

内蒙古鄂伦春旗土壤钼元素的分布特征及主要影响因素

魏明辉^{1,2}, 许 江^{1,2}, 李秋燕^{1,2}, 贺鹏飞^{1,2}

1. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034;

2. 中国地质调查局 黑土地演化与生态效应重点实验室, 辽宁 沈阳 110034

摘 要: 钼元素是动植物生长必需的微量元素, 生命体中的钼元素直接或间接来自土壤。依据内蒙古自治区鄂伦春旗东部主要耕地 1:25 万土地质量地球化学调查项目所采集的土壤样品分析数据, 对研究区内表层土壤钼含量进行了营养等级评价。鄂伦春旗东部地区土壤钼含量普遍达到丰富级以上。同时分析了地球化学指标、土壤类型、成土母质等对土壤钼含量的影响。认为钼含量在 pH 值为 5~7 之间时随 pH 增大而减小; 在有机质含量 20×10^{-3} ~ 140×10^{-3} 时, 随有机质含量增加而减少。认为暗棕壤及其对应的成土母质为本区提供了钼的来源; 提出了研究区内土壤钼主要来源于基岩风化的结论。

关键词: 土壤钼; 土壤 pH; 土壤有机碳; 土壤类型; 内蒙古

开放科学标志码(OSID):



DOI: 10.13686/j.cnki.dzyz.2020.06.017

DISTRIBUTION CHARACTERISTICS AND MAIN INFLUENCING FACTORS OF SOIL MOLYBDENUM IN OROQEN QI, INNER MONGOLIA

WEI Ming-hui^{1,2}, XU Jiang^{1,2}, LI Qiu-yan^{1,2}, HE Peng-fei^{1,2}

1. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China;

2. Key Laboratory of Black Land Evolution and Ecological Effects, CGS, Shenyang 110034, China

Abstract: Molybdenum(Mo), an essential trace element for animals and plants, comes directly or indirectly from soil. Based on the soil sample data obtained from the 1:250 000 land quality geochemical survey in the main cultivated areas of Oroqen Qi in Inner Mongolia, the paper evaluates the nutrient grades of Mo content in the surface soil of the study area. The results show the soil Mo contents generally reach the rich-grade and above. Besides, the influences of geochemical indexes, soil types and parent materials on soil Mo content are also analyzed. It is considered that the Mo content decreases as pH increases when pH is 5~7, and decreases as organic content increases when C_{org} is 20×10^{-3} ~ 140×10^{-3} . Dark brown soil and its corresponding parent materials provide the source of Mo. It is concluded that the soil Mo is mainly derived from bedrock weathering.

Key words: soil Mo; soil pH; soil organic carbon; soil type; Inner Mongolia

0 前言

钼元素(Mo)是动植物必需的微量元素, 它的含量

对动植物以及人类具有多重影响。对植物而言, 钼参与固氮酶和硝酸盐还原酶的合成, 可以直接影响植物

收稿日期:2020-08-31;修回日期:2020-10-01. 编辑:李兰英.

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“兴凯湖平原及松辽平原西部土壤地球化学调查”(DD20190520);国际地学对比计划项目“全球黑土地关键带土地资源演化与可持续利用”(IGCP665).

作者简介:魏明辉(1981—),男,硕士,高级工程师,现从事地球化学调查与评价工作,通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号,E-mail//wakes123@163.com

通信作者:许江(1988—),男,博士,工程师,现从事地球化学调查与评价工作,E-mail//bestjiang@126.com

体氮素代谢作用。当作物缺钼时, 主要表现出生长发育不良、植株矮小、叶片失绿、叶片枯萎以致坏死。而当作物钼超量时, 植物通常表现为以缺铜症状为主要症状的毒害作用^[1-4]。对人体而言, 钼参与黄嘌呤氧化酶、黄嘌呤脱氢酶、醛氧化酶的合成作用, 人体缺钼可引起这些酶活性下降, 导致儿童和青少年生长发育不良、神经异常、智力发育迟缓, 影响骨骼生长、龋齿, 引起克山病、肾结石、大骨节病等。人体内钼过多, 黄嘌呤氧化酶活性过度增加, 生产尿酸过多, 可导致痛风症。钼具有高度特殊的生理生化功能, 已经得到了当前生命科学研究者的广泛关注^[5-8]。

目前, 关于内蒙古鄂伦春自治旗土壤中钼含量相关调查和研究比较缺乏。中国地质调查局沈阳地质调查中心于 2019~2020 年, 在鄂伦春自治旗东部主要农耕区开展了 1:25 万土地质量地球化学调查工作, 系统调查了研究区内表层、深层土壤中钼的含量和分布特征。作者在此工作基础之上分析了研究区内土壤钼含量的主要受控因素, 为当地富钼土壤资源开发利用、农业产业结构调整提供基础依据。

1 研究区概况

鄂伦春自治旗位于内蒙古自治区呼伦贝尔市东部, 与黑龙江省嫩江县和加格达奇相邻, 是呼伦贝尔市最大的旗县。研究区位于鄂伦春旗东南部农耕区, 面积为 3 000 km², 包括乌鲁布铁、大杨树、宜里、诺敏 4 个镇, 属于温带大陆性季风气候, 降水充足但不均匀, 昼夜、冬夏温差大, 积温不足。地貌类型以丘陵、低山为主, 局部为河流冲积平原。成土母质主要为花岗岩类风化物、中酸性火山岩风化物、中性玄武岩风化物、河流冲积洪积物。土壤质地以含砂黏土为主。土壤类型主要包括暗棕壤、黑土、草甸土、沼泽土。大豆、玉米、小麦为研究区内主要的农作物类型^[9-10]。

研究区位于大兴安岭北段钼矿集区内, 区内已发现多处钼矿化点, 主要出露岩性为花岗闪长岩、二长花岗岩、流纹岩、流纹质凝灰岩、安山岩、玄武岩。

2 材料与方法

2.1 样品采集与测试

土壤样品采集按照网格布设, 表层样品以 1 km² 为 1 个基本采样单元, 主要采集采样单元内大宗农田

区域 0~20 cm 耕作层土壤, 每个样品在采样点附近 30 m 范围内采集 3 点土壤样品组合而成, 按照 2 km × 2 km 的网格将 4 个样品均匀组合为 1 个样品进行分析, 全区共组合分析样品 750 件。深层样品采集 150~200 cm 深的土壤, 每 4 km² 采集 1 个样品, 4 km × 4 km 为 1 个网格进行组合分析, 共组合分析样品 189 件。所有组合样品送至具有 MA 认证资质的辽宁省地质矿产研究院有限责任公司测试完成, 钼全量采用 ICP-MS 方法的测试分析。样品分析方法、检出限及分析的精密度、准确度等均满足《1:25 万多目标区域地球化学调查规范 (DD2005-1)》^[11] 的要求。

2.2 数据处理

使用 ArcGIS10.4 成图, 使用 IBM SPSS Statistics 25 和 Excel 2016 数据处理。

3 分析结果与讨论

3.1 土壤钼的地球化学特征

研究区共分析表层土壤样品 750 件, 钼元素平均含量 1.18×10^{-6} (表 1), 最高含量为 16.81, 最低含量为 0.44×10^{-6} 。剔除异常高、低值后, 得出背景值为 0.96×10^{-6} , 略高于松嫩平原背景值 (0.95×10^{-6}), 显著低于全国 A 层土壤背景值 (2×10^{-6})^[12-13]。变异系数 1.00, 说明研究区内钼元素含量不均, 分异明显。

根据土壤养分指标划分标准^[14], 研究区内表层土壤钼元素全量丰富和较丰富级面积可达 2 784 km², 占总面积 92.8%。存在钼污染风险的土壤面积共 76 km², 约占总面积的 2.53%, 零星分布在二根河、都柿沟、诺敏镇等村镇周边 (表 2、图 1)。

3.2 土壤 pH、C_{org} 含量与钼含量关系

研究区土壤的 pH 值为 5.18~7.32, 平均值为 5.89, 按照土壤酸碱度分级标准, 土壤整体呈酸性, 中性土壤仅占 0.8%。将全区钼元素数据按照 pH 值升序排列, 每 20 个数据一组计算钼和 pH 平均值, 绘制散点图 (图 2)。由图可见, 土壤钼含量随 pH 增大逐渐减少, 即土壤钼含量与土壤 pH 值显示出负相关关系^[15-16]。

研究区土壤有机质含量为 21.73×10^{-3} ~ 275.54×10^{-3} , 平均值为 60.82×10^{-3} 。按照大于 40×10^{-3} 即为很丰富的标准, 调查区 91% 为有机质很丰富土壤。将全区钼元素数据按照有机质升序排列, 每 20 个数据一组计算钼含量和有机质平均值, 绘制散点图。由图 3 可

表 1 研究区表层土壤钼含量特征

Table 1 The Mo content characteristics in surface soil of the study area

项目	样品数	最小值	最大值	平均值	中位数	标准离差	变异系数	富集系数
原始数据	750	0.44	16.81	1.18	0.91	1.18	1.00	1.91
剔除后数据	700	0.44	2.01	0.96	0.89	0.27	0.28	1.54

含量单位:10⁻⁶.

表 2 研究区表层土壤钼养分等级面积统计

Table 2 Area statistics by Mo nutrient grades of surface soil in the study area

指标	一等(丰富)	二等(较丰富)	三等(中等)	四等(较缺乏)	五等(缺乏)	污染风险(过剩)
钼/10 ⁻⁶	>0.85	0.65~0.85	0.55~0.65	0.45~0.55	≤0.45	>4
面积/km ²	1808	976	120	16	4	76
比例/%	60.27	32.53	4	0.53	0.13	2.53

知,钼含量与有机质呈弱负相关^[1].

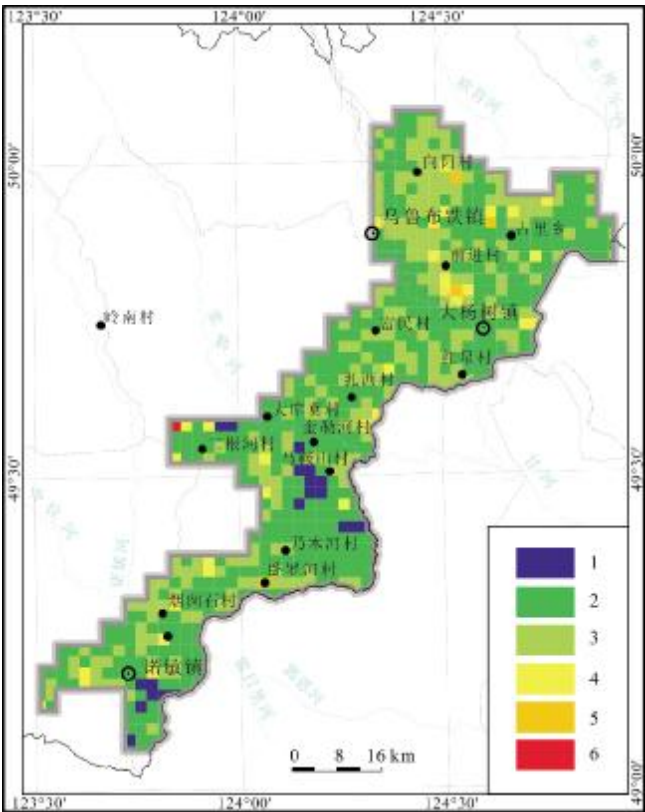


图 1 鄂伦春旗东部地区土壤钼元素养分等级图

Fig. 1 Distribution of soil Mo nutrient grades in the east of Oroqen Qi

1—过剩级 (excessive); 2—丰富级 (rich); 3—较丰富级 (relatively rich); 4—中等级 (medium); 5—较缺乏级 (relatively deficient); 6—缺乏级 (deficient)

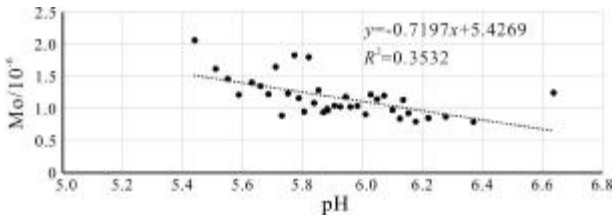


图 2 钼含量与 pH 值关系图

Fig. 2 Scatter diagram of Mo content vs. pH value

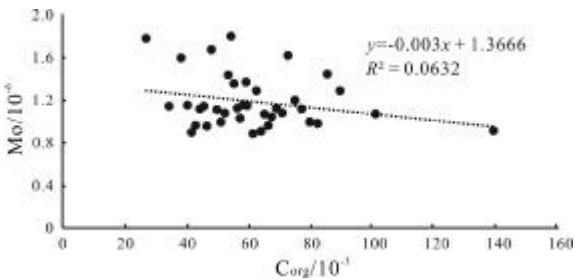


图 3 钼含量与有机质含量关系图

Fig. 3 Scatter diagram of Mo vs. organic contents

3.3 土壤钼含量与土壤类型

研究区的土壤类型包括暗棕壤 52.6%、沼泽土 19.9%、黑土 19.1%、草甸土 8.3%、石质土 0.1%, 各土壤类型中钼含量特征值见表 3.

土壤中钼元素在沼泽土、草甸土中平均含量较大, 相对全区富集, 在暗棕壤、黑土中平均含量略小, 在石质土中平均值最低 (图 4). 暗棕壤中虽然钼平均含量不高, 但是特异值多, 全区最高值点分布于本区内, 说明本区钼元素比较活跃. 按照土壤类型垂向分布特

表 3 不同土壤类型钼含量特征值
Table 3 Eigenvalues of Mo contents by soil types

土壤类型	暗棕壤	沼泽土	黑土	草甸土	石质土	全区
样本数	395	149	143	62	1.00	750
平均值	1.17	1.23	1.04	1.52	0.68	1.18
最小值	0.51	0.44	0.58	0.65	0.68	0.44
最大值	16.81	9.46	8.77	9.77	0.68	16.81
标准偏差	1.30	1.11	0.78	1.32	0.00	1.18
变异系数	1.12	0.90	0.74	0.87	0.00	1.00
平均值相对全区	0.98	1.04	0.88	1.28	0.57	1.00

含量单位:10⁻⁶.

征,根据地势从高到底依次为暗棕壤,黑土,草甸土,沼泽土. 根据本区土壤类型分布特征,初步认为,钼元素来源于暗棕壤对应的基岩中,基岩中的辉钼矿经风化后形成细小颗粒,由 MoS₂ 转化为 MoS₃,在适当的条件下转为可溶性离子态,随土壤溶液向下迁移到黑土、草甸土和沼泽土之中,在土壤中有有机质含量增加, pH 值变化后被吸附固定下来^[17]. 这与在本区内已发现的钼矿点分布区域基本吻合. 石质土中钼元素含量低可能是因为石质土成土作用差,土壤中黏土矿物少,钼元素多存在于岩屑等粗颗粒中,在样品加工中被过滤所导致的.

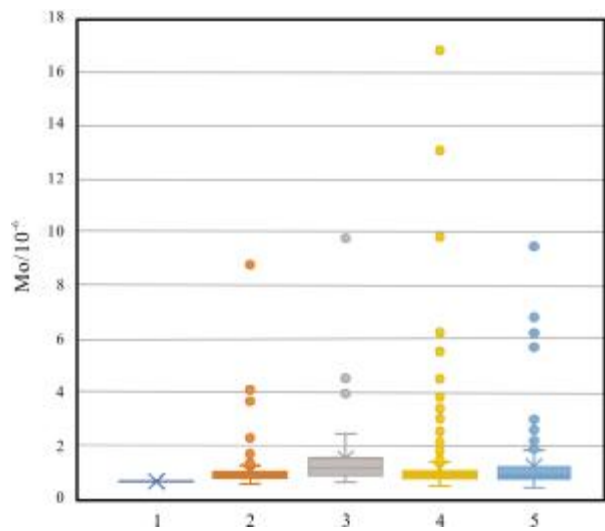


图 4 不同土壤类型钼元素含量箱型图

Fig. 4 Box diagram of Mo contents in different soil types
1—石质土(lithosol); 2—黑土(black soil); 3—草甸土(meadow soil);
4—暗棕壤(dark brown soil); 5—沼泽土(bog soil)

3.4 成土母质

研究区地形多为低山丘陵,低洼处为河流冲积平原,成土母质多为残坡积和河流冲积物.山地表层土壤主要为基岩就近风化形成,保留了其成土母质的地球化学特征.基岩的钼元素含量和风化程度直接影响土壤中钼元素的丰度.

调查区已发现的多处钼矿化点,其赋矿围岩均为二叠纪、泥盆纪花岗岩类^[18-19].除石质土外,其他成土母质中均存在特异值,钼含量最大值出现在暗棕壤中,为 16.8×10⁻⁶,基岩为二叠纪花岗闪长岩.

对深层样品分析数据进行插值,得到表层分析样品位置对应的深层土壤分析结果,通过计算表层和深层土壤钼含量的比值得到不同基岩上发育的土壤钼表层富集系数(见表 4).由表 4 可知,在花岗岩类中,深层样钼含量最高,火山岩中最低.变粉砂岩和花岗闪长岩为基岩的土壤,钼表层富集系数较大,而在其他岩性内深层钼含量均大于表层含量,表明钼元素来源于深部,其中花岗岩类应该是土壤钼的主要来源^[18,20].

表 4 研究区不同基岩上发育的土壤钼表层富集系数

Table 4 Mo enrichment coefficients of surface soil on different bedrocks of the study area

岩性名称	样本数	表层平均值	深层平均值	表层/深层
第四系河流冲积物	171	1.26	1.47	0.93
变质粉砂岩	1	6.32	1.88	3.35
二长花岗岩	137	1.33	2.02	0.81
花岗闪长岩	29	2.67	1.96	1.70
碱长花岗岩	31	1.55	3.83	0.69
闪长岩脉	2	1.28	3.34	0.42
流纹岩	138	0.94	1.28	0.79
安山岩	16	0.88	1.25	0.76
玄武岩	211	0.92	1.18	0.83
总计	736	1.18	1.57	0.87

含量单位:10⁻⁶.

3.5 土壤钼含量概率累积曲线特征

利用概率累积曲线的拐点,可以大致判断沉积物组分不同的来源^[21].从图 5 可看出,鄂伦春旗东部土壤中钼元素含量概率累积曲线拐点接近于 100%.说明外源输入如人类活动、大气沉降等对土壤中钼含量

影响很小,与野外调查相吻合.鄂伦春旗东部地区人口稀少,企业规模小,大气沉降通量较小,对钼的积累影响很小,鄂伦春旗东部地区土壤钼主要来源于自然背景^[22].

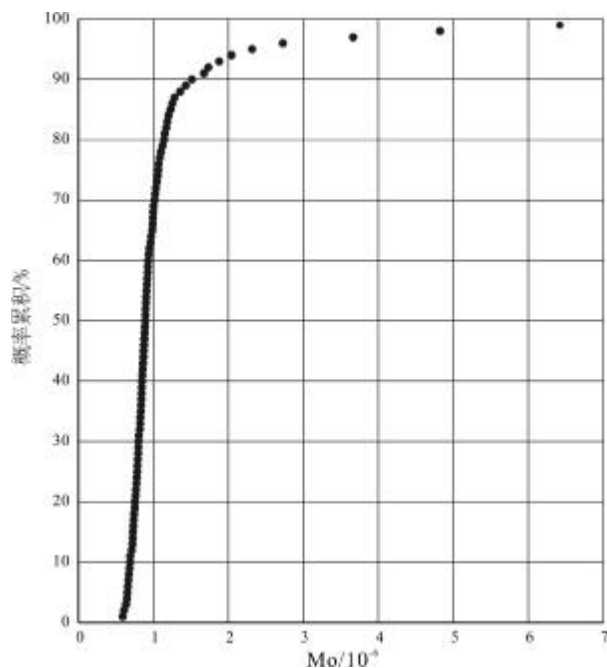


图5 研究区表层土壤钼元素概率累积分布图

Fig. 5 Probability cumulative curve of Mo content in surface soil of the study area

4 结论

1) 研究区表层土壤钼含量丰富,平均值为 1.10×10^{-6} ,高于东北地区背景值,95%以上面积表土钼含量达到丰富级以上.同时存在约2.5%面积土壤钼含量具有污染风险.

2) 研究区多为酸性土壤,土壤钼含量与土壤pH值均显示出负相关性.按土壤类型统计,研究区内沼泽土、草甸土中土壤中钼平均含量较大,相对全区富集,而暗棕壤、黑土中钼平均含量略小,在石质土中平均值最低.

3) 研究区存在多处钼矿化点,且深层样品钼含量普遍高于表层样品,作者认为土壤中钼元素主要由基岩风化而进入土壤,人类影响等外在因素对土壤中钼含量影响很小.

参考文献:

- [1] 刘斌,吴其祥,朱树标,等. 广西土壤钼的含量及其影响因素[J]. 广西农业科学,1996(3):132-134.
- [2] 孙秀敏,朱琳彬,姬朋朋,等. 广东某区域土壤中有效钼的测定[J]. 当代化工,2019,48(5):1103-1105,1109.
- [3] 杜应琼,王运华,魏文学,等. 小麦施钼效果与土壤氮、钼水平的关系研究[J]. 湖北农学院学报,2000,20(2):126-130.
- [4] 刘鹏,杨玉爱. 钼、硼对大豆光合效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2003,9(4):456-461.
- [5] 刘牧. 钼对人体健康的影响[J]. 中国钼业,2001,25(5):43-45.
- [6] 曲莉,郭小琳. 钼的生理功能与检测[J]. 甘肃医药,2012,31(7):521-522.
- [7] 施咏梅. 钼——人体必需微量元素[J]. 中国临床营养杂志,2005,13(2):120-123.
- [8] 王佳炜. 微量元素钼的生理作用及其对机体功能的影响研究进展[J]. 医学综述,2013,19(19):3460-3463.
- [9] 贺彩云,敖特根,吴英晶. 鄂伦春自治旗经济发展影响因素分析[J]. 内蒙古科技与经济,2019(18):10-13,16.
- [10] 《鄂伦春自治旗概况》编写组,《鄂伦春自治旗概况》修订本编写组. 鄂伦春自治旗概况[M]. 北京:民族出版社,2009:1-16.
- [11] DZ/T 0258—2014, 1:25 万多目标区域地球化学调查规范[S]. 北京:中国标准出版社,2014.
- [12] 魏复盛,杨国治,蒋德珍,等. 中国土壤元素背景值基本统计量及其特征[J]. 中国环境监测,1991,7(1):1-6.
- [13] 成杭新,杨忠芳,侯青叶,等. 表层土壤元素背景值研究方法探索[C]//中国矿物岩石地球化学学会第11届学术年会论文集. 北京:中国矿物岩石地球化学学会,2007:446-447.
- [14] DZ/T 0295—2016, 土地质量地球化学评价规范[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [15] 李小娜,王金云. 我国土壤中钼的赋存形态现状[J]. 世界有色金属,2019,(13):248-250.
- [16] 汪新民. 土壤对钼的吸附与土壤供钼能力[J]. 安徽农学院学报,1990,17(4):280-287.
- [17] 练建军,许士国,于常武,等. 重金属钼的迁移特性及人工湿地处理研究[J]. 环境保护科学,2010,36(6):7-10.
- [18] 黄凡,王登红,王平安,等. 大兴安岭北段宜里钼矿岩石成因及成岩成矿年代学[J]. 地质学报,2014,88(3):361-379.
- [19] 黄凡,陈毓川,王登红,等. 中国钼矿主要矿集区及其资源潜力探讨[J]. 中国地质,2011,38(5):1111-1134.
- [20] 谢有炜,陈伟,郑兵华. 宜里钼矿床地质特征—成因及找矿方向[J]. 物探化探计算技术,2016,38(1):112-119.
- [21] 范天来,范育新. 频率分布曲线和概率累积曲线在沉积物粒度数据分析中应用的对比[J]. 甘肃地质,2010,19(2):32-37.
- [22] 蒋惠俏,龙婧宇,黄英,等. 广西钟山县土壤钼的地球化学特征[J]. 南方国土资源,2020(3):32-38.