

doi: 10. 11720/wtyht. 2021. 2596

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. [http://doi.org/10. 11720/wtyht. 2021. 2596](http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.2596)

Nin 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. [http://doi.org/10. 11720/wtyht. 2021. 2596](http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.2596)

三江平原西部土壤硒分布特征及其影响因素

牛雪¹, 何锦^{1,2}, 庞雅婕¹, 明圆圆¹

(1. 中国地质调查局 水文地质环境地质调查中心, 河北 保定 071051; 2. 吉林大学 环境与资源学院, 吉林 长春 130026)

摘 要: 近年来在黑龙江三江平原局部地区发现有珍贵的富硒土地, 但对三江平原土壤硒的分布以及土壤硒含量的控制因素研究较少。三江平原西部地区土地质量地球化学调查发现, 该区表层土壤主要以足硒为主, 未见硒中毒土壤, 富硒土壤主要分布于完达山山前至沿挠力河之间的冲湖积低平原地区, 少量分布于萝北县城北部的湖成剥蚀台地, 硒不足或硒潜在不足地区主要沿松花江河流以及萝北地区黑龙江古河道展布。根据相关性分析、因子分析、聚类分析结果, 并结合硒元素地球化学空间分布, 认为三江平原表层土壤硒含量主要受表层土壤中有机质以及土壤质地中黏土的吸附作用影响, 铁、锰等氧化物以及土壤 pH 对硒富集具有一定影响, 但作用较小。土壤环境质量综合评价显示三江平原地区多为无风险区, 是一块珍贵的清洁土地资源, 当地可依托富硒土地发展绿色富硒农业。

关键词: 三江平原; 土壤; 硒; 分布特征; 影响因素

中图分类号: S158. 5; S159. 2

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2021)01-0223-07

0 引言

硒(Se)是人体必需的生命元素, 人体缺硒会导致许多疾病^[1-4], 人类对于硒的摄取主要来自于食物, 而土壤是食物硒来源库^[5]。硒作为一种分散元素, 在地壳中分布不均, 全世界土壤硒含量范围在 $(0.030 \sim 2.000) \times 10^{-6}$ ^[5]。我国土壤普遍缺硒, 富硒土壤较为珍贵, 前人研究发现我国存在一条由 EN 至 WS 的低硒带, 黑龙江则位于低硒带始端^[6]。近些年开展的 1:25 万土地质量地球化学调查发现, 黑龙江三江平原地区存在珍贵的富硒土地, 改变了黑龙江省土壤缺硒的认识^[7-9]。

影响土壤中硒含量因素较多, 前人对其进行了较为详细的研究, 不同地区具有不同的影响因素。王甘露等^[10]研究发现贵州土壤中硒含量主要受基岩硒含量制约; 王美珠等^[11]认为母岩类型是影响土

壤硒含量的主要原因, 生物、气候、地形等对土壤硒含量也起着一定作用; 还有部分学者认为人类活动是高硒土壤形成过程中不可忽略的重要因素^[12-13], 大气硒的沉降和挥发是影响中土壤硒分布的重要因素^[14-15]; 魏明辉^[16]等发现燃煤也是土壤中硒含量重要影响因素; Umesh 等^[17]认为成土母质、气候、土壤质地、有机质及人为因素影响土壤硒含量; Malisa 等^[18]认为沉积岩中的黏土与有机质含量使得硒含量增加。可见土壤中硒含量的影响因素较多, 较为复杂, 综合分析可以看出, 主要为 3 个因素: 一是硒来源影响, 例如基岩含量、成土母质含量、大气沉降影响等; 二是土壤中理化指标的影响, 例如土壤中元素、有机质、黏粒含量等; 三是人为因素影响, 例如人工施肥等。

前人对东北地区土壤硒来源及含量的影响因素研究也较多, 但多局限于松嫩平原, 如夏学齐等^[19]研究认为黑龙江省松嫩平原南部土壤中硒的主要输

收稿日期: 2019-12-18; 修回日期: 2020-08-22

基金项目: 中国地质调查局项目(121201012000161317, DD20190339)

作者简介: 牛雪(1987-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事水工环地质调查工作。Email: niuxue1007@163.com

通讯作者: 何锦(1980-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事水文地质、环境地质调查工作。Email: hejing007105@126.com

入途径为大气干湿沉降;迟凤琴等^[20]研究认为黑龙江省表层土壤 SOC、黏粒含量与 pH 是影响土壤硒含量的主要因素;戴慧敏等^[7]研究认为东北松嫩平原中表层土壤继承成土母岩特征较弱,铁锰氧化物、有机质等理化指标对土壤硒具有较强的影响作用,是硒富集的主要因素之一。

三江平原作为全国重要粮食产区,其富硒土地中硒的分布特征、含量影响因素对当地的特色农业规划及可持续发展具有重要意义。笔者利用三江平原西部近 2 万 km² 表层土壤(0~20 cm)及深层土壤(150~200 cm)地球化学数据,总结三江平原西部地区土壤中硒的分布特征,并利用统计学的相关性分析、因子分析及聚类分析等方法对三江平原土壤中硒含量的主要影响因素进行分析。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于三江平原西部与南部,北部以黑龙江为界,东、南、西三面分别被完达山、那丹哈达岭、

小兴安岭所环抱,主地势低平,沼泽湿地发育^[21]。研究区位置见图 1。研究区内发育的主要河流为黑龙江、松花江,以及发育于小兴安岭的鸭蛋河、嫩河及乌苏里江的支流七星河、挠力河等,其中挠力河流域分布许多发育于东部完达山脉的支流。研究区内岩性主要为第四系沉积物,以砂性土和黏土为主,基岩出露较少,多以残丘突兀于平原中。研究区主要包括 6 个地貌单元,分别为湖成的剥蚀台地(Ⅲ₁)、冲积湖积低平原(Ⅲ₂)、泥砂砾质低平原(Ⅰ₃₋₂)、砂砾石河谷平原(Ⅰ₃₋₁)、砂砾石扇形平原(Ⅰ₂)、火山地貌形成的剥蚀熔岩丘陵(Ⅱ),土壤质地与地貌单元对应较好,其中Ⅲ₁、Ⅲ₂、Ⅱ地貌以黏性土为主,其他地貌单元以砂性土为主。各地貌分布详见图 1。

1.2 样品采集

土壤硒数据来源为东北黑土地 1:25 万土地质量地球化学调查项目,样品按照《多目标区域地球化学调查规范(1:250 000)》(DZ/T 0258—2014)布点与采集。浅层样品采集为 1 件/km²,每个样品由 3 个采样坑内垂直采集 0~20 cm 土柱组合形成,测

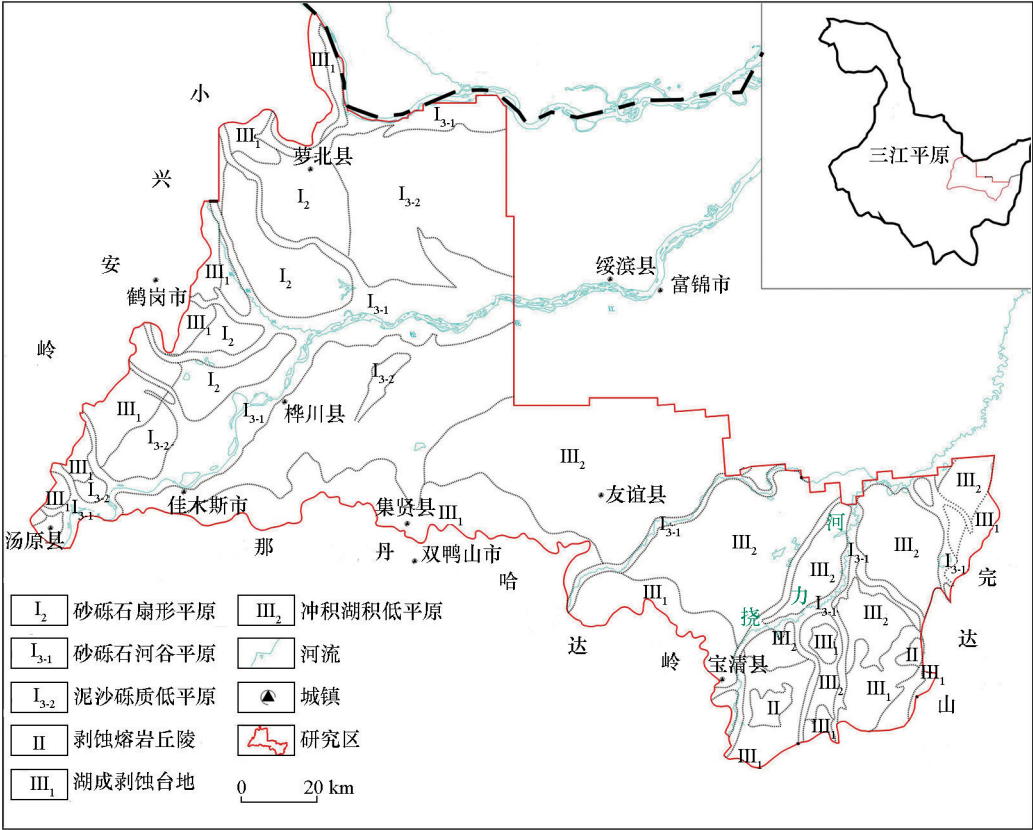


图 1 研究区位置及地貌示意(地貌图据杨湘奎等^[21]改绘)

Fig. 1 Study area location and geomorphological lithology sketch map
(geomorphological map based on Yang Xiangkui^[21] redrawing)

试分析时 4 个样品组合为一个分析样,即每 4 km² 一个分析数据。深层样品采集 150~200 cm 处的深层土壤,采样密度为 1 件/4 km²,4 个样品组合为一个深层分析样品,即每 16 km² 一个分析数据,共取得 4 287 组浅层分析数据以及 1 404 组深层分析数据。

1.3 样品测试

样品分析测试由河北省地矿中心实验室承担,共分析包括 Se 在内的 54 种地球化学指标,分析方法及配套方案、准确度、精密度和检出限等均满足《多目标区域地球化学调查规范(1:250 000)》(DZ/T 0258—2014)规定要求,其中硒测试方法采用原子荧光法。

1.4 数据处理

数据统计分析以及地球化学图的绘制主要利用化探数据处理一体化系统 GeoChem Studio,因子分析、聚类分析以及相关性分析利用 IBM SPSS Statistics 20.0 软件进行。

2 结果与讨论

2.1 土壤硒分布特征

研究区内表层土壤中硒含量在 $(0.06\sim2.27)\times10^{-6}$ 之间,算术均值为 0.25×10^{-6} ,显著高于东北平原区均值 0.18×10^{-6} ^[7] 以及黑龙江省均值 0.161×10^{-6} ^[22];深层土壤硒含量在 $(0.02\sim2.03)\times10^{-6}$ 之间,均值为 0.11×10^{-6} 。可以看出三江平原表层土

壤硒含量高于深层土壤,土壤硒呈现明显的表聚型^[19],两者的变异系数分别为 0.39 与 0.67,说明三江平原表层土壤与深层土壤硒分布不均,局部富集可能性较大(表 1)。

根据我国硒元素生态监管界限值^[23],将土壤硒含量分为硒不足($<0.125\times10^{-6}$)、硒潜在不足($0.125\times10^{-6}\sim0.175\times10^{-6}$)、足硒($0.175\times10^{-6}\sim0.40\times10^{-6}$)、富硒($0.40\times10^{-6}\sim3.0\times10^{-6}$)、硒中毒($>3.0\times10^{-6}$)5 个等级。以 5 个等级为分界线作表层与深层土壤硒元素地球化学图(图 2),可以看出表层土壤硒含量以足硒为主,富硒土壤主要分布于研究区东部的完达山至挠力河中间的冲积湖积低平原地区(Ⅲ₂)以及萝北县北部湖成剥蚀台地(Ⅲ₁)地区;潜在硒不足以及硒不足地区主要沿松花江河流以及研究区北部分布;深层土壤硒含量以硒不足为主,未见富硒土壤,但在完达山与小兴安岭山前均出现了由山前至平原硒含量由足硒—硒潜在不足—硒不足递减的分布特征。

2.2 表层土壤中硒含量影响因素

2.2.1 地貌及土壤质地的影响

通过地球化学图(图 2b)可以看出,表层土壤中硒含量高值区主要出现在湖成砂黏土质台地(Ⅲ₁)、火山地貌玄武岩丘陵(Ⅱ)以及挠力河流域的冲积湖积黏土质低平原地区(Ⅲ₂),其中在后者形成大面积富硒土壤,硒含量低值区主要出现在松花江干流形成的砂砾石河谷平原以及研究区北部黑

表 1 表层土壤与深层土壤硒元素统计值

Table 1 Statistics of Selenium elements in surface soil and deep soil

| 类型 | 样品数 | 均值/10 ⁻⁶ | 最小值/10 ⁻⁶ | 最大值/10 ⁻⁶ | 中位数/10 ⁻⁶ | 标准离差 | 变异系数 |
|------|------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------|------|
| 表层土壤 | 4287 | 0.25 | 0.06 | 2.27 | 0.23 | 0.1 | 0.39 |
| 深层土壤 | 1404 | 0.11 | 0.02 | 2.03 | 0.1 | 0.07 | 0.67 |

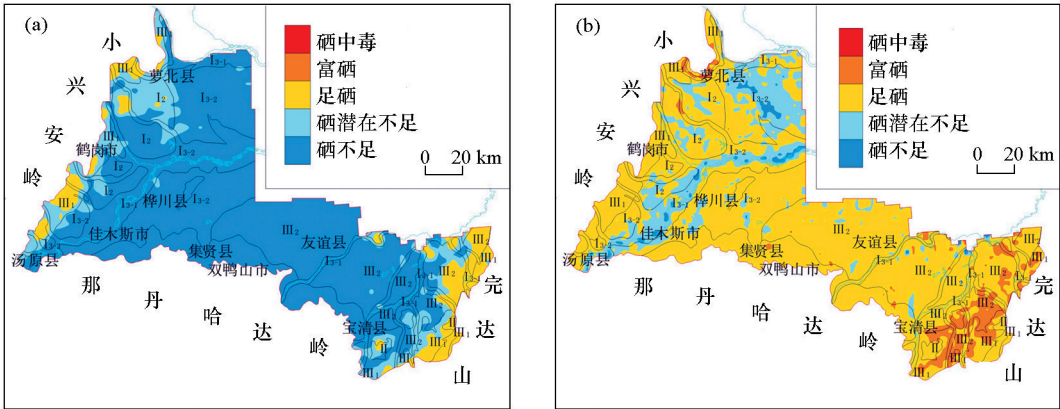


图 2 三江平原西部深层土壤(a)与表层土壤(b)硒分布特征

Fig.2 Distribution of selenium content in deep soil(a) and surface soil(b) in west Sanjiang plain

龙江古河道地区。杨湘奎等^[21]通过对三江平原土壤岩性划分发现,不同地貌单元土壤中黏土含量不同。按不同地貌单元对土壤硒含量进行统计,各地貌类型及主要土壤岩性区土壤硒含量详见表 2。可以看出变异系数最高的为砂砾石河谷平原,导致变异系数较大的主要原因是松花江干流形成的河谷平原土壤中硒含量较低,而各支流形成的主要河谷平原硒含量较高。由表层土壤岩性分布概况(表 2)可以看出,硒含量高值区的地貌(Ⅲ₁、Ⅲ₂)土壤主要以黏性土为主,低值区的地貌则主要以砂砾岩性土为主,分析其原因为湖成地貌土壤中黏土含量高,黏土对硒具有明显的吸附作用^[20,24]。因此三江平原地

区湖成地貌易于形成富硒土地,主要因为湖成地貌土壤质地黏土含量较高,利于硒元素的吸附。

2.2.2 成土母质影响

深层样品取自距地表 1.5~2.0 m 深,可认为没有受到后期人类活动影响,其元素的分布特征更接近成土母质,反映了成土母质的地球化学特征。利用地球化学图在深层数据点位提取相应的浅层土壤硒含量数据,对两者进行 Person 相关性分析,相关系数为 0.319($p<0.001$),表明两者存在相关关系,但相关性较低,说明成土母质是影响土壤硒含量的重要因素,但不是最主要的影响因素。这与戴慧敏等^[7]观点一致。

表 2 各地貌单元表层土壤中硒元素含量统计值

| Table 2 Statistics of selenium content in surface soil of geomorphic units | | | | | | |
|--|--------|------|----------------------|----------------------|------------------------|------|
| 地貌单元 | 土壤岩性 | 样品数 | 最小值/10 ⁻⁶ | 最大值/10 ⁻⁶ | 算术平均值/10 ⁻⁶ | 变异系数 |
| I ₂ | 含泥质砂砾石 | 281 | 0.12 | 0.46 | 0.2 | 0.22 |
| I ₃₋₂ | 泥砂砾质 | 1164 | 0.09 | 0.69 | 0.2 | 0.3 |
| I ₃₋₁ | 砂砾石 | 799 | 0.06 | 0.88 | 0.23 | 0.44 |
| Ⅲ ₂ | 粉质黏土 | 1256 | 0.06 | 0.63 | 0.28 | 0.31 |
| Ⅱ | — | 20 | 0.2 | 0.51 | 0.31 | 0.23 |
| Ⅲ ₁ | 粉质黏土 | 767 | 0.12 | 1.33 | 0.31 | 0.31 |

注:“—”表示土壤岩性不明。

表 3 研究区表层土土壤因子方差贡献率

| Table 3 Variance contribution rates of surface soil factor in study area | | | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 | F7 | F8 | F9 |
| 方差贡献率/% | 15.516 | 11.302 | 10.802 | 8.127 | 8.115 | 7.254 | 4.811 | 4.046 | 3.248 |
| 累积方差贡献率/% | 15.516 | 26.819 | 37.621 | 45.748 | 53.862 | 61.117 | 65.927 | 69.973 | 73.221 |

表 4 研究区表层土壤主因子载荷

| Table 4 Main factor load of surface soil in study area | | | |
|--|-------|-------|-------|
| 指标 | 成分 | | |
| | F1 | F2 | F3 |
| Ni | 0.85 | 0.17 | 0.11 |
| Cr | 0.83 | 0.26 | 0.09 |
| V | 0.81 | 0.10 | 0.09 |
| Sc | 0.81 | 0.16 | 0.27 |
| Cu | 0.80 | 0.35 | 0.02 |
| Ti | 0.66 | -0.06 | -0.06 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.66 | 0.07 | 0.32 |
| Na ₂ O | -0.65 | -0.40 | -0.19 |
| K ₂ O | -0.58 | -0.51 | 0.26 |
| Ge | 0.42 | -0.30 | 0.40 |
| C | 0.16 | 0.93 | 0.00 |
| Corg | 0.20 | 0.92 | 0.01 |
| N | 0.28 | 0.90 | -0.01 |
| S | 0.14 | 0.84 | 0.03 |
| Se | 0.34 | 0.46 | -0.05 |
| U | -0.04 | 0.42 | 0.39 |
| Rb | 0.01 | -0.13 | 0.85 |
| Tl | -0.24 | 0.02 | 0.81 |
| Al ₂ O ₃ | 0.26 | -0.09 | 0.76 |
| Ga | 0.42 | 0.11 | 0.74 |
| Be | 0.06 | 0.06 | 0.73 |
| Li | 0.43 | 0.24 | 0.65 |
| F | 0.35 | 0.24 | 0.58 |

2.2.3 其他理化指标影响

为了更深层次探讨表层土壤硒与其他元素的共生组合和成因联系,对表层土壤 54 种地球化学指标利用 SPSS 软件进行了因子分析和聚类分析。表层土壤主成分因子分析提取 9 个主因子(表 3),硒位于第二因子,贡献率为 11.3%。由因子载荷矩阵(表 4)可以看出,该因子以亲生物元素为主,组成元素为 C、Corg、N、S、Se、U,说明表层土壤硒含量形成与这些因素关系紧密,同时这些元素的相关系数为正值,说明对硒的富集起到积极作用。

对因子分析中第二因子中的元素进行聚类分析^[25],以进一步筛选出影响硒的最主要因素。由聚类分析图谱(图 3)可以看出,C、Corg、N 与 S 聚为一类,然后与 Se 聚为一类。其中,N 与 Corg、C 聚为一类主要是因为现代沉积中,有机质是 N 的主要来源^[26-27],因此认为 N 与 Se 聚为一类是有机质因素的影响。Se 属于亲硫元素,与 S 聚为一类是因为两者地球化学相似性。宋铁军^[28]指出研究区富硒土壤硒主要来源为完达山花岗岩,因此硒的富集不是生物循环的结果,是有机质对硒的吸附作用的结果。

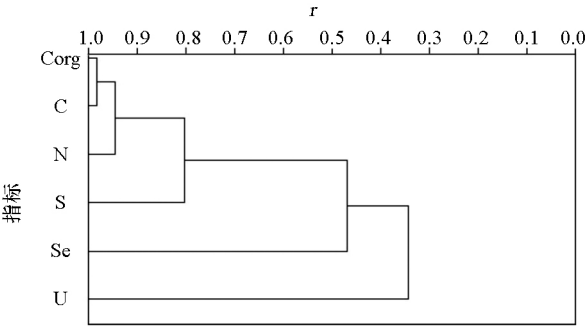


图3 研究区表层土壤 R 型聚类分析

Fig.3 R-type cluster analysis of surface soil in study area

表5 表层土壤硒与各理化指标的相关系数

| Table 5 Correlation coefficient between surface soli selenium content and soil physicochemical properties | | | | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|-------------------|------------------|--------------------------------|-------|--------------------------------|------------------|----------|
| 元素 | 有机质 | pH | MgO | Na ₂ O | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | Fe ₂ O ₃ | K ₂ O | Mn |
| 相关系数 | 0.425 ** | 0.039 ** | 0.124 ** | -0.508 ** | -0.013 | -0.175 ** | 0.017 | 0.297 ** | -0.512 ** | 0.205 ** |

注:“ ** ”为 ($p<0.01$)显著相关。

场地区^[24],对采集的根系土样品进行硒形态分析发现,强有机结合态硒、腐殖酸结合态硒和残渣态硒是根系土中的主要硒形态,易被作物吸收利用的水溶态硒、离子交换态硒、碳酸盐结合态硒占硒总含量的5%,该比例与其他地区研究结果^[27]一致。在八五二农场地区共采集各植物籽实 70 件,其中水稻 49 件、大豆 12 件、玉米 9 件。根据《GB/T 22499—2008 富硒稻谷》标准和《DB61 富硒食品与其相关产品硒含量标准》(陕西省地方标准),对研究区农作物硒含量特征进行评价,其中大豆富硒率达到 50%,水稻富硒率达到 44%,玉米尚未达到富硒作物水平。

土壤环境质量评价主要对重金属元素进行综合评价,采用最大限制原则,每个评价图斑的土壤环境地球化学综合等级等同于单指标划分出的环境等级最差的等级。本次评价选取 Cd、Hg、As、Pb、Cr、Cu、Ni、Zn 等重金属元素为评价单项指标,对每个重金属元素进行单因子指标评价,综合考虑土壤用地类型和土壤酸碱度,根据国家最新发布的《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》(GB 15618—2018)中给出的风险筛选值和管制值,进行单指标土壤环境地球化学等级划分。根据以上划分等级原则,将研究区环境质量划分为无风险、风险可控、风险较高3个等级,统计结果见表6,其中无风险占比99.81%,说明研究区整体土壤环境质量良好,是非常清洁的土地资源,0.19%的风险可控区零星分布,主要位于友谊县以及萝北县城附近。研究区富硒地区均为无风险区,是当地发展现代绿色富硒农业的物质基础。

对硒有机质、氧化物以及 pH 等理化指标进行 Person 相关性分析(表 5),Se 与有机质、Fe₂O₃、Mn、MgO 为显著正相关,表明土壤中有机质、铁、锰等氧化物对硒具有吸附作用,尤其是有机质具有明显的吸附作用。K₂O、NaO 与 Se 为显著负相关关系,且硒低值区与这两种元素高值区空间分布吻合。硒含量与 pH 具有显著相关性,这与前人研究结果^[7]一致,说明土壤中 Se 含量与 pH 值有关,但对硒含量影响不大。

2.3 土壤硒生物有效性分析及土壤环境质量评价

研究区硒有效态分析主要选取富硒的八五二农

表6 土壤环境质量化学综合等级统计

| Table 6 Comprehensive grade statistics of soil environmental quality | | | |
|--|-------|------|------|
| 等级 | 无风险区 | 风险可控 | 风险较高 |
| 点数 | 4279 | 6 | 0 |
| 比例/% | 99.81 | 0.19 | 0.00 |

3 结论

1) 三江平原西部表层土壤硒含量高于黑龙江省硒含量均值,达到 0.25×10^{-6} ,表层土壤硒含量多处于足硒等级($w(\text{Se})>0.3\times10^{-6}$),硒潜在不足或硒不足地区主要沿松花江河流两岸以及黑龙江古河道展布。富硒土壤主要分布于完达山至挠力河中间的冲积湖积低平原地区,同时在萝北县城北部冲湖积台地地区有小面积分布。

2) 因子分析、聚类分析等统计分析认为,影响三江平原土壤中硒含量最主要指标为土壤有机质,同时土壤中其他理化指标对土壤中硒含量也起到一定作用,铁、锰等氧化物对硒具有一定吸附作用,而 K₂O、NaO 对硒具有明显的贫化作用,土壤 pH 对硒含量影响作用较小。成土母质的硒含量与土壤中硒含量具有显著的低相关性,说明成土母质是影响表层土壤中硒含量的一个重要因素,但不是主要因素。

3) 表层土壤中硒的分布特征受地貌影响较大,其原因为不同地貌单元黏土含量不同。黏土对硒起到吸附作用,因此黏土含量较高的湖成地貌更利于硒的富集,而砂砾含量较高的松花江河流两岸以及黑龙

江古河道硒含量较低。

4) 富硒地区生物有效硒以水溶态硒、离子交换态硒、碳酸盐结合态硒为主,占硒总量的 5%,大豆富硒率达到 50%,水稻富硒率达到 44%。土壤环境质量综合评价显示三江平原地区多为无风险区,仅个别污染点零星分布,富硒地区均为无风险区,是一块珍贵的清洁土地资源,当地可依托富硒土地发展绿色富硒农业。

参考文献 (References):

- [1] 中国科学院地理研究所与化学地理研究室环境与地方病组. 我国土壤表层硒含量的地理分布及其与人畜硒反应病的关系[J]. 地理研究, 1984, 13(4): 39-47.
Environment and Endemic Diseases Section, Institute of Geography and Academia Sinica. Geographical distribution of selenium content in the top soils in China and its association with selenium-reponsive diseases in man and animal[J]. Geographical Research, 1984, 13(4): 39-47.
- [2] 谭见安, 朱文郁, 李日邦, 等. 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 A, Zhu W Y, Li R B, et al. The relationship between Keshan disease and environmental selenium and other life elements[J]. Chinese Journal of Endemiology, 1991, 10(5): 269-274.
- [3] 邵国璋, 关光伟. 黑龙江省土壤硒(Se)元素背景值与地方性疾病的关系[J]. 中国环境监测, 1993, 9(2): 61-62.
Shao G Z, Guan G W. Relation between Se background values and endemic diseases in Heilongjiang Province [J]. China Environmental Monitoring, 1993, 9(2): 61-62.
- [4] 吕瑶瑶, 余涛, 杨忠芳, 等. 大骨节病区硒元素分布的调控机理研究——以四川省阿坝地区为例[J]. 环境化学, 2012, 31(7): 935-944.
Lyu Y Y, Yu T, Yang Z F, et al. Study on the regulatory mechanism of selenium distribution in Kashin-beck disease areas: A case study of aba area, Sichuan Province [J]. Environmental Chemistry, 2012, 31(7): 935-944.
- [5] Ure A M, Berrow M L. The elemental composition of soils environmental chemistry (2nd Ed) [M]. London: The Royal Society of Chemistry, 1982: 94-204.
- [6] 王子健, 赵利华, 彭安. 低硒带土壤中硒的挥发过程研究[J]. 环境化学, 1989, 8(2): 7-11.
Wang Z J, Zhao L H, Peng A. Selenium evaporation from soils of Chinese Se-deficient belt [J]. Environmental Chemistry, 1989, 8(2): 7-11.
- [7] 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 soils selenium in the Northeast China Plain and its influencing factors[J]. Acta Pedologica Sinica, 2015, 52(6): 1356-1364.
- [8] 刘国栋, 崔玉军, 刘立芬, 等. 土地质量地球化学平价方法研究与应用: 以黑龙江省宏胜镇为例[J]. 现代地质, 2017, 31(1): 167-176.
Liu G D, Cui Y J, Li L F, et al. The study and application of land quality geochemical evaluation method: Illustrated by the case of Hongsheng town, Heilongjiang Province [J]. Geoscience, 2017, 31(1): 167-176.
- [9] 庞雅婕, 何锦, 牛雪, 等. 三江平原富 Se 地区地下水—土壤—农作物中 Se 富集规律及影响因素[J]. 生态环境学报, 2017, 26(7): 1137-1144.
Pang Y J, He J, Niu X, et al. Enrichment regularities and influence factors of selenium in groundwater-soil-crop seeds at a Se-rich area of the Three River Plain, China [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2017, 26(7): 1137-1144.
- [10] 王甘露, 朱笑青. 贵州省土壤硒的背景值研究[J]. 环境科学研究, 2003, 16(1): 23-26.
Wang G L, Zhu X Q. Background value of selenium in soil of Guizhou Province [J]. Environmental Science Research, 2003, 16(1): 23-26.
- [11] 王美珠, 章明奎. 我国部分高硒低硒土壤的成因初探[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 1996, 22(1): 89-93.
Wang M Z, Zhang M K. A discussion on the cause of high-Se and low-Se soil information[J]. Journal of Zhejiang University: Agriculture & Life Sciences, 1996, 22(1): 89-93.
- [12] 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.
- [13] Zhu J M, Wang N, Li S H, et al. Distribution and transport of selenium in Yutangba, China: Impact of human activities [J]. Sci. Total. Environ., 2008, 392(2-3): 252-261.
- [14] Sun G X, Meharg A A, Li G, et al. Distribution of soil selenium in China is potentially controlled by deposition and volatilization? [J]. Scientific Reports, 2016, 6: 20953-20961.
- [15] Blazina T, Sun Y, Voegelin A, et al. Terrestrial selenium distribution in China is potentially linked to monsoonal climate [J]. Nature Communications, 2014, 5(9): 1.
- [16] 魏明辉, 陈树清, 谷振飞, 等. 河北平原区表层土壤富硒成因初探[J]. 河北地质, 2012(4): 29-31.
Wei M H, Chen S Q, Gu Z F, et al. The causes of rich surface soil selenium in Hebei plain[J]. Hebei Geology, 2012(4): 29-31.
- [17] Uemsh C G, Subhas C G. Selenium deficiency in soils and crops and its impact on animal and human health[J]. Current Nutrition & Food Science, 2010, 6(4): 268-280.
- [18] Malisa E P. The Behaviour of selenium in geological processes[J]. Environmental Geochemistry and Health, 2001, 23(2): 137-158.
- [19] 夏学齐, 杨忠芳, 薛圆, 等. 黑龙江省松嫩平原南部土壤硒元素循环特征[J]. 现代地质, 2012, 26(5): 850-858.
Xia X Q, Yang Z F, Xue Y, et al. Geochemical circling of soil Se on the southern Song-Nen Plain, Heilongjiang Province [J]. Geoscience, 2012, 26(5): 850-858.
- [20] 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.

[21] 杨湘奎,杨文,张烽龙,等. 三江平原地下水资源潜力与生态环境地质调查评价[M]. 北京:地质出版社,2008;5–25.

Yang X K, Yang W, Zhang F L, et al. Investigation and assessment evaluation of groundwater resources potential and eco-environment geology in Sanjiang Plain [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008;5–25.

[22] 徐春青,傅有丰,徐忠宝,等. 黑龙江省土壤、饲料中硒的含量及其分布[J]. 东北农业大学学报, 1986,17(4):399–406.

Xu C Q, Fu Y F, Xu Z B, et al. Selenium content and distribution in soil and feed in Heilongjiang Province[J]. Journal of Northeast Agricultural College, 1986,17(4):399–406.

[23] 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;39.

Tan J A. The atlas of endemic disease and environment of the People's Republic of China[M]. Beijing:Science Press, 1989;39.

[24] 何锦,庞雅婕,牛雪,等. 三江平原重点富硒区 1:5 万土地质量地球化学调查评价[R]. 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心,2019.

He J, Pang Y J, Niu X, et al. Geochemical survey and evaluation of 1:50000 land quality in key selenium rich areas of Sanjiang Plain [R]. CHEGS,2019.

[25] 向云川,任天祥,牟绪赞,等. 化探资料应用技术要求[M]. 北京:地质出版社,2010;21–33.

Xiang Y C, Ren T X, Mou X Z, et al. Technical requirements for the application of geochemical data [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2010;21–33.

[26] 刘英俊,曹励明,李兆麟,等. 元素地球化学[M]. 北京:科学出版社,1984;30–40,434–441,458–470.

Liu Y J, Cao L M, Li Z L, et al. Elemental geochemistry [M]. Beijing:Science Press, 1984;30–40, 434–441, 458–470.

[27] 安永龙,黄勇,张艳玲,等. 北京房山南部地区富硒土壤生物有效性特征及来源[J]. 地质通报,2020,39(2/3):387–398.

An Y L, Huang Y, Zhang Y L, et al. Bioavailability and source analyses of Se-enriched soil in the south of Fangshan District, Beijing [J]. Geological Bulletin of China,2020,39(2/3):387–399.

[28] 宋铁军. 冻融影响下水稻种植区包气带中硒的环境地球化学行为研究——以三江平原蛤蟆通河流域典型农业区为例[D]. 长春:吉林大学,2019.

Song T J. The effect of freeze-thaw action on environmental geochemistry behavior of selenium in the unsaturated zone of rice planting area—A case study of the typical agricultural area in Hamatong River Basin of Sanjiang Plain[D]. Changchun:Jilin University,2019.

Distribution feature of soil selenium in west Sanjiang plain and its influencing factors

NIU Xue¹, HE Jin^{1,2}, PANG Ya-Jie¹, MING Yuan-Yuan¹
(1. Center for Hydrogeology and Environmental Geology, China Geological Survey, Baoding 071051, China; 2. Institute of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: In recent years, precious selenium-rich land has been discovered in Sanjiang plain, Heilongjiang Province; nevertheless, studies of the distribution and the controlling factors of soil selenium content have been rarely reported. Geochemical investigation of land quality in the western part of Sanjiang plain has revealed that the surface soil in this area is mainly sufficient, without selenium poisoning. The selenium-rich soil is mainly distributed in the alluvial lacustrine low plain area between the front of Wanda Mountain and the Naoli River, and secondarily distributed in the lacustrine denudation platform in the north of Luobei County. The selenium-deficient and selenium-potential-deficient areas mainly exist along the Songhua River and the ancient course of Luobei River in Luobei area. Based on the combination of statistical correlation analysis, factor analysis, clustering analysis and the selenium spatial distribution, the authors consider that the selenium content in the surface soil of Sanjiang plain is mainly affected by the adsorption of organic matter and clay minerals in the surface soil. Oxides of iron, manganese and other elements as well as soil pH have a relatively weaker effect on selenium enrichment. The comprehensive evaluation of soil environmental quality shows that Sanjiang plain area is mostly a risk-free area, which is a precious clean land resource. Green selenium-rich agriculture can be developed by relying on selenium-rich land.

Key words: Sanjiang plain; soil; selenium; distribution characteristics; influencing factors of content

(本文编辑:蒋实)