

黑龙江省绥棱县土壤硒空间分布特征及其与土壤性质的关系

姜 侠^{1,2}, 张 立^{2,3}, 崔玉军^{2,3}, 李 瑛^{2,3}

1. 黑龙江省地质矿产局, 黑龙江 哈尔滨 150036; 2. 黑龙江省黑土地水土资源研究重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150036; 3. 黑龙江省自然资源调查院, 黑龙江 哈尔滨 150036

摘 要: 基于黑龙江省 1:5 万富硒土地专项调查取得的 7701 个高精度土壤数据, 分析了硒、有机碳(TOC)、pH 等理化指标, 运用统计分析、相关分析研究了绥棱县农田土壤硒空间分布特征, 并探讨硒与土壤性质的关系。结果表明, 土壤硒含量在 0.05×10^{-6} ~ 0.87×10^{-6} 之间, 平均硒含量 0.27×10^{-6} ; 农田土壤以足硒为主, 足硒土壤占比 88.00%, 富硒土壤占比 3.90%, 硒潜在不足土壤占比 7.24%, 缺硒土壤占比 0.86%。不同土壤类型硒平均含量由高到低依次为黑土>草甸土>暗棕壤>白浆土>风沙土。相关分析结果表明, TOC 是影响土壤 Se 含量的主要因素, pH 对土壤 Se 含量影响不明显。

关键词: 土壤硒; 空间分布; 土壤性质; 相关分析; 绥棱县; 黑龙江省

开放科学标志码(OSID):



DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2020.06.014

SPATIAL DISTRIBUTION OF SOIL SELENIUM AND ITS RELATION WITH SOIL PROPERTIES IN SUILING COUNTY, HEILONGJIANG PROVINCE

JIANG Xia^{1,2}, ZHANG Li^{2,3}, CUI Yu-jun^{2,3}, LI Ying^{2,3}

1. Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Harbin 150036, China; 2. Heilongjiang Key Laboratory of Black Soil and Water Resources Research, Harbin 150036, China; 3. Heilongjiang Institute of Natural Resources Survey, Harbin 150036, China

Abstract: Based on the 7 701 high-precision soil data obtained from 1:50 000 special survey of the Se-rich land in Heilongjiang Province, the paper analyzes the physiochemical indexes such as Se, TOC and pH, and uses statistical analysis and correlation analysis to study the spatial distribution characteristics of Se in farmland soil of Suiling County and discuss the relation between soil property and Se. The results show that the soil Se content is 0.05×10^{-6} – 0.87×10^{-6} , averagely 0.27×10^{-6} . The farmland soil is Se-sufficient dominated, accounting for 88.00%, with Se-rich soil 3.90%, potential Se-deficiency soil 7.24% and Se-deficient soil 0.86%. The average Se content in different soil types from high to low is as follows: black soil, meadow soil, dark brown soil, albic soil and aeolian sandy soil. The correlation analysis results indicate that TOC is the major factor affecting soil Se content, while the influence of pH is not so obvious.

Key words: soil selenium; spatial distribution; soil property; correlation analysis; Suiling County; Heilongjiang Province

收稿日期:2020-08-19;修回日期:2020-09-04. 编辑:张哲.

基金项目:黑龙江省地质勘查专项“黑龙江省两大平原示范区综合改革试验区寒地富硒土地环境调查评价”项目(KCZX-YCCZ-2015031).

作者简介:姜侠(1969—),女,硕士,高级工程师,主要从事水文地质调查研究工作,通信地址 黑龙江省哈尔滨市香坊区中山路 65 号,E-mail//479946109@qq.com

通信作者:张立(1981—),男,硕士,高级工程师,主要从事生态地球化学调查研究工作,通信地址 黑龙江省哈尔滨市香坊区新乡里街 9 号,E-mail//11741785@qq.com

0 引言

硒(Se)是生态环境中重要的微量元素,也是人体必需的一种微量元素. 尽管硒在人体内含量非常少,但却在人体机能中发挥着极其重要的作用,硒缺乏很容易导致人体免疫能力下降,威胁人体健康^[1-2]. 研究表明,硒有抗氧化、抗衰老、增强免疫力等功效^[3-4]. 人体硒来源的途径主要依靠食物(农产品)摄取,而农产品硒来源依赖于土壤. 因此,人体摄取硒的多少与当地土壤硒含量有直接的关系. 我国国土面积72%的地区缺硒^[5-8],黑龙江省历史上曾发生过克山病和大骨节病^[9-10],被认为是我国严重缺硒的地区. 基于黑龙江省以往土壤硒的调查现状,查明局部地区富硒土地资源的分布状况、促进富硒农产品开发,对保障土壤中硒供应能满足居民日常膳食需求,增强体质具有重要的意义.

随着黑龙江省土地质量地球化学调查工作的推进,越来越多富含对人体有益微量元素的土地资源被发现,以近年来发现的大面积富硒土地资源最为典型. 2012年,黑龙江省农业地质调查在松嫩平原和三江平原发现了两条富硒土壤带^[11]. 2015年,由原黑龙江省国土资源厅组织实施开展了1:5万富硒土地专项调查工作,圈定富硒土地面积约 $20 \times 10^4 \text{ hm}^2$,工作区覆盖绥棱县主要农田分布区. 富硒土地资源调查、天然富硒农产品开发已成为地质工作服务于地方脱贫攻坚、生态文明建设的重要切入点,成为提高农业经济效益、促进农村经济发展的重要举措^[12].

近年来,关于黑龙江土壤硒的研究较多,但大多都基于小比例尺或少量样本对区域性土壤硒进行评价. 如戴慧敏等^[13]利用1:25万多目标区域地球化学调查数据对松辽平原中南部土壤硒调查研究发现,表层土壤硒以足硒为主,深层土壤以硒潜在不足为主;迟凤琴等^[14]基于400件样品对黑龙江省土壤硒进行研究,认为总体处于缺硒及潜在缺硒的状况;张哲寰等^[15]通过对黑龙江省讷河市1:25万土地质量地球化学调查取得的土壤硒地球化学数据进行研究,得出讷河市土壤硒含量以足硒为主,不同土壤类型、不同土地利用类型土壤硒含量有一定差异的结论. 鲜有关于中大比例尺土壤硒研究报道. 笔者基于近期开展的绥棱县1:5万富硒土地资源调查取得的大量高精度地球化学数据,以农田土壤为主要研究对象,研究土壤硒的空间分布

特征,并探讨土壤性质对硒的影响作用,以期为提升当地人均硒摄入量、发展富硒产业提供科学依据.

1 研究区概况

研究区位于黑龙江省绥棱县主要农田分布区($126^{\circ}59' \sim 127^{\circ}46' \text{ E}$, $47^{\circ}02' \sim 47^{\circ}39' \text{ N}$),地处黑龙江省中部,小兴安岭南端西麓,绥化市东北部. 北与北安市相连,南与绥化市北林区接壤,西与海伦市连接,东临伊春市和庆安县. 研究区地势北高南低,主要为冲积平原,土壤类型有草甸土、黑土、暗棕壤、白浆土和风沙土,以草甸土和黑土分布面积最广. 境内诺敏河、泥尔根河和克音河均为呼兰河水系,三大支流贯穿南北,新曙光水库、向阳水库、东方红水库、平原水库分布其中. 绥棱县是滨北寒地黑土中心地带,耕地面积 $10.88 \times 10^4 \text{ hm}^2$,是全国重要的商品粮基地,主要盛产水稻、大豆、玉米、西瓜、香瓜、甜菜等粮食作物和经济作物.

2 样品采集与分析测试

土壤样品采样方法参照DZ/T 0295—2016《土地质量地球化学评价规范》执行. 按照网格化的方法进行样点布设,采样密度为4个点/ km^2 ,采样深度为0~20 cm. 以GPS定点,子样点位距中心点位距离约20 m,由3~5个等量子样混合组成一件样品,样品重量约1 kg. 共采集土壤样品7701件. 土壤样品经自然风干后,破碎、过0.084 mm(20目)尼龙筛,混合均匀后称重500 g装入牛皮纸袋备用.

样品分析测试工作由黑龙江省地质矿产实验测试研究中心完成,所有样品进行单样分析. 样品分析方法与质量要求依据DD2005—03《生态地球化学评价样品分析技术要求(试行)》执行. 土壤全硒分析采用原子荧光光谱法(AFS),有机碳(TOC)分析采用容量法,pH分析采用玻璃电极法. 分析过程中插入国家土壤I级标准物质GSS-1~GSS-24进行质量监控,分析方法准确度、精密度合格率达98%以上,检出限、报出率均满足规范要求.

数据处理过程中,描述性统计分析、相关性分析、散点图的绘制运用Microsoft Excel 2016和SPSS 19软件完成,土壤硒空间分布图采用ArcGIS 10.2软件完成.

3 结果与讨论

3.1 土壤硒含量特征

分析结果显示,研究区土壤硒含量范围为 0.05×10^{-6} ~ 0.87×10^{-6} , 平均含量为 0.27×10^{-6} , 变异系数 25.93%, 分布较均匀. 对原始分析数据采用三倍标准差法剔除离群值, 直至符合正态分布, 得到研究区土壤硒元素背景值 0.26×10^{-6} . 与其他地区相比, 略低于中国土壤硒背景值 0.29×10^{-6} [16-18], 高于东北平原土壤硒平均值 0.184×10^{-6} [13]、黑龙江省土壤硒平均值 0.147×10^{-6} [14] 和松嫩平原南部土壤硒背景值 0.204×10^{-6} [19]. 根据中国地质调查局最新发布的 DD 2019-10 《天然富硒土地划定与标识(试行)》中的界定, 将 $pH \leq 7.5$ 、 $Se \geq 0.4 \times 10^{-6}$ 或 $pH > 7.5$ 、 $Se \geq 0.3 \times 10^{-6}$ 划分为富硒土地, 其他硒的等级评价参照谭见安[1]对我国硒元素生态景观界限值的划分, 评价结果见表 1. 结果显示, 绥棱县农田土壤以足硒土壤为主(占比 88.00%), 达到富硒土壤等级的土地面积占比 3.90%, 硒潜在不足的土壤占比 7.24%, 几乎不存在缺硒土壤(占比 0.86%).

表 1 土壤硒含量划分界限值及统计结果

Table 1 Limit values and statistical results of soil Se content

硒效应	硒含量范围/ 10^{-6}		面积比例/%
	$pH \leq 7.5$	$pH > 7.5$	
缺硒	<0.125	<0.125	0.86
硒潜在不足	0.125~0.175	0.125~0.175	7.24
足硒	0.175~0.4	0.175~0.3	88.00
富硒	≥ 0.4	≥ 0.3	3.90

研究区 5 种土壤类型中, 以草甸土分布面积最大, 约占研究区面积的 55.01%, 其次为黑土(占比 38.07%), 暗棕壤(占比 3.91%)和白浆土(占比 2.80%) 分布面积较小, 风沙土(占比 0.21%) 仅有一处小面积分布. 对各土壤类型硒含量特征进行了统计对比(表 2), 结果显示, 不同土壤类型硒含量略有所不同, 硒含量平均值由高到低依次为: 黑土>草甸土>暗棕壤>白浆土>风沙土. 硒元素在迁移过程中易被黏土矿物或有机碳吸附, 沉积在质地黏重、有机碳含量高的黑土中[20]. 研究区黑土和草甸土绝大部分由冲积、洪积物的成土母质发育而来, 草甸土自然植被被破坏, 土壤有机质分解速率较黑土快, 有机质含量有所降低, 对硒元素的吸附作用较弱于黑土. 风沙土黏粒和有机质含量

表 2 不同土壤类型硒含量特征

Table 2 Characteristics of Se content in different soil types

土壤类型	样本数/件	范围/ 10^{-6}	平均值/ 10^{-6}	标准差/ 10^{-6}	变异系数/%
黑土	2932	0.11~0.61	0.28	0.062	22.23
草甸土	4236	0.05~0.87	0.26	0.071	26.75
白浆土	216	0.10~0.40	0.22	0.050	23.23
暗棕壤	301	0.10~0.58	0.24	0.070	29.66
风沙土	16	0.12~0.31	0.21	0.056	26.21

较低, 导致了其土壤含硒量偏低. 从变异程度来看, 各土壤类型硒含量均为中等变异, 存在局部富集的可能.

3.2 土壤硒空间分布特征

以地块为评价单元, 利用 ArcGIS 软件对绥棱县农田土壤硒含量进行空间插值, 以直观反映出研究区土壤硒的空间分布特征(图 1). 从图 1 可以看出, 研究区土壤硒空间分布总体表现为西高东低, 绝大部分为足硒土壤分布, 达到富硒等级的土壤呈条状分布在绥棱县与海伦市接壤的克音河流域, 北部双岔河流域部分地区也达到富硒土壤的等级, 南部诺敏河下游上集镇

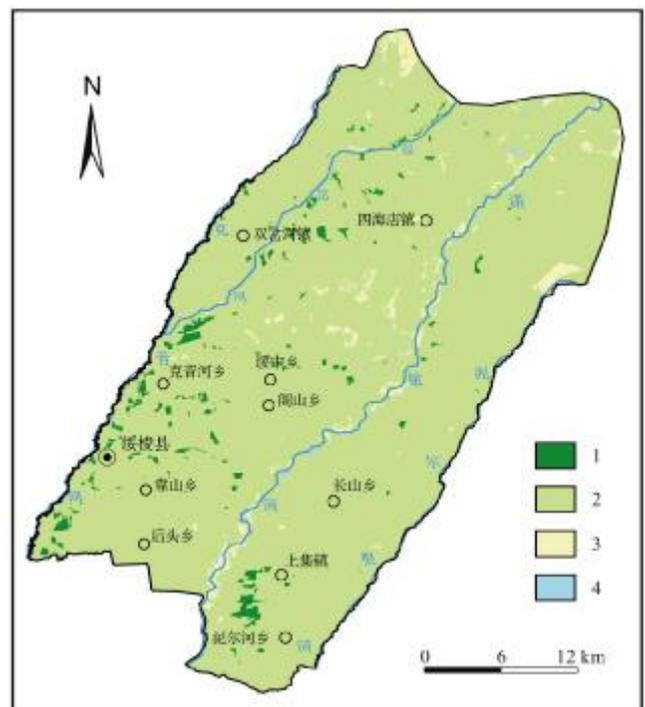


图 1 绥棱县农田土壤中硒的空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of Se in the farmland of Suiling County 1—富硒 (Se-rich); 2—足硒 (Se-sufficient); 3—硒潜在不足 (potential Se-deficient); 4—缺硒 (Se-deficient)

地区也有较大面积富硒土壤区. 硒潜在不足和缺硒的地区分布面积较小, 呈近南北向条带状分布于诺敏河流域低漫滩. 结合研究区水系分布与河流走向, 土壤硒高含量区分布与河流分布较一致, 在河流域中、下游高漫滩, Se 元素易形成富集, 表明河流的冲积、灌溉作用对 Se 的累积有重要的影响.

3.3 土壤性质对农田土壤硒含量的影响

Se 元素是典型的亲生物元素, 易在富含有机质的土壤中累积. 研究区土壤有机碳变化范围为 0.07%~17.59%, 平均含量 3.12%, 变异系数 41.99%, 含量差异较大, 空间分布不均匀. 以土壤类型为统计单元, 对研究区土壤 Se 与 TOC 做散点图 (图 2), 5 种土壤类型硒含量与 TOC 有显著的正相关关系 ($p < 0.01$), 这说明 Se 元素易与土壤中的腐殖质结合, 在土壤中迅速固定下来形成累积. 从相关系数来看, 风沙土和暗棕壤与 TOC 的相关系数最高, 因风沙土样本很少, 分析统计结果仅具有参考意义. 暗棕壤中腐殖质较多, 表明暗棕壤中 TOC 对 Se 元素的吸附作用更明显. 从 TOC 含量变化对 Se 含量的影响来看, 当 TOC 含量在 0~6% 时, 随着 TOC 含量的增加, 各土壤类型中 Se 含量显著增高; 当 TOC 含量大于 6% 时, 随着 TOC 含量的增加, 草甸土中 Se 含量增加幅度较小, 暗棕壤、白浆土和黑土虽然 TOC 含量大于 6% 的样本较少, 但也有 Se 含量增加幅度变小的趋势. 表明在土壤 TOC 含量较低阶段, 土壤 TOC 对土壤 Se 含量的控制较高, 而在土壤 TOC 含量较高时, 对土壤 Se 含量影响不大. 这与研究区相邻的海伦市耕地土壤 TOC 对 Se 的影响研究结果相同^[11].

研究区土壤 pH 范围为 4.52~8.85, 平均值为 5.92, 变异系数 8.45%, 整体呈现为酸性土壤, 空间分布较均匀. 同样以土壤类型为统计单元, 对研究区土壤 Se 含量与 pH 进行相关性分析 (图 3). 结果显示, 仅暗棕壤和风沙土与土壤 Se 有一定的负相关关系, 其他土壤类型 pH 与土壤 Se 含量无显著相关关系, 如白浆土和黑土. 以往大部分研究表明, 酸性、中性土壤中的 Se 主要是以 SeO_3^{2-} 的形式存在, 碱性土壤中的 Se 主要以 SeO_4^{2-} 的形式存在, SeO_4^{2-} 比 SeO_3^{2-} 更易被植物吸收^[21-22], 因此, 碱性土壤中 Se 的含量会降低. 由于研究区土壤 pH 较低, 绝大部分为酸性土壤, 土壤中 Se 大部分以

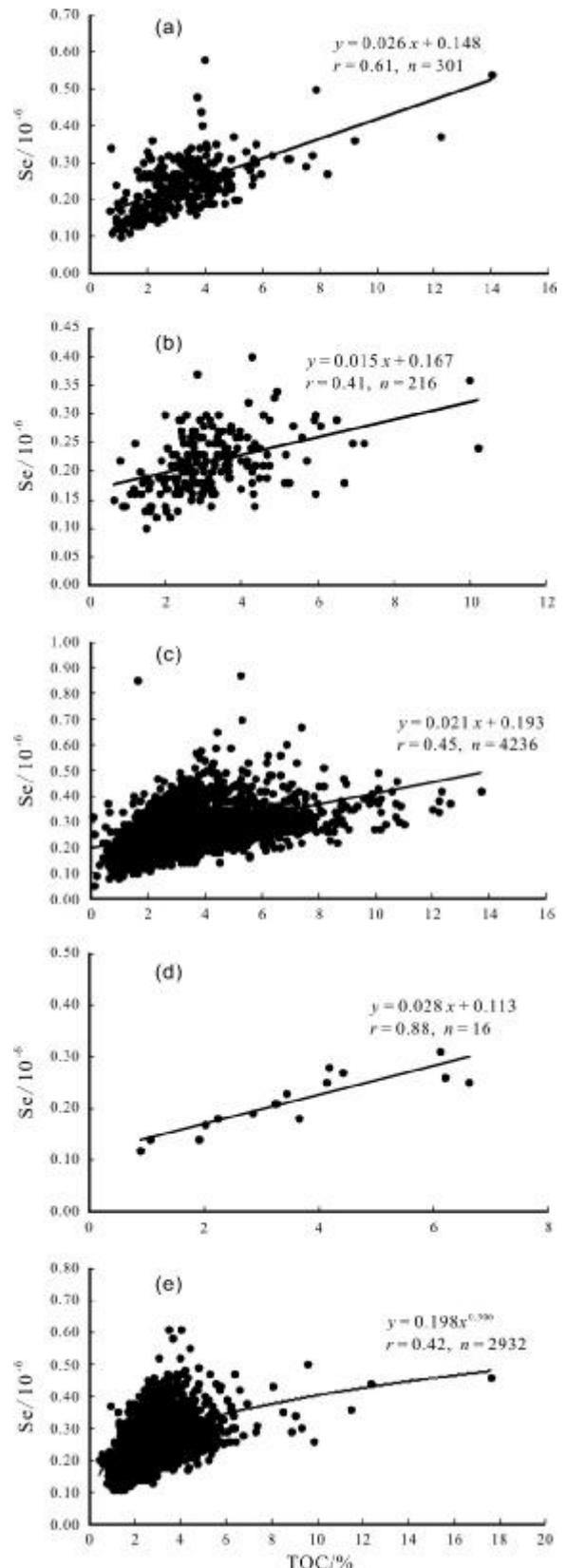


图 2 土壤 TOC 与硒含量关系

Fig. 2 Relation between TOC and Se content in soil
a—暗棕壤 (dark brown soil); b—白浆土 (albic soil); c—草甸土 (meadow soil); d—风沙土 (aeolian sandy soil); e—黑土 (black soil)

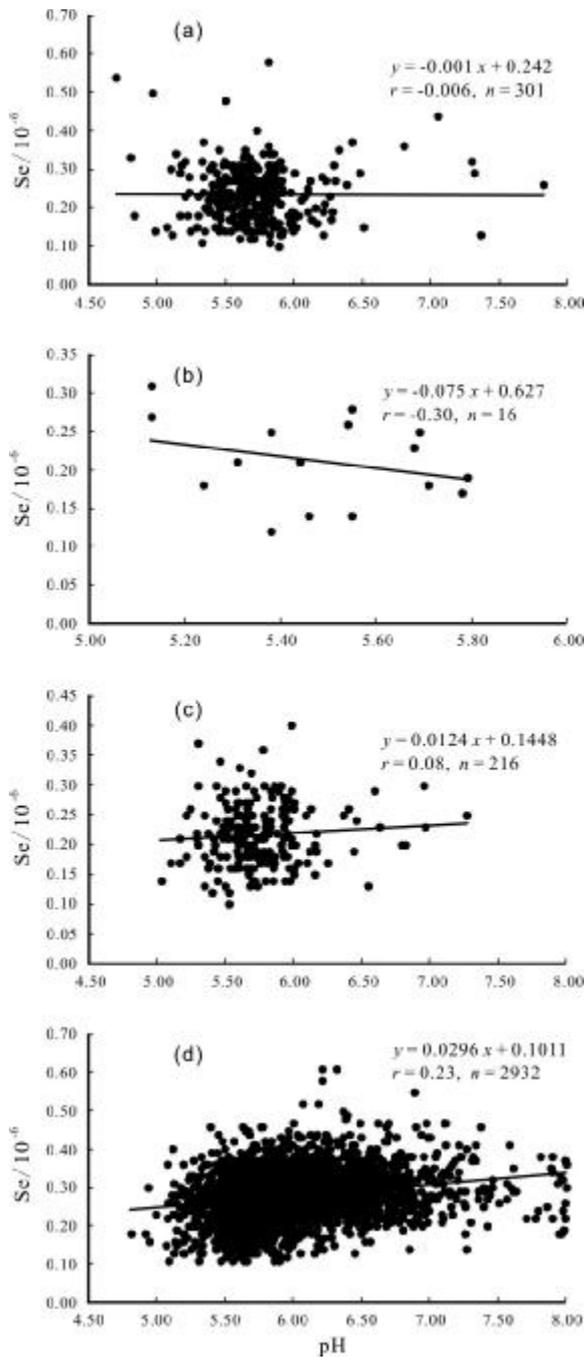


图3 pH与土壤硒含量关系

Fig. 3 Relation between soil pH and Se content

a—暗棕壤 (dark brown soil); b—风沙土 (aeolian sandy soil); c—白浆土 (albic soil); d—黑土 (black soil)

SeO 的形式存在,因而土壤 pH 的变化对土壤 Se 含量影响不明显。

4 结论

1) 绥棱县农田土壤硒平均含量为 0.27×10^{-6} , 以足硒土壤为主, 不同土壤类型硒平均含量由高到低依次为: 黑土 > 草甸土 > 暗棕壤 > 白浆土 > 风沙土. 富硒土壤主要分布在克音河流域的中、下游高漫滩; 足硒土壤在全区广泛分布; 硒潜在不足和缺硒的地区分布面积较小, 呈近南北向条带状分布于东部诺敏河流域低漫滩。

2) 土壤 TOC 是影响土壤 Se 含量的主要因素. 当 TOC 含量在 0~6% 时, 随着 TOC 含量的增加, 土壤 Se 含量显著增高; 当 TOC 含量大于 6% 时, 随着 TOC 含量的增加, 草甸土中 Se 含量增加幅度较小, 暗棕壤、白浆土和黑土虽然 TOC 大于 6% 的样本较少, 但也有 Se 含量增加幅度变小的特征. 研究区土壤 pH 较低, 绝大部分为酸性土壤, 土壤中 Se 大部分以 SeO_3^{2-} 的形式存在, 因而土壤 pH 的变化对土壤 Se 含量影响不明显。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国地方病与环境图集编纂委员会. 中华人民共和国地方病与环境图集[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 83-118.
- [2] 魏友盛, 陈静生, 吴燕玉, 等. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 410-415.
- [3] Schwarz K, Foltz C M. Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration[J]. Nutrition, 1999, 15(3): 255.
- [4] Rotruck J T, Pope A L, Ganther H E, et al. Selenium: biochemical role as a component of glutathione Peroxidase[J]. Science, 1973, 179(4073): 588-590.
- [5] 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.
- [6] 邱啸飞. 珠三角沿海地区土壤硒的来源和富集成因初探[J]. 华南地质与矿产, 2019, 35(4): 441-448.
- [7] 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, 848.
- [8] 冯彩霞, 刘家军, 刘燊, 等. 硒资源及其开发利用概况[J]. 地质与资源, 2002, 11(3): 152-156.
- [9] 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.
- [10] 李日邦, 谭见安, 王五一, 等. 提高食物链硒通量防治大骨节病和克山病示范研究[J]. 地理学报, 1999, 54(2): 158-164.
- [11] 张立, 刘国栋, 吕石佳, 等. 黑龙江省海伦市农耕地土壤硒分布特征及影响因素[J]. 现代地质, 2019, 33(5): 1046-1054.

(下转第 578 页/Continued on Page 578)

土地利用方式对研究区内土壤有机碳含量也具有一定的控制作用. 耕地区面积最为广泛, 也是研究区土壤有机碳储量最大的土地利用方式. 林地和耕地区表层和深层土壤有机碳密度均较为接近而低于研究区内平均值, 草地表层和深层土壤有机碳密度最高. 认为植被组成、有机质补给和淋溶条件是造成不同利用方式下土壤有机碳含量差别的主要原因.

参考文献:

- [1]李随民, 栾文楼, 宋泽峰, 等. 河北省南部平原区土壤有机碳储量估算[J]. 中国地质, 2010, 37(2): 525-529.
- [2]王文俊. 福建龙岩地区土壤有机碳储量特征及其影响因素[J]. 第四纪研究, 2012, 32(2): 337-345.
- [3]王文俊. 福建省土壤有机碳储量估算、时空分布特征及其影响因素[J]. 现代地质, 2019, 33(6): 1295-1305.
- [4]Schlesinger W R. Biochemistry: An analysis of global change[M]. San Diego: Academic Press, 2001: 2-7.
- [5]戴慧敏, 赵君, 刘国栋, 等. 东北黑土地质量调查成果[J]. 地质与资源, 2020, 29(3): 299.
- [6]国土资源部. DZ/T 0258—2014 多目标区域地球化学调查规范(1:250000) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014: 4-6.
- [7]奚小环. 多目标区域地球化学调查与生态地球化学——第四纪研究与应用的新方向[J]. 第四纪研究, 2005, 25(3): 269-274.
- [8]奚小环, 杨忠芳, 夏学齐, 等. 基于多目标区域地球化学调查的中国土壤碳储量计算方法研究[J]. 地学前缘, 2009, 16(1): 194-205.
- [9]奚小环, 张建新, 廖启林, 等. 多目标区域地球化学调查与土壤碳储量问题——以江苏、湖南、四川、吉林、内蒙古为例[J]. 第四纪研究, 2008, 28(1): 58-67.
- [10]于成广, 杨晓波, 刘明华, 等. 辽河流域土壤碳密度分布特征和碳储量研究[J]. 地质与资源, 2011, 20(4): 272-277.
- [11]郝翔翔, 韩晓增, 李禄军, 等. 土地利用方式对黑土剖面有机碳分布及碳储量的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(4): 965-972.
- [12]周涛, 史培军. 土地利用变化对中国土壤碳储量变化的间接影响[J]. 地球科学进展, 2006, 21(2): 138-143.
- [13]王丽丽. 土地利用变化对三江平原土壤有机碳储量及碳输出的影响[D]. 北京: 中国科学院大学, 2011.
- [14]陈粲, 雷学成, 罗桑扎西. 土壤有机碳储量估算与土地利用的关系研究[J]. 土壤通报, 2013, 44(1): 42-45.
- [12]周国华. 富硒土地资源研究进展与评价方法[J]. 岩矿测试, 2020, 39(3): 319-336.
- [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]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.
- [15]张哲寰, 赵君, 戴慧敏, 等. 黑龙江省讷河市土壤-作物系统 Se 元素地球化学特征[J]. 地质与资源, 2020, 29(1): 38-43.
- [16]刘铮. 中国土壤微量元素[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1996: 21-24.
- [17]何振立, 周启星, 谢正苗. 污染及有益元素的土壤化学平衡[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998: 341-361.
- [18]田义超, 黄远林, 张强, 等. 北部湾钦江流域土壤侵蚀及其硒元素流失评估[J]. 中国环境科学, 2019, 39(1): 257-273.
- [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, 864.
- [20]黑龙江省土地管理局, 黑龙江省土壤普查办公室. 黑龙江土壤[M]. 北京: 农业出版社, 1992: 149-179.
- [21]陈林倩, 武丹, 王征, 等. 富硒土壤腐殖质的组成及其对铅的作用研究[J]. 环境工程, 2018, 36(6): 163-168.
- [22]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.

(上接第 596 页/Continued from Page 596)