

内蒙古通辽市科尔沁区土壤硒地球化学特征

杨立国,马志超,王 鑫

内蒙古自治区地质调查院/内蒙古自治区岩浆活动成矿与找矿重点实验室,内蒙古 呼和浩特 010000

摘 要: 对通辽市科尔沁区土壤与农作物中硒元素地球化学特征及影响因素的系统研究显示,研究区土壤硒含量水平普遍较低,且空间分布不均,仅局部达到足硒水平。硒元素主要富集在表层土壤中,且与有机碳、 Al_2O_3 、 TFe_2O_3 、Mn、P 等呈正相关关系,表明土壤中有有机碳、黏土矿物、铁锰氧化物对硒元素地球化学行为有重要影响。研究区土壤呈碱性至强碱性,富硒农作物并不严格产出在富硒土壤中。因此,开发富硒农产品要综合考虑土壤硒含量、土壤有效态硒含量、农作物硒含量、土壤理化性质及地理景观等因素。

关键词: 土壤硒含量;地球化学特征;富硒农作物;通辽市科尔沁区;内蒙古

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SELENIUM IN THE SOIL OF HORQIN DISTRICT, INNER MONGOLIA

YANG Li-guo, MA Zhi-chao, WANG Xin

Inner Mongolia Institute of Geological Survey/Inner Mongolia Key Laboratory of Magmatic Mineralization and Ore-Prospecting, Hohhot 010000, China

Abstract: A systematic study on the geochemical characteristics and influencing factors of selenium (Se) in soil and crops of Horqin district, Tongliao City, shows that the Se content in the soil is generally low with uneven spatial distribution and only partially reaching the Se-sufficient level. Se is mainly concentrated in surface soil and positively correlated with organic carbon, Al_2O_3 , TFe_2O_3 , Mn and P, showing that the organic carbon, clay minerals and Fe-Mn oxides significantly affect the geochemical behavior of Se. The soil in the study area is alkaline to strongly alkaline. However the Se-rich crops are not strictly produced in Se-rich soil. Therefore, the development of Se-rich agricultural products should comprehensively consider such factors as Se content, available Se content in soil, Se content in crops, soil physicochemical property and geographical landscape.

Key words: Se content in soil; geochemical characteristics; Se-rich crop; Horqin district of Tongliao city; Inner Mongolia

0 引言

硒是人体和动物必需的微量元素。硒能提高人体

抗癌、抗衰老能力和动物机体免疫力^[1-2],对镉、砷、汞、银等重金属毒性具有明显的抵抗作用^[3]。缺硒会引起

收稿日期:2018-05-30;修回日期:2018-09-07。编辑:张哲。

基金项目:中国地质调查局基础调查项目“东北黑土地 1:25 万土地质量地球化学调查”“内蒙古通辽地区多目标地球化学调查”(12120113001500)。

作者简介:杨立国(1980—),男,工程师,从事土壤地球化学调查与研究工作,通信地址 内蒙古自治区呼和浩特市赛罕区世纪五路内蒙古自治区地质调查院,E-mail/516379047@qq.com

通信作者:马志超(1986—),男,工程师,从事土壤地球化学、矿床地球化学调查与研究工作,通信地址 内蒙古自治区呼和浩特市赛罕区世纪五路内蒙古自治区地质调查院。

人体和动物发生白肌病、克山病、大骨节病等多种疾病^[4-6], 人体需要的硒主要通过食物链从土壤中获取^[7], 因此, 土壤中硒元素的地球化学特征及其影响因素成为近年来热点研究课题. 在不同地区, 众多学者从环境地球化学和生物地球化学特征等方面对硒进行了多角度的研究^[8-12], 为富硒农产品开发提供了科学依据. 内蒙古自治区通辽市科尔沁区在富硒土壤调查开发方面处在起步阶段, 关于硒元素地球化学研究鲜见报道. 本研究利用通辽地区多目标区域地球化学调查成果, 分析表层和深层土壤样品、农作物样品的地球化学特征及其影响因素, 为该区划定足硒-富硒土壤和开发富硒农产品提供科学依据.

1 研究区概况

研究区通辽市科尔沁区, 位于西辽河冲积平原中部. 该区地势平坦, 土壤肥沃, 是以农业经济为主的地区, 素有“内蒙古粮仓”之称, 同时也是全国重要的商品粮基地及无公害蔬菜生产基地.

研究区成土母质主要为西辽河冲积物和风积物, 主要土壤类型有草甸土、栗钙土和风沙土(图 1). 区内主要农作物为玉米.

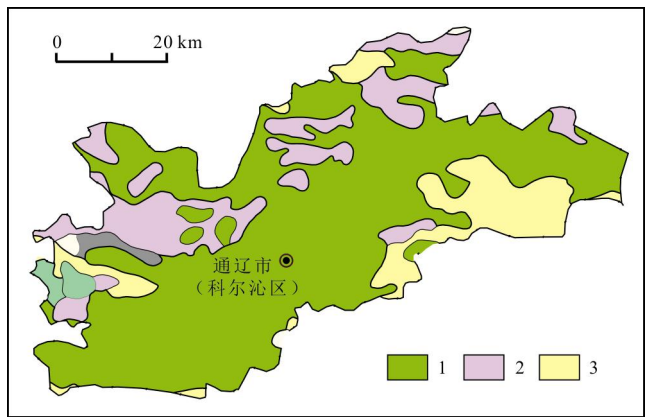


图 1 研究区土壤类型分布图

Fig. 1 Distribution of soil types in the study area

1—草甸土 (meadow soil); 2—栗钙土 (chestnut soil); 3—风沙土 (aeolian sandy soil)

2 样品采集与分析测试

野外调查采用双层网格化形式, 按照 1 个点/ km^2 和 1 个点/ 4 km^2 的密度分别采集表层土壤 (0~20 cm)

样品和深层土壤 (150~180 cm) 样品. 采样点一般布设于农用耕地、菜地、林地、岸坡等位置, 避开污染地段、垃圾土及新近堆积土、田坎等. 采样物质为采样单元内主要类型土壤. 样品经自然风干后, 过 20 目尼龙筛. 按照等分法, 将加工后的表层土壤与深层土壤分别按照 1 个点/ 4 km^2 和 1 个点/ 16 km^2 组合成分析样. 分析测试由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所完成. 所有样品分析测试 pH、Se、Mn、P、 C_{org} 、 Al_2O_3 、CaO、 TFe_2O_3 等 54 项指标. 样品测试的准确度、精密度和数据报出率等均符合《多目标区域地球化学调查规范 (1:250000)》(DZ/T0258-2014) 质量要求, 分析数据准确, 分析质量可靠.

3 土壤中 Se 的地球化学特征及土壤-农作物迁移转化

根据统计结果(表 1), 通辽市科尔沁区表层土壤 Se 含量介于 0.02×10^{-6} ~ 0.29×10^{-6} 之间, 平均值为 0.098×10^{-6} , 远低于全国土壤 Se 平均含量值 (0.29×10^{-6}). 按照《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T0295-2016) 的划分标准(表 2), 研究区表层土壤 Se 含量总体上处于硒不足和潜在不足状态, 占比 95.16%, 足硒土壤范围仅占 4.84%, 不存在富硒与硒中毒土壤. 足硒区零散分布在西辽河沿岸的清河镇、敖力布皋镇和大林镇东部(图 2).

表 1 主要土壤类型 Se 含量特征值对比
Table 1 Comparison of Se content eigenvalues in major soil types

分布区	样品数	平均值	中位数	标准离差	变化系数	范围	
表层	研究区	889	0.098	0.09	0.043	0.436	0.02~0.29
	草甸土	614	0.11	0.11	0.04	0.362	0.02~0.29
	栗钙土	143	0.081	0.07	0.04	0.494	0.02~0.19
	风沙土	107	0.064	0.05	0.036	0.57	0.02~0.24
深层	研究区	221	0.052	0.045	0.024	0.466	0.02~0.21
	草甸土	146	0.057	0.052	0.022	0.394	0.02~0.13
	栗钙土	43	0.041	0.036	0.029	0.699	0.02~0.21
	风沙土	25	0.043	0.039	0.016	0.38	0.02~0.08

含量单位: 10^{-6} (质量分数).

表 2 土壤硒丰缺划分界限表

Table 2 Abundance and deficiency demarcation values of Se content in soil

含量分级	表土总硒/ 10^{-6}	硒效应	研究区占比
缺乏	≤ 0.125	硒不足	73.45%
边缘	$0.125\sim 0.175$	潜在硒不足	21.71%
适量	$0.175\sim 0.4$	足硒	4.84%
高	$0.4\sim 3$	富硒	0
过剩	>3	硒中毒	0

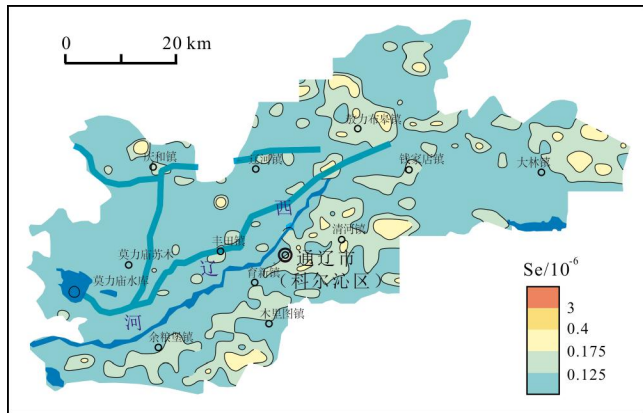


图 2 研究区土壤硒含量等值线图

Fig. 2 Contour map of Se content in the soil of study area

土壤中硒含量水平与土壤类型关系密切. 综合表 1 和图 3 可以看出,表层草甸土 Se 含量平均值高于研究区平均值,栗钙土和风沙土 Se 含量平均值低于研究区平均值,且三者 Se 含量水平表现为,草甸土>栗钙土>风沙土;深层 Se 含量特征与表层类似,草甸土中 Se 含量平均值高于研究区平均值,栗钙土和风沙土 Se 含量水平相近,低于研究区平均值.

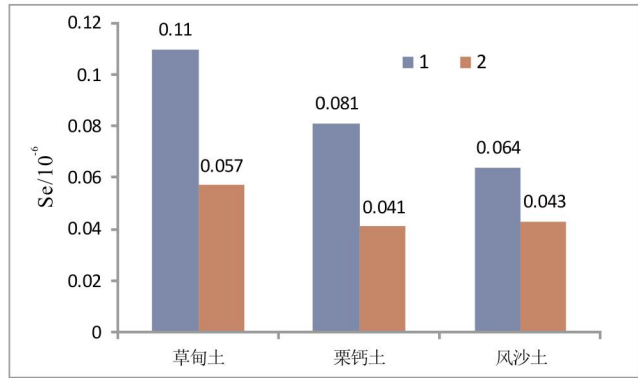


图 3 表层与深层土壤 Se 含量均值柱状图

Fig. 3 Histogram of average Se content in surface and deep soil
1—表层土壤(surface soil); 2—深层土壤(deep soil)

土壤类型不同,表层土壤 Se 富集贫化趋势也不同(图 4). 富集系数(表层土壤 Se 含量与深层土壤 Se 含量比值)最高的是栗钙土,为 1.98;其次是草甸土,富集系数 1.93;风沙土富集系数 1.49. 土壤表层硒相对于深层硒明显富集,达到强烈富集程度^[13],表明表层土壤中 Se 元素在继承深层 Se 含量的同时,又受到生物、气候、人类活动等其他因素的影响,使得表层 Se 富集趋势更加强烈^[14].

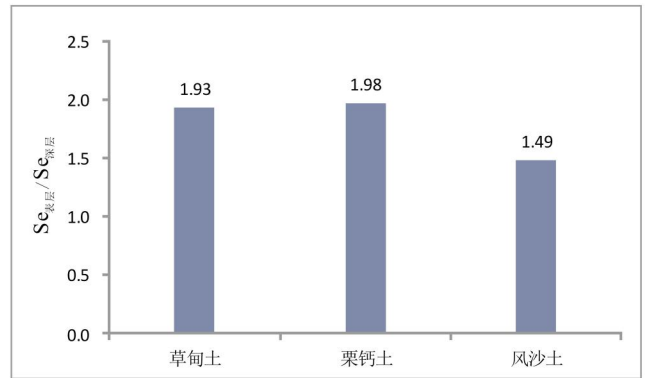


图 4 不同土壤类型 Se 表层/Se 深层比值图

Fig. 4 Ratios of Se content in different types of surface and deep soil

化学行为则可能与如下两种因素有关: 其一是土壤中的腐殖质类有机质, Se 能够与土壤中的腐殖酸形成稳定的络合物而存在于土壤上部, 造成表层土壤 Se 含量较深层高; 其二是在本研究区半干旱气候、通气良好的条件下, Se 以亚硒酸盐, 甚至硒酸盐的形式存在于土壤中, 有利于 Se 向土壤表层迁移, 从而使 Se 随着水分的蒸发而富积于土壤表层^[15].

研究区足硒区($>0.175\times 10^{-6}$)土壤硒平均含量达到 0.192×10^{-6} (表 3), 是研究区平均值的 1.96 倍. 且硒含量稳定, 变化范围小. 足硒区土壤硒含量平均值略高于东北平原表层土壤 Se 含量平均值^[13].

表 3 足硒区土壤 Se 含量参数统计表

Table 3 Parameters of Se content in Se-sufficient soil area

平均含量	标准差	变异系数	中位数	变化范围
0.192	0.0203	0.106	0.189	0.164~0.238

含量单位: 10^{-6} (质量分数).

在足硒区内采集玉米样品及对应根系土样品各 45 件进行分析. 结果表明, 玉米样品全硒含量与对应

的根系土样品全硒含量相关性不明显(图5)。根据粮食类富硒划分标准 0.04×10^{-6} (GB/T22499-2008), 研究区内有 15 件玉米样品达到富硒标准, 占比 33.3%。由相关关系图可以看出, 当根系土全硒含量大于 0.14×10^{-6} 时, 开始大量出现富硒玉米样品。这表明, 富硒农作物并不严格产出在富硒土壤环境中 (DZ/T0295-2016 标准将大于 0.4×10^{-6} 视为富硒土壤)。一般认为, 可供植物吸收利用的是土壤硒活性较高的水溶态硒和离子交换态硒, 而不是全量硒^[16]。研究区土壤呈碱性、氧化环境, 硒元素多以硒酸盐形态存在, 易于溶解在土壤中被植物吸收利用^[17-18]。因此, 对于通辽科尔沁区开发富硒农产品, 除了参考国家标准划定足硒-富硒土壤以外, 还应该综合考虑非富硒土壤区农作物富硒调查结果及土壤理化性质、土壤硒有效态水平等, 提出适合研究区的富硒土壤划分标准。

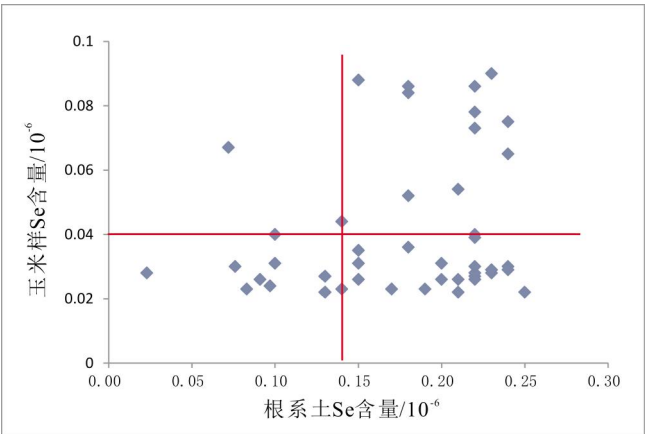


图5 玉米样品硒含量与相应根系土样品硒含量相关关系图

Fig. 5 Correlation between Se content in corn samples and corresponding root soil samples

4 表层土壤 Se 含量影响因素

成土母质是形成土壤的物质基础和大多植物矿物质养分元素的最初来源, 成土母质元素含量是决定土壤元素含量的重要因素。由于成土母质成因及其化学组成的差别, 土壤中部分元素含量存在显著的差异性^[18]。研究区成土母质以西辽河冲积物和第四系风沙土为主, 属低硒成土母质类型^[14](表4), 造成研究区整体硒含量水平处于偏低状态。然而, 不同土壤类型间硒含量特征又不尽相同, 这主要与不同类型土壤化学组成差异有关。研究表明, 铁锰铝等氧化物含量对 Se 有显

著影响。由表5可以看出, 在 TFe_2O_3 、 Al_2O_3 、 CaO 、 Mn 、 P 较高的草甸土中 Se 含量同样较高, 在 TFe_2O_3 、 Al_2O_3 、 CaO 、 Mn 、 P 较低的风沙土中 Se 含量同样较低。这主要是由于土壤中黏土矿物、铁锰氧化物及磷灰石等对 Se 具有较强的吸附作用造成的^[19]。

表4 不同土壤成因类型 Se 含量特征值

Table 4 Eigenvalues of Se content in different genetic types of soil

土壤成因类型	平均值	标准差	变化范围	东北地区 硒平均含量	全国硒背景值
冲积物	0.115	0.038	0.04~0.29	0.184	0.29
风积物	0.064	0.029	0.02~0.24		

含量单位: 10^{-6} (质量分数)。

表5 主要土壤类型中 Fe_2O_3 、 Mn 、 Al 、 Ca 、 P 、 Se 含量平均值

Table 5 Average contents of Fe_2O_3 , Mn , Al , Ca , P and Se in major soil types

土壤类型	$\text{TFe}_2\text{O}_3/\%$	$\text{Al}_2\text{O}_3/\%$	$\text{CaO}/\%$	$\text{Mn}/10^{-6}$	$\text{P}/10^{-6}$	$\text{Se}/10^{-6}$
草甸土	2.59	10.2	2.07	413	461	0.11
栗钙土	1.48	8.1	1.09	253	282	0.081
风沙土	1.19	7.1	0.95	208	236	0.064

有研究表明, 土壤腐植酸结合态硒高达 60%~90%^[20]。因此土壤有机质含量对 Se 含量水平有重要影响^[21]。对研究区表层土壤硒与 C_{org} 相关关系研究也证实了这一点。由图6可以看出, 表层土壤中 Se 含量与 C_{org} 含量呈显著正相关关系。表明硒在土壤中的地球化学行为受控于土壤中有机质含量。从空间分布来看, 有机质高含量区与 Se 高含量区空间分布高度一致, 均分布在西辽河沿岸。由于有机质对 Se 具有较强的吸附能力^[22], 这种吸附作用对西辽河沿岸足硒土壤的形成起了关键作用。研究区 Se 高含量区属于灰色草甸土亚类, 从组成上看, 腐殖质以富里酸为主, 胡敏酸为辅, 富/胡比较高^[23], 有利于对 Se 的吸附^[20]。但过高的有机质在增加土壤 Se 含量同时, 也抑制了有效硒的含量, 不利于植物吸收利用^[19]。

土壤酸碱度是土壤的重要理化指标之一, 其强弱对土壤中众多元素的形态、分布有重要影响。研究区土壤呈碱性-强碱性, pH 值主要介于 6.5~9.5 之间。从 pH 与 Se 相关关系图可以看出, 研究区内土壤中 Se 含量与 pH 值相关性不明显(图7)。这与戴慧敏等人

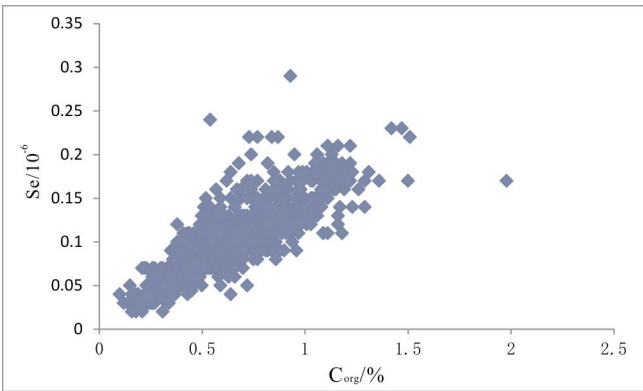


图 6 研究区土壤中 Se 与 C_{org} 相关关系图

Fig. 6 The correlation between Se and C_{org} contents in the soil of the study area

关于东北平原 Se 与 pH 值相关性研究相一致^[13]. 研究区高 Se 含量值($>0.175 \times 10^{-6}$)对应的 pH 值主要介于 8~9 之间. 这说明,高含量硒更倾向于富集在碱性—强碱性土壤中. 在 pH 值介于 6.5~8 的中性和碱性土壤中,Se 含量很低,且变化范围不大,土壤 Se 基本不受 pH 值制约,这与杨忠芳等人的研究结果一致^[19];而当 $pH > 9$ 时,基本不出现高 Se 值,这可能与极强碱性条件下铁锰氧化物、有机质等吸附活性受到抑制(图 8),导致硒元素被吸附量下降有关.

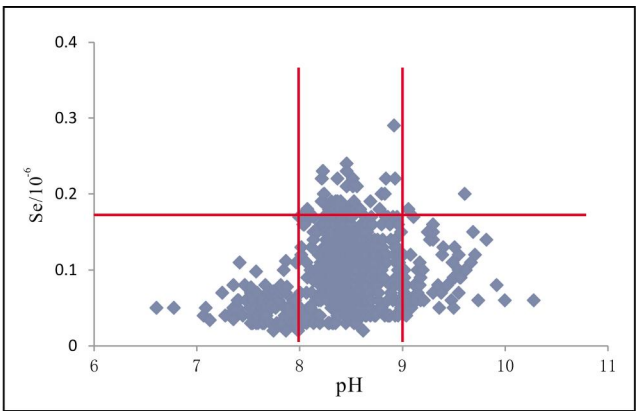


图 7 土壤中 pH 值与 Se 含量相关关系图

Fig. 7 The correlation between pH value and Se content in the soil of the study area

5 结论

1) 通辽市科尔沁区表层土壤 Se 含量平均值为 0.098×10^{-6} , 远低于全国土壤 Se 含量平均值. 土壤中 Se 含量总体上处于硒不足和潜在不足状态,足硒土壤范围仅占 4.84%.

2) 表层土壤硒含量水平与土壤类型关系密切,表现为草甸土>栗钙土>风沙土. 土壤类型不同,表层土壤 Se 富集程度也不同,表现为栗钙土>草甸土>风沙

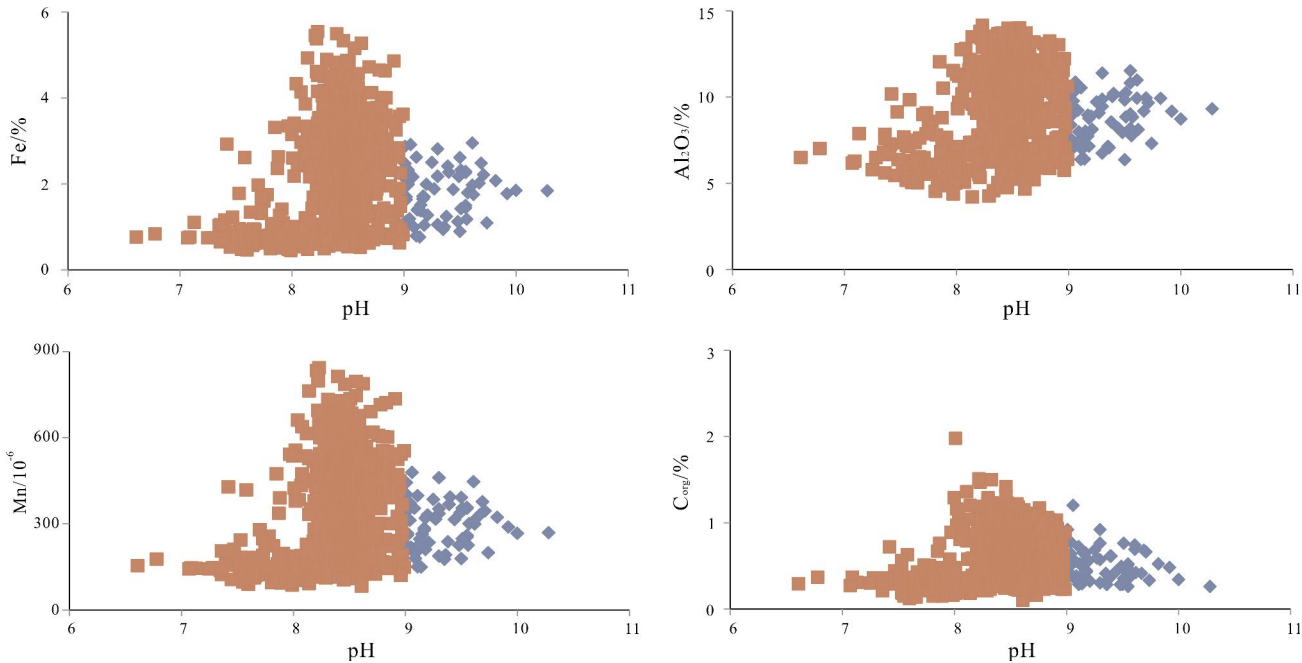


图 8 土壤中 pH 值与 TFe_2O_3 、 Al_2O_3 、Mn、 C_{org} 含量相关关系图

Fig. 8 The correlation between pH value and contents of TFe_2O_3 , Al_2O_3 , Mn and C_{org} in the soil of the study area

土,表层土壤 Se 含量明显高于深层土壤,呈现表聚性特征。西辽河沿岸局部草甸土与栗钙土达到足硒水平,具备较好开发潜力。

3)表层土壤 Se 含量水平受成土母质、化学组成、pH 值等多种因素影响。研究区低硒成土母质特性是导致土壤硒含量普遍偏低的主要原因。 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 C_{org} 、Mn 与 Se 呈现良好的正相关关系。pH 值与 Se 含量相关性不显著,高 Se 含量值对应的 pH 值主要介于 8~9 之间。

4)富硒农作物并不严格产出在富硒土壤环境中。土壤全硒含量低的地区,农作物硒含量也可能达到富硒标准。因此在富硒农产品开发过程中,应特别重视非富硒土壤区农作物富硒调查情况,不必严格按照 0.4×10^{-6} 标准统一圈定富硒土壤,要兼顾考虑农作物硒含量、地理景观特征及土壤理化性、土壤有效态硒水平等,提出适合研究区情况的富硒土壤划分标准。

参考文献:

- [1] Kolachi N F, Kazi T G, Wadhwa S K, et al. Evaluation of selenium in biological sample of arsenic exposed female skin lesions and skin cancer patients with related to non-exposed skin cancer patients [J]. Sci Total Environ, 2011, 409(17): 3092–3097.
- [2] Ben A I, Troudi A, Garoui E, et al. Protective effects of selenium on methimazole nephrotoxicity in adult rats and their offspring [J]. Exp Toxicol Pathol, 2011, 63(6): 553–561.
- [3] Jarzynska G, Falandysz J. Selenium and 17 other largely essential and toxic metals in muscle and organ meats of Red Deer (*Cervus elaphus*) — Consequences to human health [J]. Environ Int, 2011, 37(5): 882–888.
- [4] 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.
- [5] 何锦,安永会,贾小丰,等. 阿坝州饮水中硒和氟元素与大骨节病关系研究 [J]. 地下水, 2012, 34(2): 9–10.
- [6] 刘晓庆,王斌,雷艳霞. 硒、碘、氟与大骨节病关系的研究进展 [J]. 国外医学: 医学地理分册, 2012, 33(2): 83–85.
- [7] 杨志强,李杰,郑国东,等. 广西北部湾沿海经济区富硒土壤地球化学特征 [J]. 物探与化探, 2014, 38(6): 1260–1264, 1269.
- [8] 马强,姬丙艳,张亚峰,等. 青海东部土壤及生物体中硒的地球化学特征 [J]. 地球科学进展, 2012, 27(10): 1149–1152.
- [9] 高宗军,崔浩浩,庞绪贵,等. 山东省泰莱盆地及章丘市土壤中硒的成因 [J]. 安徽农业科学, 2011, 39(31): 19133–19135, 19138.
- [10] 文帮勇,张涛亮,李西周,等. 江西龙南地区富硒土壤资源开发可行性研究 [J]. 中国地质, 2014, 41(1): 256–263.
- [11] 张弛,吴永尧,彭振坤,等. 植物硒的研究进展 [J]. 湖北民族学院学报: 自然科学版, 2002, 20(3): 58–62.
- [12] 廖启林,华明,冯金顺,等. 苏南局部富硒土壤及其天然富硒茶叶初步研究 [J]. 中国地质, 2007, 34(2): 347–353.
- [13] 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.
- [14] 王美珠,章明奎. 我国部分高硒低硒土壤的成因探讨 [J]. 浙江农业大学学报, 1996, 22(1): 89–93.
- [15] 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.
- [16] 龚河阳,李月芬,汤洁,等. 吉林省西部土壤硒含量、形态分布及影响因素 [J]. 吉林农业大学学报, 2015, 37(2): 177–184, 190.
- [17] 付强,王冬艳,李月芬,等. 吉林中部黑土区土壤硒元素土壤地球化学研究 [J]. 世界地质, 2014, 33(1): 102–111.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 张丽珊,朱岩,可夫,等. 东北大骨节病区主要土壤腐植酸硒与大骨节病关系的研究 [J]. 应用生态学报, 1990, 1(4): 333–337.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 内蒙古自治区土壤普查办公室,内蒙古自治区土壤肥料工作站. 内蒙古土壤 [M]. 北京: 科学出版社, 1994: 420–421.