 廖娟, 等. 四川会理天宝山铅锌矿床矿石显微特征及成矿期次研究[J]. *地质与资源*, 2016, 25(2): 154–158.
- Wu X Y, Mao X D, Liao J, et al. Microscopic characteristics of ore and metallogenic periods of the Tianbaoshan Pb–Zn deposit in Sichuan Province[J]. *Geology and Resources*, 2016, 25(2): 154–158.
- [28] 李善财, 李根军, 薛长军, 等. 青海加给陇汪东金矿地质特征及找矿预测[J]. *矿产勘查*, 2019, 10(8): 1784–1791.
- Li S C, Li G J, Xue C J, et al. Geological features and prediction of Jiageilongwa gold deposit in Qumalai County, Qinghai province[J]. *Mineral Exploration*, 2019, 10(8): 1784–1791.
- [29] 覃忠. 辽宁普兰店沙包镇金矿床地质特征及找矿标志[J]. *中国科技信息*, 2011(14): 24, 27.
- Tan Z. Geological characteristics and prospecting mark of Shapaozhen gold deposit in Pulandian, Liaoning Province[J]. *China Science and Technology Information*, 2011(14): 24, 27. (in Chinese)
- [30] 李巍. 辽宁省铅锌矿典型矿床特征[J]. *地质与资源*, 2016, 25(3): 261–264.
- Li W. Characteristics of typical lead–zinc deposits in Liaoning Province[J]. *Geology and Resources*, 2016, 25(3): 261–264.
- [31] 杨占兴, 田立臣. 辽宁省铅锌矿床成矿作用研究[J]. *辽宁地质*, 1998(1): 1–19.
- Yang Z X, Tian L C. Studies on the metallogenesis of lead zinc deposits in Liaoning[J]. *Liaoning Geology*, 1998(1): 1–19.
- [32] 杨占兴, 张国仁, 赵英, 等. 辽宁省成矿系列研究[J]. *地质与资源*, 2006, 15(1): 25–32.
- Yang Z X, Zhang G R, Zhao Y, et al. Study on the minerogenic series in Liaoning Province[J]. *Geology and Resources*, 2006, 15(1): 25–32.
- [33] 杨占兴. 辽西八家子多金属矿床的成因研究[J]. *辽宁地质*, 1994(3): 193–225.
- Yang Z X. Studies on Bajiazi polymetallic ore deposit in west Liaoning [J]. *Liaoning Geology*, 1994(3): 193–225.
- [34] 潘厚满. 八家子银多金属矿田成矿规律与成矿预测[J]. *矿产与地质*, 2001, 15(85): 320–323.
- Pan H M. The ore-forming law of Bajiazi silver polymetallic ore field and its forecasting for ores-forming [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2001, 15(85): 320–323.

(上接第 237 页/Continued from Page 237)

- [17] 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. doi: 10.11720/wtyht.2021.2596.
- 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, doi: 10.11720/wtyht.2021.2596.
- [18] 王月平, 张立, 崔玉军, 等. 宝清县东部土壤硒含量特征及其与土壤性质的关系[J]. *物探与化探*, 2019, 43(4): 904–911, doi: 10.11720/wtyht.2019.0020.
- Wang Y P, Zhang L, Cui Y J, et al. Characteristics of selenium content in soil of eastern Baoqing County and its relationship with soil properties[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2019, 43(4): 904–911, doi: 10.11720/wtyht.2019.0020.
- [19] 戴慧敏, 宫传东, 董北, 等. 东北平原土壤硒分布特征及影响因素[J]. *土壤学报*, 2015, 52(6): 1356–1364.
- Dai H M, Gong C D, Dong B, et al. Distribution of soil selenium in the Northeast China Plain and its influencing factors[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2015, 52(6): 1356–1364.
- [20] 谭见安. 环境生命元素与克山病——生态化学地理研究[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 1996: 1–13.
- Tan J A. Environmental life elements and Keshan disease: A study on ecological chemiogeography [M]. Beijing: China Medical Science Press, 1996: 1–13.